

Растениеводство

- Грабовец А.И., Крохмаль А.В.** Модель сорта озимого тритикале на Дону 3
- Гультяева Е.И., Тюнин В.А., Шрейдер Е.Р., Кушниренко И.Ю., Шайдаюк Е.Л., Коваленко Н.М., Бондаренко Н.П., Колесова М.А.** Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к листовым болезням на Южном Урале 8
- Путилина Л.Н., Грибанова Н.П., Лазутина Н.А.** Комплексная оценка и отбор отечественного селекционного материала сахарной свёклы по продуктивности и технологическому качеству 13
- Виноградов Д.В., Мажайский Ю.А., Новикова А.В., Лупова Е.И.** Продуктивность сортов льна масличного в зависимости от сроков посева в Нечерноземной зоне России 17

Методология

- Утенков Г.Л., Рапопорт Э.О., Власенко А.Н.** Синтез агротехнологий для управления продуктивностью агроценозов в Сибири 21

Защита растений

- Комарова А.С., Человечкова В. В.** Динамика разложения ацетамиприда в ягодах и соке винограда 26

Агрохимия. Почвоведение

- Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Якименко В. Н.** Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений 29
- Чеботарев Н. Т., Броварова О. В., Конкин П. И.** Влияние систематического применения органических и минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур кормового севооборота на Европейском Севере 34
- Черников Е.А., Попова В.П., Ярошенко О.В., Мarmorштейн А.А.** Трансформация засоленных почв виноградников под влиянием изменений региональных метеорологических параметров 38

Животноводство

- Вертипрахов В.Г.** Торможение экзокринной функции поджелудочной железы при яйцекладке у кур-несушек 42
- Боголюбова Н.В., Романов В.Н., Багиров В.А.** Метаболический профиль коров при коррекции питания в конце сухостойного периода и начале лактации 47

Ветеринария

- Волкова Г.С., Куксова Е.В., Серба Е.М.** Профилактика микотоксикозов у цыплят-бройлеров при использовании в рационе кормов, контаминированных микотоксинами 51
- Мифтахутдинов А.В., Сайфульмулюков Э.Р., Ноговицина Е.А.** Эффективность применения стресспротекторной кормовой добавки в бройлерном птицеводстве 55
- Исаев Ю.Г., Сотников А.Н., Гулюкин М.И., Степанова Т.В.** Современные подходы в диагностике и борьбе с варроозом пчёл 59

Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции

- Кандроков Р.Х., Юдина Т.А., Рубан Н.В., Катин С.А.** Влияние соотношения зерновой смеси пшеницы и тритикале на технологические свойства пшенично-тритикалевой муки 63

Механизация

- Лачуга Ю.Ф., Ковалев М.М., Перов Г.А., Галкин А.В.** Методика определения закономерности растяжения группы стеблей растительных материалов 67
- Куценогий П.К., Каличкин В.К., Пакуль А.Л., Куценогий С.П.** Машинное обучение в качестве инструмента прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур 72

Plant growing

- Grabovets A.I., Krokmal A.V.** Winter tritcale cultivar model on Don 3
- Gulyaeva E.I., Tyunin V.A., Shreyder E.R., Kushnirenko I.Yu., Shaydayuk E.L., Kovalenko N.M., Bondarenko N.P., Kolesova M.M.** Breeding of spring bread wheat for resistance to foliar diseases in the Southern Ural 8
- Putilina L.N., Griбанова N.P., Lazutina N.A.** Complex evaluation and selection of domestic sugar beet breeding material on productivity and technological quality 13
- Vinogradov D.V., Mazhaysky Yu.A., Novikova A.V., Lupova E.I.** Productivity of flax varieties of varieties depending on the seeding time in the Non-black-zone of Russia 17

Methodology

- Utenkov G.L., Rapoport E.O., Vlasenko A.N.** Synthesis of agrotechnologies for managing the productivity of agrocenoses in Siberia 21

Plant protection

- Komarova A.S., Chelovechkova V.V.** Acetamiprid decomposition dynamics in grapes and grape juice 26

Agrochemistry. Soil Science

- Boiko V.S., Timokhin A.Y., Yakimenko V.N.** Change in the phosphate state of soils of the forest steppe of Western Siberia at the systematic application of fertilizers 29
- Chebotaev N.T., Brovarova O.V., Konkin P.I.** Influence of systematic application of organic and mineral fertilizers on the fertility of sod-podzolic soil and productivity of forage crop rotation crops in the European North 34
- Chernikov E.A., Popova V.P., Yaroshenko O.V., Marmorshtein A.A.** Transformation of salted vineyard soils impact of changes regional meteorological parameters 38

Animal husbandry

- Vertiprakhov V.G.** The suppression of the exocrine pancreatic function by oviposition in laying hens 42
- Bogolyubova N.V., Romanov V.N., Bagirov V.A.** Metabolic profile of cows during food correction at the end of the dry period and the beginning of lactation 47

Veterinary science

- Volkova G.S., Kuksova E.V., Serba E.M.** Prevention of mycotoxicosis in chicken broilers when used in the diet of feed contaminated with mycotoxins 51
- Miftahutdinov A.V., Sayfulmulukov E.R., Nogovitsina E.A.** Efficiency of application of stress-protective forage additive in broiler poultry 55
- Isaev Yu. G., Sotnikov A.N., Gulyukin M.I., Stepanova T.V.** Modern approaches in diagnostics and fight against varroasis of bees 59

Storage and processing of agricultural produce

- Kandrokov R.Kh., Yudina T.A., Ruban N.V., Katin S.A.** The effect of the ratio of the grain mixture of wheat and tritcale on technological properties wheat tritcale flour 63

Mechanization

- Lachuga Yu.F., Kovalev M.M., Perov G.A., Galkin A.V.** Method for determining the pattern of stretching groups of stems of plant materials 67
- Kutsenogiy P.K., Kalichkin V.K., Pakul A.L., Kutsenogiy S.P.** Machine learning as a tool for crop yield forecast 72

Растениеводство

УДК 633.11:631.527

DOI: 10.31857/S2500262721010014

МОДЕЛЬ СОРТА ОЗИМОГО ТРИТИКАЛЕ НА ДОНУ

А.И. Грабовец, член-корреспондент РАН, А.В. Крохмаль, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный Ростовский аграрный научный центр

346735, Ростовская область, Аксайский район, пос. Рассвет, ул. Институтская, 1

E-mail: grabovets_ai@mail.ru

В связи с изменением климата разработана модель сорта для озимого тритикале отдельно зернового и кормового направления. В современных условиях сорта тритикале двойного использования с высотой стебля 120-130 см во влажные годы полегают и существенно уступают по урожаю зерна пшенице, а по урожаю зеленой массы – ржи. По результатам регрессионного анализа потенциальная продуктивность зернового тритикале на высоком агрофоне составляет 10-11 т/га зерна, для чего на 1 м² необходимо иметь 750-800 колосьев, на среднем агрофоне величины этих показателей равны 8,0-8,5 т/га и 650-700 колосьев/м². Масса зерна с колоса должна составлять соответственно 1,3-1,4 г и 1,15-1,25. Растения должны обладать высокой морозостойкостью (до -20-21 °С на глубине залегания узла кущения, до -11-12 °С в майские заморозки), а также способностью выдерживать до 60 дней ледяной корки. Высота стебля должна составлять 90-110 см, устойчивость к полеганию – высокая. Растения в основном не нуждаются в пестицидном прикрытии. Селекционный процесс необходимо дифференцировать в зависимости от направления использования зерна: хлебопечение (12-14 % белка и др.), кондитерское производство (число падения 80-100 с, любая клейковина и др.), производство крахмала и биоэтанола (70 % и более крахмала определенного качества для каждой технологии), производство крупы и спагетти (содержание каротиноидов в зерне 400-500 мг/кг%). Модель сорта кормового направления – растение до 180 см, с 4,0-4,5 продуктивными стеблями, облиственностью до 28 %, содержанием сырого протеина в зеленой массе 11-12 %. Потенциальная урожайность в оптимальных условиях выращивания – 80-90 т/га вегетативной массы. Абиотический и биотический блоки аналогичны зерновым тритикале.

WINTER TRITICALE CULTIVAR MODEL ON DON

A.I. Grabovets, A.V. Krokhamal

Federal Rostov Agrarian Scientific Center

346735, Rostovskaya oblast', Aksaiskii raion, pos. Rassvet, ul. Institutskaya, 1

E-mail: grabovets_ai@mail.ru

In connection with climate change, a model of varieties for winter triticale has been developed for grain and separately fodder areas. Cultivars dual use triticale with a stem height of 120-130 cm in wet years lodged and significantly inferior to wheat, and the yield of rye mass. At cereal triticale forecast potential productivity based on. A stress analysis revealed it at the level of 10-11 t/ha of grain with a high agro-background. For this, it is required to have 750-800 ears of corn per 1 m², 8-8.5 t/ha and 650-700 on the average agricultural background. The mass of grain from the ear should be equal to 1.3-1.4 g and 1.15-1.25. The objectivity of these model parameters on a high agricultural background was confirmed in wet 2016, when an average of 10.47 t/ha of grain was collected from the test. This should be ensured by high frost resistance (-20-21°C at a depth of the tillering site), the ability to withstand up to 60 days of ice crust, up to -11-12°C May frost). The height of the stem should be 90-110 cm with high resistance to lodging. Plants should be mid-season and generally not need pesticidal cover. There should be differentiation in the breeding process depending on the direction of use of grain: bakery (12-14 % protein, etc.), confectionery production (80-100 s falling number, any gluten, etc.), starch production and bioethanol production (70 % and more starch of a certain quality for each technology), cereal production and spaghetti (400-500 mg/kg % carotenoids in turf). The model of the variety of the feed direction is a plant up to 180 cm, with productive tillering 4-4.5, with foliage up to 28 %, the crude protein content in the feed is 11-12 %. Potential yield with optimum growing conditions of 80-90 t/ha mass. No need for pesticides. Abiotic and biotic blocks are similar to cereal triticale. Green mass is used as feed, hay, haylage and grain silage.

Ключевые слова: озимое тритикале, сорт, модель, разработка

Key words: winter triticale, variety, model, development

В связи с нарастанием флуктуации климата и его полной непредсказуемости [1] возникала проблема уточнения параметров модели озимого тритикале с учетом современной ситуации в земледелии. В России одним из основоположников понятия модели сорта стал И.В. Мичурин [2]. По озимой пшенице первое описание «идеала» сорта выполнил Н.И. Вавилов [3]. Позднее были разработаны модели и для тритикале. Так, на Украине [4] был предложен общий морфобиотип этой культуры (высота растений, окраска колоса и его размеры, крупность зерна, опушение соломины под колосом, признаки листа, корневая система, кустистость, стебель и др.). В Московском НИИСХ (Неминовка) при достаточном увлажнении основными параметрами модели были признаны масса зерна с колоса,

зимостойкость, устойчивость к болезням и полеганию и др. [5]. В Центрально-Черноземном регионе [6] оптимальными считают густоту 300 растений и 370-450 колосьев на 1 м², 40-45 зёрен в колосе, урожайность 5-6 т/га, высоту растений 100-110 см. В Нижнем Поволжье [7] желаемая высота стебля – 140-150 см, число зерен в колосе – 33-35 шт., масса 1000 семян – 45-48 г, индекс урожая – 32 %.

Относительно полно модель сорта для условий Кубани (600-800 мм осадков в год) представлена в исследованиях В.Я. Ковтуненко [8]. Сорта должны быть гомозиготными двойного использования – зерно кормовые. Потенциальная урожайность зерна на уровне 9,5 т/га, зеленой массы – 60 т/га; число зерен в колосе – 65 шт., масса 1000 зерен – 55 г, уборочный индекс – 45 %,

критическая температура вымерзания – -21° , полевая устойчивость к ржавчинам и другим болезням. Содержание белка в зерне – 14 %, общая оценка хлеба – 4 балла.

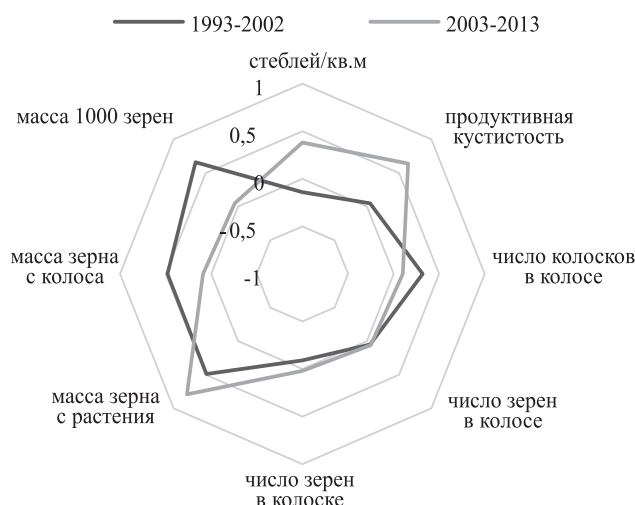
В последние годы он также разработал модель сорта кормового направления: урожайность массы 80 т/га, доля листьев в структуре зеленой массы – 30-35 %, высота растений – 180 см, масса 1000 зерен – 45 г, содержание сырого протеина в зерне 14 %, устойчивость к болезням листьев и др.

На Украине Г.В. Щипак [9] считает, что зерновой сорт тритикале должен состоять из популяции близких по признакам линий для использования в хлебобулочной промышленности (650-800 мл без улучшителей с общей оценкой хлеба 9 баллов). В комбикормовом производстве приемлемы фуражные генотипы с оценкой качества клейковины 52-92 ед. альвеографа. Сорта должны быть среднерослыми и низкорослыми, с высокими адаптивными свойствам, потенциальной урожайностью 9-12 т/га

Таким образом, в каждой почвенно-климатической зоне, в которой ведется селекция озимого тритикале, разработаны свои модели сорта. Из-за различий в почвенно-климатических условиях они значительно отличаются. Подобная модель в 80-е гг. XX в. была создана и на Дону [10]. Параметры ее постепенно дополняли и изменяли. Особенно остро такая необходимость возникла в последние годы в связи с изменением климата в сторону аридизации и появлением новых технологий переработки зерна тритикале, ГОСТов РФ и других факторов. Исследования проводили с целью обобщения динамики свойств и признаков тритикале по мере усиления аридности климата в виде модели сорта с учетом разных направлений использования сырья (зерно, зеленая масса).

Методика. Работу выполняли в 2003–2019 гг. в Федеральном Ростовском аграрном научном центре (ФРАНЦ) в степной зоне Ростовской области с недостаточным увлажнением на карбонатных чернозёмах. Урожай озимых злаков в этих условиях во многом зависит от количества влаги, накопленной в метровом слое в осенне-зимний период. Объектами изучения служили сорта и линии зернового и кормового направления в конкурсном испытании (порядка 300 ежегодно), а также коллекционный материал из Всероссийского института растениеводства и других источников (700-800 номеров). Каждый год проводили корреляционный анализ взаимосвязей между урожаем зерна с единицы площади и свойствами сорта, относящимися к абиотическому и биотическому блокам, элементами структуры урожая, признаками морфобиотипа, качеством зерна (белок, клейковина, крахмал, каротиноиды). У линий, предназначенных на корм, определяли обилие, содержание в зеленой массе белка, сырого жира, кальция, сахаров, безазотистых экстрактивных веществ, сырой клетчатки, золы. В работе использовали общепринятые методы селекции, определения взаимосвязи свойств растений с окружающей средой, поражением болезнями, элементами морфобиотипа, структурой урожая, качеством зерна и корма.

Результаты и обсуждение. Селекция тритикале на Дону ведется по двум направлениям: на зерно и на зеленую массу. Сорта тритикале двойного использования с высотой стебля 120-130 см во влажные годы полегают и значительно уступали по урожаю зерна пшенице, а по сбору зеленой массы ржи. Поэтому модели разрабатывали для зернового и кормового тритикале. По зерновому тритикале необходимость пересмотра



Характер взаимосвязи урожая зерна с его элементами в разные годы.

ряда параметров модели сорта была вызвана итогами анализа взаимосвязи сбора зерна с 1 м² и элементами его структуры (см. рисунок). В 1993–2002 гг. на урожайность существенное влияние оказывали масса 1000 зерен, число колосков в колосе и масса зерна с колоса. В 2003–2013 гг. урожай зерна в основном был обусловлен густотой стеблестоя, числом колосьев на 1 м² и массой зерна с растения.

Поэтому модель сорта зернового тритикале на перспективу начали строить по этим признакам (табл. 1). Прогноз на основе регрессионного анализа показал возможность формирования на высоком агрофоне потенциальной продуктивности на уровне 10...11 т/га зерна, для чего густота посева должна составлять 750-800 колосьев/м², на среднем агрофоне величины этих показателей будут равны 8,0-8,5 т/га и 650-700 колосьев/м². Масса зерна с колоса при этом должна составлять соответственно 1,3-1,4 г и 1,15-1,25 г. Объективность этих параметров модели была подтверждена в 2016 г. (оптимальном по увлажнению). В конкурсном испытании на высоком агрофоне урожайность по сортам варьировала в пределах 9,9-11,53 т/га, а в среднем по опыту составляла 10,7 т/га, НСР = 0,9), на среднем агрофоне величины этих показателей были равны соответственно 7,9-9,2 т/га и 8,2 т/га (НСР = 0,8).

Это оказалось возможным благодаря увеличению числа продуктивных стеблей и зерен в колосе. Масса 1000 зерен осталась без изменения, что оптимизировало устойчивость растений к полеганию при большей густоте стеблестоя.

Кроме того, примерно на 10-15 см снизилась высота соломины (до 90-100). Поскольку, как и у озимой пшеницы, у тритикале существует довольно тесная корреляция между надземной массой и урожаем зерна ($0,69 \pm 0,09$), повышение уборочного индекса путем дальнейшего уменьшения высоты растений нецелесообразно. Это обусловит существенное снижение ёмкости депонирования продуктов фотосинтеза и урожая. Путем изучения корреляции между урожаем и продолжительностью вегетационного периода выявлено, что для региона лучше всего подходят среднеспелые генотипы. Скороспелые сорта становятся лидерами только в отдельные года. Хотя по плохим предшественникам их можно высевать.

Табл. 1. Основные параметры модели зернового сорта тритикале для условий Ростовской области

Показатель	Районированный сорт	Модельный сорт	
		высокий агрофон	средний агрофон
Потенциал урожайности, т/га	70-75	10-11	80-85
Масса зерна с колоса, г	1,0-1,15	1,3 - 1,4	1,15 – 1,25
Число колосьев на м ² , шт.	500-600	750-800	650-700
Отношение зерна к соломе, %	30	37	35
Элементы продуктивности:			
продуктивная кустистость, стеб./раст.	1,7-2	2-2,5	2,3
число зерен в колосе, шт.	28-30	35-38	30-32
масса 1000 зерен, г	36-45	36-45	36-45
Высота растений, см	105-120	90-100	95-110
Вегетационный период, дней, всего	214	211	214
посев – всходы	6-9	6-9	6-9
всходы – осенний конец вегетации	50-60	50-60	50-60
колошение – созревание	35-40	36-42	36-42
Устойчивость к полеганию, балл	8	9	9
Зимостойкость при t -20° на глубине узла кущения, %	60-68	70-80	70-80
Критическая температура вымерзания, °C	- 20°	- 21°	-21°
Устойчивость к майским заморозкам в период стеблевания, °C	-10°	-12°	-12°
Число дней противостояния ледяной корке 2-3 см в зимний период, дн.	45	60	60
Засухоустойчивость (глазомерно*), балл	5	5	5
Поражение болезнями: снежная плесень, балл	0	0	0
мучнистая роса	0	0	0
бурая ржавчина, %	1-5	1,0	1,0
корневые гнили, %	21	10-12	10-12
септориоз, балл	1,5	0	0
пиренофороз, балл	1	0	0
вирусная крапчатость, балл	1	0	0
вирусы ВЖКЯ, полосатая мозаика пше-ницы, балл	0-1	0	0
Повреждение злаковой мухой, %	24	8-10	8-10

*окончательно засухоустойчивость определяется по массе зерна с растения и 1 м², в сравнении со стандартом.

Учитывая суровые зимы 60-80 гг. XX в., несколько поднята планка устойчивости растений к морозам (минус 20-21°C на глубине залегания узла кущения), ледяной корке (выдерживать до 60 дней залегания), весенним заморозкам (минус 11-12 °C). Селекционная практика свидетельствует о возможности такой генетической изменчивости у тритикале. Основным критерием при отборах на жаро-засухоустойчивость служить масса зерна с растения и 1 м².

Отдельным блоком стоит устойчивость к болезням. Тритикале, как правило, не поражают снежная плесень, мучнистая роса, ржавчины (бурая, желтая, у многих сортов стеблевая) и вирусы. Однако после 8-10 лет использования ряд сортов теряют устойчивость к бурой ржавчине. Поэтому желательны генотипы с постоянно высокой резистентностью к ржавчине. Тритикале восприимчиво к септориозу и пиренофорозу. Нужны генотипы, не поражающиеся этими болезнями. Традиционно культура поражается корневыми гнилями. Модель предусматривает уменьшение их вредоносности минимум наполовину (с 21 % до 10-12 %).

В селекционной практике используют такой показатель интенсивности работы листьев (косвенно – интенсивность фотосинтеза), как отношение размеров урожая к площади листьев [11]. На основе измерения его величины у сортов-лидеров установлены средние

значения (табл. 2), которые сейчас уточняются. В условиях высоких температур и частых ветров-суховея более благоприятна горизонтальная ориентация листьев в пространстве: это создает затенение, интенсивность транспирации под листом меньше, чем на поверхности.

Важное значение в модели имеет качество продукции (табл. 3). Учитывая, что зерно тритикале используют для приготовления муки и круп, выпечки хлеба и кондитерских продуктов, производства крахмалопродуктов и биоэтанола возникла необходимость в сырье с разным содержанием ингредиентов для той или иной технологии.

Табл. 2. Физиологические аспекты модели

Физиологический аспект	Районированный сорт	Модельный сорт	
		высокий агрофон	средний агрофон
Отношение урожая зерна к площади листьев:			
влажный год;	1,3	1,5	1,4
сухой год	1,6-2,0	1,6-2,5	1,6-2,5
Ориентация листьев в пространстве	горизонтальная	горизонтальная	горизонтальная

Табл. 3. Параметры качества зерна тритикале для различных целей использования

Показатель	Райони- рованный сорт	Модельный сорт	
		высокий агрофон	средний агрофон
Для хлебопекарных			
Натура, г/л	740	750	750
Стекловидность, %	80-85	80-85	80-85
Содержание сырой клейковины. %	21,4	24-26	24-26
Содержание сырого протеина, %*	13-15	13-15	13-15
Показатель альвеографа, е.а.	150	200-220	200-220
Пористость хлеба, балл	3,8	4,0	4,0
Объемный выход хлеба (по Белоусовой), см³	600-700	750-850	750-850
Общая оценка качества хлеба, балл	3,4	4,0	4,0
Число падения, сек.	180	>260	>260
Для производства кондитерских изделий			
Число падения (высокий амилолитический уровень)	80	80-100	80-100
Количество клейковины и ее группа	любые		
Содержание белка, %	10-14	12-14	12-14
Содержание лизина в белке, %	2-3	3-3,7	3-3,7
Для производства крахмалопродуктов			
Содержание крахмала, %	65-67	67-70	67-70
Водорастворимые вещества, не более, %	7-8	7-8	7-8
Мелкие зерна крахмала, не более, %	5	5	5
Для производства биоэтанола			
Содержание крахмала, %	65-67	67-70	67-70
Доля амилозы в крахмале, не более, %	23-25	19-20	19-20
Для производства спагетти, круп, макаронных изделий, манки			
Содержание белка, %	12-14	12-14	12-14
Содержание каротиноидов, мкг/ %	380-500	400-500	380-500

Табл. 4. Параметры модели сорта тритикале на зеленую массу

Показатель	Районированный сорт	Модельный сорт
Потенциал урожайности зеленой массы, т/га	65-70	75-95
Высота стебля, см	150-160	170-180
Урожайность семян, т/га	3,0-6,5	4,0-4,5
Урожайность сухого вещества, т/га	13-14	18-19
Содержание в зеленой массе, %:		
листьев	18-20	24-28
стеблей	80-82	72-76
Содержание в зеленой массе каротина, мг/кг	60-80	100-120
Содержание в сухом веществе, %:		
белка	8-11	11-12
сырого жира	4,0-4,4	4,5-4,9
кальция	0,22	0,22
сахаров	20,8	21,6
БЭВ	45	46-47
сырой клетчатки	35,0	34-34,5
зола	7,3	7,3
Вегетационный период, дней:		
всего	246	240-260
посев – всходы	9	9
начало весенней вегетации – колошение	50	55
колошение – созревание	38-42	43
Продолжительность использования зеленой массы, дней	8-11	12-15
Устойчивость к полеганию в укосной спелости, балл	6	8-9
Продуктивная кустистость, стеблей/растение	4,0-4,5	4,0-4,7
Число зерен в колосе, шт.	50	50-52
Масса 1000 зерен, г	30,0-37,0	32,0-39,6
Осыпаемость, балл	5	5
Морозостойкость, КНТ, % (-20° на узлу кущения)	90	92-94
Зимостойкость, балл	5	5
Засухоустойчивость, балл	5	5
Поражение болезнями:		
Бурая ржавчина, %	0	0
Мучнистая роса, %	0	0
Снежная плесень, балл	1,5-2	0-1,0
Повреждение злаковой мухой, %	14	13

Исследования, выполненные совместно с ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности РАН [12], позволили определить, что при селекции сортов, предназначенных для выращивания продовольственного зерна с целью хлебопечения, количество белка и клейковины в зерне должно находиться на уровне 13-14 % и 24-26 % соответственно, число падения – не менее 260 с, стекло-видность – 80-85 %. При опарной технологии выпечки хлеба из такого зерна получаются булки с объемом 750-800 см³. При использовании технологии выпечки хлеба из тритикалевой муки за 90 минут без сахара, дрожжей и заквасок с использованием вспенивателя теста, разработанной инженером Евсеевым В.Н., роль содержания белка и клейковины сводится к минимуму.

Зерно для кондитерского производства должно отличаться высоким амилолитическим уровнем (80-100

с), содержанием белка в зерне – 12-14 %, лизина в белке – до 3,7 %, качество клейковины может быть любым [13]. Селекция на высокое содержание α -амилазы в зерне, пожалуй, одна из наименее сложных задач. Этот признак наследуется в основном по типу полного доминирования, то есть основополагающее значение будут иметь родительские формы.

В зерне тритикале для производства крахмалопродуктов и биоэтанола содержание крахмала должно составлять 67-70 %. Качество сырья регламентируется по концентрации водорастворимых веществ и доле мелких гранул крахмала [14]. У гибридов F₁ содержание крахмала чаще наследуется промежуточно (неполное доминирование) или по типу депрессии, особенно при засухах. Причина общеизвестна – отчетливо выраженный антагонизм при метаболизме азотистых веществ и

углеводов. Однако гетерозис все-таки проявляется на уровне 8-17 % по годам.

В бродильном производстве также нужно сырье с содержанием крахмала до 70 %. При этом имеются ограничения по доле амилозы в крахмале, у новых генотипов она должна быть не более 19 % [15]. Идеальное сырье без амилазы – сорт с генами *Wx1*. Для производства высококачественных круп и спагетти требуется зерно с содержанием каротиноидов на уровне 400-500 мкг/%, белка – 12-14 % [16]. Проявление гетерозиса по количеству каротина в зерне в F_1 наблюдается крайне редко, в пределах 0-4 %. Результативней использовать в качестве одного из родителей при гибридизации высококаротиноидную (ВК) форму. При беккроссах с ВК линиями нарастание количества каротиноидов происходит постепенно. Поэтому беккросс должен быть не один.

Отдельная модель сорта разработана для кормового тритикале (табл. 4). Потенциальная урожайность зеленой массы в оптимальный год на высоком агрофоне в период начала выколашивания (до 3-5 % колосьев) реальна на уровне 75-90 т/га, сухого вещества – до 19 т. В среднем его получается 20 %, хотя по сортам есть существенные отклонения в большую или меньшую сторону. Такую урожайность довольно часто отмечали в конкурсных испытаниях. Например, в 2018 г. сбор зеленой массы сорта Аграф составил 80,2 т/га, Торнадо – 82,6, Арго – 89,4, Стюард – 90 т/га. (НСР = 1,5 т/га). Он обусловлен высотой растения до 180 см, продуктивным кущением (более 4 стеблей), устойчивостью к полеганию в стадии уборочной зрелости и к болезням листьев. Пестицидное прикрытие не требуется. Продукция получается экологически безопасной. Растения должны быть хорошо облиствены (доля листьев в структуре надземной массы до 28 %). Продолжительность вегетационного периода больше, чем у зерновых сортов, в среднем на 15-20 дней. Для зеленого конвейера необходимы сорта, одновременно подходящих к укосной спелости. Например, у сорта Аллегро длительность вегетационного периода составляет 210 дней, Аграф – 220, Торнадо – 240 дней. Это также нужно еще для оптимизации уборочных работ при заготовке сена, сенажа и зерносенажа. Содержание протеина в зеленой массе должно составлять 11-12 %, каротина – 120 мг и др. Все другие свойства, связанные со средой обитания аналогичны зерновым формам.

Таким образом, в донской засушливой степи, где урожай озимых культур зависит от количества продуктивной влаги в метровом слое, накопленного в осенне-зимний период, зерновое и кормовое тритикале способно сформировать 10 т/га зерна и 80-90 т/га зеленой массы. На основе изучения корреляций и результатов регрессионного анализа разработаны модели для обоих направлений. Их объективность подтверждена реальными урожаями зерна и зеленой массы.

Литература.

1. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Some aspects of the Winter wheat selection for winter hardiness in the

- conditions of changing climate // *Russian agricultural sciences*. 2015. Vol. 41. No. 1. P. 1–4.
2. Мичурин И.В. Избранные сочинения. М.: Госиздат с.-х. литературы, 1955. 450 с.
3. Вавилов Н.И. Избранные труды. М.-Л.: Колос, 1962. 268 с.
4. Сечняк Л.К., Сулима Ю.Г. Тритикале. М.: Колос, 1984. 317 с.
5. Медведев А.М., Медведева Л.М. Изучение тритикале в Нечерноземной зоне // *Тритикале России. Селекция, агротехника, использование сырья из тритикале: мат. заседания секции тритикале РАСХН. Ростов-на-Дону: Изд. «Юг» 2000. Вып. 3. С. 120–140.*
6. Гончаров С.В. Параметры модели сорта озимой тритикале для ЦЧР РФ // *Тез. Докладов II съезда Вавиловского общества генетиков и селекционеров. С Пб.: СПбГУ, 2000. Т. 1. С. 99–100.*
7. Орлова Н.С. Селекция зерновых форм озимой тритикале // *Актуальные вопросы генетики и селекции. Кишинев: Штиинца, 1991. С. 71–73.*
8. Результаты селекции тритикале в Краснодарском НИИСХ им. П.П. Лукьяненко: мат-лы межд. науч.-практ. конф. / В.Я. Ковтуненко, В.Б. Тимофеев, В.В. Панченко и др. // *Тритикале. Генетика, селекция, агротехника, использование зерна и кормов. Ростов-на-Дону: Изд. «Юг». Вып. 4. С. 96–12.*
9. Щипак Г.В. Тритикале і пшениця: селекція на адаптивність, урожайність, якість. Київ: Автопол, 2019. 479 с.
10. Грабовец А.И. Состояние и направления селекции тритикале // *Тритикале России. Селекция, агротехника, использование сырья из тритикале: мат. заседания секции тритикале РАСХН. Ростов-на-Дону: Изд. «Юг», 2000. С. 6–12.*
11. Осипов Ю.Ф., Фадеева О.И., Феодулов Ю.П. Рекомендации по разработке моделей сортов озимой пшеницы в зоне Северного Кавказа // *Применение физиологических методов при оценке селекционного материала в моделировании новых сортов сельскохозяйственных культур. М.: ВАСХНИЛ, 1983. С. 26–31.*
12. *Breeding of triticale for baking purposes / A.I. Grabovets, A.V. Krockhmal, G.F. Dremucheva, et al. // Russian agricultural sciences. 2013. Vol. No. 39. 3. P. 197–202.*
13. *Grabovets A.I., Popova O.G. Breeding of winter triticale for use in confectionary production // Russian agricultural sciences. 2015. Vol. 41. No. 6. P. 411–414.*
14. *Problems of breeding triticale with a high grain starch content and its use / A.I. Grabovets, N.R. Andreev, A.V. Krockhmal, et al. // Russian agricultural sciences. 2013. Vol. 39. No. 5–6. P. 399–402.*
15. Селекция тритикале для бродильного производства: итоги и проблемы / А.И. Грабовец, М.Б. Оверченко, Н.И. Игнатова и др. // *Зернобобовые и крупяные культуры. 2015. № 2 (14). С. 63–67.*
16. *Grabovets A.I., Krockhmal A.V., Svirev S.V. High-carotinoid triticale: breeding and use // Russian agricultural sciences. 2018. Vol. 44. No. 5. P. 401–405.*

Поступила в редакцию 03.08.20

После доработки 12.10.20

Принята к публикации 16.12.20

СЕЛЕКЦИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫМ БОЛЕЗНЯМ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ*

Е.И. Гульяева¹, доктор биологических наук, В.А. Тюнин², доктор сельскохозяйственных наук,
Е.Р. Шрейдер², кандидат сельскохозяйственных наук, И.Ю. Кушниренко², кандидат биологических наук,
Е.Л. Шайдаюк¹, Н.М. Коваленко¹, кандидат биологических наук,
Н.П. Бондаренко², кандидат сельскохозяйственных наук, М.А. Колесова³, кандидат биологических наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608, Санкт-Петербург-Пушкин, ш. Подбельского, 3,
E-mail: eigulyaeva@gmail.com

²Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
456404, Челябинская обл., Чебаркульский район, п. Тимирязевский, ул. Чайковского, 14
³Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42

Изучали устойчивость к листовым и стеблевым болезням у 14 перспективных линий яровой мягкой пшеницы, созданных в Челябинском НИИ сельского хозяйства (ЧНИИСХ) с использованием доноров, несущих чужеродный генетический материал. Оценку устойчивости к болезням (бурой, стеблевой ржавчине, септориозу, пиренофорозу) проводили на инфекционном участке ЧНИИСХ в 2019 г. с момента появления первых симптомов. В лабораторных условиях изучили ювенильную устойчивость линий в фазе проростков. С использованием молекулярных маркеров идентифицировали гены устойчивости к бурой (Lr) и стеблевой (Sr) ржавчине. В полевых условиях высокий уровень групповой устойчивости к ржавчинам и пятнистостям показали линии Эритроспермум (Эр.). 26620, Лютеценс (Лют.) 26708, Ферругинеум (Ферр.) 26768 и Эр. 26762. Линии Лют. 26708 и Ферр. 26768 также были устойчивы в фазе проростков. У 79 % изученных линий отмечена устойчивость к бурой и стеблевой ржавчине в фазе проростков и взрослых растений. С использованием молекулярных маркеров у них выявлены высокоэффективные гены LrSp и Lr24/Sr24, которые встречались по отдельности или в комплексе с малоэффективными генами Lr1, Lr3, Lr10, а также эффективные в защите от бурой ржавчины комбинации генов Lr9+Lr26/Sr31 и Lr21+Lr34/Sr57. Исследованные линии характеризовались комплексом хозяйственно-ценных признаков (устойчивость к полеганию, качество зерна, урожайность). По совокупности показателей хозяйственно-ценных признаков и групповой устойчивости к болезням выделена линия Ферр. 26768 с комбинацией генов Lr34/Sr57+Lr21+Lr10, ранее не использовавшихся в селекции пшеницы в России.

BREEDING OF SPRING BREAD WHEAT FOR RESISTANCE TO FOLIAR DISEASES IN THE SOUTHERN URAL

Gulyaeva E.I.¹, Tyunin V.A.², Shreyder E.R.², Kushnirenko I.Yu.²,
Shaydayuk E.L.¹, Kovalenko N.M.¹, Bondarenko N.P.², Kolesova M.M.³

¹All-Russian Institute of Plant Protection,
196608, St.Petersburg-Pushkin, shosse Podbelskogo, 3
E-mail: eigulyaeva@gmail.com

²Chelyabinsk Scientific Research Institute of Agriculture,
456404, Chelyabinskaya obl., Chebarkul'skiy r-n, pos. Timiryazevskiy, ul. Chaikovskogo, 14
³Federal research center "Vavilov all-Russian Institute of Plant Genetic Resources" (VIR),
190000, St.Petersburg, ul. Bol'shaya Morskaya, 42

Resistance to foliar diseases was studied for 14 advanced bread spring wheat lines developed in the at the Chelyabinsk Research Institute of Agriculture. Wheat lines were received using donors with alien genetic materials. Diseases assessment (leaf and stem rust, *Paragonospora nodorum* leaf blotch, tan spot) studied at the adult plant stage in the infection nursery of the Chelyabinsk Scientific Research Institute of Agriculture in 2019 and in the seedling stage in laboratory. By molecular markers resistance genes to leaf (Lr) and stem (Sr) rust were identified. Line Er. 26620, Lut. 26708, Ferr. 26768 and Er. 26762 showed the high level of multiple resistance. While lines Lut. 26708 and Ferr. 26768 also were resistant at the seedling stage. The most of studied lines (79%) were resistant to leaf and stem rust during all vegetation. By molecular markers the highly effective genes LrSp and Lr24/Sr24 occurring in single or in complex with noneffective genes Lr1, Lr3, Lr10, and also effective combination of genes Lr9+Lr26/Sr31 and Lr21+Lr34/Sr57 were found. The studied lines along with diseases resistance are promising in terms of a set of economically valuable attributes (lodging resistance, grain quality, yield). Based on a combination economically valuable traits and multiple resistance to pathogens the line Fer.26768 with a combination of the genes Lr34/Sr57 + Lr21 + Lr10 not previously used in breeding in Russia was selected.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, бурая ржавчина, стеблевая ржавчина, пятнистости, септориоз, пиренофороз, гены устойчивости

Key words: *Triticum aestivum*, leaf rust, stem rust, spots, septorios, tan spot, resistance genes

Яровая мягкая пшеница – ведущая зерновая культура на Южном Урале. На ее долю приходится более 40 % посевных площадей региона. Важные факторы, лимитирующие производство пшеницы, – засуха и

поражение болезнями, среди которых экономически значима бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia tritici* Erikss.). В годы эпифитотии потери урожая от этого заболевания могут превышать 30 % [1]. Начиная

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-016-00052 а

с 2010 гг., в регионе происходит нарастание других листостебельных болезней – стеблевой ржавчины (*P. graminis* f.sp. *tritici* Eriks. et Henn) и пятнистостей (септориоз (*Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl. = *Septoria nodorum*), пиренофороз (желтая пятнистость, *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechsler).

Актуальная проблема современной селекции мягкой пшеницы – расширение генетического разнообразия по устойчивости к биотическим и абиотическим стрессовым факторам. В Челябинском НИИ сельского хозяйства (ЧНИИСХ) проводится целенаправленный отбор на устойчивость к этим факторам с привлечением доноров чужеродных транслокаций и генов устойчивости. В 1980-1990-х гг. активно использовались доноры гена *Lr9* (= *LrTr*), интродуцированного от *Aegilops umbellulata* [2]. Широкое распространение сортов с *Lr9* (Дуэт, Челябин 2, Памяти Рюба, Челябин юбилейная, Челябин ранняя, Челябин степная) на Южном Урале привело к появлению в 2007 г. новых вирулентных рас [3]. Для продления срока «полезной жизни» гена *Lr9* были предприняты попытки найти его эффективные комбинации с другими *Lr*-генами. Результатом этих исследований стал сорт яровой мягкой пшеницы Силач, несущий сочетание генов *Lr9* и *Lr26*. По отдельности они не обуславливают защиты от бурой ржавчины в условиях Южного Урала, но их пирамидирование при этом эффективно. Обусловлена такая ситуация тем, что в популяциях *P. triticea*, изоляты вирулентные к обоим этим генам или отсутствуют, или редко встречаются [4].

В 2012 г. в Государственный реестр селекционных достижений РФ [5] был включен сорт Челябин 75, впервые созданный с использованием линии типа «кукушка» с транслокацией от *Aegilops speltoides* Zhuk [6]. С использованием молекулярных маркеров [2] показано, что сорт Челябин 75 защищен геном *LrSp*, который отличается от ранее перенесенных в мягкую пшеницу от *Ae. speltoides* (*Lr28*, *Lr35*, *Lr47*, *Lr51*) [7]. Ген *LrSp* обеспечивает высокий иммунитет к бурой ржавчине в условиях Южного Урала и других регионов России в течение длительного периода.

В Государственном реестре селекционных достижений РФ для возделывания в Уральском регионе [5] рекомендовано 68 сортов яровой мягкой пшеницы, в том числе 9 сортов селекции ЧНИИСХ (Эритроспермум 59, Дуэт, Челябин 2, Челябин юбилейная, Челябин степная, Челябин 75, Уральская кукушка, Челябин ранняя, Силач). При этом несомненные лидеры по распространению в Челябинской области – сорт Челябин 75 (119,5 тыс. га, или почти 25 % всех сортовых посевов пшеницы), Эритроспермум 59 и Дуэт (37 и 35 тыс. га соответственно).

Для расширения генетического разнообразия культурных сортов пшеницы в ЧНИИСХ привлекают новых доноров с генетическим материалом видов *Secale cereale* L., *Agropyron elongatum* (Host) P. Beauv., *Agropyron intermedium* (Host) Beauv., *Ae. tauschii* (Coss.) Schmalh., *Triticum ventricosum* (Tausch) Ces. Pas. and Gib. и др. Создан перспективный селекционный материал, который в недалеком будущем может стать альтернативой современному сортименту пшеницы, возделываемому на Южном Урале. Для ускорения селекционного процесса с 2015 г. используются молекулярные технологии, что позволяет отбирать генотипы с определенными сочетаниями генов.

Цель наших исследований – характеристика устойчивости перспективных линий яровой мягкой пшеницы, созданных в ЧНИИСХ, к листостебельным болезням, и изучение их генетического разнообразия с использованием молекулярных маркеров.

Методика. В исследования были включены 14 перспективных линий яровой мягкой пшеницы. Линии Лютеценс (Лют.) 26534, Эритроспермум (Эр.) 26596, Эр. 26620 отобраны по результатам конкурсного сортоиспытания в 2019 г., линии Мильтурум (Мильт.) 26690, Лют. 26708, Лют. 26720, Эр. 26725, Эр. 26762, Ферругинеум (Ферр.) 26727, Ферр. 26757, Ферр. 26768, Ферр. 26770, Ферр. 26774, Эр. 26775 – по результатам изучения в контрольном питомнике. В качестве стандартов использовали районированные сорта Эритроспермум 59, Дуэт, Челябин 2 и Челябин 75.

Оценку устойчивости образцов пшеницы к листостебельным болезням проводили начиная с момента появления первых симптомов болезней на селекционном участке ЧНИИСХ в 2019 г. на искусственном (бурая, стеблевая ржавчина) и естественном (септориоз и пиренофороз) инфекционных фонах. Степень поражения линий бурой и стеблевой ржавчинами по шкале Петерсона [8], пятнистостями – по шкале Saari и Prescott [9].

Метеорологические условия периода вегетации 2019 г. в целом способствовали формированию приемлемого урожая яровой пшеницы, проведению необходимых учетов, наблюдений и селекционных отборов. Запасы влаги на конец апреля были удовлетворительными – в пределах 120-135 мм в слое 0-100 см, что обеспечивало хорошую полевую всхожесть. Летний период характеризовался неравномерным распределением тепла, недобором осадков с мая по август и избытком осадков в сентябре. С мая по август выпало 188,8 мм при норме 231 мм (82 %). ГТК Селянинова за этот же период составил 0,9, при норме 1,3, сумма положительных температур достигла 2055 °C при норме 1839 °C. Наиболее критичными для растений были условия в фазы выхода в трубку и колошения, когда наблюдали высокие температуры и сухость воздуха. Неблагоприятными оказались условия и в период уборки: обильные осадки в сентябре (69,1 мм при норме 40 мм, или 173 % от среднееголетней нормы) вызвали неизбежные потери части урожая и снизили его качество. На естественном инфекционном фоне на восприимчивых контролях развитие пятнистостей листьев превышало 40 %.

Ранее в полевых условиях учеты пятнистостей в ЧНИИСХ осуществляли без разделения на виды (по общему поражению листовой поверхности пятнами), поскольку симптомы желтой пятнистости сложно отличить от септориоза даже специалистам. В 2019 г. впервые провели визуальную оценку поражения изучаемого материала каждым видом пятнистости. Дополнительно для уточнения вида патогена с каждой линии были собраны листья с пятнами и изучены в лабораторных условиях с использованием метода микрокопирования и питательных сред. Такой комплексный подход позволил оценить распространенность пятнистостей этих видов в условиях Южного Урала.

Иммунологические исследования материала в фазе проростков осуществляли в лабораторных условиях Всероссийского НИИ защиты растений.

Устойчивость линий к бурой ржавчине в лабораторных условиях изучали с использованием трех тест-клонов (Pt: k9, k19, k26) и сборной челябинской популяции *P. triticea* (p_Ch). Используемый инокулюм был авирулентен к изогенным линиям Thatcher и сортам с генами *Lr24*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr39*(=41), *Lr45*, *Lr47*, *Lr50*, *Lr51*, *Lr53*, но вирулентен к *Lr1*, *Lr2b*, *Lr2c*, *Lr3a*, *Lr3bg*, *Lr3ka*, *Lr10*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr18*, *Lr30*. Варьирование вирулентности между клонами и популяциями

Табл. 1. Устойчивость перспективных линий яровой мягкой пшеницы к листовым болезням (2019 г.)*

Линия	Пораженность в полевых условиях, %				Тип реакции в фазе проростков, балл							Идентифицированные <i>Lr</i> и <i>Sr</i> гены
	стеблевая ржавчина	бурая ржав- чина	септо- риоз	пирено- фороз	ржавчин					септо- риоз	пирено- фороз	
					сте- блевая	бурая (Pt)						
						k9	k19	k26	p_Ch			
Лют. 26534	1-5 MSS	0	5	1	3-4	3	0-1	3	3	5	3	
Эр. 26596	01 MR	0	5	1	1-2	0	0	0	0	4	3	<i>Lr10 LrSp Lr34/Sr57</i>
Эр.26620	0	0	1	0	1-2	0	0	-	0	5	3	<i>Lr9 Lr10 Lr26/Sr31</i>
Лют. 26708	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	<i>Lr3 Lr10 +Lr6Agi2?</i>
Лют. 26720	0	0	5	0	0-1	3	3	3	3	5	2	<i>Lr1 Lr3 Lr10</i>
Милът.26690	0	0	20	1	0	0	0	0-1-2	0	5	3	<i>Lr1 Lr3 Lr10 +?</i>
Ферр. 26727	0	0	15	1	0-1	0	0	0	0	5	3	<i>Lr10 Lr24/Sr24</i>
Эр. 26725	0	1 MR	5	10	0	0	0	0	0	5	3	<i>Lr24/Sr24</i>
Ферр. 26757	0	0	10	10	-	0	0	0	0	5	3	<i>Lr1 Lr3 Lr10 LrSp</i>
Ферр. 26768	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	<i>Lr10 Lr34/Sr57 Lr21</i>
Ферр. 26770	0	0	5	0	0-1	0-1	0	0	0	3	-	<i>Lr10 Lr34/Sr57 Lr21</i>
Ферр. 26774	0	0	5	0	0	0	0	0-1	0	3	2	<i>Lr10 Lr34/Sr57 Lr21</i>
Эр. 26762	0	0	1	1	0	0	0	0-1	0	5	3	<i>Lr26/Sr31</i>
Эр. 26775	0	0	5	0	0	1-2	0	3	3	4	3	<i>Lr10+?</i>
Эр. 59	10 MS-S	50 S	10	0	3	3	3	3	3	5	3	
Дуэт	30 S	50 S	10	1	3	3	0	0	0	5	3	<i>Lr9 Lr10</i>
Челяба 2	40 S	40 S	5	0	3	3	0	0	0	5	3	<i>Lr9 Lr10</i>
Челяба 75	01 MR	0	10	1	2	0	0	0	0	4-5	2	<i>Lr1 Lr10 LrSp</i>

*реакция на бурую и стеблевую ржавчины: MR – умеренная устойчивость (баллы 1, 2); MS – умеренная восприимчивость (баллы 2, 3), S – восприимчивость (балл 4); септориоз, пиренофороз: баллы 0, 1, 2 – устойчивость, 3 – умеренная восприимчивость, 4, 5 – восприимчивость.

наблюдали на линиях с генами *Lr2a*, *Lr9*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr19*, *Lr20* и *Lr26*. Устойчивость к стеблевой ржавчине оценивали с использованием сборной челябинской популяции *P. graminis*, которая характеризовалась авирулентностью к образцам пшеницы с генами *Sr24*, *Sr25* и *Sr31*. Учет типа реакции к ржавчинам проводили через 8-10 дней после инокуляции с использованием для бурой ржавчины шкалы Майнса и Джексона, для стеблевой – Стэкмана и Левина [8]. Растения с оценками 0, 1, 2 балла относили к устойчивым, 3, 4, X – к восприимчивым.

Устойчивость к септориозу определяли с использованием северо-западной популяции *P. nodorum*, к пиренофорозу – челябинской популяции *P. tritici-repentis* [10]. Тип реакции определяли через 6-7 дней после инокуляции по 5-бальной шкале. Растения с оценкой 1, 2 балла относили к устойчивым; 3 балла – к умеренно-восприимчивым, 4, 5 баллами – к восприимчивым.

Молекулярные маркеры применяли при идентификации следующих генов устойчивости: *Lr1* (маркер WR003), *Lr3* (Xmwg798), *Lr9* (SCS5), *Lr10* (Fi.2245/Lr10-6/r2), *Lr19/Sr25* (SCS265), *Lr20/Sr15* (STS638), *Lr21* (Lr21L/R), *Lr24/Sr24* (Sr24#12, Sr24#50), *Lr25/Pm7* (Lr25F20/R19), 1BL.1RS (*Lr26/Sr31/Yr9/Pm8*)/1AL.1RS (SCM9), *Lr28* (SCS421), *Lr29* (Lr29F24), *Lr34/Sr57*

(csLV34), *Lr35/Sr39* (Sr39=22), *Lr37/Sr38/Yr17/Pch2/Cre5* (Ventriup/LN2), *Lr41* (GDM35), *Lr47* (PS10), *Lr51* (S30-13L/AGA7-759), *Lr66*(Sp) (S13-R16), *Sr35* (NL9) [11-13] (<https://maswheat.ucdavis.edu/protocols>).

