

Растениеводство

- Грабовец А.И., Фоменко М.А.** Стабильность урожая в широком диапазоне сред – основной параметр при селекции озимой пшеницы 3
- Сандухадзе Б.И., Бугрова В.В., Крахмалёва М.С., Мамедов Р.З.** Особенности генотипа сортов озимой пшеницы, возделываемых в условиях Нечерноземной зоны РФ 8
- Асеева Т.А., Зенкина К.В., Трифунтова И.Б.** Формирование листовой поверхности яровых колосовых культур в условиях Среднего Приамурья 12
- Синеговская В.Т., Очкурова В.В., Синеговский М.О.** Содержание белка и жира в семенах сортов сои различного генетического происхождения 15
- Эльконин Л.А., Сарсенова С.Х.** Создание линий-восстановителей фертильности ЦМС типа 9E сорго на основе фертильных ревертантов, индуцированных условиями внешней среды 20
- Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А.** Методы и результаты селекции яблони во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции плодовых культур 25

Защита растений

- Мешкова Л.В., Плотникова Л.Я., Сабаева О.Б.** Устойчивость к черной головне сортов и коллекционных образцов двурядного ячменя в Западной Сибири 30
- Перченко Н.А., Сергеева О.Н.** Эффективность препарата Турмакс при возделывании картофеля в условиях Томской области 34

Радиобиология

- Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н.** Чувствительность *Trogoderma graminarium* Ev. к действию ионизирующего излучения 38

Агрохимия. Почвоведение

- Леднев А.В., Дмитриев А.В., Попов Д.А.** Изменение агрохимических показателей залежных дерново-подзолистых почв при их освоении в пашню 42
- Слюсарев В.Н., Осипов А.В., Власенко В.П.** Агроэкологические аспекты использования вино-коньячной барды на южных черноземах Таманского полуострова 46

Животноводство

- Улимбашев М.Б., Улимбашева Р.А.** Формирование мясной продуктивности баранчиков карачаевской породы в условиях вертикальной зональности территории Северного Кавказа 50
- Седых Т.А., Калашникова Л.А., Гизатуллин Р.С., Косилов В.И.** Влияние полиморфизма гена лептина на продуктивность мясного скота 54

Рыбоводство

- Абрамов А.Ф., Слепцова Т.В., Ефимова А.А., Васильева В.Т., Прудецкая М.В.** Биохимический состав и пищевая ценность муксуна нижнего течения реки Лена 59

Ветеринария

- Шабунин С.В., Шахов А.Г., Сашнина Л.Ю., Востроилова Г.А., Ермолова Т.Г., Владимирова Ю.Ю.** Взаимосвязь про- и антиоксидантного статуса и цитокинового профиля у поросят при технологическом стрессе 63

Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции

- Хворова Л.С., Андреев Н.Р., Баранова Л.В.** Исследование со-кристаллизации глюкозы с хлоридом натрия 67

Информационное обеспечение

- Бунин М.С., Пирумова Л.Н.** Информационно-поисковый тезаурус по сельскому хозяйству и продовольствию Центральной научной сельскохозяйственной библиотеки 72

Plant growing

- Grabovets A.I., Fomenko M.A.** Yield stability in a wide range of media – basic parameter for breeding of winter wheat 3
- Sanduhadze B.I., Bugrova V.V., Krakhmalyova M.S., Mamedov R.Z.** Features of the genotype of winter wheat varieties cultivated in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation 8
- Aseeva T.A., Zenkina K.V., Trifuntova I.B.** Features of the leaf surface formation of spring crop in the conditions of the Viddle Amur region 12
- Sinegovskaya V.T., Ochkurova V.V., Sinegovskiy M.O.** Contents of protein and fat in soybean seeds of various genetic origin 15
- Elkonin L.A., Sarsenova S.Kh.** Development of lines-fertility restorers for 9E CMS type of sorghum using environmentally-induced fertility revertants 20
- Sedov E.N., Yanchuk T.V., Kornryeva S.A.** Stages, methods and results of apple breeding at the Russian research institute of fruit crop breeding 25

Plant protection

- Meshkova L.V., Plotnikova L.Ya., Sabaeva O.B.** Resistance of two-rowed barley cultivars and collection accessions to black loose smut in Western Siberia 30
- Perchenko N.A., Sergeeva O.N.** The results of 4-year trials of the drug Turmax for the cultivation of potatoes in the conditions of the Tomsk region 34

Radiobiology

- Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N.** Sensitivity *Trogoderma grammarium* Ev. to the action of ionizing radiation 38

Agrochemistry. Pedology

- Lednev A.V., Dmitriev A.V., Popov D.A.** Change in agrochemical parameters of fallow sod-podzolic soils during their development in arable land 42
- Slyusarev V.N., Osipov A.V., Vlasenko V.P.** Agroecological aspects of the use of wine and cognac bards in the southern chernozems of the Taman peninsula 46

Animal husbandry

- Ulimbashev M.B., Ulimbasheva R.A.** Formation of meat productivity of karachaevsky rock breeds under conditions of vertical zonality of the North Caucasus territory 50
- Sedykh T.A., Kalashnikova L.A., Gizatullin R.S., Kosilov V.I.** Effect of leptin gene polymorphism on beef cattle productivity 54

Fish breeding

- Abramov A.F., Sleptsova T.V., Efimova A.A., Vasilyeva V.T., Prudetskaya M.V.** Biochemical composition and nutritional value of muksun of the lower reaches of the Lena river 59

Veterinary science

- Shabunin S.V., Shakhov A.G., Sashnina L.Yu., Vostroilova G.A., Ermolova T.G., Vladimirova Yu.Yu.** Interaction of pro- and antioxidant status and cytokine profile in piglets under a technological stress 63

Storage and processing of agricultural produce

- Khvorova L.S., Andreev N.R., Baranova L.V.** Study of glucose co-crystallization with sodium chloride 67

Information support

- Bunin M.S., Pirumova L.N.** Information search thesaurus in agriculture and food of the Scientific Agricultural Library 72

Растениеводство

УДК: 633.11:631.527

DOI:10.31857/S2500262720050014

**СТАБИЛЬНОСТЬ УРОЖАЕВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ СРЕД –
ОСНОВНОЙ ПАРАМЕТР ПРИ СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ****А.И. Грабовец**, член-корреспондент РАН,
М.А. Фоменко, доктор сельскохозяйственных наук*Федеральный Ростовский аграрный научный центр,
346735, Ростовская область, Аксайский район, ул. Институтская, 1
E-mail: grabovets_ai@mail.ru*

Селекцию озимой пшеницы проводили в 2014-2019 гг. в Федеральном Ростовском аграрном научном центре в черноземной степи в условиях резко континентального климата с недостаточным и неустойчивым увлажнением по общепринятой технологии. Показано, что стабильность урожаев в широком диапазоне сред реализуется при создании запаса экологической пластичности форм по основным негативным факторам, когда значения признаков приближаются к максимальным в зоне (при -18 °С на узле кущения должно выжить 76-88% растений, после ледяной корки – 75-82, после майских заморозков – 76-78% и др.). Выявлены маркеры отбора при засухах: масса зерна/растение, уборочный индекс, надземная масса, работа листьев при фотосинтезе и другие. Они дают возможность целенаправленно изучать популяции и выявлять требующиеся рекомбинанты. Определены методики создания генетической изменчивости, поддающейся отбору, по всем направлениям селекции, позволяющей реализовать намеченную программу. Отработана технология ведения селекции на целенаправленное получение трансгрессий по признакам. На этой основе созданы сорта нового поколения – Былина Дона, Акапелла, Пафос, Пальмира 18 и другие, дающие стабильно высокие урожаи зерна в условиях реальной среды. Определена степень их экологической пластичности.

**YIELD STABILITY IN A WIDE RANGE OF MEDIA –
BASIC PARAMETER FOR BREEDING OF WINTER WHEAT****Grabovets A.I., Fomenko M.A.***Federal Rostov Agrarian Scientific Center,
346735, Rostovskaya oblast, Aksayskiy rayon, ul. Institutskaya, 1
E-mail: grabovets_ai@mail.ru*

Winter wheat was breeding in the Federal Rostov Agrarian Scientific Center in 2014-2019 in the chernozem steppe in a sharply continental climate with insufficient and unstable moisture. The technology is generally accepted. Crop stability in a wide range of media is realized when creating a margin of ecological reliability of forms for the main negative factors, when the values of the traits approach their maximum severity in the zone (at minus 18° at the tillering site 76-88% of plants should survive, after the ice crust - 75-82, after May frost - 76-78). The drought selection markers were identified: grain mass / plant, harvesting index, the role of the aboveground mass, the efficiency of leaves during photosynthesis, etc. They make it possible to purposefully study populations and identify the required recombinants. The methods of creating genetic variability that can be selected in all directions of breeding, allowing to implement the intended program, are determined. The technology of selection for the targeted acquisition of transgressions by attributes has been developed. On this basis, varieties of a new generation of Bylina Don, Acapella, Paphos, Palmira 18, etc., were created, giving stable high grain crops in a real environment. Their degree of ecological plasticity is determined.

Ключевые слова: озимая пшеница, селекция, стабильность, урожай, широкий диапазон сред

Key words: winter wheat, breeding, stability, yield, wide range of media

В степной зоне Ростовской области, как и везде, происходит изменение климата с одновременным усилением размаха варьирования лимитирующих погодных факторов, которые полностью непредсказуемы. Зимние оттепели разной продолжительности сменяются низкими температурами воздуха до -30 °С. Увеличилась продолжительность залегания ледяных корок разной интенсивности. Участился возврат отрицательных температур в апреле-мае [1-3]. Дни с обилием осадков внезапно сменяются суховеями с высокими температурами. Число дней с температурой воздуха 35-38 °С повышается. Летальной для злака считается уровень 58 °С [4], причем подобное явление часто наблюдается до 60 дней [5].

Появились новые расы ржавчин, усиливается частота проявления септориоза, фузариоза, переноспороза на растении [6]. Возросла интенсивность их поражения корневыми гнилями и вирусами [7]. Поэтому стабильность урожаев в широком диапазоне сред –

главная задача при селекции озимых культур. Это реально при создании запаса экологической надежности по основным негативным факторам [8]. При кажущейся простоте решения проблемы следует учитывать обусловленные филогенезом определенные взаимосвязи между признаками растения. Высокая резистентность к неблагоприятным условиям среды часто находится в отрицательной корреляции с урожайностью и другими признаками [9]. Высоко иммунный к бурой ржавчине сорт пшеницы в условиях Донской степи не зимует, а высокозимостойкий зимует, но часто восприимчив к этому заболеванию.

В процессе селекции появляются новые генотипы с конкретным адаптивным потенциалом. Для его определения часто используют фактор экологической стабильности *SF* по D. Levis [10] – отношение максимального значения признака к минимальному. Нужно стремиться к коэффициенту, равному 1. В зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения, где одним из

главных критериев, обуславливающим урожай, является количество влаги, предложен коэффициент стрессоустойчивости [11], когда из значения минимального урожая сорта вычитают значение максимального. Учитывают также реакцию сорта на изменяющуюся среду путем оценки коэффициентов регрессии b , и стабильности Si^2 по S.A. Eberhart, W.A. Russell [12] и другим модификациям. Определенную характеристику можно получить при выявлении гомеостатичности по коэффициенту вариации признака Cv [13].

Таким образом, основным направлением селекции озимой пшеницы на Дону должно быть сочетание высокого потенциала урожайности с высокой устойчивостью ко всем лимитирующим факторам. Требуется разработка методов получения соответствующей генетической изменчивости, позволяющей создавать запас экологической пластичности у новых генотипов и определять ее уровень.

Методика. Исследования проводили в 2014-2019 гг. в Федеральном Ростовском аграрном научном центре в условиях черноземной степи с неустойчивым увлажнением и континентальным климатом. Благоприятными по увлажнению были 2016 и 2017 гг., средним по этому показателю – 2014 г., засушливыми – остальные.

Селекцию сортов озимой мягкой пшеницы (табл. 1, 4) вели общепринятыми методами – балк и педигри. Ежегодный объем исследований достигал 40 тыс. генотипов. В отличие от принятой методологии селекционный питомник закладывали необмолоченными колосьями.

Морозостойкость растений определяли в камере низких температур при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ на узле кущения и экспозиции 24 часа. Подробная методика изложена ранее [14]. Жизнеспособность растений определяли на 3-и сутки донским методом [15], которым также выявляли действие любых криогенных нагрузок на растения (ледяная корка, заморозки и другие). Жаро-засухоустойчивость определяли визуально по наличию функционирующих листьев на определенную дату, фенотипу растения, горизонтальному расположению листьев в пространстве, по массе зерна с растения, внешнему его виду. Естественно, есть и другие методы физиологии, однако при ведении селекции в больших объемах из-за отсутствия экспресс-методов многие физиологические приемы неприемлемы из-за трудоемкости, громоздкости и слабой информативности. Р.А. Ричардс и др. [16] выделяют при засухе такие показатели, как высота растений, уборочный индекс, время цветения. Основным показателем засухоустойчивости они считают массу зерна. Факторы экологической пластичности определяли по [10-11], коэффициент регрессии (b) и пластичности Si^2 – по [12], стрессоустойчивости – по [11].

Методика создания генетической изменчивости по основным признакам была практически одинаковой – путем внутри- и межвидовой прямой и ступенчатой гибридизации высокопродуктивных экологически отдаленных и местных генотипов. Использовали генетическую коадаптацию аллелей, дополнительные скрещивания. Привлекали родителей со средней выраженностью абиотического фактора и как можно меньшим числом общих генов, контролирующих его. На начальном этапе селекции отбирали гибриды с полным или неполным доминированием по изучаемому признаку в первом поколении. Предпочтение отдавали популяциям с длительным формообразованием. Частоту и степень трансгрессий определяли по методике Воскресенской Г.С. и Шпота В.И [17]. Критерием степени

положительной трансгрессии служил процент превышения признака нового рекомбинанта над максимальным его значением у лучшего родителя. Многолетняя практика показала, что это можно делать еще более достоверно путем определения среднего урожая всех изучаемых линий в опыте и наименьшей существенной разницы (НСР). Критерием отбора был урожай линии + НСР + 13-15%.

Результаты и обсуждение. Устойчивость создаваемых генотипов к блоку зимних абиотических факторов имеет большое значение до сих пор, несмотря на потепление климата. Блок включает морозы, оттепели, притертую ледяную корку и весенние заморозки. За время исследований ощутимые низкие температуры наблюдали в 2014 г. ($-27\text{...}-29\text{ }^{\circ}\text{C}$) с температурой на глубине узла кущения $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. У слабоморозостойких сортов отмечали гибель растений. Можно было подумать, что такая температура должна быть базовой, однако это не оптимальный уровень устойчивости. В 1969 и 1972 гг. на узле кущения она снижалась до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, то есть необходим запас устойчивости на уровне $-18,0\text{--}18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. При таких условиях у сортов выживает 76-88% растений.

Методика создания зимо- и морозостойких рекомбинантов изложена ранее [18]. Генотипы выделяли из гетерогенных популяций при стрессе (полевые условия или камера низких температур). Это были константные формы трансгрессивного происхождения или наследовавшие морозостойкость по типу лучшего высокоустойчивого родителя, выдерживающего $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глубине узла кущения (табл. 1). Классическим примером плюстрасгрессии по морозостойкости может служить сорт Октава 15, превысивший среднестойких родителей почти в 2 раза.

Особое значение для перезимовки имеет продолжительность яровизации растений. Ее обуславливают гены *vrn 1*, *vrn 4* с рецессивными аллелями, определяющие необходимость в яровизации, и гены *Vrd 1* (*vrđ 1*), *Vrd 2* (*vrđ 2*), контролирующую ее продолжительность в днях. Наиболее высокую морозостойкость определяют рецессивные аллели гена *vrđ 2* [19]. У таких генотипов продолжительность яровизации составляла 60 дней и

Табл. 1. Устойчивость сортов озимой пшеницы нового поколения к неблагоприятным условиям перезимовки (2014-2019 гг.)

Сорт	Количество жизнеспособных растений, %*			Выживших растений после, % (2014 г.)	
	новые сорта	родители		ледяной корки	весенних заморозков
		♀	♂		
Дон 107, стандарт**	46	42	45	46,8	30,5
Октава 15	84	53	46	74	74
Былина Дона	77	78	74	76	72
Акапелла	76	64	77	69	56
Богема	78	53	74	72,5	71,5
Пафос	68	42	63	77	69
Мирабель 20	75	65	70	73	72
Прима одесская***	33	40	32	27,5	32
НСР	±8			±12	±15

*После промораживания в камере низких температур при $-18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на узле кущения в течение 24 часов.
 ** Аграрный научный центр Донской.
 *** Селекционно-генетический центр, Украина.

более. Несмотря на противоречивые суждения в литературе по этой проблеме, исследования в 1980-1995 гг. в условиях Дона показали довольно тесную сопряженность между продолжительностью яровизации и морозостойкостью ($r=0,74\pm 0,11$ при $n=258$ [14]). Все созданные в настоящее время сорта пшеницы (более 40) выдерживали на глубине узла кушения $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и имели продолжительность яровизации 60-70 дней. У них отмечена большая глубина анабиоза, и они не развиваются зимой при продолжительных оттепелях.

Следующим значимым стрессором для озимых злаков была притертая ледяная корка (12 случаев из 58 проанализированных лет, в год проявления погибало до 25% площадей озимых в регионе). Она образовывалась после длительной оттепели в снежную зиму и наступившего затем мороза. Чаще всего она была толщиной 2-3 см. За годы проявления притертой ледяной корки (1975, 1984, 1985, 2003, 2014) проанализированы все выполненные в это время комбинации (более 5 тыс.). Выявлена тесная корреляция между устойчивостью к притертой ледяной корке и степенью морозостойкости рекомбинанта ($r=0,78\pm 0,13$). По этому признаку на Дону определен филогенетический «предел» выживания, равный 75-82%. При привлечении в скрещивания генотипов с устойчивостью ниже этого предела при давлении стресса можно получить плюстратегии. В 2003 г. у сорта Северодонецкая юбилейная устойчивость к притертой ледяной корке была оценена в 4,1 балла, у родителей – 3 и 3,5; у линии Лютеценс 728 – соответственно 4,5; 2 и 4 балла [14]. Отмечены и отрицательные трансгрессии, чаще обусловленные формой куста. Степень приближения новых трансгрессивных рекомбинантов к пределу зависела от уровня выраженности этого признака у родителей. Устойчивость к притертой ледяной корке можно усилить путем ступенчатой гибридизации и аккумуляции соответствующих генов. Принципы наследования в F_1 были в основном такие же, как и по морозостойкости [14, с. 233], они были апробированы в 2014 г. (табл. 1). Сорта нового поколения (Былина Дона, Богема и др.) успешно перенесли воздействие этого стресса.

Не меньший урон озимой пшенице наносят весенние заморозки, особенно после выхода растений в трубку. Исследования выполнены с пшеницей в поле в годы сильного проявления этого стрессора – 2000, 2003, 2007, 2014 (1210 комбинаций). Были выявлены особенности создания селекционного материала, устойчивого к весенним заморозкам. Физиологический «потолок» устойчивости в среднем составляет 76-78%. Этот признак контролирует другая ассоциация генов, отличная от генов морозостойкости. Определены источники устойчивости – Альбатрос одесский, Вымпел одесский и другие. Помимо этого путем двух-трех этапов ступенчатой гибридизации были созданы собственные источники – Северодонецкая юбилейная, Lutestsens 1629/91, Августа и другие. При насыщающих скрещиваниях частота появления устойчивых рекомбинантов увеличивалась, особенно при проведении последнего скрещивания с высокоустойчивой формой [14]. При этом появляется широкий спектр изменчивости потомков по устойчивости к весенним заморозкам. Например, у комбинации Тарасовская 29/Дрина//Альбатрос одесский//Тарасовская 97 (два последних сорта – источники устойчивости) процент гибели рекомбинантов в 2014 г. составил 5-26, по другим популяциям – 46 и более. Источники устойчивости к весенним заморозкам параллельно с высокой продуктивностью

существенно различались по свойствам. Так, у сорта Северодонецкая юбилейная признаком устойчивости к весенним заморозкам доминировал в гибридах, трансгрессия проявлялась и по продуктивности. С ее участием созданы сорта, устойчивые к весенним заморозкам – Тарасовская 70, Миссия, Магия и Донэра. По данным табл. 1, часть сортов нового поколения проявила устойчивость к этому стрессу – Октава 16, Былина Дона, Богема, Мирабель 20.

В последние годы XX в. и в новом столетии особенно четко стал проявляться тренд по росту среднемесячной максимальной температуры воздуха, особенно летом. Ранее он был менее выражен. С 1908 г. полностью засушливых лет было 25%, засушливых в отдельные периоды вегетации – 45%, благоприятных – только 30%. Минимизировать негативные последствия засухи можно путем выявления констант, обуславливающих накопление оптимального количества ассимилянтов при относительно меньших затратах влаги на создание единицы сухого вещества. Следует уменьшить расход влаги на формирование соломы и выделить генотипы с более интенсивной фотосинтетической активностью листьев.

Первую проблему решали путем изменения архитектуры ценоза. Снижали высоту стебля с 95-110 до 85 см (1991-2018 гг.). Уменьшение высоты стебля повлекло падение величины надземной массы в среднем на 15-16%. Возникла проблема с емкостью депонирования метаболитов, что препятствует дальнейшей селекции на продуктивность. Об этом свидетельствует уменьшение значения корреляции между надземной массой и урожаем с $r=0,67\pm 0,04$ до $r=0,56\pm 0,05$ [20]. В этой ситуации дальнейшее повышение уборочного индекса было бесперспективным.

Густоту продуктивного агроценоза увеличивали путем выявления трансгрессивных полукарликовых рекомбинантов с повышенным продуктивным кушением (густая надземная масса) и горизонтальным расположением листьев в пространстве (затенение посева, оптимизация транспирации при сухой погоде). Необходимо было создать соответствующую генетическую изменчивость и осуществить поиск форм с более высокой фотосинтетической активностью листьев в этих условиях. В последнем случае очень информативным оказался экспресс-маркер – отношение площади листьев при выколашивании к урожаю [21]. В условиях сухих лет установлен оптимум выраженности этого коэффициента для перспективных полукарликов – 1,2-1,5, среднерослых – 1,3-1,8 [20]. При этом меньшим в сравнении со старыми сортами оказалось и водопотребление растений на синтез единицы сухого вещества.