Закладку опытов, учет хозяйственно-полезных признаков, оценку технологических качеств зерна и муки осуществляли по стандартным методикам [14] и ГО-СТам (13586.1-68, 10846-91). Хлебопекарные свойства оценивали при выпечке пробных образцов хлеба [15].

Результаты и обсуждение. В полевых условиях Южного Урала большинство изученных линий были иммунными к бурой и стеблевой ржавчинам (пораженность 0 %). Единичные пустулы *P. tritici-repentis* с умеренно-устойчивым типом реакции (1-2 балла) отмечали на линии Эр. 26725, *P. graminis* – на линии Эр. 26596 (табл. 1). Линия Лют. 26534 при слабом поражении стеблевой ржавчиной (1-5 %) имела восприимчивый тип реакции (3-4 балла). Развитие видов ржавчины на районированных сортах-стандартах варьировало от 10 до 50 %, за исключением сорта Челябин 75 (0 – бурая ржавчина, 0-1MR – стеблевая).

Согласно результатам визуальной диагностики в полевых условиях септориоз характеризовался более высоким развитием и распространением, чем пиренофороз, что подтверждено и в лабораторных исследова-

ниях. Изученные линии различались по устойчивости к указанным видам патогенов. Симптомов септориоза в полевых условиях не наблюдали на линиях Лют. 26708 и Ферр. 26768. Поражение до 1 % отмечено на линиях Эр. 26620 и Эр. 26762, до 5 % – Лют. 26534, Эр. 26596, Лют. 26720, Ферр. 26770, Ферр. 26774, Эр. 26725, Эр. 26775. Максимальное в опыте развитие септориоза (20 %) отмечено на линии Мильт. 26690, на районированных сортах-стандартах величина этого показателя варьировала от 5 до 10 %. В целом устойчивую реакцию к *P. nodorum* (пораженность 0-1 %) продемонстрировали 29 % линий.

Устойчивость линий к пиренофорозу была существенно выше – у 43 % линий симптомов болезни не выявлено, и у такого же количества – пораженность не превышала 1 %. Аналогичные результаты получены для сортов-стандартов. Только на двух линиях Ферр. 26757 и Эр. 26725 развитие пиренофороза достигало 10 %.

В результате полевой оценки выявлены линии Эр. 26620, Лют. 26708, Ферр. 26768 и Эр. 26762 с групповой устойчивостью к болезням (пораженность ржавчинами 0 %, пятнистостями 0-1 %).

В лабораторных условиях в фазе проростков все изученные линии показали устойчивость к челябинской популяции *P. graminis*, за исключением Лют. 26534. Районированные сорта Эритроспермум. 59, Дуэт, Челябинска 2 были восприимчивыми к этому возбудителю. Устойчивость к бурой ржавчине у изучаемых генотипов в фазе проростков оказалась ниже, чем к стеблевой: 78 % линий были резистентными к используемому тест-клонам и популяции *P. trititica*. Восприимчивую реакцию ко всем изолятам отмечали у линии Лют. 26720 и сорта Эритроспермум 59. Варьирование типа реакции наблюдали для линий Лют. 26534, Эр. 26775 и сортов Дуэт, Челябинска 2. Для большинства линий (за исключением Лют. 26720 и Эр. 26775) отмечена корреляция резистентности к бурой ржавчине в фазе проростков и взрослых растений, что указывает на

ювенильный тип их устойчивости и наличие высокоэффективных *Lr*-генов.

В фазе проростков у 11 (79 %) линий отмечали восприимчивую реакцию к возбудителю септориоза (балл 4-5). Умеренно восприимчивую реакцию (балл 3) наблюдали на линиях Лют. 26708, Ферр. 26768, Ферр. 26770, они же характеризовались устойчивостью в полевых условиях. Устойчивость к пиренофорозу была выше – умеренно-устойчивый тип реакции в лабораторных условиях (балл 2) продемонстрировали 28 % образцов.

В результате комплексной оценки устойчивости в фазе проростков и взрослых растений выделены две линии – Лют. 26708, Ферр. 26768 с высоким уровнем групповой устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине, септориозу и пиренофорозу.

С использованием молекулярных маркеров определено высокое генетическое разнообразие селекционных линий по устойчивости к бурой и стеблевой ржавчине. У них выявлены высокоэффективные гены *LrSp* и *Lr24/Sr24*, по отдельности и в сочетании с малоэффективными генами *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, а также эффективные комбинации ювенильных (*Lr9+Lr26/Sr31*) и возрастных (*Lr21+Lr34/Sr57*) генов (см. табл. 1). У высокоустойчивых к ржавчине линий Лют. 26720, Мильт. 26690, Эр. 26762, Эр. 26775 идентифицированы только малоэффективные гены *Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26* по отдельности или в разных комбинациях. Это предполагает наличие у них дополнительных генов, отличных от идентифицируемых.

Вероятный источник генов *Lr24* и *Sr24* у линий Эритр. 26725 и Ферр. 26727 – линия, отобранная из гибридной популяции № 208 (Омская 19/3/BAVAX/LR 42//BAVAX/4/ Омская 33), которую изучали в рамках 6-го Казахского питомника челночной селекции в 2007 г. Источником гена *Lr21* у линий Ферр. 26768, Ферр. 26770, Ферр. 26774 служит синтетический амфидиплоид, созданный с участием *Ae. tauschii* Coss. (Cros.1/*Ae. squarrosa*/Opata/3/Pastor/4/Japu). Эф-

Табл. 2. Показатели хозяйственно-ценных признаков и качества зерна (2019 г.)

	Урожайность, ц/га	Устойчивость к полеганию, балл	Продолжительность вег. периода, суток	Масса 1000 зерен, г	Содержание, %		ИДК, ед	Сила муки, е.а.	Натура, г/л
					белка	клейковины			
Лют. 26534	31,4	5	82	37,7	11,7	26,4	90	247	789
Эр. 26596	28,7	5	85	38,7	10,4	24,2	81	260	797
Эр. 26620	27,9	5	83	38,2	11,4	26,2	85	232	777
Лют. 26708	27,2	5	87	35,1	17,6	35,2	100	257	817
Лют. 26720	38,1	5	86	37,5	14,3	28,7	86	205	789
Мильт. 26690	34,2	5	87	43,6	13,1	26,3	81	204	807
Ферр. 26727	33,1	5	86	37,8	15,2	30	108	255	812
Ферр. 26757	29,9	5	83	37,5	14,6	30,5	92	309	765
Ферр. 26768	32,0	5	81	45,7	14,3	29,3	95	286	785
Ферр. 26770	30,0	5	86	51,5	17,1	32	90	348	789
Ферр. 26774	33,0	5	86	48,4	16,0	32,4	90	274	785
Эр. 26725	35,8	5	86	39,2	15,6	31,2	99	219	797
Эр. 26762	37,3	5	89	41,8	14,7	30,7	97	125	798
Эр. 26775	41,9	5	91	37,6	12,3	25,6	93	225	796
Эр. 59	37	5	87	37,8	13,0	29,4	91	241	784
Дуэт	34,4	4,5	82	38,4	11,4	25,8	85	217	778
Челяба 2	27,6	4,5	81	36,2	15,6	32,4	95	219	767
Челяба 75	29	5	86	36,5	13,2	29,0	88	226	772

фективность гена *Lr21* в России варьирует по регионам. Можно предположить, что пирамидирование гена *Lr21* с геном возрастной устойчивости *Lr34*, эффективно в защите от бурой ржавчины.

У линии Лют. 26708 с высоким уровнем групповой устойчивости, созданной с участием сортов Новосибирская 15 и Тулайковская 10, определены только малоэффективные гены *Lr1* и *Lr10*. Сорт Тулайковская 10 характеризуется высокой устойчивостью к бурой ржавчине и несет ген *Lr6Agi* от *Ag. intermedium* [16]. На основании анализа родословной можно предположить наличие этого гена у линии Лют. 26708.

У устойчивой к ржавчинам линии Эр. 26775 определен один малоэффективный ген *Lr10*. В ее родословной присутствует сорт Чебаркульская, созданный в ЧНИИСХ и устойчивый к ржавчинам. Ранее было показано, что *Lr*-гены у сорта Чебаркульская отличаются от известных эффективных генов, для которых подобраны молекулярные маркеры.

Перспективные линии, наряду с устойчивостью к болезням, характеризовались комплексом хозяйственно-ценных признаков (табл. 2). У всех генотипов отмечена высокая устойчивость к полеганию (5 баллов). По урожайности они были сопоставимы со стандартными сортами. При этом Лют. 26708, Ферр. 26770, Ферр. 26774 отличались высоким содержанием белка и клейковины в зерне, хорошей силой муки. Наиболее перспективна для передачи на Государственное сортоиспытание по совокупности признаков линия Ферр. 26768 с устойчивостью к ржавчинам и пятнистостям, а также другие линии этой группы (Ферр. 26770, Ферр. 26774).

Таким образом, по результатам проведенных исследований выявлен перспективный селекционный материал, устойчивый к болезням и обладающий комплексом хозяйственно-ценных признаков. Идентифицированные гены устойчивости к бурой ржавчине ранее не встречались не только у сортов селекции ЧНИИСХ, но и у других российских сортов. Распространение новых генотипов будет способствовать расширению генетического разнообразия сортов яровой пшеницы, возделываемых на Южном Урале и улучшению фитопатологической ситуации в регионе.

Литература.

1. Тюнин В.А., Шрейдер Е.Р. Особенности технологии селекции мягкой яровой пшеницы на устойчивость к углеводно-белковому истощению семян и другим стрессам в условиях Южного Урала. Челябинск: ГНУ Челябинский науч.-исслед. ин-т сельского хозяйства, 2010. 119 с.
2. Характеристика вирулентности популяций *Puccinia triticina* и перспективы использования генов *Lr24*, *Lr25*, *LrSp* в селекции яровой мягкой пшеницы на Южном Урале / В.А. Тюнин, Е.Р. Шрейдер, Е.И. Гуляева и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. Вып. 5. С. 523–529. DOI: 10.18699/VJ17.269.
3. Вирулентность патотипов возбудителя бурой ржавчины пшеницы к ТН LR 9 в регионах Сибири и Урала / Л.В. Мешкова, Л.П. Россеева, Е.Р. Шрейдер и др. // Вторая Всероссийская конференция. Современные проблемы иммунитета растений к вредным организмам. СПб.: ВИЗР, 2008. С. 70–73.
4. Мониторинг вирулентности и фенотипического состава популяции *Puccinia triticina* на Южном Урале в 2018 году / Е.И. Гуляева, Е.Р. Шрейдер, Е.Л. Шайдаюк и др. // Вестник защиты растений. 2019. № 2. С. 28–33.
5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Сорта растений. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. Т. 1. 680 с.
6. Одинова И.Г., Агафонова Н.А., Богуславский Р.Л. Интрогрессивные линии мягкой пшеницы с устойчивостью к бурой ржавчине, переданной от *Aegilops speltoides* // Исходный материал и проблемы селекции пшеницы и тритикале: сб. науч. тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. Л.: ВИР, 1991. Т. 142. С. 106–110.
7. Catalogue of gene symbols for wheat: supplement 2018 / R.A. McIntosh, J. Dubcovsky, W.J. Rogers, et al. // Annual wheat newsletter, 2018. Vol. 64. P. 84–86.
8. McIntosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rusts. An atlas of resistance genes. CSIRO Australia, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands, 1995. 213 p.
9. Saari E.E., Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases // Plant Disease Reporter. 1975. Vol. 59. P. 377–380.
10. Lamari L., Bernier C.C. Evaluation of wheat lines and cultivars to tan spot [*Pyrenophora tritici-repentis*] based on lesion type // Canadian Journal of Plant Pathology. 1989. Vol. 11. № 1. P. 49–56.
11. Validity of selected DNA markers for breeding leaf rust resistant wheat / L. Błaszczyk, I. Kramer, F. Ordon, et al. // Cereal Res. Comm. 2008. Vol. 36. P. 201–2013. DOI: 10.1556/crc.36.2008.2.1
12. Chelkowski J., Golka L., Stepien L. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher // Journal of applied genetics. 2003. Vol. 44. № 3. P. 323–338.
13. Attempts to remove gametocidal genes co-transferred to common wheat with rust resistance from *Aegilops speltoides* / G. F. Marais, T. A. Bekker, A. Eksteen, et al. // Euphytica. 2010. Vol. 171. P. 71–85. DOI 10.1007/s10681-009-9996-2
14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / ред. А.И. Григорьев. М.: Колос, 1989. 194 с.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / ред. М.А. Федин. М.: Колос, 1988. 121 с.
16. Сравнительный анализ 6Agi 1 и 6Agi2 хромосом *Agropyron intermedium* (Host) Beauv у сортов и линий мягкой пшеницы с пшенично-пырейными замещениями / С.Н. Сибикеев, Е.Д. Бадаева, Е.И. Гуляева и др. // Генетика. 2017. Т. 53. № 3. С. 298–309. DOI: 10.7868/S0016675817030110.

Поступила в редакцию 29.06.20

После доработки 15.09.20

Принята к публикации 09.12.20

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА И ОТБОР ОТЕЧЕСТВЕННОГО СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПО ПРОДУКТИВНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ КАЧЕСТВУ

Л.Н. Путилина, Н.П. Грибанова, кандидаты сельскохозяйственных наук,
Н.А. Лазутина

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова,
396030, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, д. 86
E-mail: lputilina@bk.ru

Цель исследований состояла в комплексной оценке продуктивности и технологических показателей селекционного материала сахарной свёклы и отборе конкурентоспособных гибридов. Объект исследований – простые и пробные гибриды сахарной свёклы отечественной селекции, в сравнении с групповым стандартом иностранных гибридов – Митики (Lion Seeds) и Дубравки (KWS). Исследования предусматривали полевой опыт и лабораторный анализ сахарной свёклы на автоматизированной линии Betalyser. Проанализировано 111 гибридов отечественной селекции, включающих 26 простых и 85 пробных. На основании комплексной оценки селекционного материала сахарной свёклы по продуктивности и технологическому качеству отобраны 4 простых и 6 пробных гибридов с высокими показателями сахаристости и прогнозируемого выхода сахара, которые превысили или находились на уровне группового стандарта по урожайности и сбору очищенного сахара. Особого внимания заслуживают пробные гибриды № 1262 и 1264, которые превзошли групповой стандарт по сахаристости на 0,55 и 0,60 %; прогнозируемому выходу сахара на заводе – на 0,48 и 0,63 %; урожайности – на 6,89 и 22,77 %; сбору очищенного сахара – на 10,10 и 27,69 % соответственно. Выделенные перспективные гибриды предложены селекционерам для дальнейшей работы.

COMPLEX EVALUATION AND SELECTION OF DOMESTIC SUGAR BEET BREEDING MATERIAL ON PRODUCTIVITY AND TECHNOLOGICAL QUALITY

Putilina L.N., Griбанова N.P., Lazutina N.A.

The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,
396030, Voronezhskaya oblast, Ramonsky rayon, p. VNISS, d. 86
E-mail: lputilina@bk.ru

Aim of the investigation consisted in a complex evaluation of sugar beet breeding material productivity and technological indices and selection of competitive hybrids. Object of the investigations was comparison of simple and trial domestic hybrids of sugar beet and group standard of the foreign hybrids: Mitiki (Lion Seeds) and Dubravki (KWS). The investigations included a field experiment, laboratory analysis of sugar beet using the computer-aided line Betalyser, and statistical data processing. 111 domestic hybrids including 26 simple and 85 trial ones were analysed. Based on the complex evaluation of sugar beet breeding material according to productivity and technological quality, 4 simple and 6 trial hybrids with high values of sugar content and predicted sugar output were selected. Their beet root yield and white sugar yield exceeded or were at level of the group standard. The trial hybrids No. 1262 and 1264 are worthy of special attention as they exceed the group standard in sugar content by 0.55 and 0.60 absolute %, predicted factory sugar output by 0.48 and 0.63 absolute %, beet root yield by 6.89 and 22.77 %, and white sugar yield by 10.10 and 27.69 %, accordingly. The chosen perspective sugar beet hybrids are suggested to breeders for further work and subsequent sending to State Committee for Variety Trials.

Ключевые слова: сахарная свёкла, отечественная селекция, простые и пробные гибриды, урожайность, технологическое качество, сбор очищенного сахара, перспективные гибриды

Key words: sugar beet, domestic hybrids, simple and trial hybrids, yield, white sugar yield, perspective hybrids

Сахарное производство – важнейшая отрасль во многих регионах мира. В России свеклосахарный комплекс представлен 1200 хозяйствами и 74 сахарными заводами общей мощностью 382 тыс. т в сутки. На протяжении последних 5 лет (2015–2019 гг.) средняя урожайность сахарной свёклы по стране увеличилась, по сравнению с 2005–2014 гг. на 26 %, сахаристость – на 5 %, биологический сбор сахара с 1 га посевов – на 33 %, достигнув в 2019 г. соответственно 47,0 т/га, 18,0 % и 8,5 т/га. Благодаря проведенной модернизации и реконструкции сахарных заводов за последние 5 лет повысилась эффективность работы перерабатывающих предприятий: общие потери сахарозы в производстве и мелассе снизились, в сравнении с сопоставляемым периодом, на 18 %, что позволило добиться увеличения выхода сахара на 7,6 % и довести его в среднем до 14,7 %. Повышение степени извлечения сахарозы в сочетании с ростом объемов перерабатываемого сырья стало

причиной того, что производство сахара в РФ за последние 5 лет превысило величину аналогичного показателя в 2005–2014 гг. в среднем на 67 % и достигло 6035 тыс. т.

При этом в последние годы отмечается увеличение использования гибридов сахарной свёклы зарубежной селекции. Более 98 % ее посевных площадей в России засевают импортным семенным материалом, что создает угрозу независимости и стагнации дальнейшего развития сахарной промышленности. В связи с этим, согласно принятой в декабре 2018 г. Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг. и входящей в нее подпрограмме «Развитие селекции и семеноводства сахарной свёклы в Российской Федерации» перед отечественными селекционерами была поставлена задача создания новых высокопродуктивных гибридов с высокими технологическими показателями, в наибольшей степени отвечающими требованиям переработки [1].

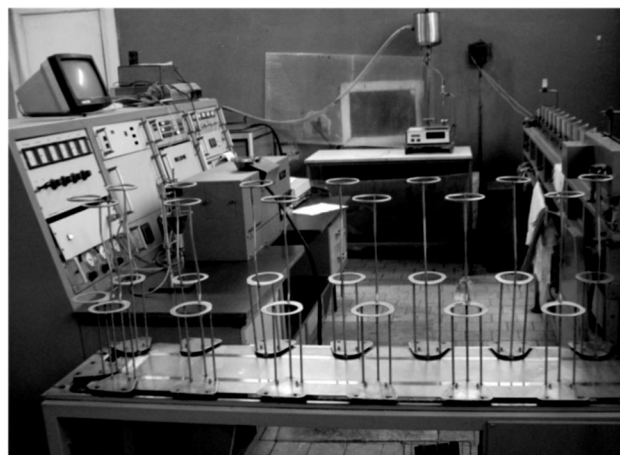


Рис. 1. Получение свекловичных дигератов на автоматизированной линии Veneta.



Рис. 2. Определение технологических показателей селекционных образцов сахарной свёклы на автоматизированной линии Betalyser.

Для получения конкурентоспособных гибридов сахарной свёклы большое значение имеет селекция на гетерозис, предусматривающая создание родительских форм, скрещивание и оценку утилитарных признаков. Непременное условие создания гибридов – полнота их переопыления. Эта задача решается путем использования материнского компонента с цитоплазматической мужской стерильностью (Sxxzz mm) и сростноплодного опылителя с высокой комбинационной и пыльцеобразовательной способностью (NXXZZ MM) [2, 3, 4].

Один из важных этапов создания гибридов сахарной свёклы на основе ЦМС – получение простых МС гибридов посредством проведения насыщающих, возвратных скрещиваний и гибридизации МС-форм с линиями закрепителями стерильности О-типа неродственного происхождения. Методом циклического скрещивания простых гибридов со сростноплодными опылителями получают пробные (гетерозисные) гибриды [5, 6].

Успешное решение селекционных задач по совершенствованию сортимента сахарной свёклы неразрывно связано с комплексной оценкой генетического потенциала родительских компонентов, простых и пробных гибридов по наиболее важным хозяйственно-полезным признакам. Как показывают результаты анализа работы селекционно-семеноводческих фирм

Европы и других стран – крупных производителей свекловичного сахара, отбор материала должен быть направлен не только на повышение потенциальной урожайности, но и на достижение высокого технологического качества корнеплодов [7].

В связи с изложенным, изучение гибридных комбинаций сахарной свёклы по продуктивности и технологическим показателям актуально и имеет важное практическое значение для селекционной работы. Цель наших исследований состояла в оценке и отборе простых и пробных гибридов с лучшими хозяйственно-полезными признаками.

Методика. Работу проводили в 2019 г. на базе ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова» (Воронежская область, Рамонский район). Объект исследований – простые и пробные гибриды сахарной свёклы отечественной селекции, гибриды иностранной селекции Митика (Lion Seeds) и Дубровка (KWS).

В посевах сравнительного испытания селекционного материала ВНИИСС были получены 111 гибридных комбинаций, включающих 26 простых и 85 пробных гибридов, в 4-х кратной полевой повторности – всего 444 образца. Корнеплоды исследуемых селекционных номеров оценивали по продуктивности и технологическому качеству. Гибриды иностранной селекции Ми-

Табл. 1. Комплексная оценка показателей технологического качества и продуктивности простых и пробных гибридов сахарной свёклы

Полевой номер	Показатели технологического качества				Показатели продуктивности, т/га	
	СХ, %	Пм, %	выход сахара, %	$K_{извл}^*$, %	урожайность	сбор очищенного сахара
St	18,08	1,40	15,68	86,72	34,69	5,44
Простые гибриды						
1113	+		+			
1120	+		+		-*	+
1121	+		+		-*	+
1123	+		+		-*	+
1124	+		+			
1126	+		+			
1202	+		+		-*	+
1207	+		+			-*
1209	+		+			
1210	+		+			
1211	+	-*	+	+		
Пробные гибриды						
1157	+	-*	+	+		
1158	+	-*	+	-*		
1163	+	-*	+	+		
1170	+	-*	+	+	-*	+
1173	+	+	+	+		
1174	+	-*	+	+		
1175	+	-*	+	+		
1220	+	-*	+	+		
1224	+	-*	+	+	-*	+
1261	+	-*	+	+	-*	-*
1262	+	-*	+	+	+	+
1263	+	+	+	+		+
1264	+	+	+	+	+	+
1265	+	+	+	+		
1266	+	+	+	+		-*
1268	+	-*	+	+	-*	+
1272	+	-*	+	+		

+ – анализируемые показатели лучше группового St (сахаристость выше на 0,5 % и более; потери сахара в мелассе ниже; прогнозируемый выход сахара выше на 0,2 % и более; коэффициент извлечения сахара из корнеплодов, урожайность и сбор очищенного сахара выше);
 -* – показатели на уровне группового St (превышение потерь сахара в мелассе < 0,1 %; $K_{извл}$ ниже St менее чем на 0,5 %; урожайность ниже St менее чем на 10 %; сбор очищенного сахара ниже St менее чем на 10 %).

тика и Дубровка использовали в качестве группового стандарта (St).

Критериями оценки селекционного материала служили такие технологические характеристики, как сахаристость, содержание несахаров (калия, натрия и α -аминного азота), потери сахара в мелассе, прогнозируемый выход и коэффициент извлечения сахара из свёклы, а также показатели продуктивности – урожайность и сбор очищенного сахара с 1 га посевов, интегрально объединяющий урожай корнеплодов и расчетный выход сахара на заводе.

Исследования предусматривали проведение полевого опыта и лабораторного анализа. В задачу полевых исследований в севообороте ВНИИСС входили посев

и выращивание селекционного материала на 1-рядковых делянках площадью 4,5 м² в 4-х кратной повторности с последующей оценкой его продуктивности.

Почва опытного участка – чернозём выщелоченный среднемощный с содержанием гумуса в пахотном слое 5,2-5,6 %, рН_{вод} – 5,4-5,6. Посев проводили 29 апреля, уборку корнеплодов – 23 сентября 2019 г.

В период вегетации сахарной свёклы температура воздуха в апреле и июне была выше среднемноголетней на 1,9 и 1,8 °С соответственно, а в остальные месяцы – ниже на 1,1-2,9 °С. Сумма осадков, кроме июля, была меньше среднемноголетней нормы в 1,2-5,4 раза. Меньше всего их выпало в июне (22,9 мм) и августе (13,7 мм), что ниже среднемноголетнего количества на 22,3 и 59,9 мм соответственно. Гидротермический коэффициент (ГТК) в апреле и июле находился на уровне 1,0 и 1,1 соответственно, что характеризует эти периоды как слабо засушливые; в мае и сентябре – 0,7 и 0,6 соответственно (очень засушливые); в июне и августе – 0,3 и 0,2 соответственно (сухие).

Для оценки технологических показателей корнеплодов исследуемого селекционного материала в лаборатории хранения и переработки сырья использовали экспресс-метод, включающий получение дигератов на автоматизированной линии *Venema* (рис. 1) и определение в них сахаристости, содержания калия, натрия и α -аминного азота на автоматизированной линии анализа сахарной свёклы *Betalyser* (рис. 2).

На основании результатов анализа селекционных образцов свёклы рассчитывали прогнозируемые потери сахара в мелассе по формуле Брауншвейгского университета; прогнозируемый выход сахара – как разницу между значениями сахаристости и потерями сахара в производстве и мелассе; коэффициент его извлечения – как отношение выхода сахара к сахаристости, умноженное на 100 % [8].

Результаты и обсуждение. По каждому исследуемому технологическому показателю были выделены лучшие, в сравнении с групповым стандартом, гибридные комбинации. Так, по сахаристости 13 (50 % от анализируемых соответствующих гибридных комбинаций) простых и 18 (21 %) пробных гибридов превошли St (18,08 %) на 0,5 % и более, величина этого показателя находилась у них на уровне 18,60-20,25 %.

Помимо сахаристости (СХ), определяющей качество сырья при его переработке на сахарных заводах, важно знать концентрацию щелочных ионов калия, натрия и α -аминного азота (α -NH₂), которые в сумме отражают общее содержание несахаров в корнеплодах, поскольку концентрация именно этих элементов оказывает значительное влияние на потери сахара в мелассе и, в конечном итоге, на выход готового продукта. Количество Na⁺ практически у всех исследуемых селекционных образцов было ниже группового стандарта (0,64 ммоль/100 г свёклы). Содержание K⁺ и α -NH₂, наоборот, превышало значения St (3,42 и 1,81 ммоль/100 г свёклы соответственно) за исключением единичных номеров. Только у 5 пробных гибридов (№ 1263, 1264, 1265, 1266, 1267) количество анализируемых мелассообразующих несахаров Na⁺, K⁺ и α -NH₂ было ниже значений St на 25,0-54,7 %, 1,5-11,1 % и 0,5-12,2 % соответственно.

Потери сахара в мелассе (П_м), рассчитанные по формуле Брауншвейгского университета, были ниже St (1,40 %) только у 7 пробных гибридов (на 0,03-0,14 %) и составили 1,26-1,37 %. Прогнозируемый выход сахара у 12 (46 %) простых и 26 (31 %) пробных гибридов достоверно превышал St (15,68 %) на 0,22-2,31 % и до-

Табл. 2. Селекционные номера сахарной свёклы, имеющие в совокупности лучшие показатели продуктивности и технологического качества

По- левой номер	CX, %	d, %*	Выход сахара, %	d, %	Уро- жай- ность, т/га	d ₁ , %**	Сбор очи- щенного сахара, т/га	d ₁ , %
St	18,08		15,68		34,69		5,44	
Простой гибрид								
1120	18,82	0,74	16,19	0,51	33,87	-2,36	5,48	0,80
1121	19,02	0,94	16,20	0,52	33,93	-2,19	5,49	0,98
1123	19,33	1,25	16,55	0,87	34,18	-1,47	5,66	3,99
1202	18,66	0,58	16,12	0,44	34,08	-1,76	5,49	0,99
Пробный гибрид								
1170	18,69	0,61	16,24	0,56	33,63	-3,06	5,46	0,46
1224	19,55	1,47	16,96	1,28	32,64	-5,90	5,54	1,84
1261	18,78	0,70	16,32	0,64	33,29	-4,04	5,43	-0,13
1262	18,63	0,55	16,16	0,48	37,08	6,89	5,99	10,10
1264	18,68	0,60	16,31	0,63	42,59	22,77	6,95	27,69
1268	18,60	0,52	16,14	0,46	34,59	-0,29	5,58	2,63
НСР _{0,5}		0,48		0,19		6,17		

*d – отклонение сахаристости и выхода сахара от стандарта в абсолютных процентах;
 **d₁ – отклонение урожайности и сбора очищенного сахара от стандарта в относительных процентах.

стигал 15,90-17,99 %. Коэффициент извлечения сахара из корнеплодов ($K_{извл.}$) анализируемых селекционных образцов только у 1 простого и 19 пробных гибридов был выше, чем у группового стандарта (86,72 %), на 0,03-2,12 %.

На основании результатов оценки селекционного материала сахарной свёклы по комплексу всех анализируемых технологических показателей были отобраны 11 простых и 17 пробных гибридов, формирующих корнеплоды лучшего качества (табл. 1).

В результате статистического анализа данных по показателям продуктивности установлено, что пробные гибриды № 1262 и 1264 превзошли групповой стандарт по урожайности корнеплодов на 6,89 и 22,77% (табл. 2). Кроме этого, у 4 простых (№ 1120, 1121, 1123 и 1202) и 4 пробных (№ 1170, 1224, 1261, 1268) гибридов она была на уровне 32,64-34,59 т/га, что ниже, чем у St (34,69 т/га) на 0,10-2,05 т/га (менее 10 %). Остальные анализируемые селекционные образцы значительно уступили иностранным гибридам по урожайности (отклонение превысило 10 %).

По сбору очищенного сахара 4 простых (№ 1120, 1121, 1123 и 1202) и 6 пробных (№ 1170, 1224, 1262, 1263, 1264, 1268) гибридов превосходили групповой стандарт (5,44 т/га) на 0,46-27,69 %. Это связано с высоким расчетным выходом сахара. Селекционные образцы № 1207 (простой гибрид) и 1261, 1266 (пробные гибриды) незначительно уступали St по величине этого показателя (отклонение не превысило 10 %).

Лучшие пробные гибриды № 1262 и 1264 превзошли групповой стандарт по сахаристости на 0,55 и 0,60 %; прогнозируемому выходу сахара на заводе – на 0,48 и 0,63 %; сбору очищенного сахара – 10,10 и 27,69 % соответственно.

Остальные представленные гибриды превысили групповой St по сахаристости – на 0,52-1,47 % и прогнозируемому выходу сахара – на 0,44-1,28 %. По урожайности и сбору очищенного сахара они были практически на уровне иностранных гибридов.

Таким образом, в результате комплексной оценки отечественного селекционного материала были выделены перспективные гибриды сахарной свёклы (4 простых и 6 пробных) с лучшими показателями продуктивности и технологического качества для дальнейшей работы.

В селекционной работе следует обратить внимание и доработать пробные гибриды с полевыми номерами 1173, 1263, 1265 и 1266, которые уступали групповому стандарту по урожайности на 12,0-16,3 %, но отличались минимальным содержанием мелассообразующих несахаров (калия, натрия и α-аминного азота) среди исследуемых образцов.

Литература.

1. Постановление Правительства Российской Федерации «О внесении изменений в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы» № 1615 от 21.12.2018 // Нормативно-правовое и методическое обеспечение реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы: сборник. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 328 с.
2. Волгин В.В. Теория и практика создания гетерозисных гибридов са-харной свёклы на ЦМС основе: автореф. дисс. на соиск. уч. степ. д. с.-х. н. Краснодар, 2007. 49 с.
3. Ошевнев В.П., Грибанова Н.П. Улучшение компонентов гибридов сахарной свёклы в процессе поддерживающей селекции и первичного семеноводства // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2003. № 1. С. 11–15.
4. Федоренко В.Ф., Мишуков Н.П., Щеголихина Т.А. Современные технологии и оборудование в селекции и семеноводстве отечественных сортов сахарной свёклы: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 88 с.
5. Эволюция сахарной свёклы: от огородных форм – до современных рентабельных гибридов / И.Я. Балков, С.Д. Каракотов, А.В. Логвинов и др. Щелково: АО «Щелково Агрохим», 2017. 384 с.
6. Селекция сахарной свёклы: теория и практические аспекты проблемы / В.А. Логвинов, В.И. Сулов, Н.В. Карева и др. // Особенности возделывания и переработки сахарной свёклы на Северном Кавказе. 2007. Ч. 1. С. 66–81.
7. Бугаенко И.Ф. Принципы эффективного сахарного производства. М.: Сахарный бизнес России, 2003. 287 с.
8. Шпаар Д., Дрегер Д., Захаренко А. Сахарная свёкла (выращивание, уборка, хранение). М.: ИД ООО «ДЛВ АГРОДЕЛО», 2012. 315 с.

Поступила в редакцию 17.06.20

После доработки 19.09.20

Принята к публикации 20.12.20

ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ ПОСЕВА В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ РОССИИ

Д.В. Виноградов¹, доктор биологических наук, Ю.А. Мажайский¹, доктор сельскохозяйственных наук, А.В. Новикова², кандидат сельскохозяйственных наук, Е.И. Лупова¹, кандидат биологических наук

¹Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1
E-mail: vdvzn@mail.ru

²Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 6
E-mail: navbaa@mail.ru

Исследования проводили с целью оптимизации элементов агротехники производства семян льна масличного и отбора наиболее продуктивных в условиях региона сортов культуры. Работу выполняли в Рязанской области, на серой лесной почве, в 2016–2019 гг. В условиях южной части Нечерноземной зоны России наиболее позднеспелым был Исток, продолжительность вегетационного периода которого при I сроке посева составила 126 дней, при II сроке – 118–119 дней. У контрольного сорта ВНИИМК-620 величина этого показателя была равна 115 и 111 дней соответственно. Семенная продуктивность льна масличного, посеянного в I декаде мая (первый срок), была выше, чем при посеве на 10 дней позже (второй срок). Наибольшая урожайность всех исследуемых сортов отмечена в 2016 г., максимальной в опыте она была в варианте с сортом Исток первого срока посева – 26,3 ц/га. Этот же сорт характеризовался самым высоким сбором семян в среднем за годы исследований: I срок посева – 22,1 ц/га, II срок посева – 19,6 ц/га. У сортов ВНИИМК-620, Исток и Санлин масличность семян была выше при посеве в I декаде мая, у сорта ЛМ-98 – в варианте с посевом во II декаде мая.

PRODUCTIVITY OF FLAX VARIETIES OF VARIETIES DEPENDING ON THE SEEDING TIME IN THE NON-BLACK-ZONE ZONE OF RUSSIA

D.V. Vinogradov¹, Yu.A. Mazhaysky¹, A.V. Novikova², E.I. Lupova¹

¹Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, 390044, Ryazan, ul. Kostycheva, 1
E-mail: vdvzn@mail.ru

²Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 6
E-mail: navbaa@mail.ru

The article presents research on improving the elements of agricultural technology for the production of oilseed flax seeds and the selection of highly productive varieties of culture for the region. The experiments were conducted in the conditions of the Ryazan region, on gray forest soil, in 2016–2019. It was established that in the conditions of the southern part of the Non-Black Earth Zone of Russia, oil flax sown on the first term of sowing in the first decade of May showed high productivity. This pattern is observed in all studied varieties of culture. The highest productivity was noted in 2016 for all studied flax varieties; maximum yield can be traced on the variant variety Source I sowing period (26.3 c / ha). The maximum average yield, according to the years of research, was noted on variants with the Source variety I sowing period – 22.1 c / ha, II sowing time 19.6 c / ha. Higher oil content was noted in the seeds obtained during sowing in the first decade of May in the varieties VNIIMK-620, Istok, Sanlin; in cultivar LM-98 – when sowing in the second decade of May. In the experiment, the Istok cultivar was the latest in ripening; on average, the growing season was 126 days (I sowing term), 118–119 days (II sowing term), and VNIIMK-620 – 115 and 111 days.

Ключевые слова: лен масличный, сорт, срок посева, структура урожая, урожайность, масличность

Key words: oil flax, variety, sowing period, crop structure, yield, oil content

Лен культурный *Linum usitatissimum* L. – одна из древнейших и важнейших технических, продовольственных культур комплексного применения, значение которой в мире неизменно очень высоко [1–3]. Сегодня его выращивают во многих странах мира и на всех континентах [4, 5].

Лен масличный – культура ранневесеннего сева. Его семена начинают прорастать при температуре +3 °С, а всходы переносят кратковременные заморозки до –4 °С [6–8].

Известно, что внедрение высокоурожайных устойчивых к неблагоприятным факторам окружающей среды сортов – наиболее доступный и дешевый способ увеличения производства сельскохозяйственной продукции [9, 10]. Создание новых сортов льна масличного, так называемого интенсивного типа, хорошо отзывавшихся на улучшение технологии возделывания и устойчивых к различным экстремальным условиям среды, – первосте-

пенная задача, стоящая перед селекционерами [11–13]. Решить ее можно путем сочетания традиционных методов селекции, интродукции новых сортов и совершенствования элементов технологии возделывания культуры [14–16].

На сегодняшний день в результате целенаправленной селекционной работы созданы новые сорта льна масличного, которые сильно отличаются по биологическим и морфологическим признакам от генотипов, использовавшихся в советский период. При этом можно отметить большой успех селекции культуры по таким признакам, как урожайность, устойчивость к полеганию и болезням.

Цель исследований – определить продуктивность сортов льна масличного в зависимости от сроков посева и норм высева в условиях южной части Нечерноземной зоны России.

Методика. Исследования проводили в 2016–2019 гг. Схема двухфакторного опыта включала следующие варианты: фактор А (срок посева) – I декада мая (первый срок); II декада мая (второй срок); фактор В (сорт) – ВНИИМК-620, Санлин, Исток, ЛМ 98. Норма высева – 8 млн. шт./га, фон минерального питания – $N_{90}P_{60}K_{60}$. Посевная площадь делянки – 20 м², учётная – 15 м². Повторность четырёхкратная.

Содержание гумуса в пахатном горизонте почвы опытного участка составляло 2,9–3,1 %, P_2O_5 – 120–123 мг/кг почвы, K_2O – 149–153 мг/кг почвы, азота – 50 мг/кг почвы, реакция среды – среднекислая ($pH_{КС}$ 5,0 ед.), гидролитическая кислотность – низкая (не более 2,6 м-экв/100 г почвы), сумма поглощенных оснований – 15 м-экв/100 г почвы, степень насыщенности почв основаниями – не более 70 %.

Закладку научно-исследовательских опытов осуществляли на агротехнологической станции Рязанского ГАТУ согласно общепринятым методикам и рекомендациям [17–19]. Агрохимические показатели почвы определяли согласно действующим методикам в лаборатории ФГБУ «Станция агрохимической службы «Рязанская», качество маслосемян [по 6] – в лабораториях ФГБУ «Станция агрохимической службы «Рязанская», АО «Кубаньмасло-ЕМЗ» г. Ефремов, г. Венёв Тульской области. Математическую и статистическую обработку полученных данных осуществляли по методике дисперсионного анализа (по Р. Фишеру) в изложении Б.А. Доспехова [19] на ПЭВМ.

Агротехнические мероприятия по возделыванию льна масличного осуществляли согласно рекомендациям, принятым для Нечерноземной зоны России. Предшественником была озимая пшеница. Зяблевую вспашку проводили на глубину 20–22 см плугом Peresvet ППО-7-35 Алмаз. Ранней весной осуществляли боронование БЗЗС-1,0, далее культивацию КПС-4,2 на глубину 12–14 см, затем предпосевную культивацию на 2–3 см. Под предпосевную культивацию вносили минеральные удобрения (аммиачную селитру, карбамид, нитрофоску) с учетом содержания питательных веществ в почве на планируемую урожайность. Посев проводили сеялкой ССНТ-16 на глубину 2 см. После посева осуществляли прикатывание ЗКШ-6. Для защиты посевов от вредителей, болезней и сорной растительности в период вегетации применяли

пестициды с использованием опрыскивателей ОП-3000 Булгар, ОПШ-15-01, ранцевого опрыскивателя Квазар-12. Инсектицидные обработки против основных вредителей (льняная блошка, луговой мотылек, льняной скрытнохоботник, виды совок и др.) осуществляли в баковой смеси с гербицидом. Применяли инсектициды Фастак, КЭ в дозе 0,15 л/га, Би-58 Новый, 1–1,2 л/га и баковую смесь гербицидов Секатор-Турбо 0,1 л/га + Пантера 1 л/га. Обработку баковой смесью гербицидов проводили перед началом цветения культуры.

Уборку урожая осуществляли при полной спелости масличной культуры, когда все листья опадали, а коробочки и стебли становились бурыми, напрямую селекционным комбайном TERRION-SAMPO SR 2010. Высота среза находилась на уровне 8–10 см.

Результаты и обсуждение. Период посев – всходы у льна различался в зависимости от срока посева. С увеличением среднесуточной температуры воздуха межфазные периоды роста и развития растений сокращались. Продолжительность цветения растений всех изучаемых генотипов при первом сроке сева в среднем составляла 24–28 дней, при втором – 20–21 дня в зависимости от сорта льна.

Наиболее позднеспелым в опыте был сорт Исток. В среднем продолжительность его вегетационного периода при I сроке посева составила 126 дней, при II сроке – 118–119 дней. У сорта ВНИИМК-620 (контроль) величина этого показателя была равна 115 и 111 дней соответственно. У сорта Исток, начиная с фазы «ёлочки» отмечено увеличение межфазного периода «ёлочка» – бутонизация, по сравнению с контролем, на 3–5 дней, цветение – зеленая спелость – на 2–4 дня. В целом по сортам, при посеве в первой декаде мая длительность вегетационного периода культуры составляла 94–115 дней, во второй декаде мая – 89–107 дней.

Сроки посева оказали значительное влияние на температурный и водный режим в период вегетации растений льна масличного. Так, в 2016 и 2019 гг. у сортов Санлин, Исток при посеве во второй декаде мая отмечали вторичное цветение. Это явление было вызвано тем, что в первой половине вегетации культуры сложились аномально жаркие и сухие метеоусловия, а в начале созревания коробочек в конце июля – первой половине августа регулярно выпадали сильные дожди.

Табл. 1. Полевая всхожесть, густота стояния, выживаемость растений льна масличного при разных сроках посева (среднее 2016–2019 гг.)

Срок посева	Сорт	Полевая всхожесть, %	Густота стояния, полные всходы, шт./м ²	Густота стояния перед уборкой, шт./м ²	Выживаемость, %
I декада мая	ВНИИМК-620	87,2	697,8	615,9	88,3
	Исток	86,8	694,4	641,1	92,4
	ЛМ-98	84,8	679,0	586,7	86,4
	Санлин	86,0	688,2	594,1	90,0
II декада мая	ВНИИМК-620	87,1	713,1	648,1	90,5
	Исток	86,5	692,2	652,4	93,7
	ЛМ-98	85,0	674,4	618,0	91,3
	Санлин	89,1	712,8	660,6	92,2

Табл. 2. Элементы структуры урожая льна масличного в зависимости от нормы высева и сроков посева (2016–2019 гг.)

Срок посева	Сорт	Количество коробочек, шт./раст.	Семян в коробочке, шт.	Масса 1000 семян, г
I декада мая	ВНИИМК-620	21,3	6,6	6,0
	Исток	22,5	6,4	6,2
	ЛМ-98	17,5	7,4	5,8
	Санлин	20,3	6,4	6,5
II декада мая	ВНИИМК-620	16,7	5,5	5,8
	Исток	18,5	6,1	6,0
	ЛМ-98	16,0	5,7	5,7
	Санлин	17,5	6,0	6,3

Табл. 3. Зависимость урожайности семян льна от ГТК, всхожести, густоты растений и биометрических показателей

ГТК	Полевая всхожесть, %	Густота стояния, полные всходы, шт./м ²	Густота стояния перед уборкой, шт./м ²	Выживаемость, %	Число коробочек на одном растении, шт.	Семян в коробочке, шт.	Масса 1000 семян, г	Масличность, %
ВНИИМК-620								
0,84	0,79	0,54	0,77	0,77	0,73	0,18	0,68	0,36
Исток								
0,78	0,86	0,86	0,88	0,74	0,81	0,57	0,74	0,73
ЛМ-98								
0,73	0,81	0,81	0,92	0,68	0,78	0,10	0,80	0,56
Санлин								
0,76	0,75	0,75	0,70	0,70	0,69	0,71	0,77	0,73

Вторичное цветение льна связано с тем, что когда-то растения этого рода были многолетними, о чем свидетельствуют отдельные сохранившиеся многолетние виды. Как правило, коробочки, которые образуются после вторичного цветения, не достигают фазы полной спелости вовремя. Вторичное цветение начинается в первой декаде августа, что не позволяет маслосеменам вызреть до конца к уборке культуры. Это приводит к неравномерному созреванию льна, затрудняет проведение уборки, обмолота и очистки семян культуры, как следствие, снижается качество продукции.

Полевая всхожесть и густота стояния в фазе полные всходы мало зависели от сорта и сроков посева (табл. 1). Наибольшей выживаемостью в оба срока посева характеризовался сорт Исток, у которого величина этого показателя при посеве в I декаде мая была выше, чем у остальных, на 2,4-6,0 %, во II декаде мая – на 1,5-3,2 %.

Количество коробочек на растении – один из определяющих элементов формирования семенной продуктивности льна. Наибольшую величину этого показателя при первом сроке посева отмечали у сортов Исток и ВНИИМК-620 – 22,5 и 21,3 шт./раст. соответственно; при втором у сортов Исток и Санлин – 18,5 и 17,5 шт./раст. (табл. 2). В 2019 г. мелкие коробочки, образовав-

шиеся в результате повторного цветения, были невыполненными, из них получились шуплые и нежизнеспособные семена.

Результаты анализа свидетельствуют, что урожайность семян льна всех сортов находилась в сильной зависимости от метеоусловий (ГТК), полевой всхожести, густоты стояния и числа коробочек на одном растении (табл. 3). Наиболее тесные корреляции установлены для сортов Исток и ЛМ-98.

В среднем более высокая урожайность всех сортов льна масличного отмечена при первом сроке посева (табл. 4). При этом следует отметить, что существенное отрицательное влияние на сбор семян льна второго срока сева оказали аномально засушливые на фоне повышенных температур условия первой половины вегетационного периода 2019 г. В связи с чем средняя урожайность по годам в этом варианте также оказалась более низкой.

Содержание масла в семенах льна в основном изменялось в зависимости от условий года исследований и сортовых особенностей культуры. В среднем она мало зависела от изучаемых приемов и находилась в пределах 41,3-42,8 %. Более высокая масличность семян при посеве в I декаде мая отмечена у сортов ВНИИМК-620 (42,8 %), Исток (41,5 %), Санлин (41,4 %); у сорта ЛМ-98 она была выше при посеве во II декаде мая (41,3 %).

Таким образом, в условиях южной части Нечерноземной зоны России лучшим сроком посева льна масличного следует считать I декаду мая. Максимальная в опыте средняя урожайность за годы исследований отмечена при выращивании сорта Исток: I срок посева – 22,1 ц/га, II срок посева – 19,6 ц/га.

В отдельные годы наблюдается вторичное цветение (у сортов Исток и Санлин второго срока посева) льна, которое снижает качество семян. Это явление вызывает сочетание аномально жаркой и сухой погоды в течение первой половины вегетации с регулярными сильными дождями в начале созревания коробочек (в конце июля – первой половине августа).

Более высокая масличность при посеве в I декаде мая отмечена у сортов ВНИИМК-620, Исток и Санлин; во II декаде мая – у сорта ЛМ-98.

Литература.

1. Аспандиярова Г.Б. Возделывание льна масличного как инновационный проект диверсификации сельскохозяйственных культур // Педагогическая наука и практика. 2018. №. 1 (19). С. 86–90.

Табл. 4. Урожайность сортов льна в зависимости от срока посева, ц/га

Срок посева	Сорт	Урожайность, ц/га				
		2016г.	2017г.	2018г.	2019г.	среднее
I декада мая	ВНИИМК-620	24,2	22,3	16,6	18,6	20,4
	Исток	26,3	23,8	18,6	19,9	22,1
	ЛМ-98	23,8	19,5	17,1	15,6	19,0
	Санлин	24,8	22,5	18,1	17,0	20,6
II декада мая	ВНИИМК-620	23,1	21,4	16,6	13,2	18,5
	Исток	24,4	23,1	17,9	13,0	19,6
	ЛМ-98	22,6	20,4	17,6	13,1	18,4
	Санлин	23,6	22,5	18,8	13,1	19,5
НСР ₀₅ взаимодействия АВ		4,17	2,78	2,13	2,00	
по фактору А (срок посева)		2,08	1,39	1,07	1,00	
по фактору В (сорт)		2,95	1,97	1,51	1,41	

2. *Results of Monitoring Studies of Dried Peat Soils* / O.A. Zakharova, D.V. Vinogradov, N.V. Byshov, et al. // *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2019. Vol. 10. Issue. 2. P. 474–489.
3. *Production of Oil Flax Seed in Non-Black Earth Zone of Russia* / D.V. Vinogradov, E.I. Lupova, N.V. Byshov, et al. // *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2019. Vol. 10. Issue. 2. P. 406–416.
4. Практикум по земледелию / А.С. Мастеров, Д.В. Виноградов и др. // Рязань: изд-во ИП «Жуков», 2018. 256 с.
5. Alford D.V. Bio-control of oilseed rape insect pests. Oxford: Blackwell science, 2003. P. 116.
6. Bonell M.L., Lassaga S.L. Genetic analysis of the response of linseed (*Linum usitatissimum* L.) somatic tissue to in vitro cultivation // *Euphytica*. 2002. No 125(3). P. 367–372.
7. The influence of ammoniats on plant photosynthesis and productivity / V. Chirkov, G. Bakirova, S. Batasheva, et al. // *Biologia Plantarum*. 2006. Vol. 44(3). P. 749–751.
8. Vakula S. Ecological variability of oil and protein content in flaxseed // *Vagos. Lzumokslodarbai*. 2009. № 82 (35). P. 77–81.
9. Peculiarities of growing gold-of-pleasure for oilseeds and its use in feed production in the non-chernozem zone of Russia / D.V. Vinogradov, N.V. Byshov, E.V. Evtishina, et al. // *Amazonia Investiga*. 2018. Vol. 7. No. 16. P. 37–45.
10. Носевич М.А., Айиссомде Й.З. Семенная продуктивность различных сортов льна масличного в зависимости от площади питания // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016. № 45. С. 40–44.
11. Поляков А.В. Биотехнология в селекции льна: монография. Тверь: изд-во «Фамилия», 2000. 180 с.
12. Прахова Т.Я., Прахов В.А., Турина Е.А. Агроэкологические аспекты формирования агроценозов нетрадиционных масличных культур // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. № 2 (2). С. 357–362.
13. Kvavadze E. 30,000-Year-Old Wild Flax Fibers // *Science*. 2009. № 325. 5946. P. 1359.
14. Investigation on androgenesis in breeding of linseed (*Linum usitatissimum* L.) / K. Nichterlein, H. Umbach, W. Friedt // *Vortr. Pflanzenzuchtg*. 1989. Vol. 15. No. 1. P. 13–25.
15. Ilieva A., Vasileva V. Effect of liquid organic humate fertilizer Humustim on chemical composition of spring forage pea // *Banat's Journal of Biotechnology*. 2013. Vol. IV (7). P. 74–79.
16. Vasileva V. Aboveground to root biomass ratios in pea and vetch after treatment with organic fertilizer // *Global Journal of Environmental Science and Management*. 2015. Vol. 1. No. 2. P. 71–74.
17. Методика проведения полевых и агротехнических опытов с масличными культурами / Под ред. В.М. Лукомца. Краснодар: ВНИИМК, 2007. 113 с.
18. Методические указания по определению биохимических показателей качества масла и семян масличных культур. Краснодар: ВАСХНИЛ, ВНИИ масличных культур, 1986. 88 с.
19. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропроиздат, 1985. 351 с.

Поступила в редакцию 03.08.2020

После доработки 08.11.2020

Принята к публикации 22.12.2020

Методология

УДК 631.171: 671.3: 519.86

DOI:10.31857/S2500262721010051

СИНТЕЗ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ АГРОЦЕНОЗОВ В СИБИРИ***Г.Л. Утенков¹**, кандидат технических наук, **Э.О. Рапопорт²**, кандидат физико-математических наук, **А.Н. Власенко¹**, академик РАН¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, 630501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск²Институт математики им. С.Л.Соболева СО РАН, 630090, г. Новосибирск, просп. академика Коптюга, 4
Email: utenkov1951@mail.ru

При изучении различных технологий и их синтезе предпочтителен целостный системно-ориентированный подход, обеспечивающий решение проблемы исследуемых систем в разных условиях. В последние годы в условиях Сибири рост урожайности происходит без развития; повышение затрат в расчете на единицу площади приводит к росту урожайности, но не снижает себестоимость единицы продукции. Для увеличения урожайности необходимо усложнение – модернизация предлагаемых технологических решений путем применения агротехнологий различных уровней интенсивности на основе новых научно-технических достижений. В результате исследований разработаны методы исследования агротехнологий для управления продуктивностью агроценозов (на примере возделывания зерновых в условиях Сибири). Ограниченность используемых ресурсов зачастую не позволяет применять более эффективные технологии разных уровней интенсивности для повышения урожайности зерновых культур. Применение различных методов математического анализа, теории вероятности, методов линейного программирования на базе результатов экспериментальных исследований, проведенных в условиях орошаемого и богарного земледелия, позволило разработать алгоритмы и номограммы для поиска технологий, обеспечивающих более эффективные способы возделывания зерновых. В связи со случайной природой показателя урожайность для ее прогнозирования можно использовать различные законы распределения. Лучшие результаты обеспечило применение функций Эйлера, в частности, В-функции. Это позволило на примере экспериментальных данных для средней урожайности зерновых культур на уровне 30 ц/га (общепринятая среднеевропейская величина) построить эффективные алгоритмы подбора уровней интенсивности технологий для возделывания агроценозов. Определена функция затрат, величина которых хорошо согласуется с экспериментальными данными (затратами) полученными для условий орошаемого земледелия. Обычно рекомендуется рассмотреть четырех уровней интенсивности агротехнологий. Однако для условий Западной Сибири (согласно данным СибНИИЗИХ) рекомендуется рассматривать три уровня.

SYNTHESIS OF AGROTECHNOLOGIES FOR MANAGING THE PRODUCTIVITY OF AGROCENOSSES IN SIBERIA**Utenkov G.L.¹, Rapoport E.O.², Vlasenko A.N.¹**¹Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology RAS, 630501, Novosibirskayaobl., r.p. Krasnoobsk²Institute of Mathematics. S.L. Sobolev SORAS, 630090, Novosibirsk, ul. academica Koptuyuga, 4
Email: utenkov1951@mail.ru

When studying various technologies and their synthesis, a holistic system-oriented approach is preferable, which provides a solution to the problem of the systems under study in different conditions. It has been established that in recent years in Siberia, an increase in productivity occurs without development; an increase in costs per unit area leads to an increase in yield, but does not reduce the cost per unit of production. To increase the yield, complication is necessary – the modernization of the proposed technological solutions through the use of agricultural technologies of various levels of intensity based on new scientific and technical achievements. The results of the work made it possible to obtain research methods for agricultural technologies for managing the productivity of agroecosystems (for example, the cultivation of grain crops in Siberia). The limited resources used do not allow the use of more efficient technologies of different levels of intensity to increase the yield of grain crops. The use of various methods of mathematical analysis, probability theory, linear programming methods based on the data of experimental studies carried out in the conditions of irrigated and rainfed agriculture, made it possible to develop algorithms and nomograms to search for technologies that provide more efficient ways of cultivating grain crops. It is known that the yield is an integral indicator of the efficiency of agriculture. The random nature of this indicator requires the use of different distribution laws. The most effective, from our point of view, turned out to be the use of Euler functions, in particular, the Euler B-function. This made it possible, using the example of experimental data for the average yield of grain crops in the amount of 30 centners / ha (which is the generally accepted average world yield for grain crops), to construct effective algorithms for choosing sets of levels of intensity of technologies for cultivating agroecosystems. The cost function is determined, the value of which is in good agreement with the experimental data (costs) obtained for the conditions of irrigated agriculture. It is generally recommended to consider four levels of agricultural technology intensities. However, for the conditions of Western Siberia (according to SibNIIZH SFNTSA RAS), it is recommended to consider three levels.

Ключевые слова: агротехнология, интенсификация, эффективность, параметрический синтез, линейное программирование**Key words:** agricultural technology, intensification, efficiency, parametric synthesis, linear programming

* Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № 1.5.1, проект № 0314-2019-0018 и гранта РФФИ № 19-010-00910.

Стратегическим направлением научно-технического развития зернового производства должны стать зональные интенсивные технологии, учитывающие требования систем ландшафтного земледелия и экологической безопасности. Эффективный инструмент принятия решений по управлению системами – математические модели [1]. Главным вопросом, требующим «модельного» обоснования, остается оценка уровня урожая на каждом поле, на который должна быть ориентирована технология. Управление продуктивностью агроценозов в земледелии осуществляется путем применения различных агротехнологий, обеспечивающих требуемые выходные показатели их эффективности. Оно заключается в выборе оптимального числа операций, определении их параметров и времени выполнения. Однако эта задача до сих пор не решена даже в самых современных системах точного земледелия [2]. Рациональная структура технологий синтезируется из различных операций, направленных на создание благоприятных условий для возделываемых агроценозов. Для конкретных погодных условий в пределах заданных финансовых средств можно подобрать наилучшую приспособленную технологию, обеспечивающую получение требуемой урожайности [3]. Однако урожайность – случайная величина, требующая корректного сравнения. Это не противоречит результатам исследований других авторов [4]. Причем известно [5], что реальную урожайность культур определяют многие, в том числе организационно-хозяйственные факторы, и она не всегда зависит, например, от бонитета почв. В рамках операционного анализа выявляют безубыточность зернового производства (точку безубыточности) – уровень урожайности, при котором доход от реализации продукции равен общим затратам. Если фактическая урожайность ниже минимальной, то производство становится нерентабельным [6].

Цель исследования – разработка метода, позволяющего управлять продуктивностью агроценозов (на примере зерновых культур в условиях Сибири).

Методика. В основу методики проведения исследований положены методы математического анализа, теории вероятности и линейного программирования. Учитывая ограниченность используемых ресурсов, наиболее удобно описание входящих случайных величин (урожайности при технологиях различных интенсивностей) в виде В-плотности распределения.

Результаты и обсуждение. Цель деятельности любого предприятия – получение прибыли, а один из основных способов ее достижения – интенсификация производства. Для этого необходимо экономическое обоснование затратного механизма проектируемых агротехнологий и адаптация установленных взаимосвязей и параметров к конкретным хозяйственным условиям. В целом для выбора технологических приоритетов необходимо единство технических, социальных, экологических, организационно-технологических и других требований. Предпочтителен целостный системно-ориентированный подход, обеспечивающий решение проблемы исследуемых систем в разных условиях [7]. Известно [8], что в последние годы в условиях Сибири рост урожайности происходит без развития; повышение затрат в расчете на единицу площади приводит к росту урожайности, но не снижает себестоимость единицы продукции. Повышение урожайности, как критерия, характеризующего эффективность земледелия, требует усложнения, что достигается путем реализации инновационных технологических решений – применения технологий различных

уровней интенсивности. Для обеспечения воспроизводства основных структурообразующих элементов агроландшафтов обычно ориентируются на три уровня технологий возделывания культур: экстенсивные, нормальные и интенсивные [9]. Однако независимо от вида интенсификации удельные затраты и энергозатраты на получение дополнительной единицы продукции возрастают [10]. Рост эффективности зернового производства путем увеличения урожайности как случайной величины можно представить в следующем виде:

$$Z_n = \int (A_o + B/Y) Y_B(p, q, y) dy, \quad (1)$$

где A_o – удельные условно-переменные затраты, руб./т; B – условно-постоянные затраты, руб./га; Y – урожайность, т/га; $Y_B(p, q, y)$ – плотность распределения случайной величины.

Учитывая ограниченность используемых ресурсов, наиболее удобно описание случайных величин в виде В-плотности распределения, стандартно характеризуемой параметрами p и q . По данным [11], полученным в условиях орошаемого земледелия, можно рассчитать среднее значение функции затрат. Предположим, что интервал изменения урожайностей лежит в диапазоне от a до b , т/га.

Подберем параметры p и q так, чтобы средняя урожайность (Y) была равна 3 т/га.

Если исходить из среднего значения В-распределения, то имеем:

$$Y = \frac{ap + bq}{p + q}.$$

Будем считать, что математическое ожидание $Mс$ случайной величины урожайности, определено выражением: $Mсy = p/(p+q) = 1/3$.

Нормирующий коэффициент В-распределения:

$$\frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)},$$

где Γ – стандартная гамма-функция Эйлера.

Тогда математическое ожидание затрат $Mсз$ определяется по формуле:

$$Mсз = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^1 t^{p-1}(1-t)^{q-1} \left(A_o + \frac{B}{t - \frac{ap+bq}{p+q}} \right) dt, \quad (2)$$

где t – переменная интегрирования.

Наиболее удобен случай, когда $p = 2$, $q = 4$: при $a = 2$ т/га, $b = 5$ т/га; $A_o = 2600$ руб./т, $B = 4100$ руб./га.

Выражение математического ожидания (2), при указанных конкретных значениях введенных параметров, примет вид:

$$Mсз = 60 \int_0^1 t^{2-1}(1-t)^{4-1} \left(2600 + \frac{4100}{3t-2} \right) dt. \quad (3)$$

В итоге имеем величину средних затрат $Mсз = 12500$ руб./га (что согласуется с данными из [11]).

Основное управляющее воздействие на растение осуществляется через почву. Выбор наилучших технологий, обеспечивающих формирование заданного конечного результата – статическая задача, при решении которой достигается компромисс между продуктивностью посевов и устойчивостью агроэкосистемы, а выходом становятся системы технологических процессов по климатическим зонам и культурам [2]. Поэтому задачу определения и применения технологических ресурсов целесообразно решать в несколько этапов, а

структуру технологического управления задавать тремя степенями его реализации. Причем на первой степени решения задачи технологического управления следует определить общую величину используемого технологического ресурса, необходимого для достижения цели управления, при допущении абсолютной однородности сельскохозяйственного поля. Это обеспечивает средний уровень продуктивности поля и общий баланс требуемого ресурса [12], чему в основном и посвящена наша работа. Для каждой отрасли сельскохозяйственного производства необходимо обосновать соответствующие индикаторы, определяющие показатели развития базовых обобщенных целей. Например, для растениеводства – это достижение средних мировых параметров урожайности зерновых культур, $Y = 3,0 - 3,2$ т/га [13]. Такая постановка научной задачи для Новосибирской области обоснована результатами экспериментальных исследований, достигнутыми в ООО «Соколово» академиком РАН А.Н. Власенко и Н.Г. Власенко в 2019 г.: при средней урожайности яровой пшеницы по Колыванскому району 23,7 ц/га, в ООО «Соколово» она составила 40,4 ц/га. Причем у сорта Обская-2 величина этого показателя достигала 76,0 ц/га с окупаемостью 1 кг удобрений – 22 кг зерна.

Освоение эффективных технологий производства продукции в хозяйствах с различным уровнем интенсивности – главное средство преобразований в инженерно-технологической сфере. Поэтому считают [14], что каждому товаропроизводителю в каждой зоне необходимо переходить на проектирование технологий по общей схеме бизнес-планирования производства продукции с заданными параметрами. Однако, как следует из работы [10], главная проблема, с которой связаны многие негативные тенденции, напрямую обусловлены низкой доходностью аграрного производства, вследствие чего основная часть сельхозпроизводителей неспособна в полной мере использовать научно-технические достижения для повышения эффективности и конкурентоспособности производимой продукции. В сельском хозяйстве преобладают экстенсивные технологии [15], которые основаны на отсталых технологических укладах [16]. Поэтому главными аспектами на современном этапе остаются биологизация, точность и качество выполняемых технологических операций [15]. Считается [17], что последний из перечисленных факторов, а также затратный механизм, определяет техника.

Недостаток финансирования обуславливает необходимость применения экстенсивных технологий, но они не обеспечивают требуемого роста урожайности. Интенсивные технологии обеспечивают увеличение урожайности, но требуют повышенного вклада финансовых средств на единицу площади посева. Возможность формирования рационального уровня урожайности заложена в реализации параметрического синтеза рекомендуемых для условий Сибири трех уровней интенсивности технологий [9]. Зная среднюю урожайность при каждом уровне интенсивности технологии и затраты на их реализацию, можно найти оптимальные уровни использования каждой технологии с наименьшими затратами для достижения нужного уровня урожайности. В итоге имеем простую задачу линейного программирования – найти вектор $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k)$, минимизирующий функцию:

$$\Phi(\rho) = \sum_{i=1}^n 3_i \rho_i \quad (4)$$

при ограничениях $y_0 \leq \sum_{i=1}^n y_i \rho_i$, $a_i \leq \rho_i \leq b_i$, $i = 1, 2, \dots, k$. (5) где вектор $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k)$ описывает уровни использования каждой технологии.

Для решения таких задач обычно используются методы линейного программирования, но, учитывая ее простоту, можно предложить упрощенный алгоритм нахождения оптимальных уровней агротехнологий разной интенсивности. Введем следующие обозначения $t_i = y_i \rho_i$, $i = 1, 2, \dots, k$. Тогда задача принимает следующий вид: найти вектор $t = (t_1, t_2, \dots, t_k)$, минимизирующий функцию:

$$\Phi(t) = \sum_{i=1}^n \frac{3_i}{y_i} t_i \quad \text{при ограничениях: } y_0 \leq \sum_{i=1}^n t_i, a_i y_i \leq t_i \leq b_i y_i, i = 1, 2, \dots, k.$$

Не ограничивая общности, считаем, что коэффициенты $3_i/y_i$ упорядочены по убыванию: $3_1/y_1 \geq 3_2/y_2 \geq \dots \geq 3_k/y_k$ (если это не так, то нумерацию можно изменить). Задача решается за n шагов последовательным подключением технологий. Рассмотрим три технологии: экстенсивная со средней урожайностью 1,66 т/га и затратами $3_1 = 9700$ руб./га; нормальная с величинами этих показателей соответственно 3,1 т/га и $3_2 = 17800$ руб./га; интенсивная – 4,84 т/га и $3_3 = 27500$ руб./га. Возникает задача экстремума: найти неотрицательные коэффициенты x, y, z в сумме равные 1, которые минимизируют средние затраты $3 = 9600x + 17800y + 27500z$, при условии, что средняя урожайность $y_0 = 1,66x + 3,10y + 4,84z \geq 3,0$. При этом x (доля экстенсивной технологии) $\geq 0,3$; y (доля нормальной технологии) $\geq 0,2$; z (доля интенсивной технологии) $\leq 0,2$. Себестоимости указанных агротехнологий будут равны: $3_1/y_1 = 5780$ руб./т, $3_2/y_2 = 5740$ руб./т, $3_3/y_3 = 5680$ руб./т.

Поскольку при интенсивной агротехнологии себестоимость наименьшая ($3_3/y_3$), подключаем сначала эту агротехнологию. Имеющиеся ограничения дают долевое участие, $z = 0,2$. Поэтому имеем:

$$4,84 z = 0,97. \text{ Остаются ограничения: } 1,66x + 3,10y \geq 2,03, x + y = 0,8.$$

Минимальная величина достигается при равенстве, поэтому, сделав подстановку, получим: $1,66x + 3,10(0,8 - x) = 2,03$.

Решение этого уравнения позволяет определить долевое участие экстенсивных технологий, $x = 0,31$.

В целом структура долевого участия в рациональной технологии, обеспечивающей получение заданной урожайности, с учетом рекомендуемых трех уровней агротехнологий, будет равна: $x = 0,31$; $y = 0,49$; $z = 0,2$.

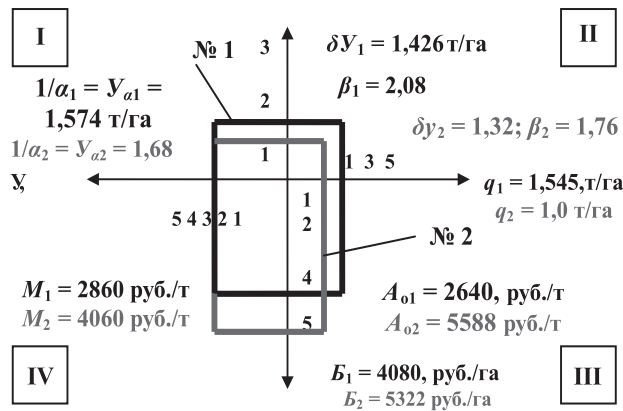
Общее решение задачи параметрического синтеза агротехнологии для условий богарного земледелия, обеспечивающей формирование среднемирового уровня урожайности, при минимизации затрат на производство будет иметь следующий вид:

$$3 = 9600 \cdot 0,31 + 17800 \cdot 0,49 + 27500 \cdot 0,2 = 17200 \text{ руб./га.}$$

Универсальный обобщающий критерий эффективности производства вообще и эффективности применения техники в частности в условиях товарно-денежных отношений выражается в денежной форме. Невозможно создать универсальную математическую модель пригодную в широком временном и пространственном масштабе. Поэтому правильная стратегия заключается не в постоянном совершенствовании какой-то одной модельной платформы с целью получения универсального расчетного инструмента, а в создании специфических узкоориентированных решений для каждой конкретной проблемы – моделирования для конкретного случая [18]. Для обеспечения условий

расширенного воспроизводства необходимо оценивать эффективность применяемых механико-технологических решений по экономическим показателям, учитывающими уровень цен на сельскохозяйственную продукцию, производимую с помощью техники, и уровень рентабельности, величина которого должна составлять 25-30 % [19].

С учетом изложенного, мы разработали алгоритм проектирования, выбора, оценки и адаптации агромашиных технологий как целого для возделывания зерновых культур. Предложенные зависимости и их графическая интерпретация в квадрантах номограммы (см. рисунок), позволяет назвать такой метод графо-аналитическим. Разработанный алгоритм включает проведение следующих процедур:



Графо-аналитический метод синтеза агротехнологии: № 1 – данные [11]; № 2 – по алгоритму.

обосновывается глобальный критерий эффективности зернового производства – прибыль. Решение на экстремум функционала прибыли позволяет получить функцию урожайности, как сумму, состоящую из функции, отражающей безубыточное производство продукции (например, безубыточность земледелия в Сибири обеспечивается урожайностью пшеницы не менее 20 ц/га зерна ($\delta Y \geq 20$ ц/га) [16];

определяется структура вклада составляющих функции урожайности – безубыточности зернового производства ($\delta Y/V \leq 0,44$) и почвенно-климатических условий ($Y\alpha/V \geq 0,56$), обеспечивающих получение прибыли [20];

строится замкнутая номограмма с четырьмя квадрантами, в первом из них отражается взаимосвязь требуемой урожайности (Y) с безубыточностью зернового производства (точкой безубыточности, δY). В этом квадранте оценивается эффективность зонирования (использования почвенно-климатических условий) при возделывании зерновых культур, так как для достижения намеченных результатов необходимо выбрать из предлагаемых вариантов наиболее подходящие для конкретных условий технические, организационные, управленческие и другие решения, выстраивая из них алгоритм оптимального построения производства [21];

во втором квадранте раскрывается взаимосвязь безубыточности зернового производства (точки безубыточности) с относительным показателем затрат (q) через показатель относительной стоимости (β) с учетом уровня рентабельности (Re) [19] и полученного нами выражения полных затрат [22]. В нем отражается взаимосвязь технологических и экономических факторов:

экономически эффективны технологические решения, минимизирующие потребляемые ресурсы, а качество выполняемых процессов и формирование затратного механизма обеспечивает применяемая техника [17] – $\beta = 0,56[(1/(1+Re)) - 0,44]^{-1}$;

в третьем квадранте раскрывается относительный показатель затрат (q). Удельные условно-переменные затраты (A_0) определяются по выражению $A_0 = 1,786 C[(1/(1+Re)) - 0,44]$, где C – цена реализуемой продукции, руб./т. Оно позволяет выбирать более совершенные ресурсы, так как сельхозтоваропроизводители не всегда рассматривают альтернативные варианты технологического обеспечения [7]. В отношении технологий, как следует из работы [21], сегодня царит если не хаос, то бессистемность. Каждый сельхозтоваропроизводитель выбирает те из них, которые ему кажутся наиболее приемлемыми. Хотя на поверку оказывается, что они далеко не всегда оптимальны, вследствие чего не могут принести максимально возможного экономического эффекта. В этом квадранте, отражающем отношение ($q = B/A_0$) условно-постоянных затрат к удельным условно-переменным затратам, непосредственно влияющим на рост урожайности возделываемой культуры, появляется возможность оценки формы организации сельхозпроизводства. Так, у крупных сельскохозяйственных организаций (СХО), обрабатывающих десятки тысяч сельхозугодий, величина q имеет большое значение, что позволяет им вести крупнотоварное производство. Малые СХО с небольшой площадью производят небольшие объемы продукции и с меньшими затратами, а значит, характеризуются малой величиной q ;

в четвертом квадранте отражается взаимосвязь величин урожайности (Y) и условно-постоянных затрат (B). У крупных СХО, имеющих большие условно-постоянные затраты, связанные с наличием более мощного парка сельхозмашин и тракторов, инженерно-технического и управленческого персонала, позволяющими планировать производство продукции, своевременно выполнять технологические процессы, качественнее обрабатывать большие объемы площадей, а значит, добиваться высокой урожайности. В этом квадранте можно выбирать производство той или иной зерновой продукции в условиях рыночных отношений, что оценивается возможной величиной маржинального дохода (маржой), $M = (C - A_0)$; взаимосвязь урожайности возделываемой культуры с условно-постоянными затратами выражается через маржинальный доход: $B = 0,44Y(C - A_0) = 0,44YM$.

Таким образом, применение экстенсивных технологий не обеспечивает требуемого уровня урожайности агроценозов. Поэтому возникает потребность в использовании технологий более высокого уровня интенсивности. Одновременно в связи с ограниченностью имеющихся ресурсов необходимо их рациональное использование, что возможно в случае применения математических методов моделирования.

В работе предложен алгоритм, основанный на методах линейного программирования, реализация которого открывает возможности для параметрического синтеза агротехнологий с заданными параметрами эффективности. Для условий богарного земледелия получены оптимальные параметры сочетания трех рекомендуемых уровней интенсивности агротехнологий для формирования среднемирового уровня урожайности, соответствующего 30-32 ц/га.

Решение задачи проектирования, выбора и адаптации агротехнологий как целого с использованием разработанного графо-аналитического метода позволя-

ет более целенаправленно выбирать технологические процессы, обеспечивающих повышение эффективности возделывания сельскохозяйственных культур, на основе построения номограмм.

Литература.

1. Арефьев Н.В., Бреусов В.П., Осипов Г.К. Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 532 с.
2. Михайленко И.М. Теоретические основы и техническая реализация управления агротехнологиями. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 252 с.
3. Кардаш В.А., Рапопорт Э.О. Модель соотношения темпов экстенсивного и интенсивного развития сельскохозяйственного производства при стохастических колебаниях урожайности // ЭММ. 1979. Т. XV. Вып. 3. С. 539–546.
4. Вероятностная модель определения возможного уровня урожая / В.П. Якушев, В.М. Буре, В.В. Якушев и др. // Доклады РАСХН. 2014. № 6. С. 59–62.
5. Проблемы сельскохозяйственной экологии / А.Т. Незавитин, В.Л. Петухов, А.Н. Власенко и др. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 255 с.
6. Мазлов В.Р., Сапогова Г.В. Управление технологическими процессами и системами в растениеводстве: Монография. М.: Изд-во РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2010. 241 с.
7. Рунов Б.А., Пильникова Н.В. Основы технологии точного земледелия. Зарубежный и отечественный опыт. 2-е изд. исправ. и дополн. СПб.: АФИ, 2012. 130 с.
8. Утенков Г.Л., Рапопорт Э.О. Метод оценки параметров машинных технологий возделывания зерновых культур // Вестник РАСХН. 2017. № 6. С. 22–27.
9. Власенко А.Н. Совершенствование научных основ сибирского земледелия // Сиб. вестн. с.х. науки. 2009. № 10. С. 27–35.
10. Лачуга Ю.Ф. Сельскохозяйственному производству – новые знания // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 3. С. 3–8.
11. Черняев А.А., Ярославский В.А., Несмысленков А.П. Проблемы сохранения и развития оросительной мелиорации в Поволжье // АПК: Экономика, управление. 2014. № 5. С. 3–16.
12. Михайленко И.М. Управление системами точного земледелия. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. 234 с.
13. Краснощеков Н.В., Малышев А.В. Оценка машиноиспользования в отраслях сельского хозяйства // Техника в сельском хозяйстве. 2010. № 2. С. 34–38.
14. Лачуга Ю.Ф. Перспективные технологии и техника для сельскохозяйственного производства России // Перспективное машинно-технологическое обеспечение агроинженерной системы: юбилейный сборник научных трудов. Ростов-на-Дону: ООО «Терра», 2004. С. 5–26.
15. Кирюшин В.И. Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия // Земледелие. 2019. № 3. С. 3–7.
16. Першукевич П.М., Тю Л.В., Стенкина М.В. Основные направления социально – экономических исследований в аграрном секторе Сибири: настоящее будущее // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 4. С. 9–13.
17. Попов В.Д., Максимов Д.А., Морозов Ю.Л. Технологическая модернизация – основа инновационного развития АПК северо-западного региона России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2012. № 4. С. 19–22.
18. Имитационная модель агроэкосистемы как инструмент теоретических исследований / В.Л. Баденко, А.Г. Топаж, В.В. Якушев и др. // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 437–445.
19. Водяников В.Т. Научно-технический прогресс и проблемы экономической оценки технических средств производства // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 3. С. 30–35.
20. Утенков Г.Л. К оценке эффективности машинных технологий возделывания зерновых культур // Фундаментальные исследования. 2017. № 12-1. С. 229–233.
21. Голубев А.В. Тенденции аграрной динамики России: монография. М.: Изд-во РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 226 с.
22. Утенков Г.Л. Улучшение материального положения сельского населения Сибири путем совершенствования затратного механизма зернового производства / Сельские территории в пространственном развитии страны: потенциал, проблемы, перспективы: материалы XXIV международной научно-практической конференции. М., 2019. С. 78–81.

Поступила в редакцию 02.09.20

После доработки 25.10.20

Принята к публикации 20.12.20

Защита растений

УДК 632.951:543.544

DOI: 10.31857/S2500262721010063

ДИНАМИКА РАЗЛОЖЕНИЯ АЦЕТАМИПРИДА В ЯГОДАХ И СОКЕ ВИНОГРАДА

А.С. Комарова, кандидат химических наук, В.В. Человечкова

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608, Санкт-Петербург-Пушкин, шоссе Подбельского, д. 3
E-mail: ack@icrz.ru

Ацетамиприд относится к современным системным инсектицидам класса неоникотиноидов. Определяли содержание ацетамиприда в ягодах и соке винограда, выращенного в условиях Краснодарского края и Республики Крым при 2-кратной обработке вегетирующих растений инсектицидом Моспилан, РП (200 г/кг) с рекомендуемой нормой расхода 0,35 кг/га. Проводили количественную оценку содержания его остаточных количеств и определяли динамику деградации. Метод анализа основан на измерении содержания ацетамиприда с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии на обращенной фазе с тройным квадрупольным масс-детектором в режиме динамического мультиреакционного мониторинга. К 15 суткам после последней обработки, а также в пробах урожая ацетамиприд в ягодах винограда отсутствовал. Использование препарата Моспилан, РП на винограде с соблюдением регламентов применения безопасно.

ACETAMIPRID DECOMPOSITION DYNAMICS IN GRAPES AND GRAPE JUICE

Komarova A.S., Chelovechkova V.V.

All-Russian Institute of Plant Protection,
196608, St. Petersburg – Pushkin, shosse Podbelskogo, 3
E-mail: ack@icrz.ru

Acetamiprid belongs to the modern systemic neonicotinoid insecticides. It was carried out acetamipride determination in grapes and juice after double treatment of vegetative plants with the insecticide Mospilan, SP (200 g/kg) with a recommended rate of 0.35 kg/ha in Krasnodar region and the Republic of Crimea. There was studied acetamipride degradation dynamic and provided a quantitative evaluation of its residual amounts. The analytical method was based on the acetamipride determination using reverse phase high performance liquid chromatography (HPLC) with a triple quadrupole mass detector in the dynamic multi-reaction monitoring mode after its isolation from analyzed samples using the QuEChERS method. It was found the acetamipride absence in grapes on 15 days after the last treatment, as well as in harvest samples. It was shown that the application of the Mospilan, SP on grapes is safe if all application regulations were kept.

Ключевые слова: виноград, инсектицид, ацетамиприд, деградация, остаточные количества пестицидов

Key words: grape, insecticide, acetamipride, degradation, pesticide residues

Защита растений от болезней и вредителей – неотъемлемая часть агротехники возделывания винограда. В зависимости от климата региона их количество сильно варьирует. Схему защиты необходимо строить с учетом возможных рисков и угроз, а также факторов, им благоприятствующих. При этом обойтись без химических средств сегодня практически невозможно. В то же время их применение требует постоянного контроля, поскольку помимо сохранения урожайности использование синтетических пестицидов сопровождается загрязнением окружающей среды и продукции.

Появление на рынке новых препаратов регулируется системой государственных регистрационных испытаний, предусматривающей, в том числе утверждение регламентов их применения и оценку содержания остаточных количеств пестицидов в сельскохозяйственной продукции [1].

Несмотря на расширение ассортимента препаратов, количество действующих веществ (д.в.), входящих в их состав, увеличивается не так быстро. Чаще всего появление новых пестицидов обусловлено новыми комбинациями действующих веществ в различных количественных соотношениях, а также модификацией препаративных форм [2].

Одно из таких действующих веществ, входящих в состав современных инсектицидов, – ацетамиприд. Он относится к сравнительно новому классу неоникотино-

идов и обладает контактным, кишечным и системным действием, поэтому всасывается всеми частями растений и распространяется во все органы равномерно. В результате вредители погибают как от поедания обработанных растений, так и при попадании препарата на покровы тела насекомых-вредителей [3].

Механизм действия ацетамиприда основан на необратимой блокаде никотинзависимых рецепторов ацетилхолина в нервной системе, что нарушает передачу нервного импульса через синапс, в результате чего насекомое погибает от сильного нервного перевозбуждения.

Среди препаратов на основе ацетамиприда можно назвать Моспилан, РП (200 г/кг ацетамиприда), который может быть использован на винограде для борьбы с гроздовой листоверткой. Препарат широко применяют при выращивании сельскохозяйственных культур защищенного и открытого грунта, в плодовых садах и комнатном цветоводстве. Моспилан, РП высокоэффективен в борьбе с такими опасными вредителями, как клоп вредная черепашка, колорадский жук, хлебная жужжелица, злаковые мухи, хлебные блошки, трипс, тля, белокрылка, саранчевые, щитовка, долгоносик, яблоневый пилильщик и яблонная плодожорка. В зависимости от вида вредителя, инсектицид поражает взрослых насекомых, личинок и яйца.

Цель исследований – изучение динамики деграда-

ции ацетамиприда и определение его остаточных количеств в пробах винограда и виноградного сока после обработки препаратом Моспилан, РП в условиях Краснодарского края и Республики Крым для оценки безопасности применения инсектицида на этой культуре.

Методика. Исследования проводили в Краснодарском крае (2018 и 2019 гг.) и в Республике Крым (2019 г.) на сортах винограда Каберне Совиньон, Шардоне, Бастардо Магарачский. Двухкратное опрыскивание вегетирующих растений осуществляли с использованием ручных ранцевых опрыскивателей Solo или Virolux с расходом рабочей жидкости 1000 л/га. Норма расхода по препарату составила 0,35 кг/га, по действующему веществу 70 г/га.

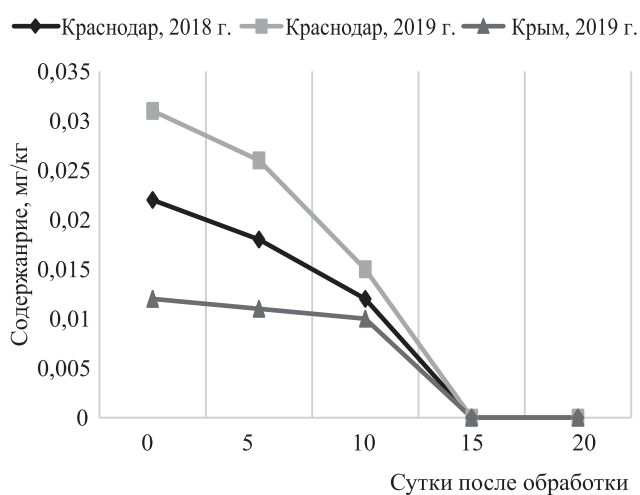
В работе исследовали поведение ацетамиприда в ягодах и соке винограда после обработки препаратом Моспилан, РП в условиях двух почвенно-климатических зон. Краснодарский край характеризуется умеренно-континентальным и умеренно-влажным климатом с предкавказскими, южными, слабогумусными, тяжелосуглинистыми черноземами. Для Крыма характерен климат умеренного пояса, почва – коричневая горная некарбонатная.

Отбор проб выполняли в соответствии с «Унифицированными правилами отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания, объектов окружающей среды для определения микроколичеств пестицидов», утвержденными 21.08.1979 г. [4] в день обработки (через 2 часа после обработки), на 5, 10, 15 и 20 сутки отдельно с каждой повторности опыта. Из них формировали средний образец, который замораживали и хранили в морозильной камере при -18 °C [5]. Кроме того, был проведен анализ виноградного сока, изготовленного из проб на 20 сутки после обработки.

Анализ образцов на содержание ацетамиприда проводили в соответствии с методическими указаниями «Многоостаточное определение пестицидов различной химической природы в продукции растениеводства», МУК 4.1.3351-16 [6], методом, основанным на измерении концентрации ацетамиприда с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на обращенной фазе с тройным квадрупольным масс-детектором в режиме динамичного мультиреакционного мониторинга после его выделения из анализируемых проб методом QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe – универсальный метод подготовки проб, позволяющий извлечь остаточные количества органических соединений, принадлежащих к разным химическим классам) [1].

Пробоподготовка по методу QuEChERS состояла из двух этапов – экстракция и очистка. Экстракцию ацетамиприда из анализируемых проб проводили ацетонитрилом, содержащим 1 % уксусной кислоты, с использованием смеси сульфата магния и хлорида натрия. Очистку проводили методом дисперсионной твердофазной экстракции с применением смеси сорбентов на основе амина, октадецилсилана и графитизированной сажи.

Анализ подготовленной пробы осуществляли на хромато-масс-спектрометре Bruker EVOQ Cube (Bruker), состоящем из высокоэффективного жидкостного хроматографа Bruker Advanced UHPLC и масс-спектрометра Bruker модели EVOQ Cube, снабженного аналитической колонкой Termo Acclaim RSLC (100 × 2,1) мм, 2,2 мкм. Температура колонки – 30 °C, скорость потока элюента – 0,2 см³/мин., объем вводной пробы – 1 мм³, подвижная фаза – 0,1 %-ная муравьиная кислота и метанол в соотношении 67:33,



Разложение ацетамиприда в ягодах винограда.

ионный источник – HESI (электроспрей). Режим сканирования: мониторинг заданных реакций (MRM) ацетамиприда 223→90, 223→126, 223→56.

Результаты и обсуждение. Метаболизм исследуемого неоникотиноидного инсектицида ацетамиприда широко изучали на микробах [7], растениях, животных и почвах [8-10].

По установленным гигиеническим нормативам (ГН 1.2.3539-18), максимально допустимый уровень (МДУ) ацетамиприда в ягодах винограда составляет 0,5 мг/кг. В наших исследованиях при использовании препарата Моспилан, РП содержание указанного действующего вещества в пробах ягод винограда через 2 ч после обработки варьировало в зависимости от почвенно-климатической зоны и года проведения опыта от 0,012 до 0,031 мг/кг (см. рисунок), что практически на порядок меньше МДУ. В дальнейшем величина этого показателя в анализируемых образцах снижалась еще больше. На 15 и 20 сутки после обработки ацетамиприда в пробах ягод винограда не отмечали, что может быть объяснено преодолением порога чувствительности методики, который равен 0,01 мг/кг. Анализ виноградного сока также продемонстрировал отсутствие ацетамиприда в изучаемых пробах.

Результаты аналогичных исследований, проведенных на различных сельскохозяйственных культурах и пищевой продукции во всем мире (например, на сахарной свекле [11, 12], на фруктах [13, 14], овощах закрытого грунта [15-17], меде [18], вине [19] и орехах [20]) свидетельствуют, что ацетамиприда, как правило, достаточно быстро разлагается и не детектируется в урожае и продуктах его переработки.

Таким образом, кривые деградации ацетамиприда в винограде, построенные по результатам исследований, свидетельствуют о полном его разрушении к 15 суткам после последней обработки, а также о его отсутствии в соке, произведенном из ягод через 20 дней после обработки. Скорость разрушения ацетамиприда не зависела от почвенно-климатических условий произрастания винограда. С учетом изложенного можно утверждать, что при соблюдении регламентов применения использования препарата Моспилан, РП на винограде безопасно.

Литература.

1. Петрова М.О., Черменская Т.Д. Поиск остаточных веществ пестицидов в сельскохозяйственной

- продукции - путь к безопасному продовольствию // *Биосфера*, 2019. Т. 11. № 1. С. 40–47.
2. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации // М.: Приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2020. № 4. 826 с.
3. *The pesticide manual*. 13th edition /ed. C. Tomlin. Surrey: BCPC, 2003. 1344 p.
4. МУ № 2051-79. Унифицированные правила отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания и объектов окружающей среды для определения микроколичеств пестицидов. М.: Минздрав СССР, 1979. 32 с.
5. Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общая часть / В.И. Долженко, А.Б. Лаптев, Л.А. Буркова и др. М.: Минсельхоз России, 2018. 64 с.
6. МУК 4.1.3351-16. Многоостаточное определение пестицидов различной химической природы в продукции растениеводства: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. 42 с.
7. Degradation of the neonicotinoid insecticide acetamiprid via the N-carbamoylimine derivative (IM-1-2) mediated by the nitrile hydratase of the nitrogen-fixing bacterium *Ensifer meliloti* CGMCC 7333 / L.Y. Zhou, L.J. Zhang, S.L. Sun, et al. // *Agric Food Chem*. 2014. Vol. 62(41). P. 9957–9964.
8. Lazić S., Šunjka D., Jovanov P. LC-MS/MS determination of acetamiprid residues in sweet cherries // *Rom. Biotechnol. Lett*. 2017. Vol. 23(1). P. 13317–13326.
9. Jun W., Qing Z., Zhong-Cheng G. Determination of Acetamiprid and Imidacloprid Residues in Tobacco by UPLC-MS/MS // *Tobacco Science & Technology*. 2010. Vol. 10. P. 41–43.
10. Ye J., Wu J., Qin F. Analysis of 213 Pesticide Residues in Grapes by LC-MS/MS with Time-Managed MRM // *Food and Beverage*. 2018. Vol. 3. P. 527.
11. Черменская Т.Д., Человечкова В.В., Алексеев Е.Ю. Определение остаточных количеств ацетамиприда в сельскохозяйственной продукции // *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере»: в 2 частях. СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2017. Ч. 1. С. 173–176.*
12. Определение остаточных количеств ацетамиприда в ботве и корнеплодах сахарной свеклы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (МУК 4.1.3188-14) / В.И. Долженко, И.А. Цибульская, Т.Д. Черменская и др. // *Определение остаточных количеств пестицидов в пищевых продуктах, сельскохозяйственном сырье и объектах окружающей среды: сборник методических указаний (под ред. Л.С. Кучуровой)*. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2015. 112 с. С. 84–96.
13. Nawaz A., Niaz A., Ilyas M. Determination and extraction of acetamiprid residues in fruits and vegetables // *International Journal of Food and Allied Sciences*. 2015. Vol. 1. No. 2. P. 63–66.
14. Obana H., Okihashi M., Akutsu K. Determination of acetamiprid, imidacloprid, and nitenpyram residues in vegetables and fruits by high-performance liquid chromatography with diode-array detection // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50. No. 16. P. 4464–4467.
15. Degradation of the insecticide acetamiprid in greenhouse cucumbers and an estimation of the level of residues / M. Cara, V. Vorpsi, F. Harizaj, et al. // *Journal of environmental protection and ecology*. 2011. Vol. 12(1). P. 74–81.
16. Lee J., Kim B. J., Kim E. Kinetics and the Pre-Harvest Residue Limits of Acetamiprid and Chlorantraniliprole in Kimchi Cabbage Using Ultra-Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry // *Molecules*. 2019. Vol. 24. No. 14. P. 2616.
17. Martínez Vidal J.L., Gil García M.D., Martínez Galera M. Determination of acetamiprid by HPLC-fluorescence with post-column photoderivatization and HPLC-mass selective detection // *Journal of liquid chromatography & related technologies*. 2002. Vol. 25. No. 17. P. 2695–2707.
18. Yeter O., Aydın A. The fate of acetamiprid and its degradation during long-term storage of honey // *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2020. Vol. 37. No. 2. P. 288–303.
19. Alister C., Araya M., Morandé J. Effects of wine grape cultivar, application conditions and the winemaking process on the dissipation of six pesticides // *International Journal of Agriculture and Natural Resources*. 2014. Vol. 41. No. 3. P. 375–386.
20. Faraji M., Noorbakhsh R., Shafieyan H. Determination of acetamiprid, imidacloprid, and spirotetramat and their relevant metabolites in pistachio using modified QuEChERS combined with liquid chromatography-tandem mass spectrometry // *Food chemistry*. 2018. Vol. 240. P. 634–641.

Поступила в редакцию 25.08.20
После доработки 21.10.20
Принята к публикации 18.12.20

Агрохимия. Почвоведение

УДК 631.83 : 631.46

DOI: 10.31857/S2500262721010075

ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФАТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ

В.С. Бойко¹, доктор сельскохозяйственных наук,
А.Ю. Тимохин¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
В.Н. Якименко², доктор биологических наук

¹Омский аграрный научный центр,
644012, Омск, просп. Королева, 26
E-mail: timokhin@anc55.ru

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 8/2
E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru

В стационарных полевых опытах в лесостепи Западной Сибири проведена сравнительная оценка влияния длительного сельскохозяйственного использования серой лесной и лугово-черноземной почв на их фосфорное состояние. Определено содержание различных соединений фосфора в почвах экстенсивных и интенсивных агроценозов. Исследуемые почвы отличаются повышенным содержанием валового фосфора (в серой лесной почве – 0,15–0,21 %, в лугово-черноземной – 0,15–0,17 %). При систематическом применении фосфорных удобрений уровень легкоподвижных форм этого минерального элемента достоверно возрастал в пахотном слое серой лесной почвы до 12,5–14,6 мг/кг, лугово-черноземной – до 22,1–26,6 мг/кг. Анализ фракционного состава минеральных фосфатов показал устойчивый рост запасов его соединений при длительном положительном балансе. Внесенный сверх выноса фосфор распределялся в первых четырех фракциях, из которых он был доступен для потребления растениям, как в действии, так и в последствии. На исходно более плодородной тяжелосуглинистой лугово-черноземной почве все изменения показателей фосфорного состояния (и при уменьшении, и при увеличении) выражены менее рельефно, чем на серой лесной, что свидетельствует о более высокой ее буферности. Наибольшие относительные изменения величин индексов диагностики характерны для самых мобильных фракций фосфорных соединений.

CHANGE IN THE PHOSPHATE STATE OF SOILS OF THE FOREST STEPPE OF WESTERN SIBERIA AT THE SYSTEMATIC APPLICATION OF FERTILIZERS

V.S. Boiko¹, A.Y. Timokhin¹, V.N. Yakimenko²

¹Omsk Agrarian Scientific Center,
644012, Omsk, prosp. Koroleva, 26
E-mail: timokhin@anc55.ru

²Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian branch, Russian Academy of Sciences,
630090, Novosibirsk, prosp. Akademika Lavrent'eva, 8/2
E-mail: yakimenko@issa-siberia.ru

In stationary field experiments in the forest-steppe of Western Siberia, a comparative assessment of the effect of long-term agricultural use of gray forest and meadow-chnozem soils on their phosphorus state was carried out. The content of phosphorus compounds in soils of extensive and intensive agrocenoses has been determined. The studied soils are distinguished by an increased content of total phosphorus (in gray forest soil – 0.15–0.21%, in meadow-chnozem soil – 0.15–0.17%). With the systematic use of phosphorus fertilizers, the level of readily mobile phosphorus significantly increased in the arable layer of gray forest soil up to 12.5–14.6 mg / kg, in meadow-chnozem soil – up to 22.1–26.6 mg / kg. Analysis of the fractional composition of mineral phosphates in various soil uses showed a steady increase in the reserves of its compounds with a long-term positive balance. Phosphorus introduced in excess of the removal was distributed in the first four fractions, of which it was available for consumption by plants, both in action and aftereffect. It was found that on the initially more fertile and heavy meadow-chnozem soil, all changes in the parameters of the phosphorus state (both with a decrease and with an increase) are less pronounced than on a gray forest soil. This indicates its higher buffering capacity. It was revealed that the greatest relative fluctuations in the values of diagnostic indices are characteristic of the most mobile fractions of phosphorus compounds.

Ключевые слова: агроценоз, почва, фосфорное состояние, содержание соединений фосфора

Key words: agrocenosis, soil, phosphorus state, content of phosphorus compounds

Обязательное условие эффективного функционирования агроценозов – высокий уровень плодородия почвы. Оптимизация его состояния невозможна без научно обоснованного применения удобрений, прежде всего, минеральных, на долю которых приходится не менее 30–50 % дополнительного прироста урожая [1–3]. Особую важность имеет регулирование в агроценозах режима фосфора, как одного из основных макроэлементов. В период наиболее масштабного применения

минеральных удобрений (1980–1990 гг.) интенсивность баланса фосфора в земледелии Западной Сибири составляла 82–120 % [4]. Однако уже к 1996–1998 гг. использование удобрений резко снизилось; при этом из общего количества внесенных в начале 2000-х годов минеральных удобрений на долю фосфорных приходилось в среднем 7–10 %, а на азотные – до 90 % [5]. И хотя последствие фосфорных удобрений, особенно при их активном балансе, может значимо проявляться

в течение нескольких десятилетий [6-8], очевидно, что фосфорный фонд пахотных почв за последние годы мог заметно истощиться. Отметим, что рациональное регулирование режима фосфора в агроценозах в не-малой степени зависит от адекватности диагностики фосфатного состояния почв, на которую сильно влияет региональная специфика фосфатного почвенного фонда – минералогический и гранулометрический состав, валовые запасы фосфора и др. [9, 10].

В этой связи, принимая во внимание многолетний сильнодефицитный баланс фосфора в земледелии, изучение фосфатного состояния пахотных почв с учетом региональной специфики почвенно-климатических условий, представляется весьма актуальным.

Цель наших исследований – в стационарных полевых опытах оценить изменение фосфатного фонда почв при их длительном сельскохозяйственном использовании.

Методика. Объектами исследования послужили почвы лесостепной зоны Западной Сибири – серая лесная (северная лесостепь) и лугово-черноземная (южная лесостепь).

Полевой опыт на исходно целинной серой лесной среднесуглинистой почве был заложен в 1988 г. на научно-исследовательском стационаре ИПА СО РАН (Новосибирская обл., Искитимский р-н). До 2000 г. выращивали овощные культуры в севообороте, а затем картофель в монокультуре; удобрения вносили в форме Na_2P , P_{25} и K_2O , ежегодно, с учетом потребности конкретной возделываемой культуры [5, 11]. В представленном сообщении рассматриваются наиболее контрастные варианты: без удобрений, NP и NPK . В эксперименте учитывали и отчуждали с делянок как основную, так и побочную продукцию выращиваемых культур.

Полевой опыт на лугово-черноземной тяжелосуглинистой почве был заложен в 1978 г. на научно-исследовательском стационаре СибНИИСХ (Омская обл., Омский р-н). На одном участке в севообороте выращивали, преимущественно, многолетние и однолетние травы и травосмеси (далее – кормовой севооборот), параллельно на другом – зерновые культуры и травосмеси (зернотравяной севооборот) [12]. В связи с очень высоким содержанием калия в исследуемой почве (обменного – 60 мг/100 г) калийные удобрения не применяли. В этом сообщении рассмотрены два наиболее контрастных варианта опытов – без удобрений и NP . Побочную продукцию зерновых и зернобобовых культур (солома) при уборке разбрасывали по полю.

Закладку и проведение опытов осуществляли по общепринятым методикам, повторность – 4-кратная. Почвенные образцы анализировали стандартными методами [13]: гумус определяли по Тюрину, pH – на потенциометре, подвижный фосфор – по Чирикову, легкоподвижный – по Францесону, степень подвижности фосфатов – по Карпинскому и Замятиной, фракционный состав минеральных фосфатов – по Гинзбург и Лебедевой, обменные катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) – в вытяжке 1 М раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.