При работе с популяциями в условиях засухи должны быть основополагающие маркеры отбора высокопродуктивных засухоустойчивых рекомбинантов. Это установлено при изучении взаимосвязи между урожаем зерна и элементами его структуры и морфобиотипа. Результаты исследований в различных по погодным условиям 2000-2013 гг. показали довольно тесную сопряженность при засухах урожая зерна с массой зерна с растения, колоса, уборочным индексом и емкостью ценоза [5], что подтвердилось и позднее, в 2014-2016 гг. (табл. 2). К таким маркерам еще следует отнести надземную биомассу, а также массу 1000 зерен. Аналогичные суждения высказывают и другие исследователи [16].

Анализ данных о взаимосвязях между урожаем и массой зерна с колоса и растения выявил возможность

Табл. 2. Характер взаимосвязи урожая зерна с элементами его структуры и особенностями морфобиотипа (2014-2016 гг.)

Признак	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Среднее
Число растений/м ²	0,45*	-0,05	-0,6*	-0,1
Продуктивное кущение	-0,7*	0,15*	0,63*	0,03
Масса зерна с растения	0,40*	0,82*	0,75*	0,66*
Масса зерна с колоса	0,66*	0,68*	0,82*	0,72*
Масса 1000 зёрен	-0,5*	0,15*	0,89*	0,18*
Надземная биомасса	-0,2*	0,34*	0,66*	0,27*
Индекс урожая	-0,04	0,64*	0,34*	0,31*
Высота соломины	-0,2*	0,20*	-0,03	-0,01
Длина колоса	0,79*	0,25*	-0,6*	-0,09
Емкость ценоза	-0,5*	0,68*	0,96*	0,38*

*Достоверно при P 0,05.

Табл. 3. Наследование в F₁ массы зерна/растение у озимой пшеницы (2014-2018 гг.)

Тип наследования	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее	Средняя частота трансгрессии, %
Hr > 1	21,0	25,0	54,0	55,0	53,2	46,0	5,5
Hr = 0,6 - 0,9	21,0	25,0	16,0	12,0	16,0	17,0	3,4
Hr = 0,1 - 0,5	2,0	6,0	11,0	14,0	11,2	9,0	2,5
Hr = 1 лучший*	2,0	0	1,00	1,00	2,6	3,0	1,4
Hr = -0,1-0,9 худший**	45,0	31,0	1,00	1,00	0	11,0	0,1
Hr = -1 депрессия	9,0	13,0	17,0	17,0	17,0	14,0	0

*Лучший родитель. ** Худший родитель.

использования этих маркеров при селекции на продуктивность в любой год. Наследование по массе зерна/растение в среднем за 2014-2018 гг. проходило по типу сверхдоминирования (преобладало), частичного и неполного доминирования и депрессии (табл. 3). В острозасушливые 2014-2015 гг. доминировал худший родитель. Таким образом, по типу доминирования в F₁ можно было прогнозировать при рекомбинации появление высокопродуктивных засухоустойчивых трансгрессивных рекомбинантов [20].

С использованием представленных методических аспектов создана группа сортов нового поколения, дающих стабильные урожаи в условиях широкого диапазона лимитирующих факторов (табл. 4). Для дальнейших исследований важно были выявить различия между созданными сортами по экологической устойчивости.

По значению SF 6 сортов практически не различались. У сортов Богема, Акапелла и Былина Дона (1-3 рейтинги по урожаю) значения SF были наихудшими. Вероятно, это можно объяснить их узкой специализацией на среду: только в оптимальных условиях они

Табл. 4. Параметры экологической пластичности сортов озимой пшеницы (конкурсные испытания по паре, 2014-2019 гг.)

Сорт	Ранг по урожаю (среднее)	x _i [*] , т/га	b _i	Si ²	Урожайность, т/га		Стрессоустойчивость X min-X max	Cv, %
					X max	X min		
Дон 107, стандарт	7	6,00	1,23	2,5	8,33	4,28	-4,4	29,0
Вестница	6	6,85	1,10	2,32	9,04	4,40	-4,6	24,9
Былина Дона	3	6,92	1,02	1,99	8,86	5,86	-3,0	24,5
Донмира	4	6,87	1,10	2,28	8,64	5,71	-2,9	22,7
Акапелла	2	6,94	1,03	2,04	9,00	5,90	-3,1	21,3
Боярыня	5	6,89	0,80	1,1	8,64	6,10	-2,5	16,7
Богема	1	7,26	1,22	2,86	9,70	5,79	-3,9	24,2

могут быть лидерами, что важно учитывать при разработке технологии возделывания. Несколько иные данные по экологической пластичности получены при определении b_i и Si² (табл. 4).

Выявлена определенная дифференциация по пластичности между сортами. В первую группу вошли лидеры Былина Дона и Акапелла, во вторую – Богема и Дон 107, в третью – Донмира и Вестница и в четвертую – Боярыня и Донская лира. Значения b_i слабо коррелировали с урожайностью (r = 0,21±0,04), но существовала прямая взаимосвязь его с коэффициентом изменчивости в разных условиях – Cv (r = 0,82±0,07). При анализе оценки пластичности по значениям стрессоустойчивости в лучшую группу попали сорта с рейтингом по урожаю как 1-2 (Былина Дона и Акапелла), так и 6-7 (Дон 107, Вестница). У других сортов не отмечено статистической взаимосвязи между значениями урожайности и стрессоустойчивости. Это целесообразно учитывать в дальнейших исследованиях.

Таким образом, для стабильной урожайности у новых генотипов подтверждена необходимость яровизации в течение 60-70 дней, установлен размах варьирования абiotических лимитирующих факторов среды. Это блок перезимовки, параметры засухоустойчивости для Среднего Дона, обусловленные филогенезом (морозостойкость -18...-18,5 °C на глубине узла кущения, 76-88% жизнеспособных растений, устойчивость к ледяной корке – 75-82%, к майским заморозкам – 76-78%). Установлены методики создания генетической изменчивости по всем направлениям селекции, позволяющей реализовать намеченную программу. Определены маркеры для работы с популяциями и выявления требуемых рекомбинантов. На этой основе создана группа сортов нового поколения со стабильно высокими урожаями зерна в условиях внешней среды. Выявлена степень их экологической пластичности. Наиболее объективные данные получены при использовании методики Эберхарта и Рассела, а также определении стрессоустойчивости у новых сортов. Коэффициент вариации признака Cv позволяет судить о степени его варьирования при изменении условий среды.

Литература.

- Grabovets A.I., Fomenko V.A. Some aspects of the winter wheat breeding for winter hardiness in

- conditions of changing climate // *Russian agricultural sciences*. – 2015. – V. 41. – N 1. – P.1-4.
2. Саулеску Н.Н., Браун Х-Дж. Холодоустойчивость // Сб.: Применение физиологии в селекции пшеницы. – Киев: Логос, 2007. – С. 228-254.
 3. Полтарев Е.М., Борисенко Л.Р., Рябчун Н.И. Определение генетического потенциала морозостойкости сортов озимой пшеницы // Урожай и адаптивный потенциал экологической системы. – Киев. – 1991. – С. 27-29.
 4. Levitt J. *The hardiness of plants* Agronomy. Acad. Press, New York. – 1956. – V 6. – 78 p.
 5. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Генофонд и селекция озимой мягкой пшеницы на Дону // ФИЦ институт цитологии и генетики сибирского отд. РАН. Мат. IV межд. конференции "Генофонд и селекция растений". – Новосибирск, 2018. – С. 97-100.
 6. Аблова И.Б., Беспалова Л.А., Колесников Ф.А., Набоков Г.Д., Пузырная О.Ю., Филобок В.А. Селекция пшеницы на устойчивость к болезням // Земледелие. – 2014. – 3. – С. 19-23.
 7. Фоменко М.А., Грабовец А.И., Мельникова О.В., Олейникова Т.А. Параметры адаптивности и гомеостатичности сортов озимой мягкой пшеницы в степной зоне Ростовской области // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2019. – 4 (32). – С. 27-32.
 8. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. – Краснодар: Изд-во Просвещение-Юг., 2010. – 485 с.
 9. Борович С. Принципы и методы селекции растений. – М.: Колос, 1984. – 343 с.
 10. Levis D. Gene-environment interaction a relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // *Heredity*. – 1954. – 8. – P. 333-356.
 11. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур. // *Сельскохозяйственная биология*. – 1984. – 4. – С. 109-113.
 12. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop sciences*. – 1966. – 6. – P. 36-40.
 13. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // *Науч.-техн. Сб.* – Одесса: ВСГИ, 1981. – 1 (39). – С. 8-
 14. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Озимая пшеница. – Ростов-на-Дону: Изд-во "Юг", 2007. – 543 с.
 15. Грабовец А.И. Усовершенствованные методы оценки морозо- и зимостойкости растений // *Селекция и семеноводство*. – 1983. – 2. – С. 23-26.
 16. Ричардс Р.А., Кондон А.Г., Ребецке Г. Д. Признаки, по которым улучшают урожайность в условиях засухи // СБ.: Применение физиологии в селекции пшеницы. – Киев: Логос, 2007. – С. 184-207.
 17. Воскресенская Г.С., Шпота В.И. Трансгрессия признаков у гибридов Brassica и методика количественного учета этого явления // *ДАН СССР*. – 1967. – N 7. – С. 18-20.
 18. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Plus-transgression in winter wheat breeding on frost resistance and productivity // *Russian Agricultural Sciences*. – 2019. – V. 45. – N 5. – P. 407-411.
 19. Файт В.И. Эффекты генов контроля продолжительности яровизации (Vrd) по агрономическим признакам у озимой мягкой пшеницы // *Цитология и генетика*. – 2007. – 5. – С. 18-26.
 20. Фоменко М.А. Автореф. ...докт. дисс. // Селекция озимой мягкой пшеницы на Дону в условиях нарастания аридности климата. – Ростов-на-Дону, 2014. – 24 с.
 21. Осипов Ю.Ф., Фадеева О.И., Федулов Ю.П. Рекомендации по разработке моделей сортов озимой пшеницы в зоне Северного Кавказа // Сб.: Применение физиологических методов при оценке селекционного материала и моделировании новых сортов с.-х культур. – М.: ВАСХНИЛ, 1983. – С.26-31.