Результаты и обсуждение. Рациональное систематическое применение удобрений способствовало значительному росту продуктивности выращиваемых культур, по сравнению с неудобрявшимися участками (табл. 1). Так, на лугово-черноземной почве, исходно достаточно высокоплодородной, средняя урожайность культур за время проведения опытов в контрольных вариантах (без удобрений) кормового и зернотравяного севооборотов составила 3,4-3,7 тыс. корм.ед./га, тогда

Табл. 1. Общая урожайность культур и поступление макроэлементов с минеральными удобрениями в длительных полевых опытах

Вариант	Суммарный урожай, тыс. корм.ед./га	Внесено с удобрениями, кг д.в./га		
		азот	фосфор	калий
Серая лесная почва				
Овощные культуры и картофель (1988–2019 гг.)				
Без удобрений	199,0	-	-	-
NP	232,0	3820	2180	-
NPK	347,0	3820	2180	6060
Лугово-черноземная почва				
Кормовой севооборот (1978–2019 гг.)				
Без удобрений	158,3	-	-	-
NP	214,7	2739	3288	-
Зернотравяной севооборот (1978–2019 гг.)				
Без удобрений	138,9	-	-	-
NP	213,2	3138	2796	-

как при внесении оптимальных доз NP удобрений – 5,3-5,5 тыс. корм.ед./га. Одностороннее внесение NP удобрений на серой лесной почве было малоэффективным (среднегодовая урожайность в контроле и NP – соответственно – 6,5 и 7,6 тыс. корм.ед./га), очевидно, в связи с лимитированным калийным питанием растений. Сбалансированное внесение минеральных удобрений в варианте NPK способствовало значительному росту урожайности овощных культур и картофеля (среднегодовая – 11,4 тыс. корм.ед./га).

Различная интенсивность использования минеральных удобрений в вариантах проводимых опытов, специфика отдельных культур и технологий их выращивания соответствующим образом обуславливали изменения эффективного плодородия исследуемых почв (табл. 2). Содержание гумуса в лугово-черноземной почве в результате многолетнего возделывания изменилось мало, что связано, вероятно, со значительной долей орошаемых трав в структуре посевов и, соответственно, поступлением большого количества корневых и пожнивных остатков. Минерализация в верхнем почвенном слое растительной биомассы способствовала сохранению содержания катионов кальция и магния на уровне целинной почвы [12]. Величина pH исследуемой почвы за время проведения опыта несколько возросла – на 0,2-0,3 ед.

В опыте на серой лесной почве содержание гумуса резко снизилось, по сравнению с целиной (табл. 2), что, вероятно, обусловлено перманентной минерализацией почвенного органического вещества при небольшом поступлении растительного материала. Реакция среды почвы контрольного варианта за время проведения исследований мало изменилась, относительно целины, а при внесении азотных удобрений заметно снизилась. Дополнительное использование калийных удобрений не отразилось на кислотности почвы, по сравнению с внесением только NP . Сельскохозяйственное использование почвы и систематическое применение минеральных удобрений отразилось на содержании обменных катионов. Оптимизация калийного состояния почвы и сопутствующий ей рост урожайности растений привели к заметному уменьшению уровня обменного кальция и, особенно, магния. Следует отметить, что все изменения указанных почвенных агрохимических свойств во всех вариантах опытов произошли, главным образом, в слое почв 0-20 см. Выявленные в полевых

Табл. 2. Изменение свойств почв в опытах (слой 0-20 см)

Вариант	Гумус, %	pH _{водн.}	Обменные катионы, мг/ 100 г почвы		
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Серая лесная почва (1988–2019 гг.)					
Целина	4,9	7,3	405	15	12
Без удобрений	3,0	7,1	367	13	7
NP	3,1	6,7	336	10	7
NPK	3,4	6,8	301	8	19
<i>HCP₀₅</i>	0,3	0,3	28	3	3
Лугово-черноземная почва (1978–2019 гг.)					
Целина	6,5	6,8	644	58	60
Без удобрений	6,2	7,1	598	56	33
NP	6,6	7,0	630	53	32
<i>HCP₀₅</i>	0,3	0,2	68	5	5

опытах изменения почвенных свойств – содержания гумуса и обменных катионов, наряду с длительным возделыванием сельскохозяйственных культур, способны повлиять на трансформацию фосфатного фонда почв.

Почвы земледельческой зоны Западной Сибири отличаются, в целом, повышенным содержанием валового фосфора (в исследуемой серой лесной почве 0,15–0,21 %, в лугово-черноземной – 0,15–0,17 %). Однако их фосфатный фонд неоднороден; специфика содержания форм фосфорных соединений и их доступность растениям зависит от условий почвообразования. В целом для региона характерно богатство почвообразующих пород апатитами и фосфоритами и преобладание в фосфатном фонде почв высокоосновных фосфатов кальция и их окклюдируемых форм; при повышенном содержании валового фосфора в почвах, доступность его запасов обычно низкая [9, 10]. В этой связи, адекватная оценка фосфатного фонда почв в немалой степени зависит от используемых методов диагностики.

По действующим стандартным градациям содержание подвижного фосфора (по Чирикову) в исследуемых целинных почвах (табл. 3) соответствует повышенной и высокой обеспеченности этим элементом. Однако по данным ряда исследователей [9, 10], концентрация почвенного фосфора, определенная по методу Чирикова, на 74 % обусловлена содержанием в почве высокоосновных фосфатов кальция и слабо отражает обеспеченность выращиваемых культур этим минеральным элементом.

При длительном экстенсивном (без удобрений) сельскохозяйственном использовании серой лесной почвы содержание в ней подвижного фосфора заметно снизилось (табл. 3). Очевидно, это может быть связано как с его выносом урожаями культур, так и с изменением ряда почвенных характеристик (резкое уменьшение содержания гумуса и обменных катионов). Следует отметить, что указанное снижение произошло, главным образом, за первые примерно 10 лет проведения опыта; в дальнейшем уровень подвижного фосфора в почве контрольного варианта оставался довольно стабильным.

Уровень подвижного фосфора в контрольных вариантах опытов на лугово-черноземной почве изменился мало, несмотря на длительное отчуждение элемента из

Табл. 3. Изменение содержания фосфатов в почве длительных полевых опытов

Вариант	Слой почвы, см	Содержание фосфора, мг/кг почвы		
		по Чирикову	по Францесону	по Карпинскому
Серая лесная почва				
Целина (исходное)	0-20	183	7,4	2,6
	20-40	160	5,6	0,8
Овощные культуры и картофель (1988-2019)				
Без удобрений	0-20	96	1,8	0,2
	20-40	116	1,0	0,1
NP	0-20	476	14,6	6,3
	20-40	338	6,8	3,1
NPK	0-20	493	12,5	6,0
	20-40	292	3,8	3,2
	<i>HCP₀₅</i>	24	3,7	1,9
Лугово-черноземная почва				
Целина (исходное)	0-20	143	9,5	2,2
	20-40	119	5,3	0,4
Многолетние и однолетние травы (1978-2019 г)				
Без удобрений	0-20	137	9,5	2,1
	20-40	114	6,1	0,7
NP	0-20	193	22,1	4,1
	20-40	129	8,6	1,6
Зерновые и кормовые культуры (1978-2019 г)				
Без удобрений	0-20	132	10,1	2,9
	20-40	127	6,5	1,4
NP	0-20	271	26,6	8,3
	20-40	225	13,9	5,5
	<i>HCP₀₅</i>	20	2,8	1,6

почвы. В то же время при систематическом внесении фосфорных удобрений содержание подвижного фосфора существенно возросло в обеих почвах (см. табл. 3). Можно предположить, что величина этого показателя, как диагностический параметр при мониторинге фосфатного состояния почв агроценозов, довольно хорошо отражает режим накопления этого элемента и заметно хуже – масштабы его потребления (выноса) культурами. Это свидетельствует о целесообразности комплексного использования нескольких диагностических индексов для адекватной оценки фосфатного состояния пахотных почв.

По мнению А. Е. Кочергина [14], наиболее чувствительную оценку фосфатного состояния западносибирских почв обеспечивает метод Францесона. Содержание легкоподвижного фосфора в серой лесной почве в нашем опыте, рассчитанное с его использованием, отражало и длительный сильнодефицитный баланс элемента в агроценозе, и многолетнее систематическое внесение фосфорных удобрений, уменьшаясь или увеличиваясь соответствующим образом (см. табл. 3).

Обращает на себя внимание факт стабильного содержания легкообменного фосфора в верхнем слое контрольных вариантов лугово-черноземной почвы, по сравнению с целиной, и явная тенденция соответствующего его увеличения в нижележащих почвенных слоях (см. табл. 3). Причиной такого явления может быть как относительно низкая подвижность соединений фосфора в этой почве, так и их определенная биогенная аккумуляция в верхних почвенных горизонтах при многолетнем выращивании трав, сопровождавшемся, возможно, некоторым повышением степени мобильности имевшихся почвенных фракций фосфатов. При

Табл. 4. Изменение фракционного состава минеральных фосфатов в почвах длительных опытов (слой 0-20 см)

Вариант	Фракционный состав минеральных фосфатов, мг/кг				
	Ca-P _I	Ca-P _{II}	Al-P	Fe-P	Ca-P _{III}
Серая лесная почва					
Целина	12,5	6,3	4,6	5,5	47,2
Овощные культуры и картофель (1988-2019)					
Без удобрений	2,5	2,3	2,6	3,4	47,2
NP	32,9	7,4	6,8	8,2	46,9
NPK	26,6	7,3	5,8	7,2	46,8
HCP ₀₅	5,4	2,6	2,2	1,3	6,1
Лугово-черноземная почва					
Целина	5,5	5,2	4,5	10,8	8,8
Многолетние и однолетние травы (1978-2019 г)					
Без удобрений	5,1	5,9	3,9	8,4	7,6
NP	6,6	7,8	7,1	15,6	8,2
HCP ₀₅	1,4	1,3	1,1	2,3	1,6

систематическом применении фосфорных удобрений уровень легкорастворимого фосфора в лугово-черноземной почве достоверно возрастал, свидетельствуя о высокой обеспеченности культур доступными формами этого минерального элемента [14].

Важный показатель способности твердой фазы почвы отдавать в раствор ионы фосфора – степень их подвижности, определяемая по методу Карпинского-Замятиной. Величина этого показателя фосфатного состояния почвы, в отличие от других, была максимальной в верхнем почвенном горизонте и резко снижалась с глубиной (см. табл. 3), отражая как высокую обеспеченность растений доступным фосфором, так и доминирование в фосфатном фонде нижележащих почвенных слоев фракции трудно растворимых высокоосновных фосфатов кальция типа апатита. Резкое снижение степени подвижности почвенных фосфатов в контрольном варианте серой лесной почвы, по сравнению с целиной, очевидно, связано с отчуждением наиболее подвижной части фосфатного фонда почвы при многолетнем выносе урожая и свидетельствует о сильно лимитированном фосфорном питании растений. В вариантах с внесением фосфорных удобрений величина этого показателя демонстрировала высокую обеспеченность выращиваемых культур доступным фосфором.

Высокая буферность лугово-черноземной почвы и ее повышенное естественное плодородие способствовали сохранению определенного уровня ионов фосфора в почвенном растворе даже при длительном сельскохозяйственном использовании почвы. Однако значительное снижение продуктивности культур в экстенсивных агроценозах (см. табл. 1) свидетельствует, что почвенные возможности, в целом, безграничны.

Фракционный состав минерального фосфора почвы – информативный показатель ее фосфатного состояния [15]. Изменение фосфатного фонда почвы агроценозов в наших опытах отразилось на составе минеральных форм фосфатов (табл. 4). Самой динамичной в серой лесной почве была фракция наиболее растворимых

форм фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов (Ca-P_I) – при дефицитном балансе фосфора ее содержание в почве снизилось в несколько раз, по сравнению с целиной, а при положительном балансе – значительно возросло.

Содержание фракций разноосновных фосфатов кальция (Ca-P_{II}) и фосфатов полуторных окислов (Al-P и Fe-P) варьировало существенно меньше, причем по мере снижения степени растворимости отдельных форм минерального фосфора, различия в их содержании между вариантами опыта сглаживались. Количество фракции высокоосновных фосфатов кальция типа апатита (Ca-P_{III}) в почве при различной агрогенной нагрузке на нее практически не изменилось, фиксации внесенного с удобрениями фосфора в труднодоступной форме не отмечали.

В лугово-черноземной почве первая группа фосфатов кальция, легкодоступных для питания растений, также изменилась в сторону увеличения при внесении удобрений, но при небольшой разнице с другими вариантами. Содержание второй группы в исходной почве находилось на уровне первой, но в удобренных вариантах оно увеличилось заметнее – до 7,8 мг/кг.

Фосфатов алюминия во всех вариантах было более чем вдвое меньше, по сравнению с фосфатами железа, однако закономерность была аналогичной – снижение в контроле и увеличение в удобренных вариантах в 1,6 раза. Наиболее выраженными были изменения содержания фосфатов железа, количество которых увеличилось при внесении удобрений, в сравнении с исходным состоянием, почти в 1,5 раза и снизилось в контроле на 2,4 мг/кг.

Количество инертной, малодоступной фракции изменилось незначительно, что подтвердило отмеченную ранее закономерность увеличения фосфатного статуса почвы благодаря наиболее доступным соединениям. Слабые количественные изменения этой фракции свидетельствовали об отсутствии ретроградации фосфора в длительно орошаемой лугово-черноземной почве.

Таким образом, компенсация выноса фосфора из интенсивно используемых лугово-черноземной и серой лесной почв надежно поддерживает созданный оптимальный уровень его содержания, не снижая ни урожайности культур, ни почвенного плодородия, что равноценно полному использованию фосфатов. Это положение служит теоретической основой управления фосфатным режимом почв, контроль за которым возможен путем определения содержания подвижного фосфора и в целом структуры фосфатного фонда почвы.

Анализ фракционного состава минеральных фосфатов в различных вариантах использования почв показал устойчивый рост запасов его соединений при длительном положительном балансе. Внесенный сверх выноса фосфор распределялся в первых четырех фракциях, из которых он был доступен для потребления растениям, как в действии, так и в последствии. Это подтверждено многолетними данными по урожайности кормовых, зерновых культур, овощей и картофеля. Очевидно, что трансформация фонда минеральных фосфатов исследуемых почв при их сельскохозяйственном использовании происходила, прежде всего, благодаря наиболее доступной растениям фракции Ca-P_I, вызывая соответствующие изменения эффективного почвенного плодородия. Внесение повышенных доз фосфорных удобрений способствовало росту запасов доступного растениям фосфора и, вероятно, увеличению степени подвижности имевшихся почвенных фосфатов.

Литература

1. Панныков В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
2. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // *Агрохимия*. 2019. № 4. С. 3–10.
3. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1130–1139.
4. Жуков Г.А. Проблемы химизации земледелия Сибири. Новосибирск: Наука, 1989. 158 с.
5. Якименко В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 231 с.
6. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: Изд. РАН, 2019. 328 с.
7. Кудеяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // *Почвоведение*. 2019. № 1. С. 109–121.
8. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Динамика подвижных форм фосфора и калия в почвах длительных опытов // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. № 3. С. 30–33.
9. Антипина Л.П., Малыгина Л.П., Попцов С.П. Оценка фосфатного состояния и оптимальные параметры его в почвах Западной Сибири // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 1992. № 2. С. 12–15.
10. Аверкина С.С., Синещиков В.Е., Ткаченко Г.И. Оценка методов определения фосфатов в черноземах Новосибирской области // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2011. № 11–12. С. 5–10.
11. Бойко В.С., Якименко В.Н., Тимохин А.Ю. Изменение калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири при длительном сельскохозяйственном использовании // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 11. С. 66–71.
12. Бойко В.С. Полевое кормопроизводство на орошаемых черноземах в лесостепи Западной Сибири. Омск: Изд. ИП Макшеевой Е.А., 2019. 312 с.
13. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
14. Кочергин А.Е. Эффективность удобрений на черноземах Западной Сибири // *Агрохимическая характеристика почв СССР. Районы Западной Сибири*. М.: Наука, 1968. С. 316–336.
15. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 242 с.

Поступила в редакцию 25.08.2020

После доработки 02.10.2020

Принята к публикации 25.12.2020

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР КОРМОВОГО СЕВООБОРОТА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ

Н.Т. Чеботарев, доктор сельскохозяйственных наук, **О.В. Броварова**, кандидат химических наук, **П.И. Конкин**, научный сотрудник

*Институт Агробиотехнологий им. А.В. Журавского Коми НЦ УрО РАН,
167023, Сыктывкар, ул. Ручейная, 27
E-mail: olbrov@mail.ru*

В полевом стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изучено влияние органических и минеральных удобрений, а также их сочетаний на ее плодородие и продуктивность. В 6-польном кормовом севообороте установлена наивысшая эффективность совместного применения органических (торфяно-навозный компост 80 т/га) и минеральных (NPK) удобрений. Установлено положительное влияние органической и органо-минеральной системы удобрений на содержание органического вещества почвы, снижение обменной и гидролитической кислотности и повышение содержания подвижного фосфора. Отмечено снижение обменного калия в почве из-за его высокого выноса растениями. Определено, что вышеуказанные системы удобрений способствовали не только повышению урожайности культур севооборота, но и их качества. В клубнях картофеля повышалось содержание крахмала и витамина С, в однолетних и многолетних травах – сырого протеина.

INFLUENCE OF SYSTEMATIC APPLICATION OF ORGANIC AND MINERAL FERTILIZERS ON THE FERTILITY OF SOD-PODZOLIC SOIL AND PRODUCTIVITY OF FORAGE CROP ROTATION CROPS IN THE EUROPEAN NORTH

Chebotarev N.T., Brovarova O.V., Konkin P.I.

*Zhuravsky Institute of Agricultural Biotechnology, Komi Scientific Center, Ural branch, Russian Academy of Sciences,
167023, Syktyvkar, ul. Rucheynaya, 27
E-mail: olbrov@mail.ru*

The influence of organic and mineral fertilizers, as well as their combinations on its fertility and productivity was studied in a stationary field experiment on sod-podzolic light loamy soil. The highest efficiency of combined application of organic (TNK 80 t/ha) and mineral (NPK) fertilizers was established in the 6-year feed crop rotation. The positive effect of organic and organomineral fertilizer systems on the content of soil organic matter, reducing the exchange and hydrolytic acidity and increasing the content of mobile phosphorus was established. There was a decrease in the exchange of potassium in the soil due to its high removal by plants. It was determined that the above-mentioned fertilizer systems contributed not only to the increase in crop rotation productivity, but also to their quality. The content of starch and vitamin «C» in potato tubers increased, while the content of raw protein in annual and perennial grasses increased.

Ключевые слова: кормовой севооборот, органические и минеральные удобрения, урожайность, почва, агрохимические показатели

Key words: feed crop rotation, organic and mineral fertilizers, yield, soil, agrochemical indicators

Известно, что земледелие – один из наиболее сильных факторов воздействия на природную среду. При этом удобрение – важнейшее средство активного целенаправленного регулирования питания растений, круговорота и баланса биогенных веществ, последовательного повышения плодородия почв и на этой основе – продуктивности агроценозов и поддержания экологического равновесия в природе [1-3]. Увеличение продуктивности агроценозов дерново-подзолистых почв Севера невозможно без совершенствования технологий сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почв, а также возделывания сельскохозяйственных культур, адаптированных к региональным почвенно-климатическим условиям [4, 5].

Ресурсы органических удобрений в связи с кризисом животноводства крайне истощены, минеральные удобрения – дорогостоящи, поэтому решение задачи по повышению плодородия почв возможно путем расширения посевов однолетних и многолетних трав, что служит наиболее доступным и низкзатратным способом обеспечения роста продуктивности культур северных территорий.

Цель работы – изучить влияние различных систем удобрений на плодородие дерново-подзолистой по-

чвы, продуктивность и качество культур кормового севооборота в условиях северного земледелия.

Методика. Исследования по изучению различных систем удобрений в 6-польном кормовом севообороте проводили в 1978 – 2019 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой среднеоккультуренной почве по методике Б.А. Доспехова [6]. В работе использовали следующие виды анализов. В почве: гумус – ГОСТ 26213-91; pH в солевой вытяжке – ГОСТ 26483-85; подвижный фосфор и калий – ГОСТ 54650-2011; валовый анализ биофильных элементов в почве и удобрениях – адсорбционным и рентгено-флуоресцентным (VRA-33) методами. В растениях: азот общий – фотоколориметрическим методом; сырая клетчатка – по Геннебергу и Штоману (1969); кормовые единицы, БЭВ, сырой протеин – расчетным методом; нитратный азот – ионо-селективным методом; азот и углерод – методом газовой хроматографии; сухое вещество – ГОСТ 27548-97; крахмал – ГОСТ 7194-81; витамин С – ГОСТ 24556-89.

Агрохимические показатели почвы и схема опыта приведены в табл. 1.

Кормовой севооборот включал следующие культуры: картофель, викоовсяную смесь с подсевом многолетних трав, многолетние травы 1 года пользования (г.п.), многолетние травы 2 г.п., викоовсяную смесь, картофель.

Табл. 1. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в слое 0-20 см при систематическом применении удобрений

Вариант	Общий гумус по Тюрину, %		pH _{KCl}		Гидролитическая кислотность		Сумма поглощенных оснований		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	1978	2019	1978	2019	1978	2019	1978	2019	1978	2019	1978	2019
Без удобрений	2,1	2,6	5,5	5,8	3,1	2,0	10,3	12,2	223	266	146	119
1/3 NPK	2,3	2,8	5,6	5,3	3,7	2,7	13,6	10,2	193	285	148	130
1/2 NPK	2,5	2,9	5,6	5,4	3,4	2,6	16,8	11,1	187	260	152	132
NPK	2,5	2,7	5,4	5,7	3,4	1,9	14,8	13,2	201	234	156	153
ТНК 40 т/га (фон 1)	2,5	2,8	5,2	5,5	3,7	2,2	15,3	12,1	211	309	148	108
Фон 1 + 1/3 NPK	2,4	2,6	5,3	5,8	3,7	1,7	13,9	12,1	212	332	162	111
Фон 1 + 1/2 NPK	2,4	2,8	5,2	5,9	3,4	2,1	14,6	13,0	246	443	178	125
Фон 1 + NPK	2,1	3,0	4,8	5,7	4,2	2,1	13,3	12,1	184	314	181	106
ТНК 80 т/га (фон 2)	2,4	3,5	5,3	5,7	3,8	2,0	15,5	12,4	201	342	170	129
Фон 2 + 1/3 NPK	2,0	3,6	5,1	5,8	3,9	1,9	11,7	12,9	180	371	173	105
Фон 2 + 1/2 NPK	2,6	3,1	5,2	6,7	4,4	0,7	13,0	13,3	240	313	185	116
Фон 2 + NPK	2,3	3,2	5,3	6,8	3,6	0,6	13,2	14,6	227	318	190	136
HCP ₀₅	0,2	0,3	0,5	0,6	0,3	0,2	1,4	1,3	16	32	16	13

Органические удобрения в виде торфонавозного компоста (ТНК) вносили 2 раза за ротацию севооборота, под картофель. Средние агрохимические показатели ТНК следующие: pH_{KCl} 7,2-7,5, сухое вещество – 26-30 %, зольность – 20-24 %, содержание общего азота – 0,52-0,60 %, фосфора – 0,50-0,56, калия – 0,42-0,48 %. Для восполнения выноса элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур ежегодные дозы минеральных удобрений составляли: под картофель – N₆₀P₃₀K₁₈₀, викоовсяную смесь – N₄₀P₃₂K₁₁₆, многолетние травосмеси (клевер + тимopheевка) – N₄₀P₃₂K₁₀₈. Использовали также их пониженные (1/3 и 1/2 от полной) дозы. Планируемая урожайность зеленой массы викоовсяной смеси – 15,0, клубней картофеля – 15,0 т/га, сена многолетних трав – 15 т/га.

Результаты и обсуждение. Удобрения оказывали существенное влияние на основные агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы (табл. 1). Содержание гумуса в ней увеличилось, особенно значительно при использовании компоста в чистом виде (на 0,3-1,1 %) и совместно с минеральными удобрениями (на 0,2-0,9 %), по сравнению с исходным его количеством. При внесении одних минеральных удобрений (во всех дозах) величина этого показателя повышалась на 0,2-0,5 %. Это указывает на то, что минерализация гумуса не опережала его гумификацию из-за достаточного объема поступления в почву органического вещества в виде торфонавозного компоста и пожнивно-корневых остатков возделываемых культур.

Важный положительный результат наших исследований – повышение исходного содержания гумуса (на 0,5 %) в варианте без удобрений и получение достаточно высокой средней урожайности (3,7 т/га сухого вещества) кормовых культур вследствие поступления в почву значительного объема растительных остатков, в первую очередь многолетних трав, их минерализации и гумификации под воздействием микроорганизмов.

Во всех вариантах опыта снизилась обменная и гидролитическая кислотность почвы, что можно объ-

яснить достаточным поступлением в нее кальция и магния. Обменная кислотность в большей степени возросла в вариантах с применением минеральных удобрений (на 0,2-0,3 ед. pH), незначительно снизилась в вариантах с внесением органических (0,3-0,4 ед. pH) и органоминеральных (на 0,5-1,5 ед. pH) удобрений, особенно в высоких дозах – ТНК 80 т/га + NPK. Подобная закономерность отмечена и по гидролитической кислотности. В варианте без удобрений обменная кислотность снизилась на 0,3 ед. pH, гидролитическая – на 1,1 ммоль/100 г почвы.

В вариантах с ТНК и NPK, а также при совместном их применении содержание подвижных форм фосфора повысилось на 30-180 мг/кг вследствие минерализации компоста, пожнивно-корневых остатков культур, а также неполного использования растениями фосфора из минеральных удобрений на холодных почвах Севера [7]. Минерализация органического вещества растительных остатков и торфонавозного компоста под действием микроорганизмов проходила более интенсивно, так как внесенный минеральный азот служил питательной средой для их различных групп, что позволило ускорить переход элементов питания в доступную для растений форму.

Количество обменного калия снизилось во всех вариантах, о чем свидетельствует его высокий вынос урожаем культур севооборота, но в большей степени без применения удобрений (147 мг/кг почвы), а также вымывание его вниз по профилю дерново-подзолистых почв [8].

Применение торфонавозного компоста, минеральных удобрений, и особенно совместное их внесение, способствовало повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Так, в среднем за две ротации севооборота урожайность сухого вещества (с.в.) картофеля была выше, чем в контроле, на 10-65 %. При повышении доз минеральных удобрений с 1/3 NPK до NPK прибавка к контролю возросла с 10,0 до 26,0 %, при увеличении дозы ТНК с 40 до 80 т/га – с 29 до 42

Табл.2. Урожайность (т/га сухого вещества) культур в кормовом севообороте, средняя за 2008 – 2019 гг.

Вариант	Картофель		Многолетние травы		Однолетние травы	
	урожайность, т/га	прибавка к контролю, %	урожайность, т/га	прибавка к контролю, %	урожайность, т/га	прибавка к контролю, %
Без удобрений	3,1	-	3,0	-	3,1	-
1/3 NPK	3,4	9,6	4,4	46,7	3,4	9,6
1/2 NPK	3,8	22,6	4,9	63,3	3,7	19,3
NPK	3,9	25,8	5,7	90,0	4,0	29,0
ТНК 40 т/га (фон 1)	4,0	29,0	3,7	23,3	3,5	12,9
Фон 1 + 1/3 NPK	4,2	35,5	4,8	60,0	3,7	19,3
Фон 1 + 1/2 NPK	4,6	48,4	5,6	86,7	3,9	25,8
Фон 1 + NPK	5,0	61,3	6,2	106,6	4,3	38,7
ТНК 80 т/га (фон 2)	4,4	41,9	4,1	36,6	3,8	22,5
Фон 2 + 1/3 NPK	4,7	51,6	5,2	73,3	4,1	32,2
Фон 2 + 1/2 NPK	5,0	61,3	5,8	91,4	4,3	38,7
Фон 2 + NPK	5,1	64,5	6,6	120,0	4,4	41,9
НСР ₀₅	0,4		0,5		0,4	

Табл. 3. Биохимический состав продукции культур кормового севооборота (среднее за 2008 – 2019 гг.)

Вариант	Картофель (клубни)				Многолетние травы (зеленая масса)				Однолетние травы (зеленая масса)			
	сухое вещество, %	крахмал, %	витамин С, мг%	нитраты, мг/кг сухой массы	сухое вещество, %	сырой протеин, %	сырой жир, %	сырая клетчатка, %	сухое вещество, %	сырой протеин, %	сырой жир, %	сырая клетчатка, %
Без удобрений	21,4	12,6	16,9	3,6	22,1	10,2	2,6	27,8	22,2	11,6	3,1	27,6
1/3 NPK	21,2	13,1	19,4	64	21,3	12,5	3,4	26,4	21,4	14,3	3,5	26,4
1/2 NPK	19,9	13,6	21,0	73	20,6	13,6	3,7	26,5	20,8	14,6	3,6	25,6
NPK	18,9	13,4	20,4	82	19,6	13,4	4,1	27,0	19,6	15,2	3,5	26,2
ТНК 40 т/га (фон 1)	20,2	12,2	17,6	62	22,8	12,1	4,3	26,8	21,9	14,9	3,8	27,0
Фон 1 + 1/3 NPK	19,6	12,9	21,7	91	21,6	13,5	3,9	26,4	20,6	14,1	3,6	26,8
Фон 1 + 1/2 NPK	18,9	13,4	19,8	98	19,3	13,7	4,0	26,8	19,8	15,2	3,9	27,3
Фон 1 + NPK	18,2	13,5	22,4	115	19,2	12,9	4,3	26,5	18,9	14,9	3,7	26,9
ТНК 80 т/га (фон 2)	19,7	13,3	21,2	93	21,8	13,6	4,2	25,6	20,7	15,7	4,1	26,4
Фон 2 + 1/3 NPK	19,4	12,8	23,7	104	19,2	14,1	4,1	25,4	20,7	15,6	4,1	26,5
Фон 2 + 1/2 NPK	18,5	13,0	24,6	118	18,9	14,4	4,2	24,8	20,3	15,3	4,2	26,2
Фон 2 + NPK	18,3	13,3	25,1	124	18,6	14,3	4,3	24,6	19,6	15,1	4,3	26,1
НСР ₀₅	1,8	1,3	2,0	10	2,0	1,4	0,5	2,6	2,0	1,3	0,4	2,7

%. Наибольшая в опыте продуктивность картофеля отмечена при совместном внесении ТНК и минеральных удобрений – 4,7-5,1 т/га с.в., что на 52-65 % выше, чем в контроле (табл. 2).

Урожайность однолетних трав при внесении одних минеральных удобрений или двойной дозы ТНК была выше, чем в контроле, на 10-29 и 13-22 % и существенно возрастала при совместном их применении, особен-

но с полной дозой NPK – на 39-42 %, по отношению к контролю.

Минеральные удобрения увеличивали урожайность многолетних трав на 47-90 %, по сравнению с контролем. Также как и на предыдущих двух культурах её величина была наибольшей при совместном внесении обоих видов удобрения под картофель (4 раза за 2 ротации севооборота).

Табл. 4. Экономическая эффективность удобрений при возделывании культур в кормовом севообороте (2019 г.)

Показатели	Варианты										
	1/3 NPK	1/2 NPK	1 NPK	ТНК 40 т/га – фон 1	Фон 1 - 1/3 NPK	Фон 1 - 1/2 NPK	Фон 1 - 1 NPK	ТНК 80 т/га – фон 2	Фон 2 - 1/3 NPK	Фон 2 - 1/2 NPK	Фон 2 - 1 NPK
Средняя прибавка урожая 3-х культур от удобрений, т/га	2,0	3,2	4,4	2,0	3,5	4,9	6,3	3,1	4,8	5,9	6,9
Затраты на внесение удобрений, тыс. руб./га	57,0	85,5	121,3	34,6	91,6	120,1	155,9	69,2	126,2	154,7	180,5
Выручка от реализации дополнительной продукции, тыс.руб./га	100,0	160,0	220,0	100,0	175,0	245,0	315,0	155,0	240,0	295,0	345,0
Условный чистый доход от использования удобрений, тыс.руб./га	43,0	74,5	98,7	65,4	83,4	124,9	159,1	85,8	113,8	140,3	164,5
Уровень рентабельности, %	75	87	81	102	91	104	102	124	90	90	91

Применяемые удобрения значительно воздействовали на биохимический состав кормовых культур. Содержание сухого вещества в клубнях картофеля с повышением доз органических и минеральных удобрений снизилось на 2-4%, значительнее – при использовании органических и минеральных удобрений в высоких дозах. То же, но в меньшей степени наблюдали по однолетним и многолетним травам.

Содержание сырого протеина в вариантах с минеральными и органо-минеральными удобрениями, особенно в высоких дозах, повысилось в клубнях картофеля, однолетних и многолетних травах (табл. 3). Содержание нитратов в клубнях картофеля не превысило ПДК (250 мг/кг сырой массы). Количество сырого жира в кормовых культурах увеличилось при внесении удобрений, преимущественно в высоких дозах. Содержание сырой клетчатки с повышением доз органических и минеральных удобрений незначительно (на 1-2 %) снизилось в кормах.

В результате экономических расчетов установлено, что наиболее значительный эффект получен при использовании полной дозы минеральных удобрений на фоне двойной дозы торфо-навозного компоста, условный чистый доход составил 113,8-164,5 тыс. руб./га (табл. 4). Суммарная прибавка урожайности сухого вещества трех культур за одну ротацию севооборота составила 3,5-6,9 т/га. Затраты на удобрения достигали 91,6-180,5 тыс. руб./га. Выручка от реализации дополнительной продукции в указанных вариантах равнялась 83,4-164,5 тыс. руб. Наилучшие в опыте результаты получены при использовании полной дозы NPK ($N_{60}P_{30}K_{180}$) на фоне 80 т/га ТНК: прибавка урожайности составила 6,9 т/га; условный чистый доход – 164,5 тыс. руб./га.

Таким образом, в кормовом севообороте на дерново-подзолистой среднекультуренной почве эффективно совместное применение торфо-навозного компоста (80 т/га два раза за 6 лет) и ежегодное внесение минеральных удобрений, в дозах, рассчитанных по выносу питательных веществ планируемым урожаем культур. При таком способе внесения удобрений значительно повышается плодородие почвы, продуктивность и качество возделываемых культур, а также экономическая эффективность сельскохозяйственного производства.

Литература

1. Косолапов В.М. Роль кормопроизводства в обеспечении продовольственной безопасности России // *Адаптивное кормопроизводство*. 2010. № 1. С. 16–19.
2. Чеботарев Н.Т. Об эффективности использования удобрений при возделывании кормовых культур в условиях Республики Коми // *Кормопроизводство*. 2012. № 8. С. 32–33.
3. Минеев В.Г. *Агрохимия*. М.: МГУ, Наука, 2006. 720 с.1. Косолапов В.М.
4. Заболоцкая Т.Г., Юдинцева И.И., Кононенко А.В. *Северный подзол и удобрения*. Л.: Наука, 1985. 179 с.
5. Войтович Н.В., Лобода Б.П. Оптимизация минерального питания в агроценозах Центрального Нечерноземья. М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2005. 193 с.
6. Доспехов Д.А. *Методика полевого опыта*. М.: Колос, 1985. 351 с.
7. Журбицкий З.И. Влияние внешних условий на минеральное питание растений // *Агрохимия*. 1965. № 3. С. 65–75.
8. Сычев В.Г. *Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования*. М.: РАН, 2019. 328 с.
9. Лапа В.В., Ивахненко Н.Н. Продуктивность севооборотов и изменение плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. 2012. № 9. С. 41–48.
10. Босак В.Н. Плодородие и продуктивность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при длительном применении удобрений // *Агрохимия*. 2012. № 9. С. 14–20.
11. Действие и последствие органических удобрений в севообороте / С.И. Новоселов, С.А. Горохов, М.Н. Иванов и др. // *Агрохимия*. 2013. № 8. С. 30–37.
12. Чухина О.В., Жуков Ю.П. Плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур в севообороте при применении различных доз удобрений // *Агрохимия*. 2013. № 11. С. 10–18.
13. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Г.Е. Мерзлая, Г.А. Зябкина, Т.П. Фомкина и др. // *Агрохимия*. 2012. № 2. С. 37–46.
14. Шпаков А.С. Многолетние травы в кормовых севооборотах // *Кормопроизводство*. 1997. № 12. С. 9–11.

Поступила в редакцию 25.08.20

После доработки 19.10.20

Принята к публикации 25.12.20

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ВИНОГРАДНИКОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ*

Е.А. Черников, кандидат сельскохозяйственных наук, **В.П. Попова**, доктор сельскохозяйственных наук,
О.В. Ярошенко, кандидат сельскохозяйственных наук, **А.А. Морморштейн**, аспирант

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия,
350901, Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39
E-mail: Garden_soil@mail.ru

Исследования проводили с целью выявления тенденции трансформации свойств засоленных и солонцеватых почв виноградников в условиях изменения региональных погодных условий при интенсивном сельскохозяйственном использовании. Выявлена тенденция к повышению аридности климата Анапо-Таманского региона на фоне чередования влажных и засушливых периодов. Отмеченное ранее увеличение средней суммы летних осадков и средней годовой суммы осадков вследствие больших отклонений от средних значений предыдущего периода приводит к формированию отрицательного линейного тренда хода величин этих показателей в последние 20 и 30 лет. В то же время практически во всех случаях наблюдалось статистически значимое повышение температуры воздуха. Выявлено изменение свойств почв ключевого участка с насаждениями винограда под влиянием современных региональных метеорологических параметров. Во всех изучаемых почвах отмечено снижение суммы поглощённых оснований на 4–22 %, преимущественно из-за уменьшения содержания обменного кальция, увеличение суммы солей на 5,8–149,2 %, по сравнению с данными обследования 1982 г. Произошло изменение состава солей в почвах: отмечено снижение доли гидрокарбонатов и увеличение доли хлоридов и сульфатов. Солевой состав чернозёмов южных глубокосолонцеватых наиболее подвержен изменению в нижней части почвенного профиля, чернозёмов южных среднесолонцеватых – в центральной части (на глубине 120–130 см). Выявленная тенденция к повышению аридности климата Анапо-Таманского региона на фоне чередования влажных и засушливых периодов будет способствовать интенсификации процессов перераспределения солей в засоленных и солонцеватых почвах под виноградниками.

TRANSFORMATION OF SALTED VINEYARD SOILS IMPACT OF CHANGES REGIONAL METEOROLOGICAL PARAMETERS

Chernikov E.A., Popova V.P., Yaroshenko O.V., Marmorshtein A.A.

North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking,
350901, Krasnodar, ul. 40-letiya Pobedy, 39
E-mail: Garden_soil@mail.ru

Studies have been carried out to identify trends in the transformation of the properties of saline and saline soils in vineyards under changing regional weather conditions with intensive agricultural use. The revealed tendency to increase the aridity of the climate of the Anapa-Taman region against the background of alternating wet and dry periods. The previously noted increase in the average amount of summer precipitation and the average annual precipitation due to large deviations from the average values of the previous period leads to the formation of a negative linear trend in the course of precipitation in the last 20 and 30 years. At the same time, a statistically significant increase in air temperature was observed in almost all cases. Changes in the soil properties of the key area with grape plantations under the influence of modern regional meteorological parameters were revealed. A comparative analysis of the structure of the soil profile has shown that in all studied soils, there was a reduction of the amount of absorbed bases on a 4–22 %, primarily due to the decrease in exchangeable calcium, increasing the amount of salt by 5,8–149,2 % compared to the survey in 1982. There was also a change in the composition of salts in soils, a decrease in the proportion of bicarbonates and an increase in the proportion of chlorides and sulfates. The salt composition of southern deep - saline chernozems is most susceptible to change in the lower part of the soil profile, and southern medium-saline chernozems in the Central part of the soil profile (at a depth of 120–130 cm). The revealed tendency to increase the aridity of the climate of the Anapa-Taman region against the background of alternating wet and dry periods will contribute to the intensification of the processes of salt redistribution in saline and saline soils under vineyards.

Ключевые слова: виноградники, изменение погодных условий, трансформация свойств почв, засоленные и солонцеватые почвы, обменный кальций, хлориды и сульфаты

Key words: vineyards, changing weather conditions, transforming soil properties, saline and saline soils, calcium exchange, chlorides and sulfates

На территории России в 1975–2004 гг. отмечается значительное снижение индекса сухости и увеличение коэффициента увлажнения [1–3]. Это может привести к соответствующим изменениям региональных гидро-термических условий и возможному сдвигу зональных границ, это делает весьма актуальной разработку методов оценки влияния изменения климата на продуктивность сельскохозяйственных культур. Климат – основной фактор почвообразования и эволюция почв тесно связана с его изменением [4, 5]. Наибольшей скоростью

изменения под влиянием климата характеризуются такие свойства почвы, как режимы температуры и влажности, содержание органического вещества, реакция почвенной среды и наличие вредных солей. Работы по изучению влияния изменения регионального климата на свойства почв и продуктивность сельскохозяйственных культур проводятся в разных регионах [6–8].

Почвенно-климатические условия юга России благоприятны для возделывания такой многолетней культуры как виноград [9]. Наибольшие площади его план-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-44-233004 р_мол_а; Госзадания ФГБНУ СКФНЦСВВ

таций расположены в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах. Значительная часть почв, занятых виноградниками, имеет определенные свойства, которые могут негативно влиять на продуктивность насаждений и качество продукции. В соответствии со стратегией развития Российской Федерации существует необходимость в расширении площади виноградников, что вынуждает осваивать ранее не использовавшиеся земли. Нередко они бывают в разной степени засоленными или солонцеватыми. В таких условиях необходимы знания о направленности и интенсивности процессов засоления и осолонцевания, а также понимание особенностей трансформации свойств таких почв. Изменение погодных условий, в особенности режима увлажнения почвы, может в значительной степени повлиять на движение солевых растворов и трансформацию засоленных и солонцеватых почв. Отмечается и воздействие интенсивного сельскохозяйственного использования почв на региональный климат. Поэтому целесообразно изучение изменчивости погодных условий по фактическим данным конкретных пунктов, расположенных в определенных природно-климатических зонах [10]. Региональный уровень прогнозирования до сих пор остается слабо разработанным по причине недостатка фактического материала и методических трудностей перехода от глобального прогноза к региональному. Необходимы новые знания для дальнейшей разработки приемов предотвращения деградации и сохранения плодородия сельскохозяйственных земель в условиях интенсивного хозяйствования и производства конкурентоспособной, безопасной продукции.

Цель исследований – изучение и выявление особенностей формирования и трансформации засоленных и солонцеватых почв под виноградниками в условиях изменяющихся метеорологических параметров.

Методика. Исследования проводили на ключевом участке, расположенном в центральной части Таманского полуострова в насаждениях винограда ООО «Фанагория-Агро», выделенном на делювиальной полого-наклонной равнине от подножья гряды Цимбала до нижней части южного склона полого-наклонной равнины. Здесь размещены пахотные земли и виноградные плантации. С учетом рельефа и микрорельефа местности были заложены почвенные разрезы, прикопки и буровые скважины. Для всех точек опробования определены географические координаты с использованием приемника GPS. Для изучения качественного и количественного состава солей в почвах ключевого участка, а также степени их солонцеватости из всех почвенных разрезов и скважин отбирали образцы почвы по горизонтам или слоям по 20 см на глубину не менее 200 см. В сумме было отобрано и проанализировано более 250 образцов.

Лабораторные исследования включали измерений содержания и состава солей (потенциометрическое определение активности ионов Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} с помощью ионоселективных электродов [11]), реакции почвенной среды, удельной электропроводности, определение катионно-анионного состава водной вытяжки [12], содержания обменного кальция, магния и натрия [13], гранулометрического состава по Качинскому и др.

На основе результатов лабораторных исследований и инструментальной съемки микрорельефа в камеральных условиях с использованием ГИС и пакета Surfer составлены двумерные профили распределения солей в почвах ключевого участка. Оценку изменения структуры почвенного покрова на ключевом участке осуществ-

ляли на основе сравнительного анализа данных по солевому составу и солонцеватости разных туров почвенного обследования, проведенных в 1982 и 2019 гг.

Погодные условия изучали на основе выборки данных метеорологической станции Темрюк за 1960–2019 гг. Анализ проводили с использованием методического подхода, который предполагает расчет скользящих значений среднего арифметического (E) и среднего квадратического отклонения (V) интересующего показателя по 20-летним и 30-летним периодам, с последующим построением траектории их взаимного изменения в фазовом пространстве «E-V» [14]. Изменение режима увлажнения анализировали на основании данных по количеству осадков за холодный и теплый период года, а также по величине средних квадратичных отклонений; температурного режима – на основании данных средних температур по декадам, максимальных и минимальных температур. Для отдельных временных периодов рассчитывали и анализировали величины гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) и коэффициента увлажнения Сапожниковой (КУ).

Статистическую обработку данных проводили с использованием методов корреляционного и дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. Метеорологические условия региона, в котором осуществляли исследования, за последние 43 года сильно изменились. Так, если с 1960 по 1975 гг. среднее многолетнее количество осадков находилось на уровне 459 мм за год, то с 1976 по 2018 гг. оно увеличилось на 24 мм и составило 537 мм. В отдельные годы сумма осадков за год превышала 650 мм.

Увеличение суммы осадков в засушливой зоне, наряду с положительным эффектом для роста и развития растений может иметь и отрицательные последствия. Поскольку они преимущественно носят ливневый характер, это может привести к повышению интенсивности деградации почвы [15, 16].

Однако изменение годового количества осадков имеет нелинейный характер, в разные годы их сумма может сильно различаться. Углубленное изучение режима увлажнения территории по 20- и 30-летним периодам позволило выявить следующее: средняя сумма летних осадков увеличивалась, при этом тенденции аномалий по различным периодам были отрицательными. Это обусловлено большим количеством осадков в начале или середине временных промежутков и меньшим колебанием в конце периода (табл. 1). Уравнениями регрессии объясняется 24–31 % дисперсии параметра.

Табл. 1. Линейные тренды аномалий сумм атмосферных осадков (°C/10 лет) по периодам

Период	1980–1999 гг. по отношению к 1960–1979 гг.	2000–2019 гг. по отно- шению к 1960–1979 гг.	2000–2019 гг. по отношению к 1980–1999 гг.	1990–2019 гг. по отношению к 1960–1989 гг.
Лето	-8,4	-71,9*	-71,9*	-13,1
Год	-20,5	-73,7*	-73,7*	-26,0
Холодный период	-17,8	-24,8	-24,8	+2,9
Теплый период	-3,0	-70,7*	-70,7*	-28,9
*значимые линейные тренды – отклонения 2000–2020 гг., по сравнению с предыдущими двумя двадцатилетними периодами				

Табл. 2. Линейные тренды изменения сумм температур воздуха выше +10 °C (°C/10 лет) по периодам*

Показатель	1980–1999 гг. по отношению к 1960–1979 гг.	2000–2019 гг. по отношению к 1960–1979 гг.	2000–2019 гг. по отношению к 1980–1999 гг.	1990–2019 гг. по отношению к 1960–1989 гг.
Сумма температур более 10 °C (°C/10 лет)	10,4	228,4*	228,4*	189,4*
*статистически значимые изменения сумм температур воздуха более +10 °C (по отношению к другому 10-летнему периоду)				

Наряду с изменением условий увлажнения менялся и температурный режим. В самом холодном месяце в 1960–1979 гг. она составляла -2,1 °C, в 55 % лет самым холодным месяцем был январь, в 35 % – февраль, в остальных – декабрь. Средняя температура самого теплого месяца (в 80 % случаев – июль) составила +23,5 °C.

В 1980–1999 гг. средняя температура возросла, по сравнению с предыдущим периодом, на 1,1 °C. Одновременно увеличилось количество лет с февралем в качестве самого холодного месяца (до 40 % случаев), в половине лет им оставался январь. Температура самого теплого месяца возросла на 0,8 °C, доля августа – до 30 %.

В последние 20 лет в 20 % случаев самым холодным месяцем был декабрь, в 35 % – февраль, в 45 % – январь, температура возросла на 0,4 °C. В самом теплом месяце она повысилась на 0,9 °C, в 60 % лет это был август.

Статистически значимое увеличение температуры воздуха происходило во всех случаях, за исключением изменения средней величины этого показателя в самом холодном месяце в 2000–2019 гг., по сравнению с 1980–1999 гг.

Результаты анализа линейных трендов изменения сумм температур выше +10 °C (°C/10 лет) свидетельствуют, что наибольшим оно было в последние 20 лет. У значимых трендов коэффициент детерминации варьирует от 0,25 до 0,28, то есть уравнения регрессии, на основе которых они построены, объясняют 25–28 % дисперсии параметра (табл. 2).

Расчеты по двадцатилетиям показали изменения ГТК летом от 0,54 до 0,63, что соответствует условиям неустойчивого сухого земледелия. Индекс сухости Будыко изменился с первого ко второму двадцатилетию с 1,37 до 1,22, что свидетельствует о недостаточно влажном климате. Оценка по коэффициенту увлажнения Сапожниковой демонстрирует изменение с 0,59 в 1960–1979 гг. до 0,68 в 1980–1999 гг., что характеризует слабозасушливый климат. Изменения средних значений индекса сухости и коэффициента увлажнения в 1980–1999 гг., по сравнению с 1960–1979 гг. статистически достоверны.

В 1980–2019 гг. отмечали как влажные, так и засушливые периоды (по 10 лет). При этом наблюдали положительную тенденцию изменения аномалий сумм температур воздуха относительно среднего значения за 1960–1979 гг. Кроме того, установлена слабовыраженная тенденция к уменьшению влагообеспеченности.

Анализ структуры почвенного покрова ключевого участка, расположенного на делювиальной наклонной равнине южнее склонов горы Цымбалы в центральной части Таманского полуострова, по сравнению с данными почвенного обследования 1982 г., показал, что во всех изучаемых почвах произошло снижение суммы

Табл. 3. Содержание обменного кальция, мг-экв./100 г почвы

Почва	Слой, см	1982 г.	2019 г.		
			1 скв.	2 скв.	3 скв.
Чернозём южный слабовыщелоченный глубокосолонцеватый слабогумусный мощный глинистый на делювиальных глинах	0-20	24,1	20,3	15,2	18,4
	70-80	23,5	20,9	19,4	18,3
	110-120	22,9	19,9	18,8	19,6
	140-150	21,6	18,5	16,7	18,3
Ориентировочная граница почвенных ареалов	0-20	30,8	28,1	29,4	28,6
	60-70	28,3	23,5	21,7	22,6
	90-100	23,7	21,2	21,2	21,1
Чернозём южный среднесолонцеватый слабогумусный мощный глинистый на делювиальных засоленных глинах	0-20	32,7	17,5	30,8	28,4
	70-80	23,1	16,2	12,9	12,0
	120-130	17,4	15,1	9,1	29,9

поглощённых оснований на 4–22 %, преимущественно из-за уменьшения содержания обменного кальция (табл. 3). Одновременно на чернозёмах южных среднесолонцеватых установлено увеличение содержания обменного натрия в центральной части почвенного профиля на 150–400 %, что свидетельствует о переходе среднесолонцеватых (с глубины 70 см) почв в слабосолонцеватые с поверхности и сильносолонцеватые с глубины 70 см.