Поступила в редакцию 07.03.20
Принята к публикации 04.04.20

ОСОБЕННОСТИ ГЕНОТИПА СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РФ**Б.И. Сандухадзе, академик РАН, В.В. Бугрова, М.С. Крахмалёва, Р.З. Мамедов, кандидаты сельскохозяйственных наук***Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026, Московская область, ул. Калинина, 1
E-mail: sanduchadze@mail.ru*

Приведено краткое описание этапов селекции озимой пшеницы в Нечерноземной зоне Российской Федерации. За 5 лет исследований (2015-2019) дана характеристика сортов Мироновская 808, Памяти Федины, Инна, Московская 39 в сравнении с новыми сортами Немчиновская 85 и Московская 27 по урожайности, элементам продуктивности и содержанию белка в зерне. Урожайность зерна у сорта Немчиновская 85 (передан на Государственное сортоиспытание в 2018 г.) составляла 7,9 т/га (максимальная – 10,1 т/га), у сорта Московская 27 (2019 г.) – 7,7 т/га (8,89 т/га), содержание белка в зерне – 15,0 и 14,4% соответственно. Определено достоверное превышение этих сортов по урожайности над сортами предыдущих этапов селекции и стандартом Московская 39. Представлены данные по константным линиям поколения F₅ гибридной комбинации Воета×Мера, сочетающим в генотипе крупнозерность, короткостебельность и высокое содержание белка в зерне. Корреляционный анализ подтвердил возможность совмещения в одном генотипе низкой высоты растений и высокой массы 1000 зерен. Лучшие линии этой комбинации посеяны в селекционный и контрольный питомники.

FEATURES OF THE GENOTYPE OF WINTER WHEAT VARIETIES CULTIVATED IN THE NON-CHERNOZEM ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION**Sanduhadze B.I., Bugrova V.V., Krakhmalyova M.S., Mamedov R.Z.***Federal research center «Nemchinovka»,
143026, Moskovskaya oblast, ul. Kalinina, 1
E-mail: sanduchadze@mail.ru*

A brief description of the stages of selection of winter wheat in the Nechernozemnaya zone is given. Over 5 years of research (2015-2019), the characteristics of the varieties Mironovskaya 808, Pamyati Fedina, Inna, Moskovskaya 39 are compared with the new varieties Nemchinovskaya 85 and Moskovskaya 27 in terms of yield, productivity elements and protein content in grain. The yield of the variety Nemchinovskaya 85 (transferred to the State Variety Test in 2018) was 7.9 t/ha (maximum 10.1 t/ha), the Moskovskaya 27 (transferred to the SVT in 2019) - 7.7 t/ha (maximum 8.89 t/ha), the protein content in the grain is 15.0% and 14.4%, respectively. A significant excess of these varieties in yield over varieties of the previous selection stages and the standard Moskovskaya 39 was determined. Data on constant lines of the F₅ generation of the hybrid combination Voeta × Mera, combining coarse-grained, short-stemmed and high protein content in the grain, are presented. Correlation analysis confirmed the possibility of combining in one genotype a low plant height and a high mass of 1000 grains. The best lines of this combination are sown in breeding and control seed plots.

Ключевые слова: пшеница озимая, селекция, сорт, урожайность, качество, короткостебельность

Key words: winter wheat, selection, variety, yield, quality, short-stalk

Создание сорта озимой пшеницы занимает более 10-15 лет. Первостепенное значение в этом селекционном процессе имеют непрерывность, направленность и преемственность. Исторически в центральном Нечерноземье России на бедных кислых почвах при неблагоприятных зимних условиях возделывали так называемые серые хлеба – рожь, овес. В настоящее время площади посевов озимой пшеницы в регионе достигают миллионы гектаров. Основная доля сортов озимой пшеницы, выращиваемых в Нечерноземье, создана в Федеральном исследовательском центре (ФИЦ) «Немчиновка». Это результат кропотливой и упорной работы в течение десятилетий.

А.А. Жученко [1] отмечал, что нужны сорта, приспособленные к агроклиматическим условиям и наукоемким технологиям, сочетающие высокий потенциал продуктивности (величина и качество урожая) с устойчивостью к наиболее типичным для региона возделывания абиотическим и биотическим стрессорам за счет преобладания «генотипа» над нерегулируемыми факторами внешней среды. Эту точку зрения поддерживают и другие авторы [2-6].

Трудность селекции озимой пшеницы при создании сорта для зоны Нечерноземья состояла в сочета-

нии в одном генотипе урожайности, зимостойкости, короткостебельности и качества зерна. Ориентировочные этапы селекции этой культуры представлены в табл. 1. Производство зерна озимой пшеницы высокого качества в центральном регионе России всегда было актуально по причине ее наиболее высокого среди зерновых злаков биологического потенциала продуктивности. Это связано с тем, что озимый цикл развития растений позволяет им наиболее полно использовать накопленные в осенне-зимний период запасы почвенной влаги, что ставит их в более выгодное положение в сравнении с яровыми культурами, особенно в засушливые годы [7-9].

Еще в 20-е годы прошлого столетия Н.И. Вавилов и его единомышленники настойчиво обосновывали целесообразность возделывания озимой пшеницы в Нечерноземной зоне [10]. В центральном регионе выращивали местные сорта этой культуры, среди них Костромка, Глебовская, Сандомирки и Ботанки. Староместные сорта представляли собой популяции, состоящие из разновидностей, а иногда и видов, имеющие низкую урожайность вследствие слабой зимостойкости.

Следующим этапом селекции стал метод отдаленной гибридизации, скрещивание пшеницы с пыреем

Табл. 1. Этапы селекции озимой пшеницы в Центральном районе Нечерноземья

Этап	Возделываемые сорта	Год районирования
I	Костромка, Глебовская, Сандомирки, Ботанки, Московская 2453	1920-1950
II	ППГ 599, ППГ 186, Мироновская 808 и другие	1950-1960
III	Заря, Янтарная 50 и другие	1970-1980
IV	Инна, Памяти Федина, Московская низкостебельная и другие	1980-1995
V	Московская 39	1999
VI	Галина, Немчиновская 24, Московская 56, Немчиновская 57, Московская 40, Немчиновская 17	2000-2017
VII	Немчиновская 85, Московская 27	В 2018 и 2019 переданы на Госсортоиспытание

[11]. Работа была начата под руководством академика Н.В. Цицина и профессора Г.Д. Лапченко. Только с середины XX в. стали значительно расширяться посевы озимой пшеницы в зоне Нечерноземья – ППГ 599, ППГ 186, Мироновская 808. Сходный по фенотипу с Мироновской 808 сорт Заря, обладающий уникальной устойчивостью к твердой головне, районирован в 1978 г. В лаборатории селекции озимой пшеницы ФИЦ «Немчиновка» под руководством академика Б.И. Сандухадзе разработана уникальная схема селекции с использованием метода прерывающихся беккроссов, в результате получены сорта Инна, Памяти Федина, Московская 70, Московская низкостебельная, в генотипе которых стабильно сочетаются зимостойкость, продуктивность и короткостебельность.

Отдельно следует выделить уникальный сорт Московская 39 (Обрий×Янтарная 50) отечественной селекции [12-14]. Сорт районирован в 1999 г. Московская 39 относится к сильным пшеницам-улучшителям. Сорт Инна (районирован в 1991 г.) был одним из родительских форм сортов Немчиновская 24, Московская 56, Немчиновская 17 и Виола. Сорт Памяти Федина (районирован в 1993 г.) входит в родословную сортов Галина, Немчиновская 57, Немчиновская 85 и Московская 27 (табл. 2). Особой популярностью у производителей пользуются сорта Московская 39, Московская 40, Московская 56, Немчиновская 57 и другие, площади посевов под которыми в Нечерноземье занимают более 3 млн га.

В настоящее время актуально создание короткостебельных сортов со стабильно высоким потенциалом продуктивности при высокоинтенсивной технологии возделывания озимой пшеницы [15, 16]. Для этого в скрещиваниях используют коллекционные образцы географически отдаленных форм и местные адаптированные сорта. Среди сортов селекции института в скрещиваниях используют сорта Заря, Инна, Памяти Федина, Янтарная 50, Московская 56, чаще в роли рекуррентных родителей. Особого внимания заслуживают сорта Инна и Памяти Федина как одни из самых эффективных родительских форм. Оба сорта получены методом прерывающихся беккроссов между Краснодарским Карликом 1 и Мироновской 808.

Методика. Все исследования выполнены в 2015-2019 гг. в лаборатории селекции и первичного семено-

Табл. 2. Родословная сортов озимой пшеницы

Сорта озимой пшеницы, имеющие в родословной сорт Инна ((Мироновская 808×Краснодарский Карлик 1) F ₃ ×Мироновская 808 F ₃)×Мироновская 808×Заря)		
Сорт	Год районирования	Гибридная комбинация
Немчиновская 24	2006	Донщина×Инна
Московская 56	2008	(Мироновская полуинтенсивная×Инна) ×Московская 39
Немчиновская 17	2013	Немчиновская 24 ×Московская 39
Виола (совместно с Рязанским НИИСХ)	2013	(Мироновская 29×Инна) ×Инна
Сорта озимой пшеницы, имеющие в родословной сорт Памяти Федина (получен методом прерывающегося беккросса [(Краснодарский Карлик 1 × Мироновская 808)F ₃ × Заря] F ₃ × Янтарная 50 с последующим индивидуальным отбором)		
Сорт	Год районирования	Гибридная комбинация
Галина	2005	(Обрий×Памяти Федина) F ₃ ×Инна
Немчиновская 57	2009	(Донщина×Памяти Федина) ×Московская 39
Немчиновская 85	Передан в 2018 г.	Agarik×Памяти Федина
Московская 27	Передан в 2019 г.	Лютеценс 982/08×Памяти Федина

водства озимой пшеницы и аналитической лаборатории селекцентра. Полевые опыты проводили на полях селекционного севооборота. Почва – дерново-подзолистая, суглинистая. Содержание гумуса составляет 2,1-2,5%, рН солевой вытяжки в слое почвы 0-20 см – 5,4, гидролитическая кислотность – 2,51 ммоль/100 г почвы; содержание P₂O₅ (по Кирсанову) – 237 мг/кг почвы (по Масловой), K₂O – 134 мг/кг почвы. Мощность пахотного слоя – 28 см. Агротехника возделывания озимой пшеницы в опыте, общепринятая для зоны. Предшественником озимой пшеницы служил чистый пар. Минеральные удобрения вносили под культивацию из расчета N₂₄ P₆₀ K₆₀ (диаммофоска).

Сравнительное изучение новых сортов и сортов некоторых предыдущих этапов селекции проводили по данным Конкурсного сортоиспытания сортов ФИЦ «Немчиновка». Постановка опытов соответствовала общепринятой методике [17]. Структурный анализ колоса осуществляли по методическому пособию Коновалова Ю.Б. [18]. Математическая обработка экспериментальных данных проведена методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием программы Microsoft Office Excel 2010. Для оценки результатов селекционной работы изучали следующие сорта: Мироновская 808, Инна и Памяти Федина, полученные с помощью прерывающихся беккроссов; нерайонированные Немчиновская 85, Московская 27 и стандарт Московская 39; гибридное поколение F₅ Воета×Мера – в селекционном питомнике. Отмечали дату колошения, измеряли высоту, массу 1000 зерен и содержание белка в зерне.

Погодные условия исследуемых лет характеризовались большой контрастностью по температуре воздуха, количеству осадков и перезимовке озимых. Большое количество осадков выпало в 2016, 2017 и 2018 гг. Хорошая перезимовка отмечена в 2015 и 2018 гг. По-

Табл. 3. Результаты конкурсного сортоиспытания озимой пшеницы, 2015-2019 гг.