Анализ ионного состава водной вытяжки чернозёмов южных глубокосолонцеватых свидетельствует о снижении содержания гидрокарбонатов кальция и магния и значительном увеличении количества хлоридов натрия в средней части почвенного профиля. Произошел существенный рост концентрации хлоридов натрия, магния и кальция в нижней части почвенного профиля (табл. 4).

В чернозёмах южных среднесолонцеватых отмечено значительное увеличение суммы солей (почти в 1,5 раза) в средней части почвенного профиля, которое преимущественно обусловлено ростом содержания хлоридов и сульфатов.

Табл. 4. Отклонение показателей ионного состава водной вытяжки от данных 1982 г., %*

Слой почвы	Сумма солей, %	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na
Чернозём южный слабовыщелоченный глубокосолонцеватый слабогумусный мощный глинистый на делювиальных глинах							
110-120	6,9	-12,5	28,0	более 500	-18,6	-5,2	67,8
170-180	5,8	-8,9	13,1	более 500	-52,0	6,9	26,2
230-240	24,3	-12,8	192,4	более 500	27,7	20,0	25,7
Чернозём южный среднесолонцеватый слабогумусный мощный глинистый на делювиальных засоленных глинах							
120-130	149,2	-2,5	195,0	210,1	более 500	более 500	98,7
170-180	9,3	-15,6	71,6	12,9	138,8	52,4	33,1
*в таблице цветом выделены отрицательные значения отклонений, которые свидетельствуют о снижении содержания ионов в водной вытяжке из почвы							

В целом, в изучаемых почвах отмечено увеличение содержания суммы солей, по сравнению с 1982 г., от 5,8 до 149,2 %. Кроме того, произошло изменение состава солей в почвах, зафиксировано снижение доли гидрокарбонатов и увеличение содержания хлоридов и сульфатов. Солевой состав чернозёмов южных глубоководных оказался наиболее подвержен изменению в нижней части почвенного профиля (230–240 см), а в чернозёмах южных среднесолонцеватых самое значительное увеличение содержания солей (преимущественно за счёт хлоридов натрия и сульфатов кальция и магния) было зафиксировано в центральной части почвенного профиля (на глубине 120–130 см).

Таким образом, установлено увеличение средней суммы летних осадков и кратковременное повышение средней суммы осадков за год (по данным метеостанции Темрюк), но вследствие больших отклонений от средних значений предыдущего периода в начале и середине временного промежутка в последние 20 и 30 лет формируется отрицательный линейный тренд хода сумм осадков. В то же время практически во всех случаях отмечено статистически значимое повышение температуры воздуха.

Выявленная тенденция к повышению аридности климата Анапо-Таманского региона на фоне чередования влажных и засушливых периодов способствует интенсификации процессов перераспределения солей в засоленных и солонцеватых почвах под виноградниками. Установлено снижение содержания гидрокарбонатов кальция и магния в средней части почвенного профиля чернозёмов южных глубоководных и значительное увеличение концентрации хлоридов натрия в центральной части профиля. Отмечено существенное увеличение содержания хлоридов натрия, магния и кальция в нижней части почвенного профиля. Во влажные периоды происходит интенсификация процессов переноса солей с верховодкой и при латеральном движении минерализованных внутрипочвенных вод в естественные понижения, а далее по ложбинам и балкам ниже по уклону местности, в зону распространения незасоленных почв. В засушливые периоды усиливается их перенос с восходящим током влаги по капиллярам, что способствует подъёму солей в вышележащие горизонты почвы. В дальнейшем это может привести к их избыточному накоплению в корнеобитаемом слое и снижению продуктивности почв. Перераспределение водорастворимых солей в почвенном профиле солонцеватых почв (в особенности солей натрия) приводит к увеличению доли натрия в ППК и повышению степени солонцеватости почв.

Литература

1. *Современные климатические изменения теплообеспеченности, увлажнённости и продуктивности агрофитосферы России* / О.Д. Сиротенко, Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова и др. // *Метеорология и гидрология*. 2007. № 4. С. 101–107.
2. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В. *Современные климатические изменения продуктивности биосферы России и сопредельных стран* // *Метеорология и гидрология*. 2008. № 8. С. 90–103.
3. Сиротенко О.Д. *Основы сельскохозяйственной метеорологии. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Книга I. Математические модели в агрометеорологии*. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. Т. II. 136 с.
4. Глобальные изменения климата и почвенный покров / В.Н. Кудеяров, В.А. Демкин, Д.А. Гиличинский и др. // *Почвоведение*. 2009. № 9. С. 1027–1042.
5. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство)» / под редакцией А.И. Бедрицкого. М.: ГЕОС, 2018. 357 с.
6. *Effect of Climate Change on Grape and Its Value-Added Products. Climate-Resilient Horticulture: Adaptation and Mitigation Strategies* / J. Sharma, A. Upadhyay, P. Adsule. India: Springer, 2014. P. 67–80.
7. Rosenzweig C., Hillel D. *Soils and global climate change: challenges and opportunities* // *Soil Science*. 2000. Vol. 165. Issue 1. P. 47–56.
8. Козунь Ю.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И. *Влияние климата на биологические свойства почв юга России: монография*. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2013. 112 с.
9. Незнаева А.М. *Агроэкологические параметры почв для размещения технических сортов винограда в Анапо-Таманской зоне Краснодарского края: диссертация канд. с.-х. наук*. Краснодар, 2009. 144 с.
10. Глобальные изменения климата и почвенный покров / В.Н. Кудеяров, В.А. Демкин, Д.А. Гиличинский и др. // *Почвоведение*. 2009. № 9. С. 1027–1042.
11. Хитров Н.Б., Понизовский А.А. *Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв*. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
12. ГОСТ 26423–85 – ГОСТ 26428–85. *Почвы. Методы определения катионно-анионного состава водной вытяжки*. М.: изд-во стандартов, 1985. 39 с.
13. ГОСТ 26487–85 *Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО*. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 13 с.
14. Сиротенко О.Д. *Методы оценки изменений климата для сельского хозяйства и землепользования: методическое пособие*. М.: ГУ «ВНИИСХМ», 2007. 77 с.
15. Черников Е.А., Попова В.П., Фоменко Т.Г. *Развитие процессов засоления почв виноградников при изменении условий увлажнения на Тамани* // *Агрофизика*. 2018. № 3. С. 31–37.
16. *Причины и механизмы засоления почв виноградников юга Тамани* / Н.Б. Хитров, Е.А. Черников, В.П. Попова и др. // *Почвоведение*. 2016. № 11. С. 1305–1318.

Поступила в редакцию 25.08.20
После доработки 01.10.20
Принята к публикации 10.12.20

Животноводство

УДК 636.52/.58: 612.34

DOI: 10.31857/S2500262721010105

ТОРМОЖЕНИЕ ЭКЗОКРИННОЙ ФУНКЦИИ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ ЯЙЦЕКЛАДКЕ У КУР-НЕСУШЕК

В.Г. Вертипрахов^{1,2}, доктор биологических наук

¹Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства РАН, 141300, Московская область, Сергиев Посад, ул. Птицезградская, 10

²Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, 109472, Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23

E-mail: vertiprakhov63@mail.ru

Результаты исследования на сложнооперированных курах кросса Хайсекс белый 280-суточного возраста и старше с фистулой протока поджелудочной железы (4 гол.) позволили установить снижение активности панкреатических ферментов при снесении яйца. В опытах определяли активность панкреатических ферментов с 30-минутными интервалами времени и наблюдали снесение яиц: до кормления, через 30 и 150 минут после приема корма. Активность амилазы снижалась, соответственно на 52,2; 55,6; 46,0%; протеаз – на 33,3; 51,1; 47,5%; липазы – на 73,0; 61,7 и 47,5%, по сравнению с фоновым периодом. Очевидно, что для кур-несушек доминантой является процесс яйцекладки, который в пре- и постпрандиальный период тормозит выделение панкреатических ферментов на уровне промежуточного мозга (гипоталамуса), где расположены центры регуляции панкреатической секреции и половой функции. Временное снижение активности ферментов в момент снесения яйца компенсируется увеличением их активности в последующие дни без яйцекладки: амилазы – на 28,0% ($p<0,05$), протеаз – в 4,36 раза ($p<0,05$), липазы – на 34,2% ($p<0,05$), по сравнению с фоновым периодом. Это обеспечивает высокий уровень обмена веществ у несушек.

THE SUPPRESSION OF THE EXOCRINE PANCREATIC FUNCTION BY OVIPOSITION IN LAYING HENS

Vertiprakhov V.G.^{1,2}

¹All-Russian Research and Technological Institute of Poultry of Russian Academy of Sciences, 141311, Moskovskaya oblast, Sergiev Posad, ul. Ptitsegradskaya, 10

²Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 109472, Moskva, ul. Akademika Skryabina. 23

E-mail: vertiprakhov63@mail.ru

The results of the trial on four laying hens (cross Hisex White) with chronic fistulae of the main pancreatic duct since 280 days of age evidenced the decreases in the activities of amylase, lipase, and total proteases in the pancreatic juice during the oviposition. The activities of the enzymes were determined with interval 30 min. When ovipositions occurred before feeding, in 30 and 150 min after the feeding the activity of amylase decreased by 52.2; 55.6 and 46.0%, respectively, in compare to the basal period prior to oviposition; activity of total proteases by 33.3; 51.1 and 47.5%; activity of lipase by 73.0; 61.7 and 47.5%. The oviposition is apparently dominant for a hen and suppresses the releasing of the pancreatic enzymes in preprandial and postprandial phases at the level of the hypothalamus regulating both pancreatic secretion and reproductive function. However, this temporary decrease in the pancreatic secretion was followed by the significant increase during the subsequent days without oviposition: activity of amylase by 28.0%, total proteases 4.36-fold, lipase by 34.2% ($p<0.05$) in compare to the basal period prior to oviposition, thus maintaining high intensity of the nutritional metabolism.

Ключевые слова: экзокринная функция поджелудочной железы кур, яйцекладка, панкреатические ферменты, торможение пищеварительной функции

Key words: exocrine pancreatic function in laying hens, oviposition, pancreatic enzymes, suppression of digestive function

Процесс формирования яйца в организме кур-несушек включает несколько этапов, которые зависят от генотипа, системы содержания птицы, возраста [1], времени кормления [2, 3], режима освещения [4], температуры в птичнике [5]. Время яйцекладки напрямую связано со временем овуляции, которое зависит от лютеинизирующего гормона (ЛГ), вырабатываемого передним отделом гипофиза [6]. Время овуляции фолликулов в яичнике птиц контролируется циркадным ритмом, регулируемым часовыми генами, связанными с выработкой прогестерона, который ускоряет процесс предовуляторного выброса ЛГ [7]. Однако роль высших отделов центральной нервной системы в регуляции половой функции кур в современных работах незаслуженно преуменьшена. При полном удалении обоих полушарий головного мозга у кур наблюдается прекращение воспроизводительной функции, атрофия яичника и яйцевода, а также полностью выпадает функция самостоятельного приема пищи [8].

Единство механизмов регуляции пищеварительной и воспроизводительной функций в организме животных достигается за счет контроля со стороны центральной нервной системы, в том числе коры больших полушарий. В научной литературе при описании репродуктивной функции у птицы чаще упоминают гипоталамо-гипофизарную систему, которая регулирует процесс формирования и вывода яйца в организм. Установлено влияние тиреоидных гормонов на яичную продуктивность кур разного возраста [9]. Обнаружена взаимосвязь между гипоталамо-гипофизарно-гонадной осью и тиреотропным гормоном у человека [10]. Трудно представить, чтобы такой сложный процесс как яйцеобразование происходил в отрыве от пищеварительной деятельности. Известно [11], что преимущественно процесс снесения яиц у кур происходит в утренние часы и актуальность изучения вопросов питания в этот период расширяет возможности использования разных режимов кормления кур для его

Табл. 1. Схема опыта

Период	Особенность эксперимента
Фоновый 1	Изучение динамики экзокринной функции поджелудочной железы после кормления без снесения яйца (средние данные за 5 дней опыта)
Опытный (момент снесения яйца)	Изучение динамики экзокринной функции поджелудочной железы после кормления в момент снесения яйца (результаты опытов на 4 курах, сбор панкреатического сока 6 раз)
Фоновый 2	Изучение динамики экзокринной функции поджелудочной железы после кормления на следующий день после снесения яйца (средние данные опытов за 5 дней без снесения яйца курицей в период эксперимента)

оптимизации. Цель исследования – изучение динамики активности панкреатических ферментов при яйцекладке для оценки регуляторных механизмов взаимодействия репродуктивной и пищеварительной систем.

Методика. Опыты выполняли на 4 курах с фистулой протока поджелудочной железы кросса Хайсекс белый 280-суточного возраста и старше в соответствии с требованиями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS №123, Страсбург, 1986) [12]. Птицы находились в виварии ФНЦ «ВНИИТИП» РАН, условия кормления и содержания соответствовали требованиям для этой возрастной группы и кросса кур [13]. После оперативного вмешательства яйценоскость птицы была низкая (<30%), но остальные клинико-физиологические показатели соответствовали норме.

Для получения панкреатического сока кур оперировали по методу Ц.Ж. Батоева [14, 15]. Определяли активность панкреатических ферментов с 30-минутными интервалами времени согласно схеме опыта (табл. 1).

Биохимические исследования выполняли следующими методами: определение амилазы — по Smith-Roy в модификации для измерения высокой активности фермента [14], протеаз — по гидролизу казеина, очищенного по Гаммерстону при калориметрическом контроле (длина волны 450 нм) [14], липазы — на полуавтоматическом биохимическом анализаторе SINNOWA BS-3000P (КНР) с набором ветеринарных диагностических реагентов для определения концентрации липазы в крови животных компании «ДИАКОН-ВЕТ» (РФ).

Для статистической обработки результатов использовали программное обеспечение JMP Trial 14.1.0. Достоверность различий устанавливали по t-критерию Стьюдента, разность считали статистически значимой при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Яйцекладка у кур-несушек происходит в разное время суток, поэтому были проанализированы данные, полученные в условиях хронического эксперимента от трех кур с фистулой панкреатического протока, которые несли яйца в пре- и постпрандиальный период опытов (табл. 2-4). Активность панкреатических ферментов определяли в течение 180 мин эксперимента: 30 мин – базальный период, следующие 150 мин – постпрандиальный период. При снесении яйца курицей в препрандиальный период (базальный уровень) активность амилазы была на 52,2% ниже, по сравнению с фоновым периодом 1 (табл. 2). В случае снесения яйца курицей в следующий временной интервал опыта (30-60 мин) амилалитическая активность была ниже на 55,6%, по сравнению с фоновым периодом 1. При яйцекладке в интервале 150-180 мин опыта активность фермента снижалась на 46,0%, по сравнению с фоновым периодом 1. В итоге

Табл. 2. Активность амилазы у кур-несушек в период опыта во время снесения яйца

Период сбора сока, мин	Время яйцекладки в период с начала опыта, мин		
	0-30	30-60	150-180
0-30	$\frac{1462 \pm 194,1}{700}$	$\frac{1800 \pm 565,5}{1000}$	$\frac{3000 \pm 567,5}{2800}$
Кормление (30 г комбикорма ПК-1)			
30-60	$\frac{3075 \pm 248,3}{1500}$	$\frac{3600 \pm 711,5}{1600}$	$\frac{4240 \pm 585,4}{2800}$
60-90	$\frac{3125 \pm 490,0}{1600}$	$\frac{3900 \pm 411,8}{3000}$	$\frac{4640 \pm 485,8}{2600}$
90-120	$\frac{2750 \pm 365,2}{2200}$	$\frac{4300 \pm 176,4}{3000}$	$\frac{5520 \pm 576,4}{2200}$
120-150	$\frac{2600 \pm 306,0}{1300}$	$\frac{4900 \pm 294,1}{3200}$	$\frac{5840 \pm 590,4}{3200}$
150-180	$\frac{2950 \pm 301,0}{1800}$	$\frac{3800 \pm 352,9}{3400}$	$\frac{7040 \pm 754,2}{3800}$
Средняя активность за 180 мин опыта	$\frac{2660 \pm 217,3}{1517 \pm 176,9^*}$	$\frac{3717 \pm 148,2}{2533 \pm 345,8^*}$	$\frac{5047 \pm 554,2}{2900 \pm 192,3^*}$

Здесь и в табл. 3 и 4: в числителе — фоновый уровень активности ($n=5$), в знаменателе — активность ферментов в день снесения яйца,

* – разность достоверна по сравнению с фоном при $p < 0,05$

в среднем за опыт (180 мин) активность амилазы оставалась ниже фоновых показателей в первом варианте яйцекладки (0-30 мин опыта) – на 43,0% ($p < 0,05$), во втором (30-60 мин опыта) – на 31,9% ($p < 0,05$), в третьем (150-180 мин опыта) – на 42,6% ($p < 0,05$) по сравнению с фоновыми периодами.

Активность протеаз уменьшалась при снесении курицей яйца в период до кормления на 33,3%, в постпрандиальный период в интервале 30-60 мин опыта – на 51,1%, 150-180 мин опыта – на 47,5% по сравнению с фоновым периодом 1 (табл. 3). В результате снижение в среднем за период опыта составило соответственно по вариантам, 43,9 ($p < 0,05$); 24,3 и 40,5% ($p < 0,05$), по сравнению с фоновым периодом 1.

Активность липазы во время снесения яйца курицей также снижалась в порядке перечисленных ранее вариантов на 73,0; 61,7; 62,7%, по сравнению с фоновым периодом 1 (табл. 4). Средняя активность за 180 мин опыта в результате яйцекладки уменьшалась на

Табл. 3. Активность протеаз у кур-несушек в период яйцекладки

Период сбора сока, мин	Время яйцекладки в период с начала опыта, мин		
	0-30	30-60	150-180
0-30	$\frac{63 \pm 14,2}{42}$	$\frac{179 \pm 8,6}{58}$	$\frac{124 \pm 13,6}{83}$
Кормление (30 г комбикорма ПК-1)			
30-60	$\frac{188 \pm 38,4}{129}$	$\frac{135 \pm 17,4}{66}$	$\frac{183 \pm 17,4}{91}$
60-90	$\frac{244 \pm 40,5}{100}$	$\frac{259 \pm 30,4}{158}$	$\frac{116 \pm 30,4}{75}$
90-120	$\frac{277 \pm 29,1}{133}$	$\frac{270 \pm 6,7}{274}$	$\frac{216 \pm 28,3}{108}$
120-150	$\frac{255 \pm 41,5}{158}$	$\frac{264 \pm 29,1}{191}$	$\frac{124 \pm 22,1}{108}$
150-180	$\frac{259 \pm 32,2}{158}$	$\frac{278 \pm 25,3}{224}$	$\frac{158 \pm 24,3}{83}$
Средняя активность за 180 мин опыта	$\frac{214 \pm 19,4}{120 \pm 15,4^*}$	$\frac{214 \pm 13,6}{162 \pm 30,0}$	$\frac{153 \pm 22,8}{91 \pm 4,9^*}$

Табл. 4. Активность липазы в панкреатическом соке кур в период яйцекладки

Период сбора сока, мин	Время яйцекладки в период с начала опыта, мин		
	0-30	30-60	150-180
0-30	$\frac{6,3 \pm 0,56}{1,7}$	$\frac{7,3 \pm 0,20}{6,0}$	$\frac{8,0 \pm 0,69}{5,2}$
Кормление (30 г комбикорма ПК-1)			
30-60	$\frac{7,5 \pm 0,61}{3,4}$	$\frac{8,1 \pm 1,41}{3,1}$	$\frac{8,4 \pm 0,92}{3,5}$
60-90	$\frac{6,8 \pm 0,89}{2,0}$	$\frac{6,7 \pm 0,51}{10,8}$	$\frac{6,6 \pm 0,88}{2,4}$
90-120	$\frac{4,7 \pm 0,30}{2,7}$	$\frac{7,0 \pm 0,39}{7,5}$	$\frac{6,7 \pm 0,55}{3,4}$
120-150	$\frac{3,4 \pm 0,19}{1,6}$	$\frac{9,9 \pm 1,16}{9,3}$	$\frac{7,5 \pm 0,49}{2,8}$
150-180	$\frac{5,8 \pm 0,30}{1,3}$	$\frac{8,2 \pm 0,63}{8,3}$	$\frac{8,7 \pm 0,77}{6,2}$
Средняя активность за 180 мин опыта	$\frac{7,5 \pm 0,58}{2,1 \pm 0,24^*}$	$\frac{7,9 \pm 0,54}{7,5 \pm 0,92}$	$\frac{7,4 \pm 0,55}{3,9 \pm 0,44^*}$

72,0 ($p < 0,05$); 5,1 и 47,3% ($p < 0,05$) соответственно. Следовательно, при снесении яйца курицей наблюдается общая закономерность для всех основных панкреатических ферментов, которая заключается в снижении ферментативной активности в период яйцекладки. Для того чтобы сравнить показатели до и после снесения яйца курицей в последующие дни, был выполнен анализ с использованием данных курицы №4 (рис. 1-3).

Анализ динамики выделения фермента показывает, что активность амилазы значительно снижается после снесения яйца (120-150 мин опыта) и достигает уровня базальной секреции (до кормления). Секреторная функция поджелудочной железы, судя по активности амилазы в день снесения яйца, реагирует заблаговременно (около 60 мин) до появления яйца: активность амилазы снижается на 90 и 120 мин опыта на 16,7 и 14,9%, по сравнению с фоновым 1 периодом. На следующий день после яйцекладки она увеличивается на 32,9% на 60 мин. Схожая динамика наблюдается в ней-

рохимическую фазу регуляции секреции (на 150 мин опыта), когда активность амилазы фоновый 2 периода превышает показатели во время яйцекладки на 28,0% ($p < 0,05$).

Средняя активность амилазы за 180 мин опыта в день снесения яйца оказывается ниже на 15,3%, по сравнению с периодом до этого события. На следующий день активность фермента превышает фоновый 1 показатель на 17,2%, компенсируя снижение в период яйцекладки.

Активность протеаз также значительно снижается во время яйцекладки (рис. 2). За 30 мин до снесения яйца (на 120-150 мин опыта) наблюдается снижение активности протеаз до базального уровня секреции, а показатели до и после яйцекладки на 180 мин опыта оказываются в 4,72 и 4,36 раз выше ($p < 0,05$). В среднем за 180 мин опыта активность протеаз в день снесения яйца ниже на 49,8%, по сравнению с предыдущим днем, и на 63,6% – на следующий день после яйцекладки.

В динамику активности липазы яйцекладка вносит особенности, по сравнению с другими панкреатическими ферментами (рис. 3). В постпрандиальную фазу пищеварения она увеличивается в первые 30 мин после приема корма, а затем резко снижается, достигая базального уровня секреции. В период за 60 мин до времени яйцекладки кривая опускается ниже на 32,7% от базального уровня, затем постепенно поднимаясь, достигает его и сохраняется до 180 мин опыта. Кривые динамики активности липазы до и после дня яйцекладки располагаются выше, а средние значения активности фермента имеют показатели больше на 23,7% и 34,2% ($p < 0,05$) соответственно.

Наши данные согласуются с результатами исследований, изучавших процессы регуляции половой функции у кур. Известно, что для половой жизни птиц (сельскохозяйственных и диких) свойственна двоякого рода цикличность: астральная, имеющая относительно автоматический характер, типа безусловнорефлекторных процессов, мало зависящая от среды, и сезонная — ясно выраженного условнорефлекторного характера [16]. Карапетян С.К. с соавторами [8] считает, что значение нервной системы в процессах, происходящих

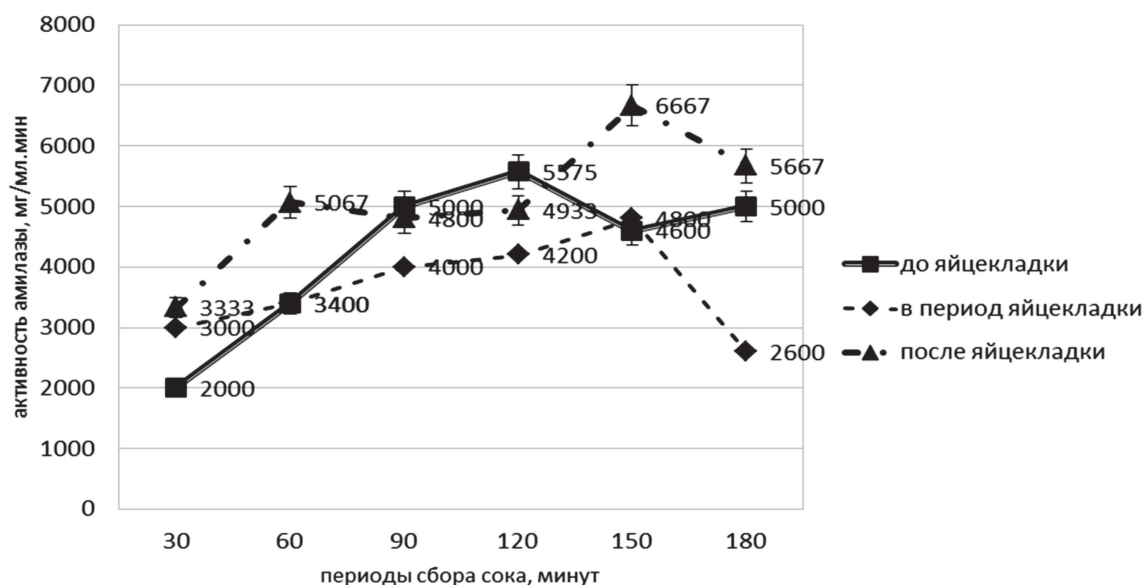


Рис. 1. Активность амилазы панкреатического сока курицы №4 за один день до, в момент и после яйцекладки.

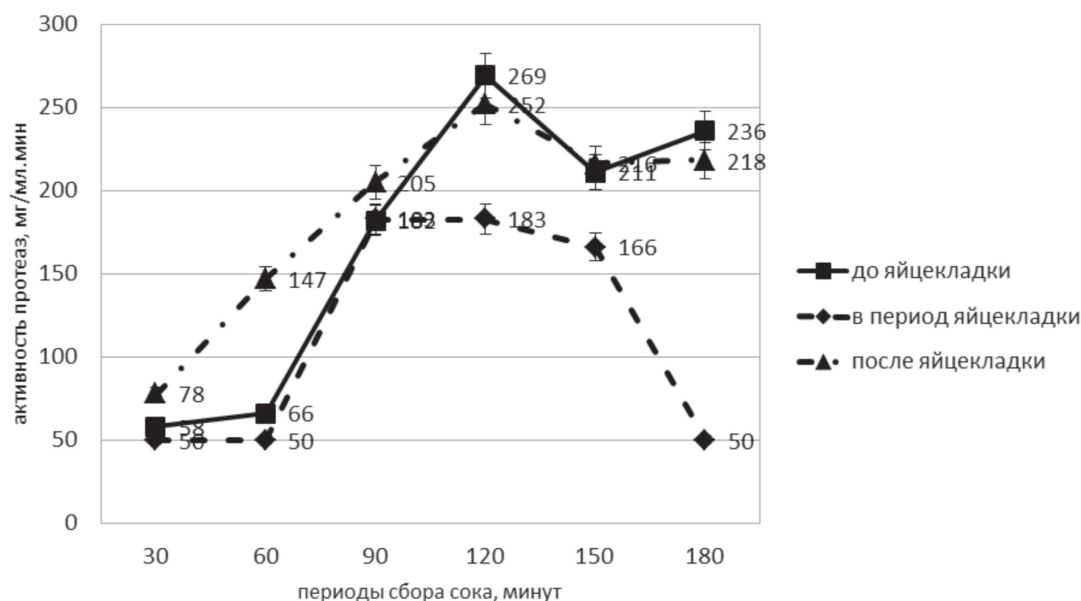


Рис. 2. Активность протеаз панкреатического сока курицы №4 за один день до, в момент и после яйцекладки.

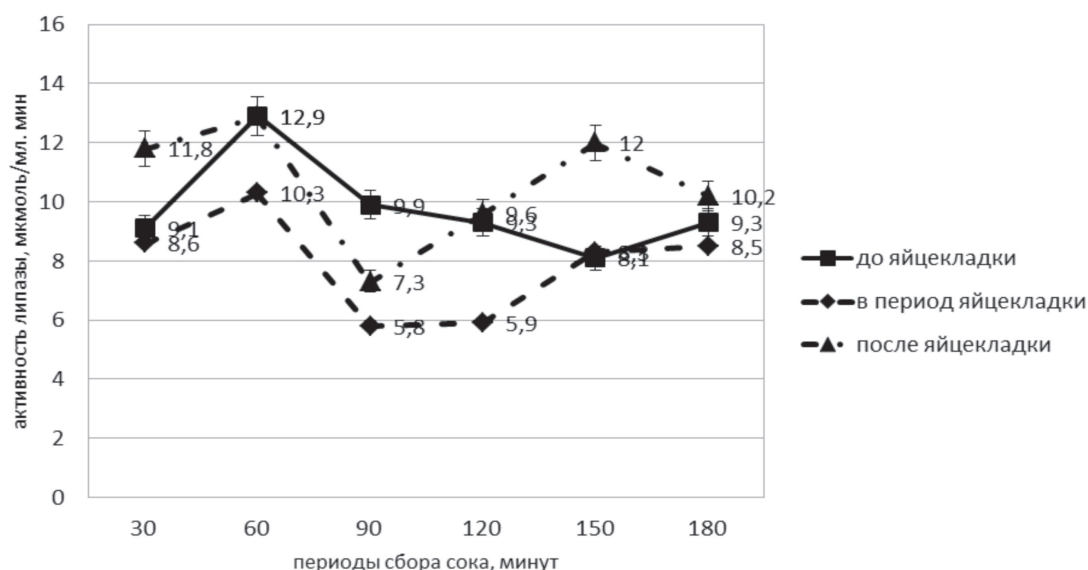


Рис. 3. Активность липазы панкреатического сока курицы №4 за один день до, в момент и после яйцекладки.

в органах размножения, недооценивается. Проведя двустороннее полное удаление больших полушарий головного мозга у половозрелых кур-несушек, авторы наблюдали резкую атрофию половых органов и необратимое выпадение репродуктивной функции. У неполовозрелых цыплят при аналогичной операции органы размножения остаются недоразвитыми и не функционируют до конца жизни. Интересно, что внутримышечное введение (каждые 5-10 дней) гормонов, стимулирующих функцию яичника (синестрола, фолликулина, эстрадиолпропионата), после удаления больших полушарий не привело к восстановлению репродуктивной функции, тогда как у контрольных птиц, в течение длительного времени до этого не производивших яйцекладку, введение этих гормонов восста-

навливало ее. Биохимическими исследованиями установлено, что удаление больших полушарий заметно нарушает азотистый обмен и снижает количество SH-групп в генеративных и некоторых эндокринных органах птиц. Авторы приходят к выводу, что в нейрогуморальной регуляции функции воспроизводительных органов и метаболических процессов, происходящих в них, ведущая роль принадлежит большим полушариям, а гипоталамо-гипофизарная система, ответственная за нормальную деятельность органов размножения, подконтрольна высшим отделам центральной нервной системы.

Известно, что раздражение передних и средних участков гипоталамуса возбуждает или усиливает секрецию поджелудочной железы и повышает актив-

ность ферментов, а раздражение задних – оказывает противоположное действие [17, 18]. Следовательно, хотя центром пищеварения является продолговатый мозг, деятельность поджелудочной железы находится под контролем вышележащего отдела промежуточного мозга (гипоталамуса) и коры больших полушарий [15]. Об этом свидетельствуют результаты экспериментально вызванного диабета у крыс [19]. Поэтому процесс торможения развивается, по-видимому, в гипоталамусе, когда возбуждение участка, отвечающего за процессы яйцекладки в матке курицы (выработка окситоцина), оказывает влияние на функцию поджелудочной железы.

Таким образом, у кур-несушек установлена взаимосвязь процессов яйцекладки и пищеварения, которые регулируются нервными механизмами на уровне гипоталамуса и проявляются снижением активности панкреатических ферментов в момент снесения яйца, что свидетельствует о торможении экзокринной функции поджелудочной железы в период выведения яйца. В зависимости от времени снесения яйца до или после кормления активность амилазы снижается на 46,0-55,6%, протеаз – на 33,3-51,1%, липазы – на 61,7-73,0% по сравнению с фоновым периодом. Временное снижение активности ферментов компенсируется ее увеличением в последующие дни без яйцекладки, что обеспечивает высокий уровень метаболизма. Результаты исследования имеют не только научное, но и практическое значение, поскольку должны учитываться при выполнении научных экспериментов по изучению физиологии пищеварения на курах-несушках, а также являются физиологической основой для оптимизации режима кормления птицы.

Литература

1. Roy B.G., Kataria M.C., Roy U. Study of oviposition pattern and clutch traits in a White leghorn (WL) layer population // *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 2014. № 7 (1). P. 5967. DOI: 10.9790/2380-07115967.
2. Backhouse D., Gous R.M. The effect of feeding time on shell quality and oviposition time in broiler breeders // *British Poultry Science*. 2005. № 46 (2). P. 255–259. DOI: 10.1080/00071660500066258.
3. Backhouse D., Gous R.M. Responses of adult broiler breeders to feeding time // *World's Poultry Science Journal*. 2006. № 62 (2). P. 269–281. DOI: 10.1079/WPS200596.
4. Lighting regimens and plasma LH and FSH in broiler breeders / P.D. Lewis, M. Ciacciariello, N.A. Ciccone, et al. // *British Poultry Science*. 2005. № 46 (3). P. 349–353. DOI: 10.1080/00071660500098509.
5. Tümová E., Gous R.M. Interaction between oviposition time, age, and environmental temperature and egg quality traits in laying hens and broiler breeders // *Czech Journal of Animal Science*. 2012. №57(12). P. 541-549. DOI: 10.17221/6411-CJAS.
6. Wilson S.C., Cunningham F.J. Endocrine control of ovulation cycle. In: *Reproductive biology of poultry* / F.J. Cunningham, P.E. Lake, D. Hewitt (eds.) // *British Poultry Science Ltd.*, Edinburgh, UK, 1984. P. 29–51.
7. Wilson S.C., Sharp P.J. Effects of androgens, estrogens and deoxycorticosterone acetate on plasma concentrations of luteinizing hormone in laying hens // *Journal of Endocrinology*. 1976. № 69 (1). P. 93–102. DOI: 10.1677/joe.0.0690093.
8. Карапетян С.К., Микаелян Н.Г., Назарян М.Б. Экспериментальные данные о роли различных отделов центральной нервной системы в регуляции репродуктивной функции у птиц // *Известия академии наук Армянской ССР*. 1963. Т. XVI. № 6. С. 35–41.
9. Горелик Л.Ш., Дерхо М.А. Роль гипофизарно-тиреоидной системы в формировании продуктивности и метаболического профиля организма кур-несушек // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2013. № 2 (28). С. 116–119.
10. Шпаков А.О. Эндогенные и синтетические регуляторы периферических звеньев гипоталамо-гипофизарно-гонадной и тиреоидной осей // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2020. Т. 106. № 6. С. 696–719.
11. Влияние освещения на время яйцекладки и качество куриных яиц / А.Ш. Кавтарашвили, В.И. Фисинин, В.С. Буров и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 6. 1095–1109. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.6.1095 rus.
12. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ets № 123) [рус., англ.] (г. Страсбург 18.03.1986). Электронный ресурс: http://www.conventions.ru/view_base.php?id=19432.
13. Руководство по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы / Под общ. ред. В.И. Фисинина. Сергеев Посад, 2014. С. 3–4.
14. Батоев Ц.Ж. Физиология пищеварения птиц. Улан-Удэ, 2001. С. 81–92.
15. Vertiprakhov V.G., Egorov I.A. The Influence of Feed Intake and Conditioned Reflex on Exocrine Pancreatic Function in Broiler Chicks // *Open Journal of Animal Sciences*. 2016. Vol.6. №4. P. 298-303. DOI: 10.4236/ojas.2016.64034.
16. Электронный ресурс: <https://www.activestudy.info/regulyaciya-processa-yajceobrazovaniya/> © Зооинженерный факультет МСХА.
17. Богач П.Г., Коваленко В.И. Проблемы физиологии гипоталамуса. Киев, 1971. С. 26.
18. Klimenko L. Academic school of academician P.G. Bogach // *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*. 2014. Issue 68. P. 5–16.
19. Подвижина Т.Т., Филаретова Л.П. Чувствительность слизистой оболочки желудка к ulcerогенным факторам и активность гипоталамо-гипофизарно-адренокортикальной системы при развитии стрептозотин-индуцированного диабета // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2020. № 106 (2). С.176–188. DOI: 10.31857/S0869813920020090.

Поступила в редакцию 03.12.20

После доработки 28.12.20

Принята к публикации 13.01.21

МЕТАБОЛИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ КОРОВ ПРИ КОРРЕКЦИИ ПИТАНИЯ В КОНЦЕ СУХОСТОЙНОГО ПЕРИОДА И НАЧАЛЕ ЛАКТАЦИИ*

Н.В. Боголюбова, В.Н. Романов, кандидаты биологических наук,
В.А. Багиров, член-корреспондент РАН

Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
142132, Московская область, Подольск, п. Дубровицы, 60
E-mail: 652202@mail.ru

Изучены показатели активности ферментов крови, клинического статуса, антиоксидантной защиты, концентрации кортизола и тироксина в организме новотельных коров при комплексном использовании в питании в сухостойный и послеродовой период физиологически активных веществ пробиотического, антиоксидантного, адсорбирующего, гепатопротекторного действия. Установлены положительные изменения в организме животных при коррекции питания с использованием разработанного комплекса. Отмечали снижение активности АСТ, содержания общего билирубина – на 35% ($p < 0,05$) и 40,4% ($p < 0,01$), повышение активности АЛТ на 10,3 ($p < 0,001$) и 12,0% ($p < 0,05$), снижение активности гамма-глутаминтрансферазы на 18,1 и 17,1% ($p < 0,01$), лактатдегидрогеназы – на 12,4 и 17,2% ($p < 0,05$) в организме коров опытной группы. Отмечены положительные изменения в состоянии антиоксидантной защиты организма коров, потреблявших комплекс дополнительного питания. В среднем за период эксперимента среднесуточный удой коров контрольной группы составил 31,73 кг, а опытной – 34,78 кг ($p < 0,05$) при содержании жира в молоке 3,75 и 3,78%, соответственно.

METABOLIC PROFILE OF COWS DURING FOOD CORRECTION AT THE END OF THE DRY PERIOD AND THE BEGINNING OF LACTATION

Bogolyubova N.V., Romanov V.N., Bagirov V.A.

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,
142132, Moskovskaya oblast, Podolsk, p. Dubrovitsi, 60
E-mail: 652202@mail.ru

The indicators of the activity of blood enzymes, clinical status, antioxidant protection, the concentration of cortisol and thyroxine in the body of cows were studied with the combined use of physiologically active substances of probiotic, antioxidant, adsorbent, hepatoprotective action in the dry and postpartum period. Positive changes in the body of cows were established during nutritional correction using the developed complex. There was a decrease in AST activity, total bilirubin content by 35% ($p < 0.05$) and 40.4% ($p < 0.01$), an increase in ALT activity by 10.3% ($p < 0.001$) and 12.0% ($p < 0.05$), a decrease in GGT activity by 18.1% and 17.1% ($p < 0.01$), LDH by 12.4 and 17.2% ($p < 0.05$) in the cows of the experimental group. Positive changes in the state of the antioxidant defense of the body of cows that consumed AFC were noted. On average, over the period of the experiment, the average daily milk yield in cows in the control group was 31.73 kg, and in the experimental group – 34.78 kg ($p < 0.05$) with fat content, respectively, 3.75 and 3.78%.

Ключевые слова: коровы, активность ферментов крови, антиоксидантная защита, гормоны, комплекс дополнительного питания

Key words: cows, activity of blood enzymes, antioxidant protection, hormones, additional nutritional complex

Необходимое условие для полной реализации генетического потенциала молочной продуктивности коров – научно-обоснованное и рациональное кормление. Промышленная технология производства молока, круглогодичное стойловое содержание сопровождается влиянием стрессовых ситуаций на организм животных, что служит причиной возникновения различных метаболических заболеваний [1,2]. При этом высокопродуктивные коровы в большей степени подвержены воздействию стрессов и метаболическим нарушениям, чем низкопродуктивные, так как высокая продуктивность неразрывно связана с повышенным уровнем биосинтетических процессов в органах и системах организма [3].

Особо значим транзитный период, включающий 3 недели до и 2-3 недели после отела, характеризующийся сложной морфофункциональной перестройкой метаболических процессов в организме коров к лактации как к естественному физиологическому стрессу [4-6]. При этом требуется адаптация системы пищеварения и обмена веществ к структурным изменениям рациона, так как для восполнения энергетических потребностей новотельных коров практикуется скармливание больших количеств концентрированных, богатых крахмалом кормов, что обуславливает снижение кислотности

рубцового содержимого, повышая риски развития подострого ацидоза, кетоза, последующих гепатозов [7-9]. Поскольку жвачные, благодаря эволюционно сложившемуся наличию симбиотической микрофлоры в рубце, приспособлены к перевариванию структурных углеводов растительных кормов и менее приспособлены к высококонцентратным рационам, то при ацидозах происходит гибель целлюлозолитических микроорганизмов, важнейших продуцентов энергопластических летучих жирных кислот, в частности ацетата, для синтеза компонентов молока. Таким образом, гиподисфункция преджелудков в послеродовой период – одна из причин дефицита питательных веществ и энергии в организме, что приводит к метаболическим нарушениям, снижению иммунитета и продуктивности коров.

Кормовой стресс, вызываемый потреблением избытка крахмалсодержащих компонентов, отрицательно сказывается на функциональном состоянии печени, регулирующей гомеостаз организма, участвующей в многочисленных реакциях углеводно-жирового и белкового обмена, синтезе витаминов и гормонов, детоксикации антипитательных веществ и ксенобиотиков. Нагрузка на этот жизненно важный орган в послеродовой период существенно возрастает [10].

Негативные сдвиги метаболического статуса могут

*Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментальных научных исследований Минобрнауки России в рамках Государственного задания.

вызывать окислительный стресс в организме, при котором продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ) нарушают структуру и функции клеточных и субклеточных мембран, подавляют клеточные механизмы энергообеспечения, ингибируют биосинтез белка и нуклеиновых кислот [11, 12]. В этих условиях организм животного расходует значительное количество энергии и биологически активных веществ не на рост, развитие и биосинтез компонентов молока, а на сохранение гомеостаза и поддержание жизненных функций такими алиментарными факторами, как полиненасыщенные жирные кислоты или окисленные жирные кислоты, представляющими собой окислительную нагрузку на организм через образование продуктов ПОЛ и повышенное потребление эндогенных антиоксидантов. Другими алиментарными источниками для генерации окислителей служат различные ксенобиотики в кормах, такие как пестициды, органические растворители и микотоксины, индуцирующие печеночную ксенобиотическую систему, генерирующую окислители в качестве побочных продуктов [13].

Для обеспечения биологически полноценного питания высокопродуктивных молочных коров недостаточно только рационального кормления традиционными кормами. Требуются дополнительные энергопластические материалы для оптимизации функционирования систем организма. Для этого целесообразно использование средств профилактики и коррекции нарушений пищеварительных и обменных процессов в виде эрготропных веществ направленного гепатопротекторного, антистрессорного и иммуномодулирующего действия и их комплексов.

На основании результатов предварительно проведенных исследований в ФИЦ ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста разработан комплекс дополнительного питания (КДП), в состав которого входят минерал шунгит – 35%, холин в защищенной от воздействия рубцовой микрофлоры форме – 10%, пробиотик «Целлобактерин+» – 15%, жмых льняной – 40%.

Цель исследований состояла в изучении биохимических показателей, характеризующих функциональную деятельность печени, клинический, антиоксидантный и гормональный статус в организме новотельных коров при коррекции питания в предотельный и ранний послетельный периоды путем применения КДП.

Методика. Эксперимент проводили в 2019 г. в условиях хозяйства «Кленово-Чегодаево» на коровах черно-пестрой голштинизированной породы 2-3 лактации с продуктивностью 7500 кг молока. Были сформированы 2 группы коров (контрольная и опытная) по 8 голов в каждой в условиях зимне-стойлового содержания с переходом на пастбищное. Основной рацион коров в сухостойный период включал сено злаково-бобовое (4 кг), кормосмесь сенажа из многолетних трав (7 кг), силоса кукурузного (12 кг) и концентратов (2,5 кг). При раздое рацион коров включал кормосмесь из силоса кукурузного и сенажа из многолетних трав (8+14 кг), сено злаково-бобовое (3 кг), патоку (1 кг) и концентраты (12 кг). Рационы были сбалансированы по нормам ВИЖ [14]. Помимо основного рациона животным опытной группы за 20 дней до отела и в течение 60 дней после него скармливали КДП в количестве 200 г на голову в сутки в утреннее кормление в смеси с концентратами.

Для изучения метаболического и антиоксидантного статуса организма коров через месяц после отела и в конце эксперимента проводили отбор проб крови из яремной вены. Оценивали активность ферментов аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспаргатаминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы (ЩФ), гамма-глутаминотрансферазы (ГГТ), креатинкиназы,

лактатдегидрогеназы (ЛДГ), холинэстеразы (ХЭ) с помощью реагентов фирм Analyticon Biotechnologies AG (Германия), Spinreact (Испания) на автоматическом биохимическом анализаторе ChemWell (Awareness Technology, США) в отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФИЦ ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста. Клинические показатели определяли на анализаторе гематологическом ABC VET (HORIBA ABX Diagnostics Inc., Франция) с использованием реагентов «Юни-Гем» (ООО «Реамед», Россия). Концентрацию кортизола и тироксина определяли иммуноферментным методом, содержание продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК АП) – с использованием наборов «Агат-Мед» (Россия), активность церулоплазмينا – по методу Ревина [15], суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (СКВА) – амперометрическим методом на приборе «ЦветЯуза-01-АА» с амперометрическим детектором («Химавтоматика», Россия).

Результаты и обсуждение. Изучение биохимических показателей, характеризующих функциональную деятельность печени, показало, что использование в кормлении коров в транзитный период комплекса дополнительного питания способствовало их положительным изменениям (табл. 1).

Тенденция к снижению активности АСТ, содержания общего билирубина в конце эксперимента на 40,4% ($p < 0,01$) и через месяц после отела на 35% ($p < 0,05$), а также повышение активности АЛТ на 10,3% ($p < 0,001$) через месяц после отела и на 12,0% ($p < 0,05$) в конце эксперимента в организме коров опытной группы свидетельствует о положительном влиянии КДП на функциональную деятельность печени и сердечно-сосудистой системы.

Фермент ГГТ, катализирующий перенос гамма-глутамилового остатка с гамма-глутамилового пептида на аминокислоту, другой пептид или иную субстратную молекулу, локализован в мембране, лизосомах и цитоплазме, причем мембранная локализация фермента характерна для клеток с высокой секреторной, экскреторной или реабсорбционной способностью. Активность ГГТ сыворотки крови обычно связана с экскрецией синтезируемого в печени фермента и в норме незначительна, однако при заболеваниях печени и желчевыводящих путей повышается [18]. В исследованиях El-Ghoul W. et al. установлено, что активность ГГТ на поздних сроках стельности значительно ниже, чем в первую и шестую неделю после отела, когда возрастает нагрузка на печень [19].

При использовании КДП отмечено снижение активности ГГТ как через месяц после отела, так и в конце эксперимента. При этом у коров контрольной группы показатель соответствовал верхнему пределу нормы (4,9-26,0 Ед/л), а у животных опытной группы был ниже на 18,1 и 17,1% при достоверной разности ($p < 0,01$) в конце эксперимента.

Установлено снижение активности ЛДГ – внутриклеточного гликолитического фермента, участвующего в обратимом превращении лактата в пируват и содержащегося в большинстве тканей организма, на 12,4 и 17,2% ($p < 0,05$) в организме коров опытной группы. При этом через месяц после отела значения показателя у коров контрольной группы были на границе физиологической нормы, а в конце – даже выше, что указывает на гипофункцию печени. Liu P. et al. считают, что активность печеночных ферментов в молоке коров также является маркером функциональной деятельности этого важного органа [20].

Креатинкиназа – фермент, который стимулирует превращение креатина в креатинфосфат и обеспечивает энергией мышечное сокращение, катализируя

Табл.1. Биохимические показатели, характеризующие функциональное состояние печени

Показатель	Группа		Норма [16,17]
	контрольная	опытная	
Через 30 дней после отела			
Билирубин общий, мкм/л	5,31±0,64	3,45±0,34*	1,16-8,18
АЛТ, МЕ/л	20,84±0,30	22,99±0,25***	12-35
АСТ, МЕ/л	72,51±1,40	69,96±0,68	46-108
Коэффициент де Ритиса, АСТ/АЛТ	3,48±0,06	3,04±0,05***	
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	43,82±0,81	76,16±1,07***	41-187
ГГТ, Ед/л	25,02±2,03	20,50±2,28	4,9-26,0
Креатинкиназа, Ед/л	64,58±4,25	62,87±5,48	14-107
ЛДГ, Ед/л	1437±59,28	1259±30,26*	692-1445
Холинэстераза, Ед/л	790±75,62	954±117,61	300-1200
Через 60 дней после отела			
Билирубин общий, мкм/л	3,39±0,38	2,02±0,05**	1,16-8,18
АЛТ, МЕ/л	23,14±0,32	25,92±1,03*	12-35
АСТ, МЕ/л	71,29±0,96	66,51±2,32	46-108
Коэффициент де Ритиса, АСТ/АЛТ	3,08±0,06	2,58±0,1**	
Щелочная фосфатаза, МЕ/л	51,22±3,18	80,04±4,14***	41-187
ГГТ, Ед/л	25,42±0,76	21,08±0,72**	4,9-26,0
Креатинкиназа, Ед/л	72,07±3,19	84,61±4,32*	14-107
ЛДГ, Ед/л	1579±76,73	1307±60,6*	692-1445
Холинэстераза, Ед/л	1260±41,63	1123±25,5*	300-1200
* p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001, по сравнению с контрольной группой			

реакцию переноса фосфорильного остатка с АТФ на креатин с образованием креатинфосфата и АДФ. Через месяц после отела наблюдалась тенденция к снижению концентрации креатинкиназы у животных опытной группы. В конце эксперимента у коров, получавших добавку, активность этого фермента достоверно повысилась на 17,4%, по сравнению с показателем в контрольной группе ($p<0,05$).