Сорт	Год районирования	Урожайность, т/га	Высота, см	Число колосков/м ² , шт.	Масса 1000 зерен, г	Белок, %
Мироновская 808	1963	6,1*	111,0	518,4	48,7	15,0
		6,14-7,34**	107-117	380-772	40,8-55,9	14,0-16,9
Памяти Федина	1993	7,0	93,0	522,0	44,1	13,2
		6,76-7,84	90-95	408-782	36,7-54,3	11,9-13,8
Инна	1991	7,1	99,0	493,3	44,4	13,3
		6,81-7,91	94-106,5	352-851	39,2-54,3	13,0-13,5
	Среднее	7,05	96,0	507,5	44,2	13,25
		6,14-7,84	90-106,5	352-851	36,7-54,3	11,9-13,8
Немчиновская 85	Передан в ГСИ в 2018 г.	7,9	85,1	480,0	45,7	15,0
		7,51-10,1	78,5-95	312-822	39,8-51,4	13,3-16,0
Московская 27	Передан в ГСИ в 2019 г.	7,7	92,6	604,3	49,6	14,4
		7,32-8,89	84-96,5	328-1079	37-63,4	13,6-15,5
	Среднее	7,8	88,9	542,2	47,7	14,7
		7,32-10,1	78,5-96,5	312-1079	37-63,4	13,3-16,0
Московская 39 – стандарт	1999	6,5	106,6	562,0	47,6	16,0
		4,91-7,07	100-120	426-946	43,5-55,9	14,8-17,5
	НСР ₀₅	1,2	12,0	56,6	5,6	1,4

*Среднее значение признака. **Лимиты.

Табл. 4. Характеристика лучших линий поколения F₅ гибридной комбинации Воета×Мера (2019 г.)

Линия	Дата колошения	Высота, см	Масса 1000 зерен, г	Содержание белка в зерне, %	Посеяно на 2020 г.
Эр100	04.06	55	50,7	15,4	КП
Эр101	04.06	55	49,2	18,6	КП
Эр102	05.06	55	51,2	15,7	КП, СП
Эр111	04.06	75	62,0	16,8	КП
Эр113	05.06	70	48,4	15,9	КП
Среднее	-	62	53,0	16,5	-
Краснодарский Карлик 1	10.06	60	32,6	15,1	-
Московская 39 – стандарт	11.06	101	48,9	15,3	-
НСР ₀₅		8,0	5,3	1,0	-

годные условия 2015 г. способствовали формированию исключительно высокого урожая.

Результаты и обсуждение. По уровню зимостойкости новые сорта находились на уровне сорта-стандарта и благоприятно переносили различные погодные условия исследуемых лет в условиях центра Нечерноземья. Сорта Инна и Памяти Федина, полученные по схеме прерывающихся беккроссов, по урожайности превосходили родительскую форму Мироновская 808 на 0,95 т/га, а по высоте были достоверно меньше на 15 см (НСР₀₅=12) (табл. 3). Новое поколение сортов по урожайности достоверно (НСР₀₅=1,2) превышало не

только Мироновскую 808 и стандарт Московская 39, но и отцовскую форму Памяти Федина. Сорта Немчиновская 85 и Московская 27 были переданы на Государственное сортоиспытание соответственно в 2018 и 2019 гг.

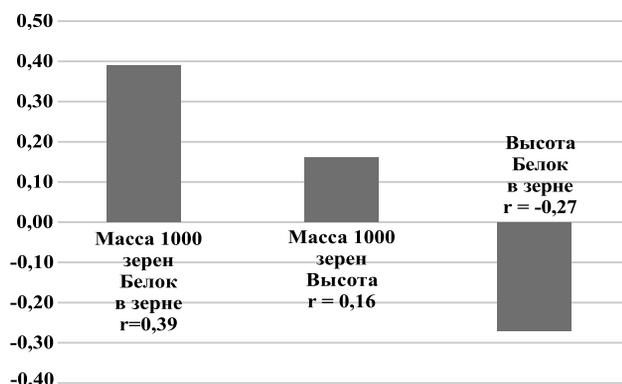
Сорт Немчиновская 85 получен методом индивидуального отбора из гибридной комбинации Агарик (Италия)×Памяти Федина. Средняя урожайность за годы исследования составила 7,9 т/га (максимальная – 10,1 т/га), достоверное превышение стандарта – на 1,4 т/га. Высота растений достигала 85,1 см, что на 21,5 см достоверно меньше сорта-стандарта. Высокое содержание белка в зерне – 15% и клейковины в муке – 30,8%. В 2019 г. в экологическом сортоиспытании («Дубовицкое», Орловская область)

урожайность сорта составила 9,45 т/га.

Сорт Московская 27 получен методом индивидуального отбора из гибридной комбинации Лютесценс 982/08×Памяти Федина. Средняя урожайность составила 7,7 т/га (максимальная – 8,89 т/га), высота растений – 92,6 см. По элементам структуры урожая сорт имел максимальные значения среди изученных номеров: число колосьев на 1 м² – 604,3 шт., масса 1000 зерен – 49,6 г; содержание белка в зерне – 14,4%.

Немчиновская 85 и Московская 27 достоверно превышали стандарт Московская 39 на 1,3 т/га, а Мироновскую 808 – на 1,7 т/га. По высоте растений (в результате отбора) новые сорта стабильно короче стандарта на 17,7 см, а сорта Мироновская 808 – на 22,1 см. В годы исследований полегаемость у новых сортов не отмечено. При этом по качеству зерна сорта, переданные на сортоиспытание, оказались на уровне Мироновской 808 и не уступали стандартному сорту Московская 39. Достоверных различий (НСР₀₅=1,4) не выявлено. По данным сортоиспытания, новые сорта при увеличении урожайности и уменьшении высоты растений сохраняют хорошее качество зерна в сравнении не только с сортом Мироновская 808, но и со стандартом Московская 39.

Сейчас в питомниках лаборатории озимой пшеницы изучают более современный селекционный материал (табл. 4). Особого внимания заслуживают скороспелые линии поколения F₅ гибридной комбинации Воета×Мера. Колошение наступает на неделю раньше стандарта Московская 39. Лучшие линии имеют среднюю высоту растений 62 см (достоверно ниже сорта-стандарта на 39 см, НСР₀₅=8,0). Средняя масса 1000 зерен по линиям составляет 53 г (достоверное превышение над Краснодарским Карликом 1), у линии Эр111 – до 62 г (достоверное превышение над стандартом Московская 39). Эти линии обладают исключительным качеством зерна, достоверное превышение над стандартом по количеству белка в зерне – 1,2%, у линии Эр101 – 3,3% (содержание белка составляет



Коэффициент корреляции (r) между высотой растений, массой 1000 зерен и содержанием белка в зерне.

18,6%). Существует средняя положительная корреляция между массой 1000 зерен и содержанием белка в зерне ($r=0,39$) (рис.). Сравнивая изученные линии с донором короткостебельности Краснодарский Карлик 1 по высоте, крупнозерности и качеству зерна, можно говорить о преодолении известной положительной корреляции между высотой растений и массой 1000 зерен ($r=0,16$). Лучшие линии посеяны в селекционный и контрольный питомники для дальнейшего изучения.

Таким образом, показана ценность сортов Инна и Памяти Федина в качестве эффективных родительских форм. Короткостебельные сорта Немчиновская 85 и Московская 27, находящиеся на Государственном сортоиспытании, имеют высокую урожайность (выше 10 т/га) в сочетании с ценными хлебопекарными свойствами. Селекционный материал, созданный в лаборатории селекции озимой пшеницы, является уникальным. Впервые в условиях Нечерноземья в одном генотипе достигнуто сочетание короткостебельности (62 см), крупнозерности (53 г) и высокого содержания белка в зерне (16,5%). Эти данные свидетельствуют о возможности дальнейшего повышения продуктивности, качества зерна и других хозяйственно ценных признаков у новых сортов озимой пшеницы.

Литература:

1. Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. – М.: Агрорус, 2004 – 1110 с.
2. Копусь М.М. Современные методы в селекции пшеницы на качество зерна и другие признаки и как они решаются ведущими странами мира // Безостая 1 – 50 лет триумфа: сб. материалов между. конф., посвященной 50-летию создания сорта озимой мягкой пшеницы Безостой 1. – Краснодар, 2005. – С. 364-671.
3. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Озимая пшеница. Монография. – Ростов-на-Дону: Издательство Юг, 2007. – 600 с.
4. Новохатин А.В. Обоснование генетического потенциала у интенсивных сортов мягкой пшеницы

(*Triticum aestivum* L.) // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – № 6. – С. 627-635.

5. Савченко И.В. Выведение новых сортов и гибридов сельскохозяйственных растений // Вестник Российской академии наук. – 2017. – Т. 87. – № 4. – С.325-332.
6. Хлесткина Е.К., Журавлева Е.В., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Морозова Е.В., Осипова С.В., Пермякова М.Д., Афонников Д.А., Отмахова Ю.С. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной продукции (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 3. – С. 501-514.
7. Неттевич Э.Д. Высокопродуктивные сорта зерновых культур для Нечерноземья. – М., 1987. – 192 с.
8. Ковтун В.И. Результаты селекции озимой пшеницы // Селекция и семеноводство. – 2006. – № 1. – С. 6-9.
9. Мырзабаева Г.А., Есенбаева Ж.М., Турганбай Г., Идрисова А.Б. Признаки морозостойкости, скороспелости новых сортов и линий озимой мягкой пшеницы // Наука и практика в XXI веке Межвузовский сб. научных трудов с международным участием. – Астрахань, 2019. – С. 196-202
10. Вавилов Н.И. «Ботанико-географические соображения о возможностях продвижения культуры озимой пшеницы в СССР» // Приложение 34 «Труды по прикладной Ботанике, Генетике и Селекции». – Л., 1929. – С. 265-274
11. Сандухадзе Б.И. Селекция озимой пшеницы в центральном районе Нечерноземья России. – М.: НИИП-КЦ Восход-А, 2011. – 504 с.
12. Мельник А.Ф., Фомочкин В.А. Об элементах агротехники, продуктивности и качестве зерна у озимой в условиях Орловской области // Сельскохозяйственная биология. – 2014. – Том 49. – № 1 – С. 122-125/
13. Сандухадзе Б.И. Развитие и результаты селекции озимой пшеницы в центре Нечерноземья // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 9. – С. 15-18
14. Воронов С.И. Вклад учёных Немчиновки в рекордные урожаи Российского поля // Аграрная Россия. – 2020. – № 1. – С.8-12.
15. Кудряшов И.Н., Беспалова Л.А., Пономарев Д.А. Актуальность сортовых структур при производстве озимой пшеницы в современных условиях // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 1. – С. 9-13.
16. Мухордова М.И. Генетический анализ длины стебля в диаллельных скрещиваниях мягкой озимой пшеницы // Вестник Новосибирского Государственного аграрного университета. – 2018. – № 1(46). – С.88-94
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1968. – 336 с.
18. Коновалов Ю.Б. Особенности полевого опыта в ранних звеньях селекционного процесса. – М., 1982. – 26 с.