У животных опытной группы показатели активности холинэстеразы были в физиологических пределах и более низкими относительно уровня животных контрольной группы, у которых в конце эксперимента превышали норму.

Использование КДП в кормлении коров за 20 дней до и в течение 60 дней после отела положительно повлияло на клинические показатели организма. Так, в крови животных опытной группы через месяц после отела и в конце эксперимента наблюдали снижение содержания лейкоцитов на 11,9 ($p<0,001$) и 17,5% ($p<0,01$), по сравнению с контролем, при увеличении содержания эритроцитов на 6,3% ($p<0,05$), что может указывать на укрепление патогенетической резистентности организма коров.

Действие КДП положительно сказалось и на гормональном статусе животных (табл. 2). В сыворотке крови коров содержание тироксина колеблется в пределах 54-110 нМоль/л [17] и может снижаться при кетозе, остео дистрофии и гепатодистрофии. В наших исследо-

ваниях концентрация тироксина в сыворотке крови животных обеих групп была ниже физиологической нормы, но у коров опытной группы этот показатель был выше на 15,74%, составляя 41,38 нМоль/л, приближаясь к нижней границе нормы.

Кортизол – гормон коры надпочечников, являющийся гормоном стресса, воздействуя на метаболизм белков, углеводов, липидов и электролитный баланс способствует защите организма от любых резких изменений физиологического равновесия. Под его влиянием усиливается протеолиз (гликогенолиз) с последующим образованием из продуктов распада углеводов. Содержание кортизола в сыворотке крови коров опытной группы, по сравнению с контрольной, было больше почти в 2 раза, что может быть связано с повышенным уровнем глюконеогенеза в связи с увеличением молочной продуктивности.

Известно, что высокая интенсивность обменных процессов у коров в начале лактации приводит к повышению стресс-чувствительности к негативным факторам, активизирует прооксидантные процессы, снижает иммунитет и способствует развитию различных патологий [21]. Активность свободнорадикального окисления липидов оценивают по накоплению липидных перекисей, которые определяют количеством ТБК АП или в форме малонового диальдегида. Повышение их концентрации свидетельствует об активации процессов ПОЛ или о снижении антиоксидантной защиты организма, а пониженная или стабильная концентрация продуктов ПОЛ свойственна здоровому организму с хорошо функционирующей антиоксидантной защитой. В наших исследованиях содержание ТБК АП в сыворотке крови коров обеих групп возрастало в течение лактации на 2,8-3,0%. При этом в сыворотке крови животных опытной группы величина этого показателя была ниже при обоих отборах крови. Так, через месяц после отела разница между группами составляла 6,4%, в конце эксперимента – 6,2%, что свидетельствует о положительном влиянии компонентов комплексной добавки на антиоксидантный статус организма коров.

Это влияние подтверждает и более высокое содержание церулоплазмينا в крови коров, получавших добавку. Церулоплазмин – медьсодержащий белок, который синтезируется в печени и рассматривается как один из факторов нейроэндокринной регуляции и естественной защиты организма при стрессовых ситуациях и воспалительных процессах. Церулоплазмин – один из основных антиоксидантов плазмы крови, который перехватывает свободнорадикальные формы кислорода, предохраняя от их повреждающего действия липидосодержащие биоструктуры [15]. В наших исследованиях через месяц после отела концентрация церулоплазмينا у животных контрольной и опытной групп была одинаковой. К концу эксперимента у коров контрольной группы показатель снизился на 11,8%, а у животных опытной, наоборот, повысился на 11,8%, что можно отнести к положительному действию КДП.

Не исключено положительное действие минерала шунгит, входящего в состав КДП, на содержание водорастворимых антиоксидантов. Так, в крови коров контрольной группы через месяц после отела их уровень составлял 14,18 мг/л, а в конце эксперимента – 18,89 мг/л, что на 0,17 и 0,72 мг/л меньше, чем у животных опытной группы.

При выявленных изменениях биохимических и клинических показателей через месяц после отела среднесуточный удой у коров контрольной группы составил 31,3 кг молока жирностью 3,73%, в опытной – 33,7 кг жирностью 3,76%. Через 2 месяца после отела среднесуточный удой у коров опытной группы достигал 35,88 кг, что на 3,72 кг, или 11,1% больше, чем у жи-

Табл.2. Антиоксидантный и гормональный статус организма коров

Показатель	Группа		Показатель опытной группы к контрольной	
	контрольная	опытная	±	%
Через 30 дней после отела				
Тироксин, нМоль/л	35,75±4,44	41,38±2,32	+5,63	15,75
Кортизол, нМоль/л	87,61±12,30	140,30±39,1	+52,69	60,1
Индекс кортизол/тироксин	2,45	3,39		
ТБК АП, мкМоль/л	3,92±0,32	3,67±0,20	-0,25	6,4
Церулоплазмин, мг/л	170,0±10,0	170,0±10,0	0	0
Содержание водорастворимых антиоксидантов, мг/л	14,18±0,98	14,35±0,91	+0,17	1,2
Через 60 дней после отела				
ТБК АП, мкМоль/л	4,03±0,12	3,78±0,19	-0,25	6,2
Церулоплазмин, мг/л	150,0±40,0	190,0±10,0	+40	26,7
Содержание водорастворимых антиоксидантов, мг/л	18,89±0,9	19,61±0,9	+0,72	3,8

вотных контрольной группы. В среднем за период эксперимента среднесуточный удой у коров контрольной группы составил 31,73 кг, опытной – 34,78 кг ($p < 0,05$) при жирномолочности 3,75 и 3,78%, соответственно.

Таким образом, положительные изменения метаболического профиля новотельных коров при использовании в рационе комплекса дополнительного питания с включением физиологически активных веществ пробиотического, антиоксидантного, энтеросорбирующего и липотропного действия способствовали повышению молочной продуктивности.

Литература

- Громыко Е.В. Оценка состояния организма коров методами биохимии // Экологический вестник Северного Кавказа. 2005. №2. С.80-94.
- Романов В.Н., Воробьева С.В., Девяткин В.А., Иванова Г.В., Прохоров И.Ю. Влияние добавки L-карнитина на процессы пищеварения, рост бычков и продуктивность молочных коров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2012. № 3. С. 104-112.
- Falk M., Miunger A., Zbinden R.S., Gross J.J., Bruckmaier R.M., Hess H.D., Dohme-Meier F. Effects of concentrate supplementation in early lactation on nutrient efficiency, ruminal fermentation and reticular pH of zero-grazing dairy cows with differing milk production potentials // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2018. V.102 (6). P. 1497-1508. DOI:10.1111/jpn.12978.
- Mulligan F.J., Doherty M.L. Production diseases of the transition cow // *Veterinary Journal*. 2008. V. 176. P. 3-9. DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.018.
- Харитонов Е.Л. Лечение субклинических кетозов высокопродуктивных молочных коров // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2018. № 5. С. 65-70.
- Trevisi E., Amadori M., Bakudila A.M. Metabolic changes in dairy cows induced by oral, low-dose interferonalpha treatment // *Journal of Animal Science*. 2009. V. 87. P.3020-3029. DOI: 10.2527/jas.2008-1178.
- Миколайчик И.Н., Морозова Л.А., Максимова Е.С. Метод оптимизации биологической полноценности кормления высокопродуктивных коров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2014. № 11. С. 43-51.
- Krause K.M., Oetzel G.R. Understanding and preventing sub-acute ruminal acidosis in dairy herds: a review // *Animal Feed Science and Technology*. 2006. V. 126. P.215-236.
- Vailati-Riboni M., Kanwal M., Bulgari O., Meier S., Priest N.V., Burke C.R., Kay J.K., McDougall S., Mitchell M.D., Walker C.G., Crookenden M., Heiser A., Roche J.R., Looor J.J. Body condition score and plane of nutrition prepartum affect adipose tissue transcriptome regulators of metabolism and inflammation in grazing dairy cows during the transition period // *Journal of Dairy Science*. 2016. V. 99. P.758-770. DOI: 10.3168/jds.2015-10046.
- Романов В.Н., Боголюбова Н.В., Чабаяев М.Г., Некрасов Р.В., Девяткин В.А., Лантев Г.Ю., Новикова В.И., Ильина Л.А., Никонов И.И. Способы оптимизации пищеварительных, обменных процессов и функций печени у молочного скота. Монография. Дубровицы, 2015. 152 с.
- Эколого-адаптационная стратегия защиты здоровья и продуктивности животных в современных условиях / отв. ред. А.Г. Шахов. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2001. 207 с.
- Оковитый С.В., Шуленин С.Н., Смирнов А.В. Клиническая фармакология антигипоксантов и антиоксидантов. СПб.: ФАРМиндекс, 2005. 72 с.
- Alpsoy L., Yalvac M.E. Key roles of vitamins A, C, and E in aflatoxin B1 induced oxidative stress // *Vitamins and Hormones*. 2011. V. 86. P.287-305. DOI: 10.1016/B978-0-12-386960-9.00012-5.
- Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах. Монография / Под ред. Р.В. Некрасова, А.В. Головина, Е.А. Махаева. М., 2018. 290 с.
- Кондрахин Н.П. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики. М.: Колос, 2004. 520 с.
- Гусев И.В., Боголюбова Н.В., Рыков Р.А., Левина Г.Н. Контроль биохимического статуса свиней и коров: руководство. Дубровицы: ФГБНУ ВИЖ им. Л.К.Эрнста, 2019. 40 с.
- Kaneko J., Harvey J., Bruss M. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Academic Press, 2008. 928 p.
- Stojevic Z., Piršljn J., Milinkovi Tur. S., Zdelar-Tuk M., Ljubić B.B. Activities of AST, ALT and GGT in clinically healthy dairy cows during lactation and in the dry period // *Veterinarski arhiv*. 2005. V. 75. P.67-73.
- El-Ghoul W., Hofmann W., Khamis Y. Beziehungen zwischen Klauenerkrankungen und peripartalen Zeitraum bei Milchrindern // *Der Praktische Tierarzt*. 2000. V.82. P.862-868.
- Liu P., He B.X., Yang X.L., Hou X.L., Yang X.L., Han J.B., Han Y.H., Nie. P., Fang H., Deng, Du X.H. Bioactivity evaluation of certain hepatic enzymes in blood plasma and milk of Holstein cows // *Pakistan Veterinary Journal*. 2012. V.32. P.601-604.
- Венцова И.Ю. Показатели антиоксидантного статуса у высокопродуктивных коров в динамике сухостойного и послеродового периодов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 4. С. 46-48.

Поступила в редакцию 27.11.2020

После доработки 25.12.2020

Принята к публикации 12.01.2021

Ветеринария

УДК 579.62

DOI: 10.31857/S2500262721010129

ПРОФИЛАКТИКА МИКОТОКСИКОЗОВ У ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАЦИОНЕ КОРМОВ, КОНТАМИНИРОВАННЫХ МИКОТОКСИНАМИ

Г.С. Волкова, доктор технических наук, Е.В. Куксова, кандидат технических наук,
Е.М. Серба, член-корреспондент РАН

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии –
филиал Федерального исследовательского центра питания и биотехнологии,
111033, Москва, ул. Самокатная, 4б
E-mail: galina.volkova@bk.ru

*Цель исследования – изучение возможности применения в кормлении цыплят-бройлеров кормовой добавки «Биобардин» (3-5 %) с антимикробными свойствами для снижения негативного влияния содержащихся в комбикорме микотоксинов плесневых грибов *Fusarium graminearum*, *F. sporotrichiella*, *F. poae* и *F. moniliforme* на основные показатели продуктивности птицы и для профилактики микотоксикозов. Показан положительный эффект при вводе в рацион кормовой добавки на уровне 5 %. Птица, страдающая хроническими формами микотоксикозов, усваивала питательные вещества более эффективно, чем птица, потреблявшая аналогичные комбикорма без изучаемых добавок. Установлена возможность снижения последствий хронического микотоксикоза у птицы на 25-50 %. Включение в умеренно загрязненный комбикорм всех тестируемых уровней «Биобардина» способствовало нормализации процессов метаболизма в пищеварительном тракте за счет присутствия в кормовой добавке пробиотических бактерий и уменьшения алиментарной нагрузки токсинов плесневых грибов на организм птицы. Включение 5 % «Биобардина» позволяет на 10-30 % компенсировать снижение основных показателей продуктивности цыплят-бройлеров, что эффективнее, чем использование аналогичного количества рыбной муки.*

PREVENTION OF MYCOTOXICOSIS IN CHICKEN BROILERS WHEN USED IN THE DIET OF FEED CONTAMINATED WITH MYCOTOXINS

Volkova G.S., Kuksova E.V., Serba E.M.

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology –
branch of FGBUN «FIC Nutrition and Biotechnology»,
111033, Moskva, ul. Samokatnaya, 4b
E-mail: galina.volkova@bk.ru

*The purpose of the study is to study the possibility of the use of feed additive «Biobardin» (3-5 %) with antimicrobial properties in feed for chicken broilers to reduce the negative impact of mycotoxins of mold fungi *Fusarium graminearum*, *F. sporotrichiella*, *F. poae* and *F. moniliforme* contained in the feed on the main indicators of poultry productivity and to prevent mycotoxicosis. Positive effect of 5 % feed additive in the diet is shown. A bird suffering from chronic forms of mycotoxicosis absorbed nutrients more effectively than a bird that consumed similar feed without studied additives. The possibility of reducing the consequences of chronic mycotoxicosis in poultry by 25-50 % has been established. The result of inclusion in moderately polluted mixed feed of all tested levels of «Biobardin» was an increase in microbiological destruction of mycotoxins in the digestive tract of poultry and a decrease in the alimentary load of toxins of mold fungi on the body. Inclusion of 5 % of «Biobardin» in mycotoxin-contaminated mixed feed of broiler chickens allows to compensate 10-30 % decrease in basic indices of poultry productivity caused by relatively high content of mycotoxins in feed, which turned out to be higher than when using the same amount of fish flour.*

Ключевые слова: бройлеры, кормовая добавка, микотоксины, хронический микотоксикоз

Key words: broilers, fodder additive, mycotoxins, chronic mycotoxicosis

Микотоксины часто обнаруживаются в кормах для птицы и даже в малых количествах наносят ощутимый урон специализированным птицеводческим предприятиям. Анализ литературных данных показал, что одним из наиболее общих механизмов токсического действия, характерных для большинства продуцентов плесневых грибов, является угнетение азотистого обмена в организме птицы [1-3]. Уменьшение синтеза протеинов при микотоксикозах резко изменяет активность и сопряженную деятельность ферментных систем. В результате снижается интенсивность важных процессов жизнедеятельности, регулируемых веществами белковой природы. Нарушенный белковый обмен отражает не только наличие патологии, но и во многих случаях является фактором, усугубляющим форму ее течения [4-6].

Для максимально быстрой и эффективной коррекции указанных нарушений наряду с органическими и минеральными сорбентами, способствующими выведению из пищеварительного тракта птицы токсических продуцентов плесневых грибов, на практике

часто используют высокобелковые корма и препараты аминокислот, вводимые в рацион сверх необходимого уровня [6-10]. Оправданность такого подхода во многом объясняется важными биологическими предпосылками. Во-первых, восполнение дефицита аминокислот в организме птицы может восстановить активность наиболее уязвимых клеточных ферментов [11-13]. Во-вторых, адекватное аминокислотное питание способствует накоплению в плазме крови альбуминов, которые препятствуют проникновению токсинов в межклеточное пространство и проявлению токсического эффекта [14]. В-третьих, корректирующие действие некоторых аминокислот при микотоксикозах связано со стимулированием процессов эндогенной детоксикации ксенобиотиков, что предотвращает нарушение смежных метаболических процессов [15, 16].

Современным и перспективным направлением исследований является использование пробиотических кормовых добавок, которые способствуют деструкции токсических метаболитов микромицетов и являются

Табл. 1. Схема опыта

Группа	Рацион
1. Контрольная (K ₁)	Основной рацион без микотоксинов (OP ₁)
2. Контрольная (K ₂)	Основной рацион со смесью микотоксинов (OP ₂)
3. Опытная	OP ₂ + 3,0 % «Биобардина»
4. Опытная	OP ₂ + 4,0 % «Биобардина»
5. Опытная	OP ₂ + 5,0 % «Биобардина»
6. Опытная	OP ₂ + 5,0 % рыбной муки

важнейшим элементом получения экологически безопасных продуктов питания. Примером такой белковой кормовой добавки является «Биобардин», производимый на основе послеспиртовой барды и консорциума молочнокислых и пропионовокислых бактерий, обеспечивающих пробиотические и защитно-профилактические свойства кормового продукта. Добавка характеризуется высоким содержанием белка (40-45%), аминокислот, витаминов, микроэлементов, содержит комплекс ферментов и бактериоцинов. Результаты ранее проведенных испытаний «Биобардина» показали высокую эффективность в кормлении животных. Пробиотические и антимикробные свойства белковой кормовой добавки «Биобардин» позволяют задействовать ее в птицеводстве для производства мяса и яиц, в том числе при использовании комбикормов, содержащих микотоксины.

Цель исследования – изучение возможности применения в кормлении цыплят-бройлеров кормовой добавки «Биобардин» (3-5%) с антимикробными свойствами для снижения негативного влияния содержащихся в комбикорме микотоксинов плесневых грибов *Fusarium graminearum*, *F. sporotrichiella*, *F. poae* и *F. moniliforme* на основные показатели продуктивности птицы и для профилактики микотоксикозов.

Методика. Работа проводилась в условиях вивария ОНО «Загорское» ЭПХ ВНИТИП на цыплятах-бройлерах кросса Кобб-500, из которых по принципу аналогов было сформировано 6 групп (2 контрольные и 4 опытные) по 30 голов в каждой. Кормление птицы осуществляли вволю (*ad libitum*) сухими сбалансированными комбикормами с параметрами питательности, соответствующими рекомендуемым нормам кормления ВНИТИП. До 5-суточного возраста цыплята всех групп получали «нулевой» рацион, с 6-суточного – опытные кормосмеси. Условия содержания птицы соответствовали принятым зоогигиеническим параметрам.

Продолжительность опыта составляла 35 суток. Схема опыта приведена в табл. 1.

В ходе эксперимента была изучена возможность применения в комбикормах для цыплят-бройлеров кормовой добавки «Биобардин», содержащей в своем составе не менее 40 % белка микробиологического происхождения. Для этого цыплятам из 1-ой контрольной группы (K₁) скормливали свободный от микотоксинов основной рацион (OP₁) с параметрами питательности, соответствующими рекомендуемым нормам кормления. Вторая контрольная группа (K₂) получала аналогичный рацион (OP₂), но с содержанием микотоксинов в корме, вызывающим заметное снижение продуктивности птицы: 4-дезоксиниваленон [ДОН] – 5,0 мг/кг (3,3 ПДК), Т-2-микотоксин – 0,21 мг/кг (2,8 ПДК) и фумонизин В₁ – 13,2 мг/кг (2,6 ПДК). Указанные уровни и виды вторичных метаболитов микромицетов наиболее часто обнаруживаются в условиях большинства птицеводческих хозяйств. Микотоксины вводили в комбикорм в виде фунгальной биомассы на основе зерна кукурузы, содержащего токсигенные штаммы четырех культур грибов-продуцентов (*Fusarium graminearum*, *F. sporotrichiella*, *F. poae* и *F. moniliforme*) с токсическими продуктами их жизнедеятельности, а также путем включения в кормосмесь выделенных и очищенных в лабораторных условиях экстрактов микотоксинов. Кроме указанных продуцентов рацион подопытной птицы не содержал фоновых количеств каких-либо иных ксенобиотиков.

В комбикорм цыплят из опытных групп 3-5 включали разные уровни изучаемой кормовой добавки (3, 4 и 5 %). Дополнительно была сформирована опытная группа 6, в комбикорм которой для снятия выраженного токсикозов включали наиболее распространенный источник полноценного белка – рыбную муку – в количестве 5 %.

В конце периода выращивания проводили балансовые опыты. Для этого в 35-суточном возрасте отбирали по 3 головы (♂) цыплят-бройлеров из каждой группы. Балансовый опыт был разделен на два периода: предварительный длился 5, учетный – 3 дня. В опыте индивидуально по каждой птице учитывали количество и химический состав потребленного корма и выделенного помета.

Содержание микотоксинов в корме определяли методом твердофазного конкурентного иммуноферментного анализа (Г.П. Кононенко, 2004).

Переваримость и использование питательных веществ комбикорма определяли: сырой протеин – методом Кьельдаля и расчетом (N 6,25); сырой жир – экстрагированием этиловым эфиром в аппарате Сокслета;

Табл. 2. Зоотехнические показатели выращивания цыплят-бройлеров при включении в их комбикорма, загрязненные микотоксинами, кормовой добавки «Биобардин»

Показатель	Группа					
	1 (K ₁)	2 (K ₂)	3	4	5	6
Сохранность за период выращивания, %	96,7 ± 3,3	80,0 ± 3,7 ²	83,3 ± 6,0	86,7 ± 6,2	90,0 ± 5,5	86,7 ± 6,2
Живая масса цыплят 21-суточного возраста, г	787,5 ± 22,4	661,8 ± 22,1 ⁵	686,6 ± 22,6 ⁴	692,7 ± 28,7 ³	713,5 ± 21,4 ³	728,9 ± 22,4 ¹
Живая масса курочек 35-суточного возраста, г	1864,0 ± 33,9	1595,6 ± 32,1 ⁵	1677,6 ± 51,4 ⁴	1711,2 ± 30,8 ⁴	1731,7 ± 42,4 ³	1763,3 ± 34,8 ²
Живая масса петушков 35-суточного возраста, г	2016,4 ± 36,1	1802,7 ± 48,9 ⁵	1881,3 ± 47,2 ²	1899,4 ± 42,2 ²	1951,9 ± 33,2 ³	1980,1 ± 37,8 ⁴
Средняя живая масса птицы (50 % ♀ + 50 % ♂), г	1940,2 ± 35,0	1699,1 ± 40,5 ⁵	1779,5 ± 49,3 ⁵	1805,3 ± 36,5 ⁵	1841,8 ± 37,8 ³	1871,4 ± 36,3 ⁴
Среднесуточный прирост живой массы, г	54,2	47,3	49,6	50,4	51,4	52,3
Валовой прирост живой массы в группе, кг	55,01	39,52	43,23	45,68	48,47	47,40

Примечание: здесь и далее верхними и нижними индексами ¹...⁵ обозначены пороги достоверности для p ≤ 0,10...p ≤ 0,001: верхними – по сравнению с положительным контролем (группа 1), нижними – по сравнению с отрицательным контролем (группа 2); * – по сравнению с группой 6.

сырая клетчатка – методом Генненберга и Штомана.

Биометрическую обработку полученных данных проводили методом вариационной статистики (t-критерий Стьюдента) с использованием Microsoft Excel 9.0.

Результаты и обсуждение. Зоотехнические показатели выращивания цыплят при включении в их комбикорма, загрязненные микотоксинами, кормовой добавки «Биобардин» представлены в табл. 2.

Результаты выращивания птицы до 35-суточного возраста показали, что в группе 2 отмечено значительное снижение сохранности поголовья (на 16,7 %). Основной падеж отмечался преимущественно в первый период выращивания (до 21 дня), в отходе доминировали физически слабые цыплята, у большинства из которых наблюдались патологоанатомические изменения, характерные для данной формы сочетанного микотоксикоза.

На фоне чрезвычайно высокой летальности негативное действие микотоксинов наиболее выражено проявилось в угнетении интенсивности роста подопытной птицы. Так, живая масса цыплят-бройлеров из 2-ой (отрицательной) контрольной группы (K_2) оказалась достоверно ниже как в 3-х (на 125 г или на 16,0 %), так и 35-суточном возрасте (на 241 г или на 12,4 %), по сравнению со сверстниками из положительного контроля (K_1), что вполне согласуется с природой изменений, характерных для влияния микотоксинов на организм птицы.

Включение в комбикорма изучаемых уровней «Биобардина» на фоне токсичных рационов оказало положительное влияние на подопытных цыплят: сохранность птицы возрастала пропорционально уровню включения данного белкового продукта на 3,3; 6,7 и 10,0 %, соответственно, в то время как введение 5 % рыбной муки обуславливало увеличение сохранности лишь на 6,7 %. Живая масса птицы 21-суточного возраста также имела выраженную тенденцию к увеличению и превосходила отрицательный контроль на 3,7; 4,6 и 7,8 % соответственно. Таким образом, если негативное действие микотоксинов, выражающееся в соответствующем (на 16,0 %) снижении живой массы птицы, принять за 100 %, то способность исследуемых кормовых добавок уменьшать пагубные последствия ксенобиотиков можно условно сопоставить со следующими величинами: 3 % «Биобардина» – 20 %; 4 % – 25 %; 5 % – 41 % и 5 % рыбной муки – 53 %.

Результаты научно-производственного опыта показали, что в конце продуктивного периода выращивания введение 5 % «Биобардина» и 5 % рыбной муки продолжало прочно занимать лидирующие позиции. Однако по совокупному антитоксическому эффекту, в силу достигнутых более высоких значений сохранности поголовья, использование «Биобардина» оказалось более предпочтительным по сравнению с аналогичным включением в загрязненный комбикорм рыбной муки, хотя характеризовалось менее высокими показателями живой массы у выживших особей. Максимальный зоотехнический эффект был получен при включении в загрязненную кормосмесь 5 % рыбной муки, однако по комплексу учитываемых показателей 5 %-ый уровень ввода «Биобардина» практически не уступал ему, являясь более дешевой кормовой добавкой отечественного производства.

Результаты изучения потребления и эффективности использования кормов цыплятами-бройлерами, полученные расчетным путем с учетом живой массы и сохранности птицы к концу продуктивного периода ее выращивания, отражены в табл. 3.

Ежедневно проводимый учет потребления кормов показал, что эффект депрессивного влияния микоток-

Табл. 3. Потребление и эффективность использования кормов цыплятами-бройлерами

Показатель	Группа					
	1 (K_1)	2 (K_2)	3	4	5	6
Потребление корма бройлерами за период выращивания, кг/голову	3,282	3,176	3,317	3,344	3,385	3,267
Затраты корма на 1 кг прироста (конверсия), кг/кг	1,76	2,17	2,11	2,05	1,99	1,93
в т.ч. комбикорма под действием добавки, кг/кг	-	-	2,05	1,97	1,90	1,85
Эффективность использования дополнительно внесенного белка на компенсацию прироста живой массы, кг/кг	-	-	0,29	0,24	0,23	0,37

синов на растущий организм цыплят-бройлеров особенно ярко проявил себя в группе K_2 , где количество потребленного корма цыплятами за продуктивный период их выращивания снизилось с 3,282 до 3,176 кг, или на 106 г/гол. Птица из опытных групп 3-5 существенно превосходила по данному показателю сверстников из обеих контрольных групп.

Важность рассмотрения показателя конверсии корма сводится к тому, что мясная продуктивность бройлеров зависит от их способности использовать питательные вещества комбикорма и трансформировать их в прирост массы тела. В этом отношении весьма показательно, что на фоне контаминированных комбикормов в контрольной группе K_2 эффективность трансформации птицей питательных веществ корма оказалась самой низкой в опыте (2,17 кг/кг, против 1,76 кг/кг в группе K_1 или на 18,9 %), что отражало напряженную метаболическую ситуацию, присущую самостоятельному обезвреживанию ксенобиотиков в организме и высоким непродуктивным затратам эндогенной энергии у цыплят. В опытных группах 3-5 величины затрат корма на единицу прироста живой массы имели выраженную тенденцию к снижению, что, в свою очередь, возможно лишь при общей нормализации обменных процессов у бройлеров, потреблявших на фоне токсичных комбикормов изучаемые уровни «Биобардина». Очевидно, особую роль играет наличие в «Биобардине» молочнокислых и пропионовокислых бактерий в количестве до 1×10^5 КОЕ/г продукта [1], что способствует улучшению процессов метаболизма.

Результаты балансовых опытов приведены в табл. 4. Наличие в комбикорме вторичных метаболитов плесневых грибов вызвало достоверное снижение практически всех показателей переваримости питательных веществ на 3,0-12,0 %. Наибольшие изменения (в порядке убывания) коснулись сырого протеина, углеводистых компонентов рациона, сырого жира, сырой клетчатки. Указанные последствия в совокупности вызвали как снижение переваримости сухого вещества (на 7,5 %), так и использования валовой энергии комбикорма (на 6,7 %). Все это, наряду с фактическим снижением потребления корма, обусловило и неэффективное его использование, и снижение темпов роста цыплят-бройлеров за продуктивный период, о чем свидетельствуют зоотехнические результаты выращивания птицы в отрицательной контрольной группе, получавшей с комбикормом 8,7 суммы ПДК микотоксинов.

Анализируя полученные данные, можно констатировать позитивное влияние включения «Биобардина» во всех изученных дозировках (3-5%). У птицы опытных

Табл. 4. Переваримость и использование питательных веществ корма бройлерами, %

Показатель	Группа					
	1 (K ₁)	2 (K ₂)	3	4	5	6
Переваримость сухого вещества	74,1 ± 1,8	66,5 ± 0,4 ⁴	68,6 ± 0,7 ²	70,5 ± 0,8 ₄	71,7 ± 0,7 ₅	72,4 ± 1,0 ₄
Переваримость сырого протеина	85,3 ± 0,9	73,9 ± 0,9 ⁵	74,6 ± 0,7 ⁵	75,1 ± 0,5 ⁵	77,0 ± 0,2 ⁵ ₃	77,9 ± 1,0 ⁴ ₂
Переваримость сырого жира	74,6 ± 0,6	70,8 ± 0,8 ⁴	72,3 ± 0,2 ³	72,2 ± 0,3 ³	73,5 ± 1,1 ₁	73,8 ± 0,7 ₂
Переваримость сырой клетчатки	14,4 ± 0,4	11,6 ± 1,1 ²	13,0 ± 0,3 ²	13,3 ± 0,8	13,4 ± 0,8	12,8 ± 1,2
Переваримость БЭВ	73,3 ± 2,2	66,1 ± 3,0	69,0 ± 2,4	72,0 ± 1,9	73,0 ± 1,6 ₁	73,8 ± 0,9 ₂
Использование азота	45,3 ± 0,4	33,0 ± 0,9 ⁵	35,0 ± 0,4 ⁵ ₁	36,9 ± 1,2 ⁵ ₂	38,1 ± 0,7 ⁵ ₄	38,8 ± 0,6 ⁵ ₄
Использование валовой энергии	69,1 ± 1,0	62,4 ± 1,2 ⁴	64,4 ± 0,8 ⁴	65,9 ± 0,9 ¹ ₁	67,1 ± 0,9 ₂	67,7 ± 0,9 ₃

групп, получавшей добавку, в среднем на 2,1-5,2 % повысилась переваримость сухого вещества корма; на 1,9-4,6 % – использование валовой энергии рациона и, особенно, таких энергоемких компонентов как сырой жир – на 1,5-2,7 % и БЭВ – на 2,9-6,9 %, что возможно при уменьшении токсического действия продуцентов плесневых грибов и нормализации обменных процессов.

Совокупность полученных в эксперименте зоотехнических показателей позволила утверждать, что максимальный ввод «Биобардина» при заданном уровне микотоксинов практически ничем не отличался от аналогичного применения рыбной муки, а по ряду показателей (сохранность, живая масса) даже способствовал проявлению более выраженного позитивного эффекта. 5 %-ый ввод «Биобардина» может составить реальную конкуренцию традиционному источнику белка – рыбной муке или альтернативно использоваться в промышленном птицеводстве наравне с ней. Можно предположить, что для более успешной профилактики микотоксикозов возможен более высокий уровень (до 6-8 %) включения «Биобардина» в комбикорма птицы.

Таким образом, включение в загрязненные микотоксинами комбикорма, сбалансированные по питательным веществам, разных уровней кормовой добавки «Биобардин» (3-5 %) оказало положительное влияние на основные показатели продуктивности бройлеров. Показатели роста и развития цыплят, достигнутые при введении 5 % «Биобардина», немногим уступали значениям, полученным при использовании 5 % рыбной муки, при существенном превосходстве по сохранности поголовья. Питательные вещества из загрязненных микотоксинами комбикормов, в состав которых включали 3-5 % «Биобардина», птица, имеющая признаки микотоксикозов, усваивала эффективнее, чем при потреблении комбикормов без изучаемых добавок. Отмечен эффект уменьшения последствий хронического микотоксикоза в среднем на 25-50 %, при этом наиболее эффективно проявил себя максимальный уровень ввода (5 %) белковой добавки в рацион.

Литература

1. Волкова Г.С., Куксова Е.В. Разработка и внедрение биотехнологии обогащенных белковых кормовых продуктов в условиях современного кормового производства // *Пищевая промышленность*. 2012. №7. С. 12–15.
2. Гелунова О.Б. Повышение продуктивности мяса скота в Нижнем Поволжье // *Известия Вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2012. № 1 (2). С. 91–97.
3. Донцова Т.Н., Горлов И.Ф., Хорошевская Л.В. Влияние биологически активных добавок на основе пребиотика лактулозы на производственные показатели

ли цыплят-бройлеров // *Продукция птицеводства и птицеводства*. 2012. № 2. С. 41.

4. Егоров И.А., Имангулов Ш.А. Совершенствование системы нормализованного кормления высокопродуктивных кроссов птицы // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2007. №5. С. 36.
5. Применение рыбной муки в комбикормах для птицы / И.А. Егоров, А.Н. Шевяков, Т.В. Егорова и др. // *Птицеводство*. 2020. № 1. С. 17–21.
6. Кузнецова Т.С., Фисинин В.И., Околелова Т.М. Физиологические показатели и продуктивность цыплят в зависимости от биологически активных добавок // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2008. № 3. С. 40–41.
7. Лагутов П.А. Эффективность введения витамина Е в рацион цыплят-бройлеров в различные сроки выращивания // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2011. № 2. С. 44–45.
8. Мальцева Н.А., Басова Е.А., Амиранашвили Е.И. Эффективность применения комбикормов с высоким содержанием аминокислот в кормлении цыплят-бройлеров // *Продукты птицеводства и птицеводства*. 2012. № 6. С. 34.
9. Панин А.Н., Малик Н.И. Пробиотики – неотъемлемый компонент рационального кормления животных // *Ветеринарная медицина*. 2006. № 7. С. 3–5.
10. Пристах Н.В., Пристах Л.Н. Усвоение питательных веществ цыплятами-бройлерами – критерий оценки качества рациона // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2001. № 3. С. 38–41.
11. Скворцова Л.Н. Влияние пробиотиков и пребиотиков отечественного производства на рост и развитие цыплят-бройлеров // *Эффективное животноводство*. 2009. № 7. С. 30–31.
12. Производительность цыплят-бройлеров при использовании легкоусвояемых кормовых компонентов / В.И. Фисинин, И.П. Салеева, В.С. Лукашенко и др. // *Продукты птицеводства и птицеводства*. 2018. № 4. С. 28–30.
13. Микробиоценозы цыплят-бройлеров в зависимости от комбикорма / В.И. Фисинин, А.А. Грозина, Т.Н. Ленкова и др. // *Микробиология*. 2016. Т. 85. № 4. С. 493–499.
14. Фисинин В.И. Генетический ресурс инновационного развития в птицеводстве // *Вестник Российской академии наук*. 2015. Т. 85. № 5. С. 421–428.
15. Фисинин В.И., Околелова Т.М., Кузнецова Т.С. Комплексное применение фермента с биологически активными веществами в комбикормах для цыплят // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2007. № 4. С. 39–40.
16. Фисинин В.И., Журавлев И.В., Отриганьев Г.К. Биологические основы повышения эффективности использования кормов птицами // *Биология сельского хозяйства*. 1986. № 1. С. 25.

Поступила в редакцию 25.11.20

После доработки 09.12.20

Принята к публикации 15.12.20

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТРЕССПРОТЕКТОРНОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В БРОЙЛЕРНОМ ПТИЦЕВОДСТВЕ

А.В. Мифтахутдинов, доктор биологических наук,
Э.Р. Сайфулмулюков, кандидат ветеринарных наук,
Е.А. Ноговицина, кандидат биологических наук

Южно-Уральский государственный аграрный университет,
 457100, Челябинская область, Троицк, ул. Гагарина, 13
 E-mail: nirugavm@mail.ru

Технологические стрессы в птицеводстве оказывают влияние на продуктивность цыплят-бройлеров и напрямую связаны с интенсификацией производства. Стресс-факторы технологического характера оказывают влияние на метаболические процессы происходящие в организме птицы. Цель исследования заключалась в определении эффективности применения кормовой добавки в бройлерном птицеводстве в условиях технологических стрессов. Применение кормовой добавки позволило сохранить производственные показатели выращивания цыплят-бройлеров в предубойный период, за счет снижения технологической нагрузки на организм птицы. Об этом свидетельствовало повышение среднесуточного прироста живой массы птицы в опытной группе на 0,7 %, абсолютного прироста – на 2,3 %, сохранности – на 1,5 %, выхода мяса – на 13,4 %, валового дохода – на 49,2 %. В сыворотке крови цыплят-бройлеров опытной группы отмечено повышение содержания общего белка, по сравнению с контрольной, на 22,54 %, кальция и фосфора – на 22,50 и 5,07 % соответственно, снижение уровня общих липидов и холестерина – на 6,12 и 2,22 %, глюкозы – на 7,05 %.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF STRESS-PROTECTIVE FORAGE ADDITIVE IN BROILER POULTRY

Miftakhutdinov A.V., Sayfulmulukov E.R., Nogovitsina E.A.

South Ural State Agrarian University,
 457100, Chelyabinskaya oblast', Troitsk, ul. Gagarina, 13
 E-mail: nirugavm@mail.ru

Abstract. Technological stresses in the poultry industry affect the productivity of broiler chickens and are directly related to the intensification of production. Technological stress factors affect the metabolic processes occurring in the poultry body, while reducing the production performance of growing and the overall efficiency of broiler poultry farming. The aim of the study was to establish the effectiveness of the use of feed additives in broiler poultry farming under technological stress. The use of the feed additive made it possible to maintain the production indices of growing broiler chickens in the pre-slaughter period, by reducing the technological load on the poultry organism. This was evidenced by an increase in the average daily increase in live weight of poultry in the experimental group by 0.7 %, an absolute increase by 2.3 %, safety by 1.5 %, meat yield by 13.4 %, gross income by 49.2 %. Thus, the use of a feed additive for broiler chickens in the pre-slaughter period can increase the efficiency of broiler poultry farming. In the blood serum of broiler chickens of the experimental group, compared with the control group, there was an increase in the total protein content by 22.54 %, calcium and phosphorus - by 22.5 and 5.07 % and a decrease in the level of total lipids and cholesterol by 6.12 and 2.22 %, glucose by 7.05 %.

Ключевые слова: кормовая добавка, предубойный период, технологический стресс, промышленное птицеводство, цыплята-бройлеры, сохранность, рост, развитие, мясная продуктивность, экономическая эффективность

Key words: feed additive, pre-slaughter period, technological stress, industrial poultry farming, broiler chickens, safety, growth, development, meat productivity, economic efficiency

Продуктивность цыплят бройлеров напрямую связана с интенсификацией производства и уровнем технологических стрессов. Стресс-факторы оказывают влияние на нервную, эндокринную системы и метаболические процессы, происходящие в организме птицы, снижая при этом производственные показатели выращивания и в целом эффективность бройлерного птицеводства.

Многие авторы сходятся в том, что технологические стрессы в промышленном птицеводстве вызывают снижение прироста живой массы и сохранности птицы, мясной продуктивности, качества мяса, и в итоге экономической эффективности выращивания. Причем наибольшие потери продуктивности и сохранности происходят в предубойный период.

Значительное увеличение производственных потерь происходит на этапе отлова: птица травмируется, тем самым повышается уровень дефектности тушек и наблюдается рост падежа [1]. Отмечено, что шансы возникновения различного рода травм возрастают по мере увеличения продолжительности нахождения птицы в руках ловца [2, 3].

Сильный стрессор для птицы – высокая температура окружающей среды при транспортировке [4]. Кроме того, с увеличением ее длительности возрастает риск

загрязнения оперения продуктами жизнедеятельности птицы, что ведет к ухудшению санитарного состояния тушек [5].

Рост падежа птицы наблюдается в предубойный период [6, 7]. Уровень смертности может зависеть от иммунитета птицы, способа ловли, плотности посадки, температуры окружающей среды, условий и продолжительности транспортировки, расстояния до убойного пункта и условий предубойного содержания [8, 9]. Наиболее частые причины смерти цыплят-бройлеров в предубойный период – так называемый синдром внезапной смерти и травмы, включая переломы и разрывы печени [10].

При этом интенсивное выращивание и откорм птицы без технологических стрессов невозможно. Ее организм постоянно находится в стрессовом состоянии, реагируя на изменения микроклимата в птичнике, качества и количества кормов, иерархической структуры стада, погрузку и транспортирование. Поэтому необходимо регулировать последствия стрессового воздействия факторов окружающей среды на организм птицы и, в частности, с использованием специальных средств фармакологической поддержки.

Цель исследования – определить эффективность применения кормовой добавки в бройлерном птицеводстве.

Табл. 1. Биохимический статус крови цыплят-бройлеров ($X \pm Sx$; $n = 9$)

Показатель	Группа		p
	контрольная	опытная	
Общий белок, г/л	33,70 $\pm$ 0,98	35,65 $\pm$ 1,07	0,234
Мочевина, ммоль/л	2,56 $\pm$ 0,10	1,99 $\pm$ 0,13	0,010
Креатинин, мкмоль/л	21,43 $\pm$ 1,06	23,88 $\pm$ 1,74	0,328
Общие липиды, г/л	5,72 $\pm$ 0,16	5,37 $\pm$ 0,13	0,105
Холестерина, ммоль/л	4,85 $\pm$ 0,14	4,74 $\pm$ 0,12	0,574
Глюкоза, ммоль/л	10,89 $\pm$ 0,44	10,12 $\pm$ 0,42	0,161
Кальций, ммоль/л	2,50 $\pm$ 0,13	3,06 $\pm$ 0,10	0,010
Фосфор, ммоль/л	2,17 $\pm$ 0,06	2,28 $\pm$ 0,12	0,721
Кальций-фосфорное соотношение	1,15	1,34	-

Методика. Исследования по испытанию кормовой добавки проводили в условиях птицефабрики промышленного типа на цыплятах-бройлерах Arbor Acres. Применяемая кормовая добавка защищена патентом [11], в ее состав входят витаминоподобные и минеральные вещества: янтарная кислота, L-карнитин, бетаин, неорганические соли цинка, марганца, меди и лития.

Для эксперимента птицу поделили на 2 группы по 6136 голов каждая: I группа – контрольная, II – опытная. Птица содержалась в разных секциях. Бройлерам опытной группы за 5 суток до убоя в состав рациона вводили добавку в дозе 1269 г/т корма. В период опыта контролировали клиническое состояние птицы, условия кормления и содержания. На 38 сутки был проведен убой.

Специальные исследования проводили в условиях лаборатории инновационного научно-исследовательского центра ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ. Производственные показатели представлены птицефабрикой. Экономическую эффективность применения кормовой добавки рассчитывали по методике, разработанной Журавель Н.А. и др. [12].

Результаты и обсуждение. Величины биохимических показателей крови птицы исследуемых групп находились в пределах референсных значений, что свидетельствует об отсутствии патологических процессов в их организме (табл. 1).

Табл. 2. Производственные показатели эффективности откорма цыплят-бройлеров

Группа	Показатель			
	среднесуточный прирост живой массы, г	сохранность поголовья, %	абсолютный общий прирост, кг	коэффициент эффективности, ед.
Контрольная	57,16	95,8	12414	356,9
Опытная	57,54	97,3	12702	373,1

На фоне снижения в сыворотке крови цыплят-бройлеров опытной группы концентрации мочевины (конечного продукта азотистого обмена), по сравнению с контрольной, на 22,54 % отмечено повышение общего белка и креатинина на 5,79 % и 11,44 % соответственно. Это свидетельствует о сохранении уровня белков в опытной группе птицы и повышенной утилизации белка в контроле, где также отмечали снижение синтеза креатинина, участвующего в энергетическом обмене мышц и других тканей.

Снижение в опытной группе содержания общих липидов, холестерина и глюкозы (на 6,12, 2,22 и 7,05 % соответственно) указывает на мобилизацию липидов и углеводов для развития адаптационных механизмов. Тогда как в контрольной группе, судя по результатам биохимических исследований, наблюдались гликогенолиз и процесс накопления липидов организмом.

Произошли изменения и в содержании минеральных веществ в крови. Большее содержание кальция и фосфора в опытной группе на 22,50 и 5,07 % соответственно и кальций-фосфорное соотношение на 16,58 % может указывать на повышенную усвояемость минеральных веществ из корма благодаря общему улучшению метаболических функций организма.

Особой чувствительностью к меняющимся факторам внешней среды обладает высокопродуктивная птица. Изучение динамики среднесуточного прироста, сохранности поголовья и в итоге коэффициента эффективности позволяют оценить влияние кормовой добавки на производственные показатели выращивания птицы (табл. 2). Среднесуточный прирост живой массы цыплят-бройлеров в опытной группе был выше, чем в контроле, на 0,7 %, абсолютный прирост – на 2,3 %, в сравнении с контролем. Кроме того, полученные данные свидетельствовали о лучшей конверсии корма в опытной группе. Благодаря более высоким показателям прироста живой

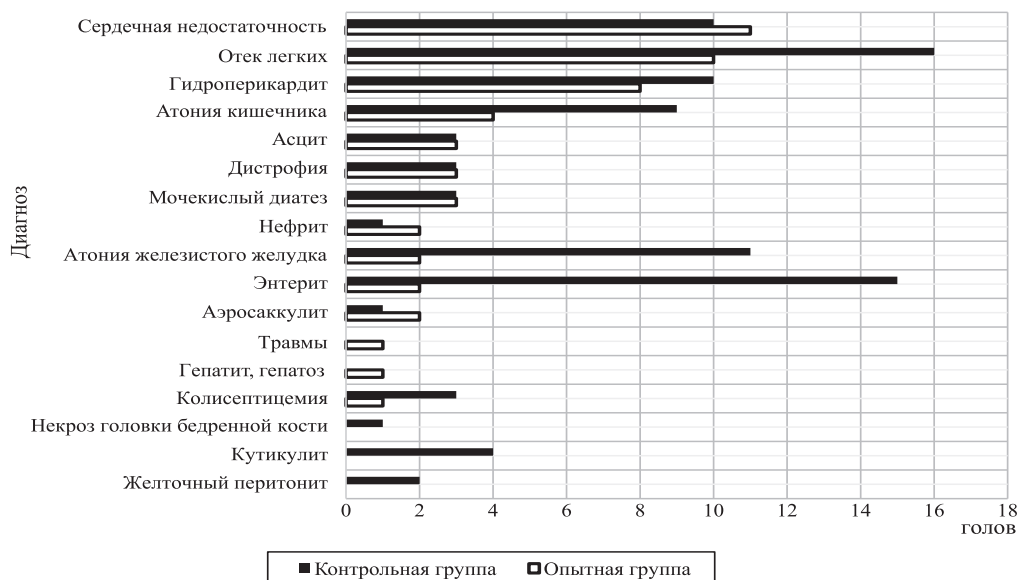


Рис. 1. Причины смертности цыплят за период опыта.

массы и сохранности птицы в опытной группе коэффициент эффективности был выше на 16,2 единицы.

Живой организм постоянно приспосабливается к изменяющимся условиям окружающей среды и поддерживает необходимый уровень гомеостаза. Спусковым механизмом развития адаптации служит нервная система в комплексе с эндокринной. Запущенный каскад внутренних реакций характеризуется мобилизацией энергетических и пластических ресурсов организма, под действием которых происходит формирование адекватного ответа на стрессор. Однако физиологические резервы организма постепенно истощаются, особенно когда действие стресс-факторов не прекращается или усиливается появлением новых. Нарушение гомеостаза сопровождается изменениями в метаболизме, дисфункцией органов и их систем. Если изменения носят необратимый характер это может привести к летальному исходу [13].

У птицы контрольной группы под воздействием высокой стрессовой нагрузки на пике возможной продуктивности показатели среднесуточного прироста живой массы уменьшились из-за расхода ресурсов организма на развитие адаптационных механизмов, тогда как в опытной группе в ответ на стрессовое воздействие расходовались внешние ресурсы, содержащиеся в кормовой добавке. Соли лития, уменьшая проводимость нервных волокон, способствовали уменьшению расходованию резервов организма. Антиоксидантные свойства компонентов добавки защищали клетки от оксидативного стресса, который лежит в основе свободнорадикального поражения тканей и органов.

Таким образом, птица контрольной группы уступала особям опытной по всем изученным производственным показателям. Положительное влияние кормовой добавки на среднесуточный прирост и сохранность птицы позволило получить дополнительно 288 кг мяса.

Оценка причин падежа птицы показала, что на 33...35 сутки в опытной и контрольной группах смертность не превышала 0,1 % от общего поголовья, что соответствовало нормативам для этого периода. На 36 сутки наблюдали увеличение уровня смертности цыплят-бройлеров в контроле до 0,2 %, в отличие от птицы опытной группы, в которой смертность оставались на прежнем уровне. В заключительные сутки откорма было отмечено естественное повышение смертности, причем наименьшую величину этого показателя наблюдали при скормливании птицы антистрессовой добавки.

В контрольной группе отмечена более высокая смертность от таких болезней, как отек легких, атония кишечника, атония железистого желудка и энтерит (рис. 1). За период выращивания цыплят-бройлеров не наблюдали вспышек инфекционных заболеваний. Динамика и этиологические факторы гибели цыплят-бройлеров, а также регистрируемые незаразные болезни не были связаны с применяемой кормовой добавкой. В опытной группе благодаря более высокой сохранности на заключительном этапе откорма отмечали меньшую на 1,5 % смертность птицы.

Предубойный стресс снижал эффективность выращивания птицы, применение кормовой добавки позволило скорректировать его влияние на мясную продуктивность цыплят-бройлеров (рис. 2).

Предубойный этап содержания птицы связан с комплексом ветеринарно-санитарных и технологических мер, ее подвергают голодной выдержке, клиническому осмотру, ловле, погрузке, транспортировке, выгрузке, навешиванию на линию конвейера, оглушению и обескровливанию. На каждом этапе в результате физического воздействия птица травмируется, появляются царапины, вывихи, гематомы, синяки, кровоподтеки, переломы. Травмы ведут к повышению уровня дефектности продукции, а мясо стрессчувствительной птицы может приобрести признаки PSE и DFD. Снижение

Табл. 3. Экономическая эффективность применения кормовой добавки

Группа	Затраты на выращивание, убой цыплят-бройлеров и реализацию продукции, руб./кг	Валовый доход, тыс. руб.
Контрольная	65,85	149,94
Опытная	66,33	223,71

восприимчивости к воздействию стрессоров в результате регулирования адаптационных механизмов способствует снижению количества травм бройлеров и дефектов тушек, а также повышение сортности мяса [14].

Выход мяса в опытной группе был выше, чем в контроле, на 13,4 %, что произошло на фоне снижения выхода мяса 2 сорта на 44,5 % и увеличения 1 сорта на 46,3 %. Кроме того, у птицы, получавшей кормовую добавку, возросла масса желудков, шеи, жира-сырца, сердца и печени, что привело к увеличению выхода субпродуктов 1 категории, по сравнению с контролем, на 4,2 %. Вместе с тем масса субпродуктов 2 категории уменьшилась на 5,3 %. Одновременно масса крови и кишечника в опытной группе возросла на 11,9 %, что косвенно свидетельствует о увеличившихся метаболических потребностях организма птицы.

Выявленная положительная динамика показателей роста, сохранности и мясной продуктивности в опытной группе привела к повышению экономической эффективности применения кормовой добавки (табл. 3).

Из-за дополнительных расходов на приобретение и подготовку кормовой добавки затраты на выращивание, убой и реализацию продукции в опытной группе были больше, чем в контроле, на 0,7 %. Однако увеличение прироста, сохранности поголовья, выхода мяса 1 сорта и субпродуктов 1 категории позволило увеличить валовый доход при реализации продукции опытной группы на 49,2 % и получить дополнительную прибыль в размере 73,77 тыс. руб.

Результаты наших исследований согласуются с данными разных авторов, которые доказали эффективность применения кормовых добавок с аналогичными компонентами в своем составе.

Например, использование комплексной литий-содержащей фармакологической добавки оказывало положительное влияние на сохранность цыплят-бройлеров, которая в контрольной группе за изучаемый период была ниже, чем в группе, где применяли добавку для профилактики стресса, на 1,24 %. По мнению авторов, это объясняется тем, что ее компоненты обладают адаптогенными свойствами, формируя механизм компенсации ресурсных затрат организма на развитие адаптационных процессов при стрессе [15].

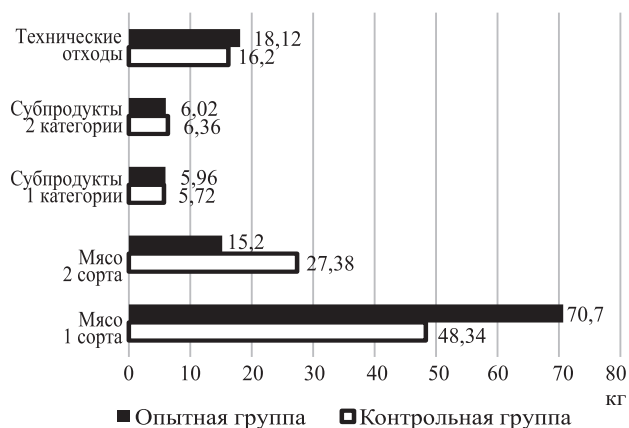


Рис. 2. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров (n=50).

Применение добавки, содержащей янтарную кислоту цыплятам-бройлерам в течение всего периода выращивания позволило достичь высокой сохранности и прироста живой массы птицы, благодаря повышению адаптивного потенциала и оптимизации биохимических процессов, происходящих в организме. К концу эксперимента птица опытной группы превосходила контроль по содержанию общего белка в крови на 9,7-12,2 %, живой массе – на 7,5 %, сохранности – на 4,0 % [16].

Добавление в рацион птицы солей лития увеличивало интенсивность обменных процессов и способствовало росту ее продуктивности, что связано с активацией механизмов транспорта элементов через слизистую тонкой кишки, в результате чего повысилась отложимость питательных веществ в организме. В ходе эксперимента среднесуточные приросты птицы опытных групп благодаря положительному балансу азота были выше, чем в контроле, на 1,6-2,5 % [17].

В экспериментах по изучению влияния солей меди и цинка на метаболические процессы отмечено повышение живой массы птицы [18]. В результате метаанализа была установлена положительная корреляция между содержанием меди в рационе и продуктивностью бройлеров [19]. Применение кормового комплекса, в состав которого входит цинк, повышало концентрацию белка в крови опытной группы, по отношению к контрольной, на 11,9-13,8 %. Авторами установлен рост уровня кальция и фосфора в крови, что они связывают с лучшим усвоением этих веществ из кормов [20].

Выращивание и откорм цыплят-бройлеров сопряжены с интенсивным синтезом белка. Этому процессу с высокой степенью достоверности способствует дополнительное введение в рацион L-карнитина, положительно влияющего на рост и развитие птицы [21].

Таким образом, применение в предубойный период стресспротекторной кормовой добавки позволяет сохранить высокие производственные показатели выращивания птицы и тем самым увеличить эффективность отрасли. Введение кормовой добавки в рацион, за 5 суток до убоя, ведет к снижению технологической нагрузки на организм птицы, о чем свидетельствует сохранение интенсивности прироста живой массы, повышение уровня сохранности и сортности мяса. Предпосылкой для таких результатов, судя по данным биохимического анализа крови, послужила стабилизация обменных процессов благодаря снижению утилизации белков, мобилизации углеводов и липидов в условиях развития адаптационных реакций, а также сохранению усвояемости минеральных веществ из корма.

Литература.

1. *Environmental and Physiological Variables During the Catching of Broilers* / M. L. d. V. Queiroz, J. A. D. Barbosa Filho, L. M. Duarte, et al. // *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2015. Vol. 17. No. 1. P. 37–43.
2. *Influence of two catching methods on the occurrence of lesions in broilers* / N. Langkabel, M. P. O. Baumann, A. Feiler, et al. // *Poultry Science*. 2015. Vol. 94. No. 8. P. 1735–1741.
3. *A comparison of post-mortem findings in broilers dead-on-farm and broilers dead-on-arrival at the abattoir* / K. E. Kittelsen, E. G. Granquist, O. Kolbjørnsen, et al. // *Poultry Science*. 2015. Vol. 94. No. 11. P. 2622–2629.
4. *Improving transport container design to reduce broiler chicken PSE (pale, soft, exudative) meat in Brazil* / R. S. Spurio, A. L. Soares, R. H. Carvalho, et al. // *Animal Science Journal*. 2016. Vol. 87. No. 2. P. 277–283.
5. *Broiler chickens dead on arrival: associated risk factors and welfare indicators* / L. Jacobs, E. Delezie, L. Duchateau, et

- al. // *Poultry Science*. 2017. Vol. 96. No. 2. P. 259–265.
6. *Welfare indicators during broiler slaughtering* / C. Grilli, A. R. Loschi, S. Rea, et al. // *British Poultry Science*. 2015. Jan. Vol. 56. No. 1. P. 1–5.
7. *Pre-slaughter losses of broilers: effect of time period of the day and lairage time in a subtropical climate* / F. M. C. Vieira, M. Deniz, I. J. O. da Silva, et al. // *Seminário de Ciências Agrárias*. 2015. Vol. 36. No. 6. P. 3887–3895.
8. *Impact of the separate pre-slaughter stages on broiler chicken welfare* / L. Jacobs, E. Delezie, L. Duchateau, et al. // *Poultry Science*. 2017. Vol. 96. No. 2. P. 266–273.
9. *Factors associated with pre-slaughter mortality in turkeys and end of lay hens* / G. Di Martino, K. Capello, E. Russo, et al. // *Animal*. 2017. Vol. 11. No. 12. P. 2295–2300.
10. *Effects of catching and transportation versus pre-slaughter handling at the abattoir on the prevalence of wing fractures in broilers* / K. E. Kittelsen, E. G. Granquist, G. Vasdal, et al. // *Animal Welfare*. 2015. Vol. 24. No. 4. P. 387–389.
11. *Средство для повышения мясной продуктивности и качества мяса цыплят-бройлеров в условиях технологических стрессов* / А.В. Мифтахутдинов, О.А. Величко, С.В. Шабалдин и др. // *Патент на изобретение RU 2701656 C1*, 30.09.2019. Заявка № 2018140306 от 14.11.2018.
12. *Zhuravel N.A., Miftakhutdinov A.V., Suchanova S.F. Economic assessment of stress prevention in broiler chickens in the pre-slaughter period* // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The proceedings of the conference AgroCON-2019*. 2019. C. 012056.
13. *Кавтарашивили А.Ш., Колокольникова Т. Н. Физиология и продуктивность птицы при стрессе (обзор)* // *Сельскохозяйственная биология*. 2010. № 4. С. 25–37.
14. *Качество и безопасность мяса цыплят-бройлеров при коррекции предубойного стресса* / А.В. Мифтахутдинов, Э.Р. Сайфулмулюков, Е.А. Ноговицина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Vol. 34. No. 3. P. 71–74.
15. *Fisinin V.I., Miftakhutdinov A.V., Anosov D.E. Pharmacological prevention of stress during chicken debeaking* *Russian Agricultural Sciences*. 2016. Vol. 42. No. 1. P. 97–100.
16. *Scientific and Practical Aspects of the Application of a Biologically Active Adaptogenic Additive in Poultry Farming* / E. V. Kuzminova, M. P. Semenenko, I. S. Zholobova, et al. // *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9. No. 5. P. 2303–2309.
17. *The influence of different doses of lithium additive in mixed feed on the balance of nitrogen in organism of goslings* / O. I. Sobolev, B. V. Gutyj, S. V. Soboliev, et al. // *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. No. 2. P. 91–96.
18. *Olukosi O. A., van Kuijk S. J. A., Han Y. M. Sulfate and hydroxychloride trace minerals in poultry diets - comparative effects on egg production and quality in laying hens, and growth performance and oxidative stress response in broilers* // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. No. 10. P. 4961–4971.
19. *Meta-analysis of the correlation between dietary copper supply and broiler performance* / C. Feng, B. Xie, Q. Wuren, et al. // *Plos One*. 2020. Vol. 15. No. 5. P. 14.
20. *Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при скормливании цинка в форме сульфата и смешаннолигандного комплекса цинка* / А.И. Редька, В.С. Бомко, С.П. Бабенко и др. // *Научно-технический бюллетень Института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины*. 2018. № 120. С. 127–135.
21. *Effect of Different Levels of L-carnitine and Excess Lysine-Methionine on Broiler Performance, Carcass Characteristics, Blood Constituents, Immunity and Triiodothyronine Hormone* / V. Tufarelli, H. Mehrzad-Gilmalek, M. Bouyeh, Qotbi A., et al. // *Agriculture-Basel*. 2020. Vol. 10. No. 4. P. 8.

Поступила в редакцию 20.11.20
После доработки 18.12.20
Принята к публикации 14.01.21

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ДИАГНОСТИКЕ И БОРЬБЕ С ВАРРОЗОМ ПЧЁЛ

Ю.Г. Исаев, кандидат биологических наук, А.Н. Сотников, кандидат ветеринарных наук,
М.И. Гулюкин, академик РАН, Т.В. Степанова

Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко,
109428, Москва, Рязанский просп., 24, корп. 1
E-mail: 5er@inbox.ru

В статье представлены результаты скормливания (методом поливания из шприца на пчёл) в начале зимовки бипина в концентрации 0,00625 % с сахарным сиропом в расчёте 10 мл на улочку пчёл двукратно с интервалом 24 ч. Эффективность лечения определяли методом визуального осмотра каждой особи семьи пчёл после введения их в оцепенение. Предложено проведение акарицидной обработки в начале зимовки, когда пчёлы прекращают вылетать из улья и передачи клещей на пасеке не будет. На основании характера осыпи клеща варроа по улочкам предложено усовершенствование методики отбора проб на варрооз на пасеке: рекомендуем отбирать для исследования только живых пчёл из каждой улочки от края до середины гнезда.

MODERN APPROACHES IN DIAGNOSTICS AND FIGHT AGAINST VARROSI OF BEES

Isaev Yu. G., Sotnikov A.N., Gulyukin M.I., Stepanova T.V.

Federal Scientific Centre VIEV
109428, Moskva, Ryazansky prosp., 24, korp. 1
E-mail: 5er@inbox.ru

The article presents the results of feeding (by the method of watering from a syringe to bees) at the beginning of wintering of bipin at a concentration of 0.00625% with sugar syrup at the rate of 10 ml per bee lane twice with an interval of 24 hours. The effectiveness of the treatment was carried out by the method of visual examination of each individual of the bee colony after their introduction into a torpor. It is proposed to carry out acaricidal treatment at the beginning of wintering, when bees stop flying out of the hive and there will be no transmission of ticks in the apiary. Based on the nature of the varroa mite scree along the streets, it was proposed to improve the sampling method for varroosis in the apiary: we recommend that only live bees be selected for research from each street from the edge to the middle of the nest.

Ключевые слова: варрооз, диагностика, акарицидная обработка пчёл, бипин, амитраз

Key words: varroosis, diagnostics, acaricidal treatment of bees, bipin, amitraz

Сегодня нет сомнений в том, что пчеловодство во всем мире находится под угрозой. Прежде всего это связано с клещом варроа и вирусными заболеваниями, которые он переносит, а также с экологическими и антропогенными факторами.

Варрооз пчёл – повсеместно распространённое паразитарное заболевание пчёл, причиняющее огромный ущерб мировому пчеловодству. Это карантинная болезнь из списка Б Международного эпизоотического бюро.

Инвазия, вызываемая клещом *Varroa destructor*, охватывает все известные пасеки. В борьбе с ней до сих пор достигаются лишь временные успехи. *Varroa destructor*, паразитируя на пчеле, открывает доступ к её организму для ряда вирусных инфекций, что значительно усугубляет ситуацию и может вызывать «коллапс пчелиной семьи», сокращая количество семей на отдельных пасеках на 30-60 %, что, как известно, отрицательно сказывается на экологическом состоянии окружающей среды, урожайности энтомофильных культур и производстве продуктов пчеловодства.

Самки клеща паразитируют преимущественно на молодых внутриульевых пчёлах, прикрепляясь к перегородке между вторым и третьим сегментом брюшка с левой стороны. При достижении хозяином возраста более 7 дней клещ перемещается на грудь и голову. Следует отметить, что паразит редко встречается на

пчёлах, приносящих в гнездо воду, поскольку они обладают наибольшей секрецией насоновой железы. В активный период жизнедеятельности гнезда пчёл до 70-90 % клещей может содержаться в расплоде. В летний период зимняя генерация самок паразита заменяется на новую [1, 2].

Темпы размножения клеща зависят от климатических и природных условий, породы пчёл, силы семей, соотношения пчелиного и трутневого расплода в течение сезона и др. Расплод, находящийся в старых сотах (более 2-3 лет эксплуатации), поражается клещом значительно больше, чем в свежестроенных. Самки клещей зимуют на пчёлах, глубоко проникая между брюшными сегментами и питаясь гемолимфой. Для сохранения жизнеспособности одной самке клеща необходимо 5,5 мкг гемолимфы, тогда как в организме зимующей пчелы её содержание в среднем составляет 4,3 мкг. Устойчивость клеща во внешней среде зависит от температуры и влажности. В голодном состоянии в оптимальных для жизнедеятельности условиях паразит сохраняется до 5-7 сут., в запечатанном расплоде при 20 °С – до 30-40 сут. Потеря из организма паразита 5-10 % воды затрудняет питание и возможность размножаться (у 50 % самок). Погибают они после потери 10-20 % воды.

Наиболее эффективны и менее трудозатратны среди имеющихся методов борьбы с клещом (физических,

химических, биологических, зоотехнических) – обработка лечебными препаратами на базе различных действующих веществ, основные из которых на сегодня – амитраз и флувалинат. Многие из применяемых препаратов действительно высокоэффективны, однако, некоторые из них имеют побочное действие, обладая кумулятивным эффектом.

Большинство проводимых лечебных мероприятий не приводят к полному освобождению пчелиных семей пасеки от клещей. Этому способствуют такие причины, как нескоординированность между соседями-пчеловодами в лечении варрооза в пределах населённого пункта или района в радиусе полёта пчёл от обрабатываемой пасеки, отсутствие учета природной очаговости варрооза и др. Природные очаги — это свободно проживающие в природе рои пчёл, улетевшие с пасек. Находясь в естественных условиях, они не подвергаются лечению, а пчеловод и не подозревает об этом, проводя лечебные мероприятия на своей пасеке [3].

Инструкция о мероприятиях по предупреждению и ликвидации болезней, отравлений и основных вредителей пчел, утверждённая 17.08.1998 г. предписывает проводить диагностику заболевания в соответствии с п. 5.3.1.: «Диагноз на варроатоз ставят на основании визуального обнаружения клещей на пчелах, в расплоде и воско-перговой крошке со дна улья в условиях пасеки или ветеринарной лаборатории с учётом эпизоотической ситуации. Жизнеспособность пчелиных семей прогнозируют по трём степеням поражения: слабая – до двух клещей на 100 пчёлах и в 100 ячейках трутневого или пчелиного расплода из середины гнезда, средняя – до четырёх и сильная – более четырёх клещей.

Хозяйства, имеющие семьи пчел с первыми двумя степенями поражения, считают условно благополучными и в ветеринарной отчётности показывают, как благополучные. При массовом отходе семей пчёл диагноз на варроатоз ставят комиссионно, предварительно исключив лабораторным исследованием другие болезни и отравления, а также нарушения в кормлении и содержании.

Паразитов следует дифференцировать от других клещей, встречающихся в улье».

В соответствии с п. 5.3.3. упомянутого документа «На пасеки с третьей степенью поражения семей пчёл клещами варроа накладывают ограничения, которые распространяются на кочёвку пчелиных семей, перестановку сотов с расплодом из одной семьи в другую, уменьшение межхозяйственных связей и недопущение слета роев».

На практике диагностика варрооза проводится и путем обнаружения погибших самок клеща варроа в мусоре со дна улья при весеннем исследовании, что не позволяет определить эффективность проведенного лечения, так как в пробу попадают клещи после обработки. Возникает необходимость в определении клещей, оставшихся после обработки на пчёлах [1, 4, 5].

Ранее в наших исследованиях было отмечено, что лечение варрооза осуществляется пчеловодами без учёта эпизоотического процесса (выделение во внешнюю среду и передача от больной семьи к леченной). Многие пчеловоды проводят обработки в период лёта пчел, когда этот процесс ещё продолжается. Диагностика на наличие варроа непосредственно после лечения (на вторые-третьи сутки после применения препарата) в пробе пчёл, взятой с крайней рамки (отбор и осмотр на наличие паразита ста живых пчёл), не выявляет клещей, однако весной в этой семье можно визуально наблюдать наличие клещей на пчёлах и расплоде [3, 6, 7].

На наш взгляд, целесообразно проводить лечение пчёл в начале зимовки, когда они прекращают вылетать из улья и передачи клещей на пасеке не будет. При этом диагностику проведенного лечения необходимо проводить после введения в оцепенение всех пчёл семьи, путем тщательного осмотра каждой пчелы. После такой манипуляции пчёлы остаются живыми и помещаются в улей на соты для продолжения зимовки [7].

Цель исследования – определить эффективность лечения семей пчёл различными методами скормливания бипина 0,00625 % с сахарным сиропом 1:1 в дозе 10 мл на улочку осенью и в начале зимовки из кормушки и методом поливания из шприца на пчёл, а также возможность использования гуманного метода диагностики этого заболевания после введения пчёл в оцепенение.

Методика. Исследования проводили на опытной пасеке ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН на 20 семьях пчёл, в соответствии с Инструкцией о мероприятиях по предупреждению и ликвидации болезней, отравлений и основных вредителей пчёл, утвержденной 17.08.1998 г.

От варрооза обрабатывали препаратом бипин (действующее вещество – амитраз, 12,5 %) [8]. Для приготовления лечебного корма на 2 л сахарного сиропа (1:1) вносили 1 мл бипина. Корм с препаратом одной группе семей ($n = 3$) скормливали дважды с интервалом 24 ч в сентябре при отсутствии расплода в семьях. Кормовой сироп давали из расчёта 10 мл на улочку пчёл. Остальные семьи пасеки против варрооза в этот период не обрабатывали. Через 48 ч после последнего скормливания определяли остаток клещей в семьях, приводя пчёл в оцепенение, с последующим возвращением в улей.

В конце ноября 2020 г. исследования продолжили на необработанных пчелах. Для этого группе из трех семей скормили бипин с сахарным сиропом из кормушек, другой ($n = 3$) – лечебный сироп применяли, выливая на пчёл в улочках (в соответствии с инструкцией по применению препарата). В обоих случаях обработку проводили двукратно с интервалом 24 ч в дозе по 10 мл сиропа на улочку. До начала лечения на дно ульев подкладывали листы пергаментной бумаги, покрытые вазелином, для сбора и учёта отпавших клещей. Осмотр пчёл проводили в состоянии оцепенения.

В декабре 2020 г. был проведен учёт клещей, оставшихся на пчёлах, для которого использовали по одной семье из каждой группы. В этот же период путем двукратного (с интервалом 24 ч) поливания сахарным сиропом по улочкам были обработаны бипином остальные семьи пасеки.

Результаты и обсуждение. В ходе проведения опыта пчёлы быстро забирали лечебный сироп из кормушек при скормливании как в сентябре при положительной температуре наружного воздуха, так и в конце ноября при отрицательной температуре. Одновременно было отмечено, что при температуре от +1...+4 °C пчёлы могут находиться в состоянии оцепенения до двух суток. Аналогичные данные есть и у других исследователей [9]. Кроме того, мы установили, что клещи после оцепенения оживают раньше пчёл. При длительном нахождении пчёл в оцепенении, клещи могут опадать с них, но оставаться живыми.

Результаты подсчёта осыпавшихся клещей в подопытных семьях свидетельствуют, что бипин в сахарном сиропе обладает акарицидным действием при скормливании как из кормушки, так и методом поливания на пчёл (табл. 1). При использовании лечебного препарата в сентябре (когда клуб пчёл ещё не сформирован), гибель клещей происходит в первые 48 ч после первой

Табл. 1. Результаты акарицидной обработки семей пчёл бипином

Группа	Время проведения опыта, вид скармливания препарата	Число особей клещей варроа в семье		
		через 24 ч после первой обработки	через 24 ч после второй обработки	в конце эксперимента
I	Сентябрь 2020 г., скармливание из кормушек (n = 3)	115	56	12
		96	78	7
		74	66	32
II	Ноябрь 2020 г., скармливание из кормушек (n = 3)	37	217	92
		84	128	342
		32	221	283
III	Ноябрь 2020 г., скармливание поливанием на пчёл (n = 3)	110	77	92
		62	53	8
		188	258	55

Табл. 2. Количество самок клещей варроа, осыпавшихся по улочкам, шт.

Показатель	Номер улочки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число особей	7	11	13	31	40	63	56	45	16	1

обработки. При скармливании бипина из кормушки в ноябре (после формирования клуба пчёл) осыпь клещей начинается через 24 ч после первой обработки и продолжается после 48 ч, поскольку из-за плотности пчёл в клубе клещ не сразу попадает на дно улья.

По характеру осыпания клещей (рис. 1) можно сделать вывод о том, что основная их часть находится в центре клуба. Так, на крайних улочках наблюдаются единичные особи варроа, а в центральных – от 40 до 63 шт. (табл. 2). Это необходимо учитывать для точного определения поражённости семьи.

При взятии из пробы весеннего подмора пчёл (рис. 2) со дна улья в нее обязательно попадут трупы клещей, которые осыпались осенью от акарицидной обработки. Результаты такого исследования будут недостоверны.

Анализ результатов обследования на остаток клещей, проведенного в декабре, свидетельствует, что в группе, обработанной в сентябре, обнаружено 137 живых самок клеща варроа, в двух других группах (подвергнутых обработке в безлётный период) клещей варроа не отмечено.

Результаты проведенного исследования указывают на высокую эффективность поздней акарицидной обработки, после того как пчёлы соберутся в клуб. Препарат бипин обладает системным действием. Поэтому даже если небольшая часть пчёл забирает лечебный корм из кормушки благодаря обмену между особями колонии охват достигает 99,9 % пчёл [12].

Препарат не вызывает отравления пчёл. Благодаря чему повторное скармливание через 24 ч позволяет создать высокую концентрацию действующего вещества в гемолимфе пчелы и с большей вероятностью достичь каждого паразита в семье.

Характер осыпи по улочкам наглядно демонстрирует, каким образом распределён клещ варроа на пчёлах в клубе. Знание таких особенностей имеет большое практическое значение и серьёзно меняет методику диагностики семей пчёл на варрооз: для получения достоверных данных, отбор проб необходимо проводить из каждой улочки с одного края гнезда до центра.



Рис. 1. Характер осыпи клеща варроа по улочкам

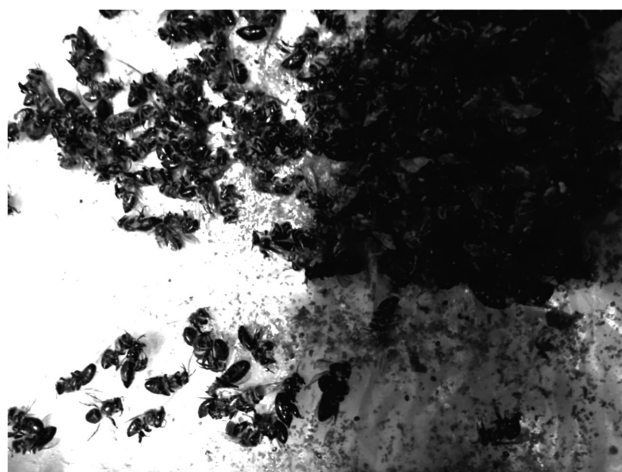


Рис. 2. Характер осыпи клеща варроа и пчёл в весеннем подморе.

Ранние акарицидные обработки, проведенные высокоэффективными препаратами, позволяют полностью освободить семью пчёл от клещей, но в осенний период происходит очень бурный обмен клещами между семьями разных пасек. Причиной тому может быть разграбление более слабых семей сильными, воровство мёда из ульев, принадлежавших слетевшим семьям и др. Только поздней осенней обработка от варрооза, когда лёт пчёл прекращается, позволяет достичь высокой эффективности и сохранить такие показатели до весны. При этом появляется возможность оздоровления пасек от клеща варроа.

Использование оцепенения пчёл при определении оставшихся клещей в семьях после обработки открывает возможности для убедительного подтверждения оздоровления семьи, а при исследовании всех семей – пасеки. Такой метод более гуманен и позволяет сохранять все семьи живыми.

Запись поражённых клещом варроа и оздоровленных пасек и территориальных районов и населённых пунктов, в которых они расположены, целесообразно вносить в современные цифровые геоинформационные системы для мониторинга эпизоотической обстановки [11, 12].

Таким образом, скармливание пчёлам поздней осенью – в начале зимы препарата бипин в концентрации

0,00625 % с сахарным сиропом в дозе 10 мл на улочку пчёл, двукратно с интервалом 24 ч способно освободить семью пчёл от клещей варроа. При этом проведение высокоэффективного лечения во время активного лёта пчёл осенью не позволяет оздоравливать семьи или пасеки от варрооза. Обработка в начале зимовки по окончании лёта открывает возможности для решения этой задачи.

Использование оцепенения пчёл всей семьи и визуальный их осмотр на наличие клещей варроа позволяет точно выявлять оставшихся клещей и механически удалить их с пчёл, тем самым оздоравливая семью и пасеку в целом.

Для повышения точности определения поражения пчелиной семьи клещом варроа необходимо отбирать живых пчёл из каждой улочки от края до середины гнезда.

Литература.

1. Гробов О.Ф. Роль варроа в массовой гибели пчёл // Труды ВИЭВ. М.: ФГБНУ ВИЭВ, 2010. Т. 76. С. 160–165.
2. Гробов О.Ф., Смирнов А.М., Попов Е.Т. Болезни и вредители медоносных пчёл. М.: ВО «Агропромиздат», 1987. 336 с.
3. Исаев Ю.Г. Варрооз пчёл и возможность оздоровления пасеки // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2020. № 4. С. 507–510. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202004015.
4. Results of the coordination of scientific research on veterinary sanitation, hygiene and ecology for 2011–2015 / V.I. Dorozhkin, A.M. Smirnov, A.V. Suvorov, et al. // Russian journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2016. Vol. 2. No. 18. P. 6–10.
5. Coordination of scientific research: a new stage and new tasks / A.M. Smirnov, V.I. Dorozhkin, A.V. Suvorov, et al. // Veterinary and feeding. 2016. No. 1. P. 8–10.
6. Epizootic process in quarantine bee diseases / A.N. Sotnikov, M.I. Gulyukin, A.M. Gulyukin, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421. No. 8. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/421/8/082029/pdf>. (дата обращения 15.10.2020). doi: 10.1088/1755-1315/421/8/082029.
7. Diagnosis of varroosis taking into account modern requirements / A.N. Sotnikov, M.I. Gulyukin, Y.G. Isaev, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Agribusiness Economics and Organisation of Agritech Engineering. 2020. Vol. 548022054. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/548/2/022054/pdf>. (дата обращения 15.10.2020). doi: 10.1088/1755-1315/548/2/022054.
8. Сотников А.Н. Препараты системного действия и фольбекс ВА для борьбы с варроозом пчёл. автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М.: Типография ВАСХНИЛ, 1989. 24 с.
9. Еськов Е.К. Холодовое оцепенение и холодостойкость пчёл // Пчеловодство. 2020. №7. С. 18–21.
10. Фриш К. Из жизни пчёл / Халифман И. А. (отв. ред.). Москва: Мир, 1980. 216 с.
11. Application of geoinformational systems for veterinary geology / V.V. Belimenko, V.A. Rafienko, A.E. Droshnev, et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 315. 03201. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/315/3/032015/pdf>.
12. Analysis and assessment of risks of natural focal zoonotic infections outbreaks using geo-information technologies / A.A. Shabeikin, A.M. Gulyukin, V.V. Belimenko, et al. Moscow: ATT, 2018. doi: 10.30917/ATT-PRINT-2018-2.

Поступила в редакцию 10.12.20

После доработки 11.01.21

Принята к публикации 22.01.21

Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции

УДК 664.788/664.668.9

DOI: 10.31857/S2500262721010154

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПШЕНИЦЫ И ТРИТИКАЛЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПШЕНИЧНО-ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ**Р.Х. Кандроков, Т.А. Юдина, Н.В. Рубан, кандидаты технических наук,
С.А. Катин, аспирант***Московский государственный университет пищевых производств,
125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11
E-mail: nart132007@mail.ru*

Изучено влияние соотношения пшенично-тритикалевой зерновой помольной смеси на мукомольные и хлебопекарные свойства пшенично-тритикалевой муки. Определены мукомольные и хлебопекарные свойства исходной зерновой пшенично-тритикалевой зерновой смеси в соотношении 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 и зерна пшеницы (контроль). Мукомольные свойства исходных зерновых смесей определяли на лабораторных мельницах МЛП-4 с нарезными и микрошероховатыми вальцами. Добавление 20% зерна тритикале в помольную зерновую смесь приводит к снижению выхода муки на 0,5%, 50% – на 3,2%. В большей степени это воздействовало на величину числа падения пшенично-тритикалевой муки, которое снижалось в 3,5 раза с 294 с у контрольного образца пшеницы до 80 с у муки, полученной из зерновой смеси с соотношением пшеницы и тритикале 50:50. При добавлении зерна тритикале в помольную смесь незначительно снижался и объемный выход хлеба из пшенично-тритикалевой муки: от 0,2 г/см³ при соотношении 80:20 до 0,4 г/см³ при 50:50, а также формоустойчивость подового хлеба – от 0,1 при соотношении пшеницы и тритикале 80:20 до 0,2 при 50:50. Пористость хлеба существенно зависела от добавления тритикале в помольную зерновую смесь. По сравнению с контрольной пробой хлеба из пшеничной муки, у хлеба из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 80:20 и 50:50 она снижалась соответственно на 0,6 и 8,2%.

THE EFFECT OF THE RATIO OF THE GRAIN MIXTURE OF WHEAT AND TRITICALE ON TECHNOLOGICAL PROPERTIES WHEAT TRITICALE FLOUR**Kandrokov R.Kh., Yudina T.A., Ruban N.V., Katin S.A.***Moscow State University of Food Production,
125080, Moskva, Volokolamskoe shosse, 11
E-mail: nart132007@mail.ru*

Introduction. The results of the study are presented, the effect of the ratio of wheat-triticale grain grinding mixture on the milling and baking properties of wheat-triticale flour. The flour and baking properties of the initial grain wheat-triticale grain mixture in the ratios 80:20, 70:30, 60:40 and 50:50 and the control grain of wheat were determined. The milling properties of the initial grain mixtures were determined in laboratory mills MLP-4 with rifled and microrough rollers. It was found that adding triticale grain to the grinding grain mixture reduces the yield of flour from 0.5% when adding 20% triticale grain to 3.2% when adding 50% triticale grain. The greatest influence of the addition of triticale grains to the initial grinding grain mixture has on the fall number of wheat-triticale flour. In this case, there is a 3.5-fold decrease in the drop indicator from 294 seconds for a control sample of wheat to 80 seconds in flour obtained from a grain mixture at a ratio of 50: 50% wheat and triticale. In this case, the addition of triticale grain to the grinding mixture slightly decreases the volumetric yield of bread from 0.2 g/cm³ with a ratio of wheat and triticale 80:20% to 0.4 g/cm³ with a ratio of 50: 50%. The shape stability of hearth bread is reduced even less - from 0.1 when the ratio of wheat and triticale is 80:20% to 0.2 in a ratio of 50:50%. The greatest influence the addition of triticale to the grinding grain mixture has on the porosity of the bread. Compared to the control sample of bread from wheat flour, the porosity of bread from wheat and triticale flour in the ratio of 80: 20% decreased by 0.6%, and from wheat and triticale flour in the ratio of 50: 50% it decreased by 8.2%.

Ключевые слова: пшеница, тритикале, зерновая смесь, зазор, выход, пшенично-тритикалевая мука, хлебопекарные свойства

Key words: wheat, triticale, grain mixture, clearance, yield, wheat-triticale flour, baking properties

За последние 30 лет производителям тритикале удалось значительно повысить урожайность зерна. Современные сорта этой культуры высокоурожайны, а их зерно более крупное, выравненное и имеет более высокую натурную массу, чем у созданных ранее. Увеличение крупности и плотности зерновок тритикале современных сортов послужили причиной повышения содержания крахмала и, следовательно, энергетической и питательной ценности, по сравнению с предшествующими генотипами [1-8].

Современное зерно тритикале по мукомольным и хлебопекарным свойствам превосходит рожь, но уступает пшенице [9-17]. Установлено, что хлеб, приготовленный из смеси тритикалевой и пшеничной муки в соотношении 50:50 или 75:25, имеет более высокий

объемный выход (4,8; 4,9 мл/г), чем хлеб, выпеченный из контрольной пшеничной муки (4,4 мл/г). Хлебопекарные свойства тритикалевой муки, полученной из ранних сортов тритикале, были очень низкими, хотя качество хлеба удалось повысить за счет добавления улучшителей для теста. Хлеб хорошего качества получен только из муки современных сортов тритикале. При этом хлеб, состоящий из 65% пшеничной муки, смешанной с 35% тритикалевой цельносмолотой муки, впервые был продан как «Тритибред» в Соединенных Штатах Америки в 1974 г.

Первые исследования по определению мукомольных и хлебопекарных свойств пшенично-тритикалевой помольной смеси, в сравнении с пшеничным зерном, провели мексиканские ученые в 1992 г. [18].

Табл. 1. Выход пшеничной и пшенично-тритикалевой муки с драных и размольных технологических систем, %

Технологическая система	Пшенично-тритикалевая в соотношении, %				Пшеничная (контроль)
	50:50	60:40	70:30	80:20	
I драная система	1,9	1,8	2,1	2,2	2,1
II драная система	2,1	2,4	2,3	2,4	2,5
III драная система	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4
IV драная система	1,9	1,8	2,0	2,2	2,1
V драная система	1,1	1,3	1,0	1,1	1,2
Мука с драных систем, %	9,7	10,3	10,5	11,2	11,3
1 размольная система	16,0	16,8	17,2	16,9	17,4
2 размольная система	13,8	13,5	13,9	14,1	14,3
3 размольная система	8,0	7,8	7,9	8,1	8,2
4 размольная система	6,4	6,0	6,2	6,3	6,2
5 размольная система	3,7	4,2	4,1	4,2	4,1
6 размольная система	3,2	3,7	3,5	3,4	3,3
7 размольная система	3,2	3,8	3,6	3,3	3,1
8 размольная система	3,7	3,4	3,2	3,1	3,2
9 размольная система	2,5	2,3	2,5	2,3	2,3
Мука с размольных систем, %	60,5	61,5	62,1	61,7	62,1
Всего муки, %	70,2	71,8	72,6	72,9	73,4

Российские исследователи разработали эффективную технологическую схему переработки зерна тритикале в торговую хлебопекарную муку и определили технологические свойства пшенично-тритикалевой муки [19, 20].

Цель исследований – изучение влияния соотношения пшенично-тритикалевой зерновой помольной смеси на мукомольные и хлебопекарные свойства пшенич-

но-тритикалевой муки, в сравнении с контрольной из пшеницы

Методика. Перед помолами проводили их гидротермическую обработку с отволаживанием в течение 14 ч. Применяли холодное кондиционирование как наиболее распространенный метод.

Для моделирования драных систем размола пшенично-тритикалевых зерновых смесей в соотношении 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 и контрольного образца зерна пшеницы использовали мельницу лабораторного помола МЛП-4 с нарезными вальцами. Разработанная лабораторная технологическая схема помола состояла из 4 драных и 9 размольных систем. Основные механико-кинематические показатели такой мельницы: производительность – 100 кг/ч, скорость быстровращающегося вальца – 4,5 м/с, дифференциал – 1,75, расположение рифлей – спинка по спинке, количество рифлей на одном погонном сантиметре – 8 шт., уклон рифлей – 8%. Межвальцовый зазор на I драной системе составил 0,7 мм, на II – 0,4 мм, на III – 0,15 мм. Для моделирования размольных систем размола пшенично-тритикалевых зерновых смесей использовали мельницу лабораторного помола МЛП-4 с гладкими микрошероховатыми вальцами.

Результаты и обсуждение. Определение мукомольных свойств исходного зерна пшеницы и пшенично-тритикалевых зерновых помольных смесей в соотношении 80:20, 70:30, 60:40 и 50:50 показало, что добавление в помольную пшенично-тритикалевую зерновую смесь до 50% зерна тритикале приводило к снижению общего выхода муки на 3,2%, по сравнению с контрольным пшеничным помолом (табл. 1). Кроме того, добавление зерна тритикале в зерно пшеницы при составлении помольной смеси влияло на процесс крупобразования, а в результате – на общий выход пшенично-тритикалевой муки.

Введение зерна тритикале в исходную помольную зерновую смесь существенно не влияло на количество и качество клейковины, а также белизну пшенично-тритикалевой муки и крупность помола. В большей степени изменялось число падения пшенично-тритикалевой муки, что необходимо учитывать в процессе тестоведения и выпечки хлеба. При этом происходит

Табл. 2. Показатели качества образцов пшеничной и пшенично-тритикалевой муки

Показатель	Пшеничная (контроль)	Пшенично-тритикалевая в соотношении, %			
		80:20	70:30	60:40	50:50
Цвет		Белый или белый с кремовым оттенком			
Запах		Свойственный данному виду муки, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый			
Вкус		Свойственный данному виду муки, без посторонних привкусов, не кислый, не горький			
Влажность, %	12,1	11,4	13,0	13,0	13,4
Количество клейковины, %	28,8	29,9	25,2	28,8	27,5
Качество клейковины, ед. ИДК	83	94	82	83	83
Группа качества	II	II	II	II	II
Число падения, с	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная
	слабая	слабая	слабая	слабая	слабая
Белизна, ед. прибора СКИБ-М	294	206	154	122	80
Крупность помола, % – остаток на сите (№ 45/50 ПА)	46	45	51	45	40
	0,28	0,44	0,73	0,66	0,74

Табл. 3. Показатели качества хлеба из образцов пшеничной и пшенично-тритикалевой муки

Показатель	Хлеб из пшеничной муки (контроль)	Хлеб из пшенично-тритикалевой муки, %			
		80:20	70:30	60:40	50:50
Удельный объем хлеба, г/см ³	3,5	3,3	3,2	3,2	3,1
Формоустойчивость, h:d	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
Пористость, %	76,0	75,4	73,1	69,5	67,8
Влажность мякиша, %	42,5	43,1	43,7	44,1	44,5
Кислотность мякиша, град	2,8	2,8	2,6	2,6	2,4

снижение величины этого показателя в 3,5 раза: с 294 с у контрольного образца до 80 с у муки из зерновой смеси при соотношении 50:50 пшеницы и тритикале.

Определение показателей качества хлеба из различных образцов пшенично-тритикалевой и контрольной пшеничной муки (табл. 3) в соответствии с ГОСТ 27669-88 показало, что наибольшим удельным объемом, формоустойчивостью и пористостью обладал хлеб из контрольной пшеничной муки. При добавлении тритикале в помольную смесь происходило незначительное снижение удельного объема хлеба из пшенично-тритикалевой муки от 0,2 (80:20) до 0,4 г/см³ (50:50). Формоустойчивость подового хлеба снижалась еще меньше – от 0,1 при соотношении пшеницы и тритикале 80:20 до 0,2 при 50:50. Добавление тритикале в помольную зерновую смесь способствовало повышению влажности мякиша хлеба от 0,6% при соотношении пшеницы и тритикале 80:20 до 2,0% при 50:50. Кислотность мякиша хлеба не изменялась, по сравнению с контрольным образцом, при соотношении

**Рис. 1. Внешний вид хлеба из контрольной пшеничной (К) и пшенично-тритикалевой муки в соотношении 1-4 – соответственно 80:20, 70:30, 60:40, 50:50.****Рис. 2. Внешний вид мякиша хлеба из контрольной пшеничной (К) и пшенично-тритикалевой муки в соотношении 1-4 – соответственно 80:20, 70:30, 60:40, 50:50.**

пшеницы и тритикале 80:20 и снижалась на 0,2 градуса при соотношении 50:50.

Добавление зерна тритикале в помольную зерновую смесь в основном влияло на пористость хлеба. По сравнению с контрольным образцом из пшеничной муки, пористость хлеба из пшенично-тритикале-

Табл. 4. Показатели (балл) качества хлеба из образцов пшеничной и пшенично-тритикалевой муки

Показатель	Хлеб из пшеничной муки (контроль)	Хлеб из пшенично-тритикалевой муки в соотношении, %			
		80:20	70:30	60:40	50:50
Поверхность хлеба	4 – ровная	3 – шероховатая, бугристая	3 – шероховатая, бугристая	3 – шероховатая, бугристая	3 – шероховатая, бугристая
Форма хлеба	4 – правильная	4 – правильная	4 – правильная	4 – правильная	4 – правильная
Цвет корки	5 – золотисто-коричневый	4 – коричневый	4 – коричневый	3 – темно-коричневый	3 – темно-коричневый
Цвет мякиша	4 – светлый или светло-желтый	4 – светлый или светло-желтый	4 – светлый с сероватым оттенком	3 – светлый с сероватым оттенком	3 – светлый с сероватым оттенком
Эластичность	5 – эластичный, быстро восстанавливаемый	4 – менее эластичный, хорошо восстанавливаемый	4 – менее эластичный, хорошо восстанавливаемый	4 – менее эластичный, хорошо восстанавливаемый	4 – менее эластичный, хорошо восстанавливаемый
Равномерность пористости мякиша	4 – мелкая, тонкостенная, неравномерная	4 – мелкая, тонкостенная, неравномерная	3 – мелкая и средняя, неравномерная	3 – мелкая и средняя, неравномерная	3 – мелкая и средняя, неравномерная
Липкость мякиша	Мякиш сухой на ощупь	Мякиш сухой на ощупь	Мякиш сухой на ощупь	Мякиш сухой на ощупь	Мякиш сухой на ощупь
Вкус мякиша	5 – приятный, свойственный пшеничному хлебу	5 – свойственный пшеничному хлебу	4 – не свойственный для пшеничного хлеба	3 – кислый привкус не свойственный для пшеничного хлеба	3 – кислый привкус не свойственный для пшеничного хлеба
Хруст	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Комкуемость при разжевывании	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Крошковатость	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Суммарная оценка	51	48	46	43	43

вой муки в соотношении 80:20 снизилась на 0,6, а при 50:50 – на 8,2%.

Выпеченные образцы хлеба из контрольной пшеничной и пшенично-тритикалевой муки по внешнему виду различались незначительно (рис. 2). Все они имели правильную форму и выпуклую корку. С увеличением в смеси содержания тритикалевой муки цвет корки, как и мякиша, становился более темным, мякиш хлеба из пшеничной муки был эластичным, пористость равномерная, тонкостенная. С увеличением в смеси доли тритикалевой муки у образцов хлеба уменьшалась эластичность мякиша (табл. 4).

Таким образом, добавление в помольную пшеничную зерновую смесь зерна тритикале приводит к снижению выхода муки от 0,5% при введении 20% до 3,2% при добавлении 50%.

Наибольшее влияние добавление зерна тритикале в исходную помольную зерновую смесь оказывает на число падения пшенично-тритикалевой муки, что необходимо учитывать в процессе тестоведения и выпечки хлеба. При этом происходит снижение в 3,5 раза показателя числа падения: с 294 с у контрольного образца пшеницы до 80 с у муки, полученной из зерновой смеси при соотношении 50:50 пшеницы и тритикале. Добавление зерна тритикале в помольную смесь приводит к незначительному уменьшению удельного объема хлеба от 0,2 г/см³ при соотношении пшеницы и тритикале 80:20 до 0,4 г/см³ при соотношении 50:50. Формоустойчивость подового хлеба снижается еще меньше: от 0,1 при соотношении пшеницы и тритикале 80:20 до 0,2 в соотношении 50:50.

Ведение тритикале в помольную зерновую смесь существенно влияет на пористость хлеба. По сравнению с контрольной пробой хлеба из пшеничной муки, у хлеба из пшенично-тритикалевой муки в соотношении 80:20 она снижалась на 0,6%, 50:50 – на 8,2 %.

Литература

1. Aguirre A. Properties of Triticale Flour Protein Based Films. *LWT // Food Science and Technology*. 2011. 44.9. P. 1853–1858.
2. Fernandez-Figares I. Amino-Acid Composition and Protein and Carbohydrate Accumulation in the Grain of Triticale Grown under Terminal Water Stress Simulated by a Senescing Agent // *Journal of Cereal Science*. 2000. 32.3. P. 249–258.
3. Györi Z. Examination of technological and Nutritional Properties Bread Made from Triticale Flour In (eds.) Zantea UgracicHardi Flour-bread '09: 5th International and 7th Croatia Congress of Cereal Technology Osijek, University of Osijek, Croatia, 2010. P. 503–507.
4. Pena R.J., Amaja A. Milling and Breadmaking Properties of Wheat-Triticale Grain Blends // *Journal of the Science and Food of Agriculture*. 1992. 60.4. P. 483–487.
5. Kruppa J., Hoffmann B. New Triticale Varieties for Food and Feed // *Grain Research Development and Environment*. 2006. 20.4. P. 43–45.
6. Pena R.J. Food Uses of Triticale. In Mergoum M., Gómez-Macpherson H. (eds). *Triticale Improvement and Production*, 2004. P. 37–48.
7. Seguchi M. Breadmaking Properties of Triticale Flour with Wheat Flour and Relationship to Amylase Activity // *Journal of Food Science*. 1999. 64.4. P. 582–586.
8. Tohver M. Quality of Triticale Cultivars Suitable for Growing and Bread-making in Northern Conditions // *Food Chemistry*. 2005. 89.1. P. 125–13
9. Gabriela T. Pérez, Alberto E. León, Pablo D. Ribotta, Alicia Aguirre, Oscar J. Rubiolo & María C. Añón. Use of triticale flours in cracker-making // *European Food Research and Technology*. 2003. V. 217. P. 134–137.
10. Martinek P. Agronomic and Quality Characteristics of Triticale (*X Triticosecale* Wittmack) with HMW Glutenin Subunits 5+10 // *Journal of Cereal Science*. 2008. 47.1. P. 68–78.
11. Fraš A. Variability in the Chemical Composition of Triticale Grain, Flour and Bread // *Journal of Science*. 2016. 71. P. 66–72.
12. Gil Z. Effect of Physical and Chemical Properties of Triticale Grain on its Milling Value // *Plant Breeding and Plant Science*. 2002. 46.1. 23–29.
13. Grabovets A.I., Krokmal A.V., Dremucheva G.F., Karchevskaya O.E. Breeding of triticale for baking purposes // *Russ. Agric. Sci.* 2013. N. 39. P. 197–202. doi: 10.3103/S1068367413030087.
14. Kandrov R.H., Pankratov G.N., Meleshkina E.P., Vitol I.S., and Tulyakov D.G. Effective technological scheme for processing triticale grain into high-quality baker's grade flour. *Foods and Raw Materials*. 2019. V. 7. N 1. P. 107–117. doi: 10.21603/2308-4057-2019-1-107-117
15. Hosseinian F.S., Mazza G. Triticale bran and straw: Potential New Sources of Phenolic Acids, Proanthocyanidins, and Lignans // *Journal of Functional Foods*. 2009. 1.1. P. 57–64.
16. Tayyar S. Some Chemical and Technological Properties of Turkish Triticale (*Triticosecale* Wittm.) Genotypes // *Romanian Biotechnological Letters*. 2014. 19.6. P. 9891–9898.
17. Rakha A. Dietary Fiber in Triticale Grain: Variation in Content, Composition, and Molecular Weight Distribution of Extractable Components. // *Journal of Cereal Science*. – 2011. 54.3. P. 324–331.
18. Roberto J. Peña, Arnoldo Amaya. Milling and breadmaking properties of wheat-triticale grain blends // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1992. 60(4). P. 483–487 doi: 10.1002/2740600413.
19. Кандроков Р.Х., Панкратов Г.Н. Разработка эффективной технологической схемы переработки зерна тритикале в сортовую хлебопекарную муку // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 1. С. 62–65. doi: 10.31857/S2500-26272019162-65.
20. Кандроков, Р.Х. Технологические свойства пшенично-тритикалевой муки / Р.Х. Кандроков // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2019. Т. 7, № 3. С. 13–22.