Поступила в редакцию 04.03.20
 После доработки 30.03.20
 Принята к публикации 05.04.20

ФОРМИРОВАНИЕ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЯРОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРИАМУРЬЯ

Т.А. Асеева, член-корреспондент РАН, К.В. Зенкина, И.Б. Трифунтова

*Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН
Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
680521, Хабаровский район, п. Восточный
E-mail: aseeva59@mail.ru*

Цель исследований – изучить особенности формирования листовой поверхности яровых зерновых колосовых культур в агроэкологических условиях Среднего Приамурья. Объект исследований – сорта ярового овса Экспресс, яровой мягкой пшеницы Хабаровчанка, ярового тритикале Укро. Показаны особенности формирования поверхности листьев яровых зерновых колосовых культур на основных этапах органогенеза и установлена максимальная площадь листовой поверхности растений в фазе колошения – цветения. Отмечена предельная площадь флагового листа у овса и тритикале – в фазе трубкования, у пшеницы – в фазе колошения. В благоприятных условиях у растений овса формируется до 7 ярусов листьев, пшеницы и тритикале – 5-6 ярусов, однако при воздействии негативных факторов окружающей среды листовой аппарат существенно уменьшается. Определена высокая и прямая корреляционная зависимость урожайности яровых зерновых колосовых культур от общей площади листовой поверхности растений ($R=0,891-0,986$). Формирование площади листовой поверхности зерновых колосовых культур сильно зависело от комплекса агрометеорологических условий вегетации – температуры приземного слоя воздуха, фотосинтетической активной радиации и влагообеспеченности.

FEATURES OF THE LEAF SURFACE FORMATION OF SPRING CROP IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE AMUR REGION

Aseeva T.A., Zenkina K.V., Trifuntova I.B.

*Khabarovsk Federal Research Center
of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences Far Eastern Agricultural Research Institute,
680521, Khabarovskiy rayon, p. Vostochniy
E-mail: aseeva59@mail.ru*

The aim of the research was to study the features of the leaf surface formation of spring crops in the agroecological conditions of the Middle Amur region. The objects of research were: spring oats cultivar Express, spring soft wheat cultivar Khabarovchanka, spring triticale cultivar Ukro. The features of the spring cereal crops leaf surface formation at the main stages of organogenesis were shown. Also, the maximal leaf surface area of plants during the earing-flowering periods was established. The uttermost area of the flag leaf was determined during the jointing period for oats and triticale, and during earing stage – for wheat. Under favorable conditions, up to 7 leaf layers were formed in oats, 5-6 layers – for triticale and wheat, however, under the influence of negative environmental factors, a significant decrease in leaf apparatus was observed. A high direct correlation ($R=0.891-0.986$) between the yield of spring cereal crops and the total leaf surface area of plants was established. The formation of leaf surface area of cereal crops strongly depended on the complex of agrometeorological conditions of the growing season: the temperature of the surface air layer, photosynthetically active radiation and moisture supply.

Ключевые слова: зерновые культуры, яровой овес, яровая пшеница, яровое тритикале, листовая поверхность, погодные условия, Среднее Приамурье

Key words: cereal crops, spring oats, spring wheat, spring triticale, leaf surface, weather conditions, Middle Amur region

В решении проблемы увеличения производства зерна, наряду с повышением культуры земледелия и совершенствованием агротехники возделывания, важная роль принадлежит изучению физиологических основ урожайности, в частности одного из основных ее факторов – фотосинтетической деятельности листьев сельскохозяйственных культур [1-5]. Мощность развития фотосинтетического аппарата и эффективность его работы определяют уровень продуктивности растений [6], поскольку 90-95% их сухой массы создается в процессе фотосинтеза [7]. Наиболее полное использование фотосинтетической активной радиации (ФАР) зависит от оптимальной площади листовой поверхности, формирование которой обусловлено условиями вегетации во время роста и развития растений [8]. Наибольшая продуктивность растений обеспечивается достаточно длительной работой фотосинтетического аппарата, которая возможна только при непрерывном поступлении таких жизненно важных факторов, как тепло, свет, влага, воздух и питание в оптимальных количествах и в соответствии с потребностями растения [9].

Высокий вклад в фотосинтезирующую деятельность зерновых культур вносят верхние листья растений [10]. Нижние листья играют важную роль на первых этапах развития, когда формируется корневая система и зачаточный колос, а листья верхних ярусов (стеблевые листья) как более крупные и долгоживущие имеют решающее значение в ассимиляционной работе растения, особенно в период налива зерна [11]. Самой высокой фотосинтетической активностью по сравнению с другими ассимилирующими органами обладает флаговый лист [12]. На тесную зависимость величины урожая зерновых культур от размера листового аппарата указывают многие исследователи [13]. Изучение процессов формирования и функционирования аппарата фотосинтеза растений является актуальным, так как все мероприятия, направленные на увеличение фотосинтетической деятельности растений, опосредованно влияют на их продуктивность [14].

В связи с этим целью настоящей работы было изучить особенности формирования листовой поверхности яровых зерновых колосовых культур в агроэкологических условиях Среднего Приамурья.

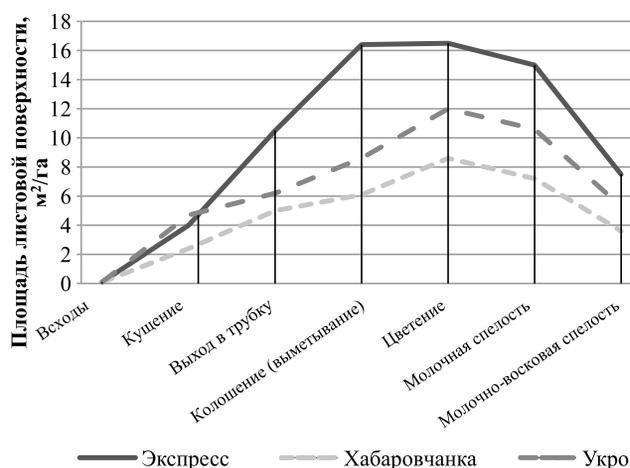
Методика. Полевые опыты проведены в 2017-2019 гг. на опытных полях Дальневосточного НИИ сельского хозяйства (Хабаровский край). Почва – лугово-бурая оподзоленно-глеевая тяжелосуглинистая. Объект исследований – сорта ярового овса Экспресс, яровой мягкой пшеницы Хабаровчанка, ярового тритикале Укро. Предшественник – черный пар. Срок посева – оптимальный (третья декада апреля). Норма высева – 4,5-5,5 млн всхожих зерен/га. Площадь делянок составляла 4 м², размещение делянок – рендомизированное, повторность – 3-кратная. Учеты и наблюдения проведены в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных растений [15].

Площадь листовой поверхности растений рассчитывали методом промеров для зерновых культур с линейной формой листьев [16] – путем умножения значений их длины на ширину и коэффициент 0,67 с последующим пересчетом на 1 га посева. Площадь листьев определяли в основные фазы вегетации: всходы, кушение, выход в трубку, колошение (выметывание), цветение, молочная спелость, молочно-восковая спелость. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена согласно Методике полевого дела [17]. Рассчитанные коэффициенты корреляции статистически значимы при 95% уровне достоверности ($P < 0,05$).

Гидротермические условия в годы опытов складывались следующим образом: сумма среднесуточных температур воздуха за апрель-август составляла 2260,2-2421,0 °С при среднемноголетней норме 2301,4 °С, количество выпавших осадков – 506,8 мм (2017 г.), 482,0 мм (2018 г.), 729,2 мм (2019 г.) при среднемноголетнем значении 466,0 мм, сумма ФАР – 2685-2925 МДж/м² при среднемноголетнем значении 2826 МДж/м².

Результаты и обсуждение. Анализ морфометрических параметров растений колосовых культур в различных гидротермических условиях показал неодинаковые темпы нарастания и формирования площади листовой поверхности в зависимости от ассимиляционного аппарата, связанного с биологическими особенностями сельскохозяйственных культур. В среднем за годы исследований у яровых зерновых культур максимальная листовая поверхность достигалась в фазе колошения – цветения – 16,5 м²/га у овса, 12,0 м²/га у тритикале, 8,6 м²/га у пшеницы (рис.). У ярового овса в агроэкологических условиях Среднего Приамурья мощная листовая поверхность формировалась за счет большей облиственности растений и образования более длинных и широких листовых пластинок. К молочной и молочно-восковой спелости отмечено естественное снижение площади листовой поверхности у всех зерновых культур за счет естественного отмирания нижних ярусов листьев.

Урожайность зерна по годам у ярового овса сорта Экспресс составляла 5,9-7,1 т/га со средним значением 6,4 т/га, у сортов яровых пшеницы и тритикале – соответственно 1,5-3,8 и 2,1-4,2 т/га со средними значениями 2,5 и 3,1 т/га. В изучаемые годы установлена тесная корреляционная связь урожайности зерновых культур с ассимиляционной поверхностью листьев в фазе колошения (выметывание) – цветения. Сопряженность между площадью листьев растений в период их максимального развития и урожаем зерна носит положительный характер ($R=0,891-0,986$) и свидетельствует о высокой зависимости показателей между собой. Варьирование урожайности по годам ($V=10-30\%$) в значительной степени связано с изменчивостью величин поверхности листьев, а также с различной реакцией генотипов на стрессовые условия окружающей среды.



Площадь листовой поверхности (м²/га) зерновых колосовых культур в условиях Среднего Приамурья (2017-2019 гг.).

В благоприятные годы растения ярового овса формировали до 7 ярусов листьев, а яровой пшеницы и ярового тритикале – от 5 до 6 ярусов. В лимитированных условиях у генотипов яровых зерновых культур листовой аппарат уменьшался на 20-30%. Нарастание листовой поверхности флагового листа до максимума наблюдали в фазе трубкования у яровых овса и тритикале – соответственно 34,5 и 25,0 см² с растения, у яровой пшеницы – в период колошения – 17,6 см². Варьирование морфометрических параметров флагового листа в экологических условиях региона было незначительным по годам, о чем свидетельствуют значения коэффициентов вариации (V): 10-15 % – по длине и 5-10 % – по ширине.

Для оценки продуктивности растений зерновых культур в почвенно-климатических условиях Среднего Приамурья определена корреляционная зависимость формирования площади листовой поверхности от метеорологических факторов окружающей среды в основные периоды органогенеза (табл.). Условия вегетации свидетельствуют о том, что для каждого года характерны явления, которые отрицательно или положительно влияют на факторы оптимального роста и развития растений. Способность зерновых культур усваивать и аккумулировать в процессе фотосинтеза солнечную энергию зависит от температуры приземного слоя воздуха, влагообеспеченности пахотного горизонта и поступления ФАР на земную поверхность.

На протяжении вегетации (кушение – восковая спелость) для формирования листовой поверхности яровому овсу требуются высокие температуры приземного слоя воздуха, значительное поступление ФАР и достаточное количество осадков. Расчет корреляционных взаимосвязей формирования максимальной площади листовой поверхности в период колошения – цветения с гидротермическими условиями вегетации свидетельствует о высокой степени зависимости. При этом установлено, что потребность в тепле, солнечном свете и влаге у зерновых культур различна.

Таким образом, площадь листовой поверхности яровых зерновых колосовых культур в агроэкологических условиях Среднего Приамурья формируется в широких пределах в зависимости от биологических особенностей сельскохозяйственных культур, различных этапов развития растений и климатических факторов окружающей среды. Для формирования максимальной листо-

Формирование площади листовой поверхности растений зерновых культур под действием метеорологических факторов (2017-2019 гг.)