Поступила в редакцию 10.09.20

После доработки 20.09.20

Принята к публикации 20.10.20

Механизация

УДК 633.5

DOI: 10.31857/S2500262721010166

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСТЯЖЕНИЯ
ГРУППЫ СТЕБЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ****Ю.Ф. Лачуга¹**, академик РАН, **М.М. Ковалев²**, доктор технических наук,
Г.А. Перов², кандидат технических наук, **А.В. Галкин²**, кандидат технических наук¹Российская академия наук,
119334, Москва, Ленинский проспект, 32 А
²Федеральный научный центр лубяных культур,
170041, Тверь, Комсомольский проспект, 17/56
E-mail: m.kovalev@fncl.ru

При работе сельскохозяйственных машин их рабочие органы взаимодействуют с растениями, которые испытывают различные деформации, в том числе растяжения группы стеблей. Для проектирования механизмов сельскохозяйственных машин необходимо знать закономерности поведения растительных материалов при деформациях. Цель исследования – разработка уточненной методики определения закономерностей изменения силы, необходимой для растяжения группы растительных материалов, в зависимости от их относительного удлинения с учетом разной формы и площади поперечного сечения стеблей. Приведена уточненная методика определения закономерности изменения силы, необходимой для растяжения группы параллельных стеблей, графоаналитическим способом, которая меняется по ломаной кривой. Получены зависимости для определения силы удлинения слоя параллельных и хаотически уложенных стеблей с учетом длины участков взаимодействия растений, толщины и плотности слоя, установлены условия при выполнении которых будет осуществляться его растяжение. Результаты исследований предназначены для использования при составлении расчетно-теоретической основы инженерных методов проектирования механизмов сельскохозяйственных машин с учетом специфических свойств растительных материалов как деформируемых механических систем.

**METHOD FOR DETERMINING THE PATTERN OF STRETCHING
GROUPS OF STEMS OF PLANT MATERIALS****Lachuga Yu.F.¹, Kovalev M.M.², Perov G.A.², Galkin A.V.²**¹Russian Academy of Sciences,
119334, Moscow, Leninskiy prosp., 32A
²Federal Research Center for Bast Crops, 170041,
Tver, Komsomolsky Prospekt, 17/56
E-mail: m.kovalev@fncl.ru

When working with agricultural machines, their working organs interact with plants that experience various deformations, including stretching deformations of a group of stems. To design the mechanisms of agricultural machines, it is necessary to have regularities of the behavior of plant materials under deformation. The aim of the study is to develop a refined method for determining the regularities of changes in the force required for stretching a group of plant materials, depending on their relative length, taking into account the different shape and cross-sectional area of the stems. The object of the study was plant materials with stems having different shapes and cross-sectional areas. A refined method is given for determining the regularity of changes in the force required for stretching a group of parallel stems, graphoanalytically, which changes along a polyline curve. Dependences are obtained for determining the tensile strength of a layer of parallel and chaotically stacked stems, taking into account the length of the areas of plant interaction, the thickness and density of the layer, and conditions are set for its stretching. The research results are intended for use in drawing up the computational and theoretical basis of engineering methods for designing agricultural machinery mechanisms, taking into account the specific properties of growing materials as deformable mechanical systems.

Ключевые слова: растительные материалы, отдельные стебли и группы стеблей, форма, поперечное сечение, площадь, сила растяжения, удлинение, графические зависимости

Key words: plant materials, individual stems and groups of stems, shape, cross-section, area, tensile strength, length, graphic dependencies

Для научно-обоснованного совершенствования и создания новых технических средств механизации процессов в растениеводстве необходимо глубокое изучение растительных объектов. Механизмы и рабочие органы сельскохозяйственных машин при выполнении технологических процессов взаимодействуют с растительными материалами, представляющими собой созданные природой конструкции, которые во многих случаях относятся к живым организмам [1-3]. При этом растительные материалы видоизменяются и испытывают определенные деформации: растяжения, сжатия, резания, сдвига, кручения и др. Деформации растяжения материалов имеют место во многих процессах, выполняемых сельскохозяйственными машинами [4-6]. Форма стеблей в поперечном сечении (в плоскости, перпендикулярной оси стебля) разнообраз-

ная: округлая (у злаков), эллиптическая (у опунций), трехгранная (у осок), четырехгранная (у пустыrnика, крапивы), многогранная (у многих кактусов), ребристая (у валерианы и др.). Кроме того, у большинства злаковых, а также зонтичных и тыквенных растений стебли внутри полые. Все это следует учитывать при проектировании сельскохозяйственных машин [6-8].

В свою очередь рабочие органы сельскохозяйственных машин, деформирующие материалы, испытывают нагрузки, зависящие от свойств материалов, которые характеризуются совокупностью показателей, учитывающих их строение, сопротивление воздействию нагрузкам, плотность, содержание влаги, трение о рабочие органы, внутренние трения и др. Поэтому при разработке технических средств необходимо знать параметры либо зависимости для расчета этих нагру-



Рис. 1. Схемы взаимного расположения и взаимодействия группы (слоя) стеблей при растяжении: 1, 2 – захваты; 3 – стебли; P – растягивающие силы.

зок, а также поведение растительных материалов при деформациях, что рассматривается в механике растительных материалов [9-11].

При работе сельскохозяйственных машин, взаимодействующих со стеблями, во многих случаях (при тереблении льна и уборке конопли, с очесом семенных коробочек или метелок, уборке зерновых и зернобобовых культур способом очеса на корню и др.) происходит одновременное растяжение группы стеблей, когда образуется их непрерывный поток [12-14].

Силы, необходимые для осуществления этих операций, исследованы достаточно полно для единичного стебля, а для группы стеблей, характеризующейся совокупностью примыкающих единичных материалов, этот вопрос мало исследован [15-17]. Следует так же отметить, что расчеты проведены применительно к единичным цилиндрическим стеблям, с заполненными структурообразующими компонентами поперечными сечениями. Кроме того, в расчетах принимается условная, а не фактическая площадь поперечного сечения полых стеблей разной формы [18-20]. Поэтому требуется разработка методики для определения закономерностей растяжения группы стеблей с учетом фактической площади и формы их поперечного сечения.

Цель исследования – разработка уточненной методики определения закономерности изменения силы, необходимой для растяжения группы растительных материалов, в зависимости от их относительного удлинения, с учетом разной формы и площади поперечного сечения стеблей.

Методика. В процессе исследования использовали методы общего и логического анализа, расчетно-конструктивный метод.

Исследование процесса растяжения стеблей проводили применительно к группе стеблей для двух случаев их укладки – параллельной (рис. 1, а) и хаотической (рис. 1, б).

Определение закономерности удлинения группы стеблей выполнено для цилиндрических (рис. 2, а), цилиндрических полых (рис. 2, б), эллиптических (рис. 2, в) и эллиптических полых (рис. 2, г) стеблей злаковых культур, которые служат основой продуктов питания человека.

При выборе модели для механического расчета растительных материалов принято, что группа параллельно расположенных стеблей вследствие своей подвижности относится к сыпучей среде. Группа стеблей, уложенных хаотически и не заполняющих занимаемое пространство непрерывным способом – дискретная среда [11-13].

Для параллельно уложенных стеблей принято, что если их свойства сопротивляться удлинению и диаметры одинаковы, то сила, необходимая для растяжения группы стеблей, будет определяться как произведение силы растяжения одного стебля на их количество в группе. При разных свойствах стеблей сопротивляться удлинению, таких как размеры, кривизна, форма, фрикционные свойства, влажность, связность и др., сила P растяжения группы стеблей будет представлять собой сумму неодинаковых по величине сил, растягивающих отдельные стебли, при этом большая сила будет растягивать стебель, который сильнее сопротивляется растяжению.

Для определения силы P, необходимой для удлинения группы стеблей, строятся диаграммы растяжения каждого из них, представляющие собой графическую

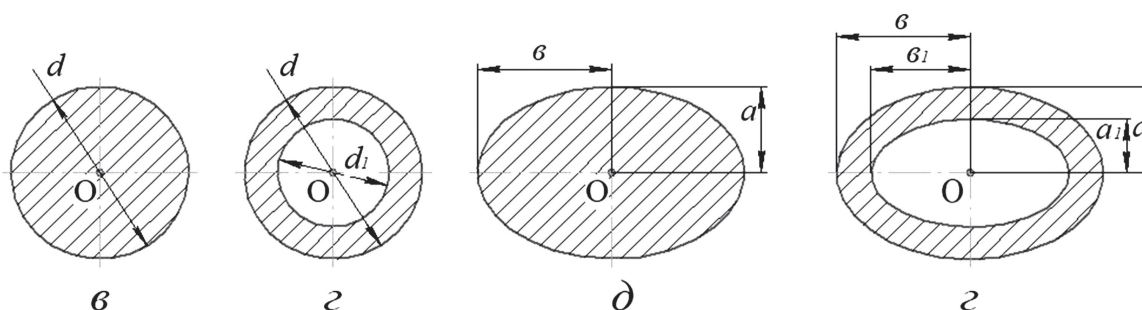


Рис. 2. Схемы поперечных сечений стеблей (обозначения в тексте).

зависимость относительного удлинения ε от растягивающего напряжения σ , которые известны [11-13]. Относительное удлинение $\varepsilon = \Delta l / l$, где Δl – удлинение стебля при действии напряжения σ , l – длина стебля до начала растяжения, а $\sigma = P/F$, где P – сила, действующая на стебель при его удлинении, F – площадь поперечного сечения стебля.

Тогда для стебля:
цилиндрического

$$\sigma = 4P/\pi d^2, \quad (1)$$

где d – диаметр стебля (если стебель конусный по длине, то d – диаметр в его наименьшем поперечном сечении);

цилиндрического полого

$$\sigma = 4P/\pi(d^2 - d_i^2), \quad (2)$$

где d_i – внутренний диаметр поперечного сечения стебля;

эллиптического с заполненным поперечным сечением

$$\sigma = 4P/\pi a b, \quad (3)$$

где a и b – его малая и большая полуоси эллипса;
эллиптического полого

$$\sigma = 4P/\pi(a b - a_i b_i), \quad (4)$$

где a_i , b_i – малая и большая полуоси внутреннего эллипса.

Экспериментальными исследованиями [20] получены формулы для определения зависимости толщины δ_c стенки стебля от его диаметра d и фактической F_ϕ площади поперечного сечения, действительные для наиболее часто встречающихся диаметров полых стеблей льна-долгунца от $8 \cdot 10^{-4}$ до $2,2 \cdot 10^{-3}$ м: $\delta_c \approx 0,25d$; $F_\phi \approx 0,589d^2$.

Тогда при диаметре стеблей $d = 2 \cdot 10^{-3}$ м, толщине стенки $\delta_c = 5 \cdot 10^{-4}$ м внутренний диаметр стебля $d_i = d - 2\delta_c = 1 \cdot 10^{-3}$ м. Для вычисления напряжения σ значения диаметров d и d_i подставляются в формулу (2).

Для определения напряжения σ по формуле (2) целесообразно использовать и фактическую площадь F_ϕ поперечного сечения стебля, которая при его диаметре $2 \cdot 10^{-3}$ м составляет $2,4 \cdot 10^{-6}$ м², что в 1,4 раза меньше условной площади F , равной $3,3 \cdot 10^{-6}$ м², принимаемой в расчетах.

Результаты и обсуждение. При проведении исследований определяли силу P , необходимую для удлинения группы стеблей и закономерность ее изменения с ростом относительного удлинения, исходя из того, что диаграммы растяжения их известны. Располагая диаграммами растяжения, можно построить графические зависимости относительного удлинения ε от напряжения σ для каждого стебля группы и нанести на один график при одних и тех же масштабных коэффициентах (рис. 3, а).

Построенные для каждого стебля кривые на графиках нумеруют, а соответствующие окончанию удлинения стеблей и их разрыву концы кривых обозначают как $B_1 \dots B_6$. Затем в зоне нахождения всех кривых на оси абсцисс отмечается некоторая точка, в которой относительное удлинение $\varepsilon = \varepsilon_0$, и через нее проводят вертикальную линию до пересечения с построенными кривыми в точках $A_1 \dots A_6$.

Из этих точек проводят горизонтальные линии до пересечения с осью ординат. Точки пересечения горизонталей с этой осью соответствуют напряжениям $\sigma_1 \dots \sigma_6$ стеблей. При таких напряжениях σ_i относительное приращение каждого стебля равно ε_0 . Умножая величины этих напряжений σ (формулы 1-4) на фактические площади S поперечного сечения стеблей получаем силу P_i , необходимую для относительного удлинения соответствующего стебля до значения $\varepsilon = \varepsilon_0$.

Тогда для соответствующих поперечных сечений стеблей эти растягивающие силы P_i определяются следующим образом:

цилиндрических

$$P_i = \pi d_i^2 \sigma_i / 4, \quad (5)$$

где i – номер стебля;

цилиндрических полых

$$P_i = \pi(d_i^2 - d_{i1}^2) \sigma_i / 4; \quad (6)$$

эллиптических с заполненным поперечным сечением

$$P_i = \pi a_i b_i \sigma_i; \quad (7)$$

эллиптических полых

$$P_i = \pi(a_i b_i - a_{i1} b_{i1}) \sigma_i. \quad (8)$$

Определенная по формулам (5-8) сила P выражается ординатой $\varepsilon_{\sigma 0}$ на рис. 3, б, на котором по оси абсцисс откладывается относительное удлинение ε группы стеблей, а по оси ординат – сила их растяжения P . В этом случае, из расчетов и построений следует, что относительное удлинение ε группы стеблей равно от-

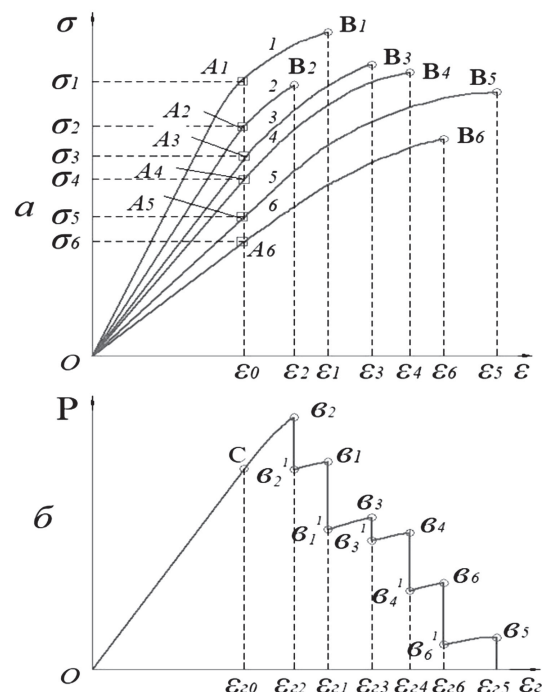


Рис. 3. График к расчету силы P , необходимой для растяжения группы из шести стеблей (а), и закономерность изменения этой силы с ростом относительного удлинения ε (б).

носителю удлинению одного стебля. Дальнейшее удлинение группы всех стеблей происходит лишь до относительного удлинения ε_2 , соответствующего положению точки B_2 на графике (см. рис. 3, а). Аналогично находится относительное удлинение ε_1 , соответствующее положению точки B_1 на графике, а также относительные удлинения $\varepsilon_3 \dots \varepsilon_6$, соответствующие положениям точек $B_3 \dots B_6$ (рис. 3, а).

Таким образом, вся группа стеблей будет удлиняться под действием силы P лишь до относительного удлинения ε_2 , после чего стебель 2 разорвется. Далее будут удлиняться стебли 1, 3... 6 до относительного удлинения ε_1 , при котором произойдет разрыв стебля 1, а стебли 3... 6 будут продолжать удлиняться до относительного удлинения ε_3 , когда разорвется стебель 3 и так далее. Требуемая для всех этих удлинений растягивающая сила P для цилиндрических стеблей при напряжении σ_p , соответствующем рассматриваемым деформациям, рассчитывается по формуле (5), цилиндрических полых (6), эллиптических с заполненным поперечным сечением (7), эллиптических полых (8).

Графически представленная закономерность изменения удлинения и разрыва группы из шести стеблей показана на рис. 3, б. На нем по оси абсцисс откладывается относительное удлинение ε группы стеблей, в том же масштабе, в котором отложено относительное удлинение ε на оси абсцисс на рис. 3, а, а по оси ординат откладывается растягивающая сила P . Этот график показывает изменение силы P при растяжении группы стеблей по ломаной кривой $OCb_2b_2'b_1b_1'b_3b_3'b_4b_4'b_6b_6'b_5\varepsilon_5$. Длины участков b_2b_2' , $b_2'b_1$, $b_1'b_3$, $b_3'b_4$, $b_4'b_6$, $b_6'b_5$, $b_5\varepsilon_5$ определяются свойствами каждого стебля из этой группы сопротивляться растяжению и расположением на рис. 3, а точек $B_1 \dots B_6$, соответствующих окончанию удлинения стеблей и их разрыву. При ином расположении этих точек (например, больших расстояниях по оси абсцисс от ε_1 до ε_2 или от ε_3 до ε_4 и так далее) ломаные участки b_2b_2' , $b_2'b_1$, $b_1'b_3$, $b_3'b_4$, $b_4'b_6$, $b_6'b_5$ расположились бы иным образом, а линии b_2b_2' , b_1b_1' , b_3b_3' , b_4b_4' , b_6b_6' и $b_5\varepsilon_5$ остались бы вертикальными.

Методика определения закономерности растяжения большей или меньшей группы стеблей аналогична изложенной.

При растяжении группы параллельных или хаотически уложенных стеблей (см. рис. 1) когда одна их часть закреплена в одном захвате, а вторая в другом, в первую очередь разрывается либо растягивается наиболее слабо сцепленная между стеблями часть или несколько таких частей [12-13].

На рис. 1, а показано взаимодействие параллельных растений, условно отодвинутых одно от другого для изображения сил трения F_i , а на рис. 1, б – взаимодействие изогнутых растений, раздвинутых для анализа процесса воздействия одних растений на другие.

Слой материалов (рис. 1, а) состоит из стеблей 1...6 и 1'...6', подвергающихся растяжению. В соответствии с принципом равенства действия и противодействия сила P действует на стебли 1...6 влево, а на стебли 1'...6' действует такая же сила P , но направленная вправо. При сдвиге стеблей 1...6 от остальных в местах их контакта возникнут силы трения F_i . Со стороны стебля 2' на стебель 1 будут действовать силы трения F_1 на участке A_1B_1 , а на стебель 3 – силы трения F_2 на участке C_1D_1 . На стебель 4 со стороны стебля 3' будут действовать силы трения F_3 . Аналогичным образом будут действовать на стебли 5' и 6 силы трения

F_4 и F_5 . Тогда для удлинения слоя материалов сила P должна преодолеть сумму всех этих сил трения.

Расчет сил трения проводится при допущениях, что ширина слоя a и плотность ρ материалов одинаковы по всей его длине.

Тогда сила действия одного растения на другое определится как [11]:

$$F = \int_0^l dF = a f g l h \rho, \quad (9)$$

где l – длина участка взаимодействия растений; dF – элементарная сила трения; f – коэффициент трения скольжения растения о растение; g – ускорение свободного падения; h – глубина слоя.

В соответствии с (9) для участка A_1B_1 длиной l_1 сила трения равна

$$F_1 = a f g l_1 h \rho,$$

где h_1 – толщина (диаметр) верхнего стебля.

Силы трения $F_2 \dots F_5$ определяются аналогично силе трения F_1 .

Исходя из этого имеем, что удлинение слоя материалов при действии растягивающей силы будет равно:

$$P \geq a f g \rho (l_1 h_1 + \dots + l_5 h_5), \quad (10)$$

где $l_2 \dots l_5$ – длины соответствующих участков взаимодействия растений; $h_2 \dots h_5$ – расстояния, 1-2; 1-3; 1-4; 1-5 между слоями стеблей, отсчитываемые от верхнего уровня первого стебля.

В общем случае для взаимодействия n растений формула (10) запишется следующим образом:

$$P \geq a f g \rho \sum_{i=1}^n l_i h_i, \quad (11)$$

где i – номер зоны взаимодействия растений, n – число зон взаимодействия растений.

Рассмотренная схема растяжения группы растений дает в определенной степени идеализированное представление о механике этого процесса. В действительности растяжения слоя материалов значительно сложнее. В слое при действии силы растяжения P на изогнутые взаимодействующие растения (см. рис. 1, б) кроме сил трения между растениями возникают силы сцепления $P_{сц}$, так как смещению растений 1, 3, 4, 6 влево препятствуют растения 2', 4', 6', 7'. С учетом этого растяжение слоя материалов будет проходить при выполнении неравенства [13]:

$$P \geq a f g \rho \sum_{i=1}^n l_i h_i + P_{сц}, \quad (12)$$

где $P_{сц}$ – сила сцепления между растениями.

Неравенство (12) с одной стороны характеризует закономерности растяжения группы материалов, а с другой, отражает случайные явления в этом процессе. При наличии в группе большого количества материалов, взаимодействие между которыми носит случайный характер, исследование деформации следует проводить методами статистической механики.

Растительные материалы – сложные реологические тела. При деформации их поведение зависит от преобладания и проявления разных фундаментальных свойств, которое различно в разных условиях. В связи с этим требуется проведение дополнительных исследований для изучения закономерностей изменения силы сцепления от таких свойств, как размерные показате-

ли, влажность, кривизна, прочность, фрикционные свойства и др.

Исследованные реологические характеристики могут быть использованы для регулирования параметров технологических процессов производства, служить исходными данными при конструировании машин и механизмов.

Таким образом, в результате исследований предложена усовершенствованная методика определения закономерности растяжения группы параллельных стеблей растительных материалов в зависимости от их относительного удлинения, с учетом различной формы и площади поперечного сечения стеблей. Закономерность растяжения группы параллельных стеблей установлена с использованием графической зависимости относительного удлинения ε стебля от растягивающего напряжения σ .

Сила P , необходимая для удлинения группы параллельных стеблей, определяется зависимостями (5-8) и при растяжении группы стеблей изменяется по ломаной кривой (см. рис. 3, б), зависящей от свойств каждого стебля группы сопротивляться растяжению.

При действии растягивающей силы P удлинение слоя параллельно или хаотически уложенной группы стеблей будет проходить при выполнении неравенств (11) и (12). Чем больше толщина слоя h и длина l участков взаимодействия стеблей тем большая сила P необходима для его растяжения.

Усовершенствованная методика определения закономерностей растяжения группы параллельно или хаотически уложенных стеблей может быть пригодна для использования в расчетно-теоретической основе инженерных методов проектирования механизмов сельскохозяйственных машин, базирующихся на результатах изучения закономерностей поведения растительных материалов при нагружении, как деформируемых механических систем.

Литература

1. Крагельский И.В. Физико-механические свойства стеблей льна и конопли // *Свойства сельскохозяйственных растений*. М.: ВИСХОМ, 1939. С. 182–190.
2. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений (методы исследования, приборы, характеристики). М.: Колос, 1970. 424 с.
3. Бурмистрова М.Ф., Колылькова Г.Г. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений. М.: Сельхозгиз, 1955. 360 с.
4. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М.: Высшая школа, 1968. 512 с.
5. Козлов В.П. Разработка технологии плющения льна и создание плющильных аппаратов льнокомбайнов: дис....канд. техн. наук. Тверь, 2002. 194 с.
6. Лукьянова И.В. Анализ видовых и сортовых особенностей устойчивости злаковых культур к полеганию с учетом их физико-механических свойств и архитектоники для использования в селекции: дис....д.б.н. Краснодар, 2008. 554 с.
7. Киселев С.Н., Левшин А.Г., Кленин Н.И. Сельскохозяйственные машины. М.: Колос С. 2008. 816 с.
8. Повышение равномерности распределения непылящих известковых удобрений по поверхности поля / Ю.Ф. Лачуга, Ю.Т. Фаринюк, М.М. Ковалев и др. // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016. №6. С. 12–15.
9. Multi – scale morphological characterization of flax: from the stem to the fibrils / K. Charlet, S. Jernot, M. Gomina, et al. // *Carbohydrate Polymers*. 2010. Vol. 82. No. 1. P. 54–61.
10. Limont A.S. Morphological indices of fiber flax stalks and machines for its harvesting // *Europäische Fachhochschule*. 2015. No. P. 79–84.
11. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов. Киев: изд-во УААН, 1994. 334 с.
12. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Г.А. Хайлис, А.Ю. Горбовий, З.А. Гошко и др. Луцьк: ред.-вид. Відділ ЛДТУ, 1998. 268 с.
13. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: ИК «Родник», 1998. 208 с.
14. Саркисян Г.М. Исследование принципа строения стеблей при конструировании сельхозмашин // *Трактора и сельхозмашины*. 1992. № 5. С.21–22.
15. Быков Н.Н. Физико-механические свойства стеблей льна-долгунца при растяжении // *Тр. ВНИИ льна. Торжок*, 1974. Вып. 12. С.65–72.
16. Черников В.Г., Порфирьев С.Г., Ростовцев Р.А. Очесывающие аппараты льноуборочных машин (теория, конструкция и расчет): монография. М.: «Издательство ВИМ», 2004. 240 с.
17. Ковалев М.М., Галкин А.В., Просолов С.В. Определение разрывного усилия стеблей льна // *Высокоэффективные разработки и инновационные проекты в льняном комплексе России: тез. докл.* Вологда, 2007. С. 112–115.
18. Шейченко В.О. Обґрунтування параметрів та режиму роботи льнобріального апарату з поперечними рівчаками: дис....канд. техн. наук. Дослідницьке, 2006. 126 с.
19. Dehondt G. Dehondt lance sa nouvelle ar racheuse de lin // *Le courrier cachois*. Vendredi, 27 juin 2008. P. 5–6.
20. Определение зависимости толщины стенки стебля льна-долгунца от его диаметра / М.М. Ковалев, А.В. Галкин, Д.Г. Фадеев и др. // *Инновац. разработки для производства льна: мат. Межд. науч.-практ. конф.* Тверь: ФГБНУ ВНИИМЛ; Твер. гос. ун-т, 2015. С. 120–124.

Поступила в редакцию 02.11.20
После доработки 04.12.20
Принята к публикации 21.12.20

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ИНСТРУМЕНТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

П.К. Куценогий¹, кандидат физико-математических наук,
В.К. Каличкин¹, доктор сельскохозяйственных наук,
А.Л. Пакуль², научный сотрудник, С.П. Куценогий¹, младший научный сотрудник

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,
633501, Новосибирская обл., р.п. Краснообск, ул. Центральная
E-mail: peter@kutsenogiy.ru

²Кемеровский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
650510, Кемеровская обл., п. Новостройка, ул. Центральная, 47

Исследования проводили с целью определения возможности использования машинного обучения для оценки комплекса воздействия погоды и агротехнических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур для ее прогнозирования. Численные эксперименты осуществляли на материалах длительных полевых опытов, выполненных в лесостепной зоне Кемеровской области. Для тренировки модели использовали данные непрерывных наблюдений за 2013–2018 гг. по пшенице и ячменю. Для расчётов использовали алгоритм машинного обучения Random Forest Classifier. Показатель accuracy определялся как отношение числа правильных прогнозов на тестовой выборке к общему числу тестовых примеров. В случае тренировки модели с использованием в качестве входных данных информации по текущим агроприемам и метеосостояниям предыдущего года (среднемесячные температуры и осадки) показатель accuracy для пшеницы был равен 0,81, для ячменя – 0,87, в среднем по культурам – 0,84. Для изучения вопроса о вкладе информации, содержащейся в данных о колебании среднемесячных температур за предыдущий год, и степени влияния агрономических мероприятий текущего года на точность прогноза урожайности были проведены две альтернативные тренировки модели с различными входными данными. В одном случае учитывали только образ погоды предыдущего года на основе среднемесячных значений температуры и осадков. Во втором, учитывали используемые агроприемы, а данные по погоде уменьшили до одного значения – среднегодовой температуры. Величина показателя accuracy для культуры (без различия ячмень или пшеница) при учете только погодных факторов предыдущего года была равна 0,7, в случае учета преимущественно агроприемов с минимальным учетом погодных факторов – 0,73. По результатам исследований сделан вывод о сравнимом вкладе каждой из групп учитываемых факторов (погода за предыдущий период и планируемые агроприемы) в ожидаемую точность прогноза урожайности культур.

MACHINE LEARNING AS A TOOL FOR CROP YIELD FORECAST

Kutsenogiy P.K.¹, Kalichkin V.K.¹, Pakul A.L.², Kutsenogiy S.P.¹

¹Siberian Federal Scientific Center for Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
633501, Novosibirskaya obl., r.p. Krasnoobsk, ul. Tsentral'naya
E-mail: peter@kutsenogiy.ru

²Kemerovo Research Institute of Agriculture –
Branch of the Siberian Federal Scientific Center for Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences,
650510, Kemerovskaya obl., p. Novostroika, ul. Tsentral'naya, 47

The possibilities of using of machine learning for estimation of the influence of the complex of weather and agrotechnical factors on the yield of agricultural crops have been investigated in order to predict it. Numerical experiments were carried out on the materials of longterm field experiments of the Kemerovo Research Institute of Agriculture, a branch of the SFSCA RAS, located in the foreststeppe zone of the Kemerovo region. To train the model, we used continuous observation data for the years 2013–2018 for the main crops: wheat and barley. The Random Forest Classifier machine learning algorithm was used for calculations. The “accuracy” indicator was defined as the ratio of the number of correct predictions on the test sample to the total number of test cases. In the case of training the model using information on current agricultural practices and weather conditions of the previous year as input data using average monthly temperatures and precipitation, the “accuracy” indicator for wheat was 0.81, for barley – 0.87, on average for crops – 0.84. It was studied, how much influence on the accuracy of the yield forecast is contained in the weather data of previous year and how important is accounting of the agronomic factors. For this, two alternative training of the model was carried out with modified input data. In one case, the applied agricultural practices were not taken into account, but only the weather image of the previous year was taken into account based on the monthly average values of temperature and precipitation. In the second case, the weather data was reduced to 1 value – the average annual temperature. The value of the accuracy indicator for the crop (without distinction between barley or wheat) in the case of taking into account only weather factors of the previous year, was 0.7. In the case of accounting mainly for agricultural practices, with minimal consideration of weather factors, this indicator was 0.73. From which it was concluded that each of the groups of factors considered (weather for the previous period and planned agricultural practices) made a comparable contribution to the expected accuracy of the yield forecast.

Ключевые слова: машинное обучение, прогнозирование, урожайность культуры

Key words: machine learning, forecast, crop yield

Одна из наиболее актуальных задач в области оптимизации и интенсификации сельскохозяйственного производства – прогнозирование урожайности выращиваемых культур [1–3]. Адекватная оценка природных условий в предстоящем году может оказать значительное влияние на принятие управленческих решений в части выбора возделываемых культур, их размещения в севооборотах, применяемых агротехнических приемов и др., а также на долгосрочное планирование использования

земельных ресурсов [4–7]. Все это – необходимые элементы интеллектуальных экспертных систем поддержки принятия решений сельхозпроизводителя [8–12].

На сегодняшний день подходы к прогнозированию сельскохозяйственной деятельности во многом строятся по принципу экономического моделирования, которое, в частности, сводится к «экономическому» прогнозированию, то есть научному предвидению направлений развития экономики и отдельных ее элементов или поиску

оптимальных способов достижения поставленных целей [13-15]. Такой подход служит признанием невозможности учета всех факторов, влияющих на достижение ожидаемого результата в будущем, и сопровождается построением «сценарных» моделей, из которых предлагается выбирать по мере фактического развития ситуации.

Прогноз благоприятных условий для возделывания той или иной культуры на предстоящий сезон невозможен без корректного учета погодных факторов, влияющих на развитие биологических объектов, к которым относятся сельскохозяйственные растения. С другой стороны, очевидна невозможность точного прогноза погоды за горизонтом в несколько суток. Отсюда возникает необходимость планирования в условиях неопределенности существенных факторов и граничных условий. Поскольку описать аналитически все имеющиеся природные взаимосвязи и влияние одних факторов на другие невозможно, в последние годы все шире распространяются идеи использования возможностей искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) применительно к прогнозу поведения сложных, в том числе биологических систем на основе анализа больших массивов данных [16-19].

Еще одно важное достоинство ML-подхода – более полный учет многофакторности воздействия на результат. Так, многолетние стационарные опыты служат для выявления факторов, влияющих на урожайность культур в тех или иных климатических зонах. Однако каждый последующий эксперимент проводится в новых внешних (граничных) условиях, так как не существует двух одинаковых лет из-за флуктуации агрометеорологических ресурсов. Возникает вопрос: каким образом учитывать результаты многолетних экспериментов по возделыванию культур и использованию различных агроприемов с тем, чтобы создавать адекватные рекомендации по агротехнологиям на предстоящий год, исходя из накопленного опыта и мониторинга погодной ситуации за предыдущий период.

Критическая особенность метода ML – необходимость достаточного числа обучающих примеров, сформированных на основе качественных данных наблюдений за сложной системой – объектом изучения. Точность обучения интеллектуальной системы напрямую зависит, как от объема имеющейся в распоряжении информации, так и от ее достоверности.

Как было показано в работе [20] достоверность данных общедоступной сельскохозяйственной статистики вызывает сомнения. В отрасли наблюдается

движение в поддержку открытых систем, но его оппоненты утверждают, что данные имеют стоимость и должны рассматриваться как ценные активы. Другими словами, если сельхозпроизводители не будут хранить свои данные в тайне, они могут потерять потенциал их ценности для использования на рынке [21].

Цель исследований – изучить возможности машинного обучения для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

Методика. Исследования проводили на материалах длительных полевых опытов, проведенных в лесостепной зоне Кемеровской области. Для тренировки модели использовали данные непрерывных наблюдений за 6 лет (2013–2018 гг.) по двум основным культурам: пшенице и ячменю. Входные данные представляли собой набор используемых агроприемов и результаты возделывания в виде средней урожайности культуры в центнерах на 1 га. В связи со структурой данных и большим количеством используемых признаков для обучения был выбран алгоритм машинного обучения Random Forest Classifier [22]. Целевой показатель тренировки – урожайность культуры, которую оценивали как лучшую или худшую, в сравнении со средней за период наблюдений. Изначально массив данных делили в соотношении 80/20, а именно 80 % примеров использовали в качестве обучающих, 20 % – в качестве тестовых для проверки результата тренировки модели. Для наиболее полного использования данных, имеющихся в распоряжении, обучение и проверку проводили 5 раз со сдвигом выборки тестовых примеров таким образом, чтобы все 100 % данных были задействованы при обучении. Показатель ассигасу (англ. точность) определяли как отношение числа правильных прогнозов на тестовой выборке к общему числу тестовых примеров. По завершении вычислений ассигасу усредняли по 5 значениям (рис. 1).

Очевидно, что непосредственным влиянием на урожайность будет обладать совокупность таких факторов, как погода и используемые агротехнические приемы при возделывании культуры. Причем для более полного учета влияния агроприемов на итоговый результат, необходимо также принимать во внимание их воздействие в текущем вегетационном периоде. Обосновано это тем, что, если есть понимание положительного влияния тех или иных воздействий на урожайность культуры, то у сельхозпроизводителя имеется возможность воспроизвести выбранные агроприемы в дальнейшем.

Иная ситуация с данными о метеоусловиях. Спрогнозировать погоду на будущее невозможно, в связи с

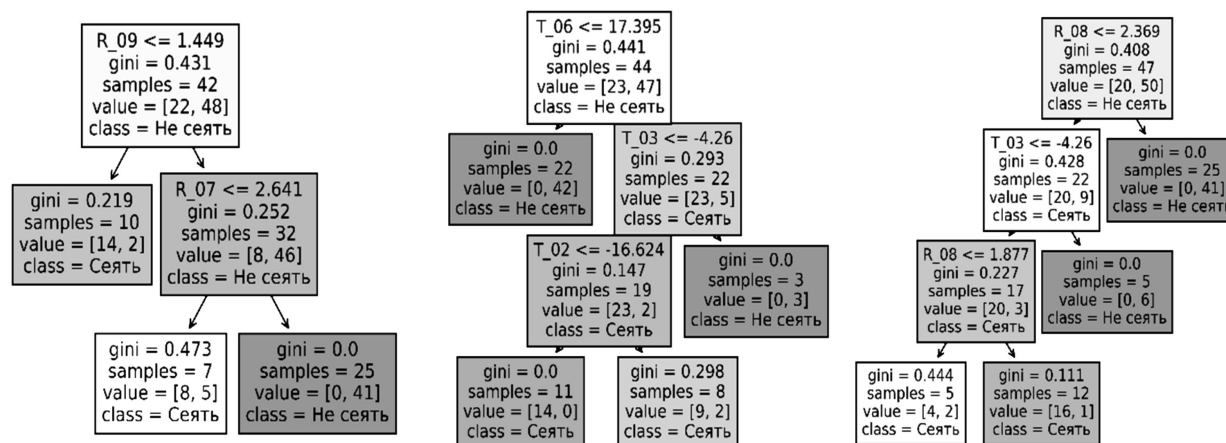


Рис. 1. Графическое представление дерева решений.

чем использовали данные предыдущего сельскохозяйственного года. При этом допускали, что метеоусловия предыдущего года должны влиять на результаты текущего года как минимум по двум причинам:

накопление влаги и прогрев почвы перед началом нового вегетационного периода;

стабильность долгосрочных климатических параметров, соответствующих норме определенного региона, из-за которой погодные аномалии одного вегетационного периода будут с высокой долей вероятности сглажены в следующем.

В исследованиях использовали сведения Кемеровского поста метеонаблюдений в Кемеровской области. Источником данных был web-ресурс «Погода и климат» (<http://www.pogodaiklimat.ru/>).

Результаты и обсуждение. Использование методов машинного обучения позволяет оценить весь комплекс воздействий на урожайность, включая как погодные, так и агротехнические факторы. Поэтому первой задачей исследования была демонстрация их применимости к анализу рядов данных урожайности, на которую оказывали управляющее воздействие в виде проводимых агротехнических мероприятий и внешних погодных факторов.

Данные по используемым агроприемам и культурам – категориальные признаки, поэтому к ним перед тренировкой модели применили классический метод предобработки (One-hot encoding) в результате чего входной вектор для тренировки модели выглядел как представлено в табл. 1.

Для определения влияния метеоусловий предыдущего года на урожайность текущего года использовали вектор, составленный из среднемесячных величин температур и осадков. Как было отмечено в работе [20], размерность вектора данных погодных значений, влияющих на точность прогноза, весьма ограничена. Увеличение размерности на данных статистики не приводило к росту точности прогноза, но снижало устойчивость

Табл. 1. Входной вектор агроприемов для тренировки модели

Агротехнический прием	Значение
Система обработки почвы _Без обработки	1/0
Система обработки почвы _Безотвальная (10-12 см)	1/0
Система обработки почвы _Безотвальная (20-22 см)	1/0
Система обработки почвы _Комбинированная глубокая	1/0
Система обработки почвы _Комбинированная минимальная	1/0
Система обработки почвы _Мульчирующая минимальная	1/0
Система обработки почвы _Нулевая	1/0
Система обработки почвы _Отвальная (20-22 см)	1/0
Система обработки почвы _Отвальная глубокая	1/0
Система обработки почвы _Отвальная минимальная	1/0
Предшественник _Пар	1/0
Предшественник _Сидеральный пар (донник)	1/0
Предшественник _Сидеральный пар (рапс)	1/0
Предшественник _Ямень без подсева донника	1/0
Предшественник _Ямень с подсевом донника	1/0
Высеваемая культура _Пшеница	1/0
Высеваемая культура _Ячмень	1/0
Посев _ПК Кузбасс-4,8	1/0
Посев _ПК Томь-5,1	1/0
Посев _СЗП-3,6	1/0

модели. За целевой показатель был взят бинарный индикатор (0/1), означающий то, что урожайность по культуре выше, чем в среднем за все годы наблюдений.

Результаты тренировки модели выглядели следующим образом. Средняя (по 5 значениям) величина показателя ассигасы для пшеницы составила 0,81; для ячменя – 0,87; в среднем по культурам – 0,84. Ввиду малого количества данных было принято решение в дальнейшем тренировать не отдельные модели для каждой культуры, а общую модель, где одним из входных параметров будет культура.

Полученный результат показывает достаточно высокую способность моделей прогнозировать ожидаемую благоприятность года по урожайности культур, основываясь на образе погоды предыдущего года с учетом применяемых или планируемых к использованию агроприемов. Однако наиболее важным остается вопрос о том, насколько много информации, влияющей на точность прогноза, содержится в данных о колебаниях среднемесячных температур за предыдущий год, в сравнении с влиянием факторов обработки почвы, предшественников и иных агрономических мероприятий текущего периода.

Для этого было проведено две альтернативные тренировки модели с измененными векторами входных данных. В одном случае учитывали только образ погоды предыдущего периода на основе среднемесячных значений температуры и осадков. Во втором учитывали применяемые агроприемы, а данные по погоде уменьшили до одного значения – среднегодовой температуры. По результатам тренировки модели с новыми величинами входных векторов показатель ассигасы для культуры (без различия ячмень или пшеница) в случае учета только погодных факторов предыдущего года был равен 0,7, при их минимальном учете (на уровне среднегодовых значений) – 0,73 (табл. 2).

Результат решения задачи с использованием входных векторов погоды за предыдущий год, представленный в графическом виде (рис. 2), отражает на плоскости распределение решений при кластеризации их в многомерном векторном пространстве. Точки, для которых цвет не соответствует цвету области, в которой они расположены, отражают неверный прогноз модели. Из рисунка видно, что в целом модель способна тренироваться на адекватный прогноз. Однако, очевидно, существует кластер решений, где она натренирована неверно. Ожидается, что подобных результатов можно будет избежать при наличии большего числа входных данных для тренировки.

Результаты исследования указывают на то, что влияние метеоусловий предыдущего года на текущую урожайность сравнимо с суммарным влиянием агроприемов, используемых в текущем году. Следовательно, при прогнозировании урожайности культур на ближайший сельскохозяйственный период одинаково важно учитывать, как планируемые к использованию агротехнические приемы, так и погодный профиль предыдущего года.

Таким образом, проведенные вычисления показали относительно высокую степень возможной достоверности предлагаемой системы прогнозирования. При

Табл. 2. Значения показателя ассигасы по результатам тренировки модели Random Forest Classifier в зависимости от структуры входных векторов

Структура вектора входных данных			
погода за предыдущий год + агро-приемы текущего года		погода за предыдущий год	агроприемы текущего года
пшеница	ячмень	0,7	0,73
0,81	0,87		

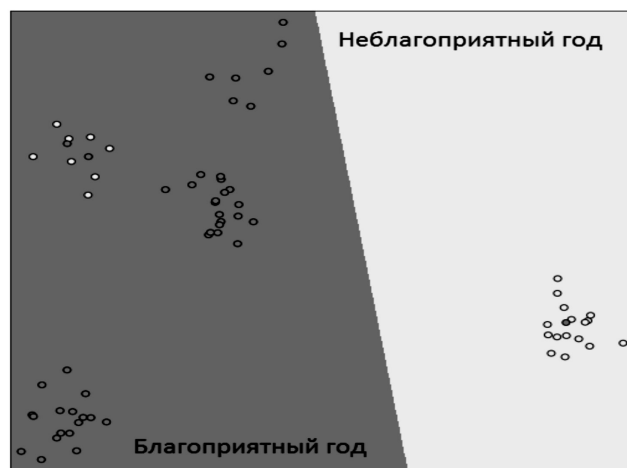


Рис. 2. Двумерный образ пространства решений прогноза урожайности при тренировке модели Random Forest Classifier с использованием данных о погоде предшествующего года.

достаточном количестве обучающих примеров (длительности постановки экспериментов и наблюдений) будет также возможным выявление степени воздействия каждого отдельного фактора и количественная оценка этого воздействия на ожидаемую урожайность.

Результаты тренировки модели показывают, что потенциальная урожайность культуры может быть с достаточной степенью значимости спрогнозирована, на основе агрометеорологических показателей предыдущего года и планируемых к использованию агротехнических приемов в текущем вегетационном периоде. Установлено, что даже небольшое количество данных по погоде за предыдущий период дает значимую информацию, которая может быть эффективно учтена при прогнозировании урожайности культур. Это открывает широкие перспективы для использования методов ML для учета погодных условий при сельскохозяйственном планировании, даже при отсутствии возможности составления достоверных долгосрочных прогнозов погоды. Необходимое условие решения такой задачи – корректный и полный набор данных по урожайности культур на исследуемых территориях вместе с длительными рядами данных о метеоусловиях.

Литература

1. Буховец А.Г., Семин Е.А., Бирючинская Т.Я. Современные подходы и методы в прогнозировании урожайности отдельных видов зерновых культур. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2016. 214 с.
2. Асалханов П.Г., Иванько Я.М., Полковская М.Н. Модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в задачах параметрического программирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 2 (121). С. 57–66. doi: 10.21285/1814-3520-2017-2-57-66.
3. Неверов А.А. Альтернативные модели долгосрочного прогнозирования урожайности зерновых культур для степной зоны Оренбуржья // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2018. № 1. С. 1–9. doi: 10.24411/2304-9081-2018-11002.
4. Волкова Е.С., Мельник М.А., Фузелла Т.Ш. К оценке природных опасностей для сферы аграрного природопользования южной тайги Западной Сибири // Фундаментальные исследования. 2014. № 12 (часть 1). С. 153–157.
5. Агротехнологические основы технологий возделывания сельскохозяйственных культур / А.Н. Арефьев, С.В. Богомазов, В.А. Гуцина и др. Пенза: Пензенский ГАУ, 2018. 267 с.
6. Multi-objective land use allocation modeling for prioritizing climate-smart agricultural interventions / A. Dunnett, P.B. Shirsath, P.K. Aggarwal, et al. // Ecological Modelling. 2018. Vol. 381. P. 23–35. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2018.04.008.
7. Keating B.A., Thorburn P.J. Modelling crops and cropping systems – Evolving purpose, practice and prospects // European Journal of Agronomy. 2018. Vol. 100. P. 163–176. doi: 10.1016/j.eja.2018.04.007.
8. Альт В.В., Боброва Т.Н., Гурова Т.А. Компьютерные информационные системы в агропромышленном комплексе. Новосибирск: СибФТИ, 2008. 220 с.
9. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям / Е.А. Скворцов, Е.Г. Скворцова, И.С. Санду и др. // Экономика региона. 2018. Т. 14. Вып. 3. С. 1014–1028. doi: 10.17059/2018-3-23.
10. Аксенов А.Г. Анализ интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3. С. 46–51.
11. Jakku E., Thorburn P.J. A conceptual framework for guiding the participatory development of agricultural decision support systems // Agricultural systems. 2010. Vol. 103. No. 9. P. 675–682. doi: 10.1016/j.agsy.2010.08.007.
12. Lundström C., Lindblom J. Considering farmers' situated knowledge of using agricultural decision support systems (AgriDSS) to Foster farming practices: The case of CropSAT // Agricultural Systems. 2018. Vol. 159. P. 9–20. doi: 10.1016/j.agsy.2017.10.004.
13. Адамадзе К.Р., Касимова Т.М. Методы прогнозирования развития сельского хозяйства // Фундаментальные исследования. 2014. № 5-1. С. 122–126.
14. Косенко Т.Г. Оценка эколого-экономической эффективности сельскохозяйственного производства // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2014. № 4–3. С. 12–17.
15. Сопряженное прогнозирование развития экономики сельского хозяйства / А.Н. Байдаков, О.Н. Бабкина, О.С. Звягинцева и др. // Политэкономический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 114. С. 1–16.
16. Model predictive control and its application in agriculture: A review / Y. Ding, L. Wang, Y. Li, et al. // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 151. P. 104–117. doi: 10.1016/j.compag.2018.06.004.
17. Chlingaryan A., Sukkarieh S., Whelan B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 151. P. 61–69. doi: 10.1016/j.compag.2018.05.012.
18. Chavan T.R., Nandedkar A.V. AgroAVNET for crops and weeds classification: A step forward in automatic farming // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 154. P. 361–372. doi: 10.1016/j.compag.2018.09.021.
19. The Next Decade of Big Data in Ecosystem Science / S.L. LaDeau, B.A. Han, E.J. Rosi-Marshall, et al. // Ecosystems. 2017. Vol. 20. № 2. P. 274–283. doi: 10.1007/s10021-016-0075-y.
20. Каличкин В.К., Корякин Р.А., Куценогий П.К. Интеллектуальные системы в сельском хозяйстве (теоретический анализ возможного приложения): монография. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2020. 296 с.
21. Меткальфф Р. Еда 3.0. Бананы из Исландии и другие истории о продуктах. М.: Издательская группа «Точка», 2020. 287 с.
22. Leo B. Random Forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45. No. 1. P. 5–32.

Поступила в редакцию 24.11.2020

После доработки 28.12.2020

Принята к публикации 12.01.2021

Правила для авторов

1. Редакция помещает не более двух статей одного автора в год. Это правило не распространяется на академиков и членов-корреспондентов РАН и других академий.
2. Объем статьи не должен превышать **12 стр.**, включая таблицы (не более 4), рисунки (не более 4), библиографию (до 25 названий). Статья, набранная **крупным шрифтом через 1,5 интервала, пересылается по E-mail: nsm2308@yandex.ru**. В ней должны быть указаны **УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, степени, полное название учреждения с адресом, E-mail, реферат** объемом не менее 500 знаков (не менее 17 строк с указанием цели опытов, объекта исследований, анализа полученных данных), **ключевые слова и все продублировано на английском языке. Таблицы и рисунки в одном файле с текстом. В тексте выделить "Методика" и "Результаты и обсуждение"**. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах, графиках недопустимо. В конце статьи указать номер телефона (служебный, домашний, мобильный) каждого соавтора.
3. Рисунки (графический материал) должны быть выполнены **четко, представлены на отдельном листе в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, и/или на электронном носителе** (программы "Adobe PhotoShop", "Adobe Illustrator"). Подписи к рисункам должны быть напечатаны в конце статьи.
4. Статья с большим количеством формул (не более 10) представляется на электронном носителе – (программа "MS Equation" или подобная).
5. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью, при элементном анализе приводить только усредненные данные.
6. Использованная литература приводится в порядке очередности упоминания, в тексте – цифровые ссылки в квадратных скобках. Список литературы оформляется следующим образом: для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название, место издания, название издательства, год издания, количество страниц; для журнальных статей – фамилии и инициалы всех авторов, название статьи, полное название журнала, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы. Желательны ссылки на журналы, входящие в базу данных Scopus и Web of Science. **Цитируемость на свои работы не более 15%.**
7. При получении статьи редакция рассматривает ее соответствие тематике журнала и посылает на рецензию ведущим специалистам. Возвращение рукописи автору на доработку с копией рецензии не означает, что статья принята к печати. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.
8. Редакция посылает авторам на визу подготовленный к печати экземпляр статьи, который должен быть выслан обратно в течение суток с момента его получения.

Авторам высылается журнал в электронном виде.

С аспирантов плата за публикацию не взимается.

Для получения гонорара за публикацию в англоязычном издании авторы могут обратиться в Российское авторское общество по адресу: 123995, Москва, Б. Бронная, д. 6, стр. 1, тел.: +7 (495) 697-3335; и на сайте РАО: www.rao.ru (подвести курсор на "Правообладатели", далее на "Авторам научных статей". Здесь находятся документы для получения авторского гонорара.

Журнал рассылается только по подписке, в розничную продажу не поступает.