Период вегетации	Агрометеорологический фактор	Коэффициент корреляции		
		яровой овес	яровая пшеница	яровое тритикале
Посев – всходы	Σ t, C°	-0,801	0,620	-0,443
	Σ осадков, мм	0,691	0,456	-0,340
Всходы – кущение	ФАР, МДж/м ²	0,720	-0,199	-0,199
	Σ t, C°	0,450	-0,844	0,623
Кущение – выход в трубку	Σ осадков, мм	0,711	0,247	-0,382
	ФАР, МДж/м ²	0,931	-0,717	0,451
Выход в трубку – колошение	Σ t, C°	0,871	0,512	-0,216
	Σ осадков, мм	0,451	0,271	-0,209
Колошение – цветение	ФАР, МДж/м ²	0,931	0,370	-0,292
	Σ t, C°	0,170	0,277	-0,854
Цветение – молочная спелость	Σ осадков, мм	0,071	-0,290	0,249
	ФАР, МДж/м ²	0,887	-0,453	-0,348
Молочная – восковая спелость	Σ t, C°	0,676	0,506	-0,126
	Σ осадков, мм	0,269	0,619	-0,413
Посев – восковая спелость	ФАР, МДж/м ²	0,951	0,699	-0,499
	Σ t, C°	0,646	0,206	-0,786
Посев – всходы	Σ осадков, мм	0,214	0,314	-0,787
	ФАР, МДж/м ²	0,618	0,014	0,725
Всходы – кущение	Σ t, C°	0,401	0,401	-0,192
	Σ осадков, мм	0,331	0,064	-0,136
Кущение – выход в трубку	ФАР, МДж/м ²	0,949	0,725	0,412
	Σ t, C°	0,871	0,550	-0,418
Выход в трубку – колошение	Σ осадков, мм	0,541	0,548	0,370
	ФАР, МДж/м ²	0,934	-0,514	0,476

вой поверхности растениям ярового овса необходимы высокие температуры приземного слоя воздуха, достаточная влагообеспеченность посевов и поступление солнечной радиации на земную поверхность в течение вегетации. Для увеличения площади листьев ярового тритикале требуется прохладная погода, а чрезмерная солнечная радиация угнетает рост и развитие растений яровой пшеницы.

Литература.

1. Колесников Л.Е., Чекурова С.С., Колесникова Ю.Р. Выявление основных факторов, влияющих на структуру урожайности пшеницы и ее изменчивость в условиях Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2019. – N 2. – С. 22-28.
2. Евтушкова Е.П. Фотосинтетическая деятельность и урожайность зернофуражных культур в условиях Северного Зауралья // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2017. – N 5. – С. 59-62.
3. Гарбар Л.А., Ковтун Т.В. Формирование площади листовой поверхности гибридов подсолнечника под влиянием минерального удобрения // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2018. – N 11. – С. 19-24.
4. Зиновьев С.В., Кузьмин А.А. Изучение фотосинте-

тической активности агроценоза яровой пшеницы в зависимости от экологических условий // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2016. – N 2. – С. 77-81.

5. Халитов Н.Г. Оптимизация площади листовой поверхности проса и гречихи // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. – 2010. – N 5. – С. 7-10.
6. Мухитов Л.А. Влияние условий водообеспеченности на формирование листовой поверхности разных экотипов яровой пшеницы в лесостепи Оренбургского Предуалья // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2010. – N 4. – С. 35-37.
7. Гончаров А.Д. Листовая поверхность и фотосинтетический потенциал посевов гречихи в зависимости от способа возделывания // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. – 2009. – N 1. – С. 30-33.
8. Никитина В.И., Бахтин Д.С. Изменчивость и наследование площади листовой поверхности у родительских сортов и гибридов ярового ячменя в условиях Красноярской лесостепи // *Вестник КрасГАУ*. – 2011. – N 12. – С. 116-120.
9. Моисеева К.В. Фотосинтетическая деятельность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Зауралья // *Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина*. – 2017. – N 4. – С. 189-191.
10. Тетяников Н.В., Боме Н.А. Изменчивость морфометрических параметров флагового листа коллекционных образцов ячменя по взаимосвязи с урожайностью // *Успехи современной науки*. – 2017. – T 2. – N 10. – С. 104-109.
11. Рахимов М.М., Ниязмухамедова М.Б. Формирование листовой поверхности посевов озимой пшеницы местных и интродуцированных сортов в разных природно-экологических регионах // *Известия академии наук республики Таджикистан*. – 2011. – N 2. – С. 51-61.
12. Тысленко А.М., Зуев Д.В. Листовая поверхность сортов яровой тритикале в условиях Владимирской области // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2019. – N 11. – С. 134-137.
13. Магарамов Б.Г., Муслимов М.М., Куркиев К.У. Развитие листовой поверхности растений овса при различных способах обработки почвы // *Известия Дагестанского государственного аграрного университета*. – 2019. – N 4. – С. 88-91.
14. Карпова Г.А., Теплицкая Д.Г. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза растений яровой мягкой пшеницы Экада П13 при использовании регуляторов роста // *Тенденции развития науки и образования*. – 2019. – N 52. – С. 93-95.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М., 1985. – Вып. 2. – 267 с.
16. Дмитриев Н.Н., Хуснидов Ш.К. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии // *Вестник КрасГАУ*. – 2016. – N 7. – С. 88-93.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

Поступила в редакцию 16.03.20
Принята к публикации 10.04.20

СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА И ЖИРА В СЕМЕНАХ СОРТОВ СОИ
РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯВ.Т. Синеговская, академик РАН, В.В. Очкурова,
М.О. Синеговский, кандидат экономических наук*Всероссийский научно-исследовательский институт сои,
675027, Благовещенск, Амурская область, Игнатьевское шоссе, 19
E-mail: valsino9@gmail.com*

Изучена зависимость содержания белка и жира сортов сои различного генетического происхождения от условий выращивания и генотипа сорта. Исследовали семена 11 сортов и 4 сортообразцов сои с различной продолжительностью вегетационного периода, выращенные на сезонно-мерзлотных почвах Приамурья в 2017-2019 гг., которые соответствовали параметрам гидротермических ресурсов для возделывания в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области. Погодно-климатические условия в годы исследований существенно различались по сумме активных температур в вегетационные периоды и распределению осадков. По сумме активных температур наиболее благоприятными были 2017 и 2018 гг., превышение относительно нормы составило соответственно 135 и 157 °С. Избыточным количеством осадков характеризовался 2019 г., что способствовало активному оттоку питательных веществ в семена. Определены коэффициенты вариации (CV) признака «содержание белка» в семенах сои у сортов отечественной и иностранной селекции, которые подтвердили зависимость этого показателя от условий выращивания в большей степени, чем от генотипа сорта. Коэффициент вариации у семян отечественных сортов составлял 0,28-5,87% в зависимости от условий года и 2,11-3,80% – от сорта, у зарубежных сортов – соответственно 0,55-5,23 и 3,79-4,63%. Наибольшая стабильность содержания белка в семенах сои в зависимости от погодно-климатических условий выявлена у сортов скороспелых групп. Из отечественных сортов лучшим по этому показателю был Топаз, из зарубежных – китайский сорт Хэй 11-1170. Определено высокое содержание белка в семенах отечественных сортов Сентябринка и Статная (соответственно 42,3 и 43,0%). Из зарубежных сортов высокое содержание белка в семенах отмечено у китайского сорта Хэй 05-1031 – 43,2%. Сорты сои канадской селекции Максус, Саска и Каната, сортообразец AD 12 М американской селекции имели продолжительный период вегетации, что привело к получению морозобойных семян. Показана взаимозависимость содержания белка и жира в семенах всех сортов сои.

CONTENTS OF PROTEIN AND FAT IN SOYBEAN SEEDS
OF VARIOUS GENETIC ORIGIN

Sinigovskaya V.T., Ochukrova V.V., Sinigovskiy M.O.

*All – Russian Scientific Research Institute of Soybean,
675027, Blagoveshchensk, Amurskaya oblast, Ignatievskoe shosse, 19
E-mail: valsino9@gmail.com*

This article presents protein and fat content in the seeds of soybean varieties of different genetic origins to study the dependence of these indicators on the conditions of cultivation and genotype of the variety. Seeds of 11 varieties and 4 varieties of soybean samples differing in duration of vegetation period, grown on seasonally frozen soils of Priamurye in 2017-2019, which corresponded to parameters of hydrothermal resources for cultivation in the southern agricultural zone of Amur region, were studied. Weather and climatic conditions during the years of experiment differed significantly by the sum of active temperatures during vegetation periods and precipitation distribution. By the sum of active temperatures, the most favorable were 2017 and 2018, the excess of the relative norm was 135 °C and 157 °C, respectively. Excess amount of precipitation was characterized by 2019, which contributed to the active outflow of nutrients into seeds. As a result of the research, the coefficients of variation (CV) sign «protein content» in soybean seeds of domestic and foreign breeding varieties were determined, which confirmed the dependence of this indicator on the conditions of cultivation to a greater extent than the genotype of the variety. The coefficient of variation in soybean seeds of domestic varieties of soybean varied from 0.28 to 5.87% depending on the conditions of the year and from 2.11 to 3.80% depending on the variety. In foreign varieties – from 0.55 to 5.23% and from 3.79 to 4.63%, respectively. The highest stability in protein content in soybean seeds, depending on weather and climatic conditions, was revealed in varieties of early maturing groups. From domestic varieties differed by this feature variety Topaz, from foreign - Chinese variety Hei 11-1170. The high content of protein in seeds of domestic varieties Sentyabrinka and Statnaya (42.3 and 43.0 % respectively) was observed. From foreign varieties, high protein content in seeds was found in Chinese variety Hei 05-1031 - 43.2%. Canadian varieties of soybean Maxus, Saska and Kanata, a variety sample AD 12M American breeding, had a long period of vegetation, which led to frost seeds. The interdependence of protein and fat content in seeds of all soybean varieties was shown.

Ключевые слова: соя, сорт, семена, белок, жир, происхождение сорта**Key words:** soybean, variety, seeds, protein, fat, origin of the variety

Производство сои в мире неуклонно растет, благодаря высокой ценности ее белка и масла [1-3]. В связи с повышением потребности населения в белке увеличивается спрос на сорта этой культуры с высоким его содержанием, которое в зависимости от условий выращивания составляет 29-58% [4-9]. В зерне сои содержится до 45% и более высококачественного по аминокислотному составу, растворимости и усвояемости белка, 17-25% полноценного растительного масла,

10-12% растворимых сахаров, 20-30% углеводородных соединений, 5-6% зольных макро- и микроэлементов, состав и соотношение которых в большей степени определяется условиями выращивания [10, 11]. Содержание белка и масла в семенах сои связано отрицательной корреляционной зависимостью [12-16]. Многие авторы указывают, что на эти показатели существенно влияют погодные условия года, место выращивания, период вегетации и особенности сорта [17]. Хорошая

обеспеченность фосфором, pH, близкий к нейтральной среде, оптимальная влажность почвы и температурный режим, присутствие микроэлементов, наличие высокоэффективных штаммов клубеньковых бактерий сои создают благоприятные условия для протекания активного симбиоза и обеспечения растений биологическим азотом [21, 22]. Совместное использование при посеве сои азотно-фосфорных минеральных удобрений обеспечивает увеличение сбора белка на 17%, масла – на 18% [23-26]. Несмотря на то, что нет единого мнения о преимущественном влиянии того или иного фактора на накопление белка и жира в семенах сои, большинство исследователей отмечают существенную роль внешних условий. Поэтому целью нашей работы было определение содержания белка и жира в семенах сои у сортов различного генетического происхождения для установления их зависимости от условий выращивания.

Методика. Содержание белка и жира изучали в семенах 11 сортов и 4 сортообразцов сои различного генетического происхождения, в том числе 4 сортов селекции ВНИИ сои: Золушка, Сентябринка, Статная, Топаз и сортообразца К-8, 5 сортов канадской селекции, 2 сортообразцов американской селекции, 2 сортов и 1 сортообразца китайской селекции, различающихся по продолжительности вегетационного периода и хозяйственно ценным признакам. Согласно амурской производственной классификации, сорта относятся к различным группам спелости: от ультраскороспелой (90 дней) до позднеспелой (125 дней) [27]. Семена получены при выращивании растений в погодных условиях 2017-2019 гг. на сезонно-мерзлотной луговой черноземовидной почве опытного поля Всероссийского НИИ сои. Семена высевали на глубину 5 см с шириной междурядий 45 см, когда почва прогревалась на глубине заделки семян не менее 10 °С. Площадь делянки составляла 6,75 м², по 5 рядков длиной 3 м. Для борьбы с сорняками использовали почвенный гербицид Фронтьер Оптима в дозе 1,2 л/га, который вносили за 5 дней до посева с заделкой культиваторами. В период вегетации сои сорняки уничтожали вручную. Закладку опытов, учеты и наблюдения, статистическую обработку данных проводили по методике Б.А. Доспехова [27]. Содержание белка и жира в семенах определяли на приборе ИК-анализатор «Foss NIR System 5000» (Дания). Для аналитических расчетов и корреляционно-регрессионного анализа использовали программы Microsoft Office и Statistica 6.0. Сведения по температуре представлены по данным метеостанции г. Благовещенка, осадки – по данным метеопоста, расположенного вблизи опытного поля института в с. Садовое Тамбовского района Амурской области.

Результаты и обсуждение. Все отечественные сорта соответствовали параметрам гидротермических ресурсов для возделывания в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области, так как они показали высокую урожайность с полным вызреванием семян в бобах. Растения не всех сортов зарубежной селекции вызрели до наступления первых заморозков. Продолжительность вегетационного периода сортов селекции ВНИИ сои в годы исследований составила 91-113 дней в зависимости от группы спелости сорта. Содержание белка и жира в семенах различалось, как между сортами в один и тот же год выращивания, так и внутри одного сорта в различных условиях выращивания (табл. 1).

В 2017 г. содержание белка в семенах всех сортов составило 39,3-40,8%, что вызвано недостатком влаги в период образования репродуктивных органов у рас-

Табл. 1. Содержание (% абсолютно сухого вещества) белка и жира в семенах отечественных сортов

Сорт	2017 г.		2018 г.		2019 г.		Вегетационный период, дни, среднее
	белок	жир	белок	жир	белок	жир	
Статная	39,3	18,5	38,6	18,8	43,0	16,7	102
Золушка	38,8	18,8	38,9	18,7	40,4	17,3	112
Сентябринка	39,0	19,5	42,3	19,2	41,1	18,1	91
Топаз	40,8	20,0	40,8	20,0	41,0	18,6	91
Сортообразец К-8	40,1	20,3	40,8	20,8	40,4	17,9	113
НСР ₀₅ (F теор.= 3,84)	0,12	0,12	0,06	0,08	0,46	0,07	

Табл. 2. Сумма активных температур (°С) за месяц и вегетационный период 2017-2019 гг.

Год	Сумма активных температур за месяц					За вегетационный период
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
2017	388	560	694	605	359	2606
2018	401	535	691	622	379	2628
2019	304	548	660	586	249	2347
Норма	333	566	668	598	306	2471

Табл. 3. Содержание (%) белка и жира в семенах сортов сои различного генетического происхождения

Сорт, сортообразец	2018 г.		2019 г.		Вегетационный период, дни, среднее
	Белок	Жир	Белок	Жир	
Сорта канадской селекции					
Киото	43,5	19,6	40,4	19,6	119
Максус	42,0	19,0	43,0	16,6	117*
Кофу	42,2	19,7	39,9	18,6	121
Саска	40,1	19,1	39,0	19,0	126*
Каната	40,2	19,6	39,0	18,4	120*
Сорта селекции США					
Сортообразец AD-8	39,1	20,4	39,1	18,7	100
Сортообразец AD 12 M	43,9	19,3	41,5	18,4	126*
Сорта селекции КНР					
Хэй 05-1031	43,2	18,9	40,3	18,4	91
Хэй 11-1170	38,3	19,2	38,6	18,1	108
Сортообразец 7 J-23	41,2	18,8	42,4	16,9	106
НСР ₀₅ (F теор.= 2,46)	0,05	0,05	0,05	0,06	

* Бобы созрели на 70-90%.

тений, несмотря на высокую среднемесячную температуру воздуха в это время (рис. 1)

Поскольку передвижение питательных веществ в семена зависит от обеспеченности растений влагой, ее недостаток в этот период 2017 г. снизил накопление белка в семенах, несмотря на высокий температурный режим. Наибольший показатель белка составил 40,8% в семенах ультраскороспелого сорта Топаз, а самым

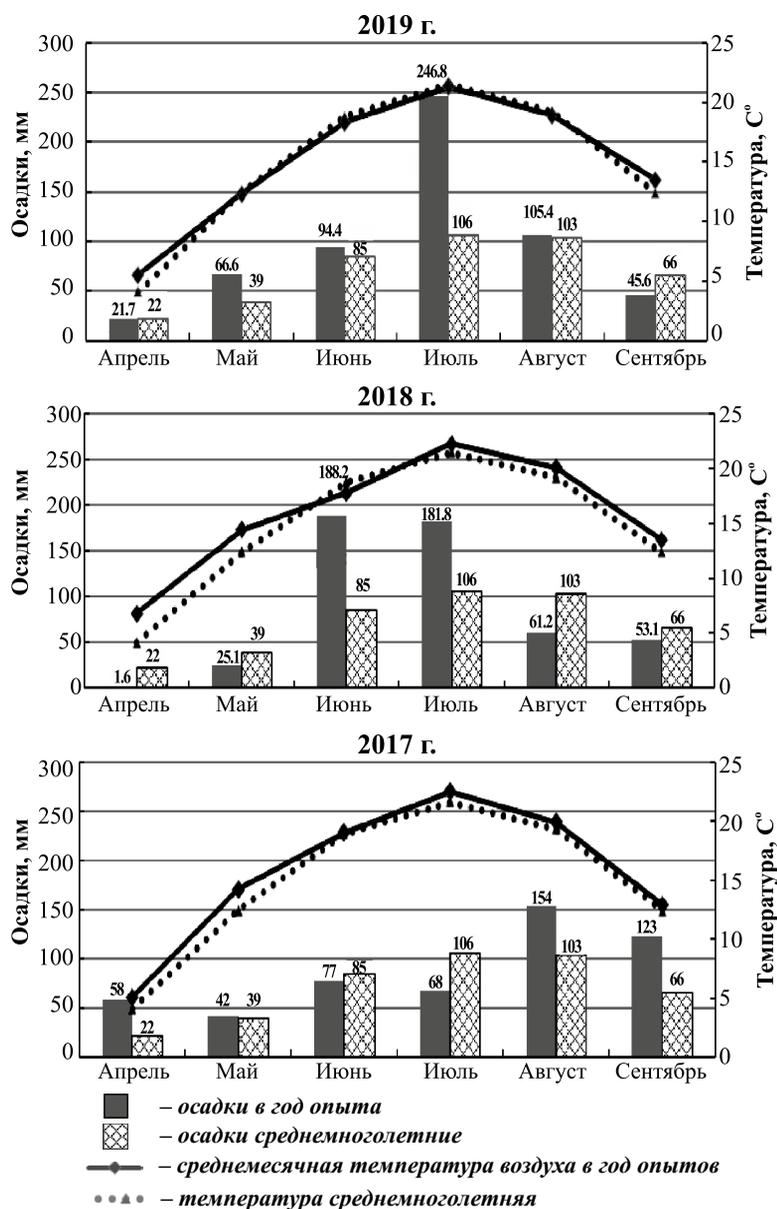


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков за вегетационный период.

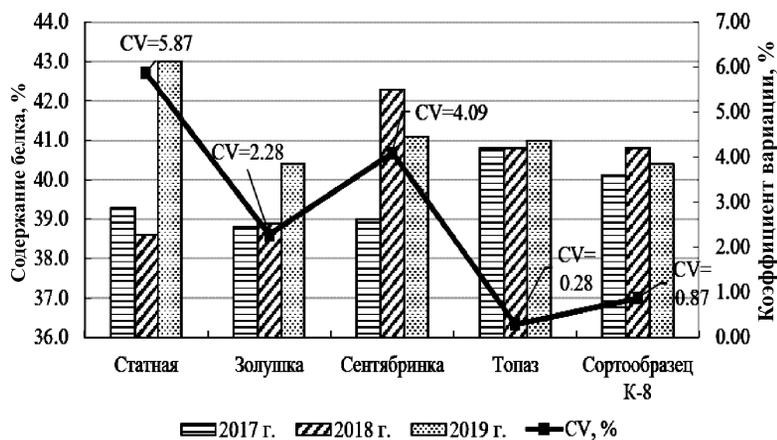


Рис. 2. Содержание белка в семенах и распределение коэффициентов вариаций у отечественных сортов сои под влиянием различных погодных-климатических условий, 2017-2019 гг.

низким он был в семенах сорта Золушка (табл. 1). Благоприятным по температурному режиму оказался и вегетационный период 2018 г. При этом сумма активных температур в июле, августе и сентябре была выше показателей 2017 и 2019 гг. соответственно на 0,43; 2,81 и 5,57 и на 5,15; 6,14 и 52,20% (табл. 2).

В целом за вегетационный период сумма активных температур также была выше нормы в 2017 и 2018 гг. соответственно на 135 и 157 °С. Это позволило скороспелому сорту Сентябринка за 90 дней в 2018 г. накопить 42,3% белка при избыточном количестве осадков в июне и июле с превышением нормы осадков соответственно в 2,2 и 1,7 раза, что обеспечило растения запасом влаги в период налива семян. Погодные условия 2019 г. по температурному режиму были менее благоприятными: сумма активных температур за вегетационный период была ниже нормы на 124 °С и уступила показателям 2017 и 2018 гг. соответственно на 259 и 281 °С. Однако вегетационный период 2019 г. характеризовался избыточным количеством осадков с мая по сентябрь, что привело к обильному увлажнению почвы влагой и активному передвижению в растениях питательных веществ в репродуктивные органы. Самое высокое содержание белка в семенах выявлено при выращивании в погодных условиях 2018-2019 гг. у всех сортов сои. У среднеспелого сорта Статная количество белка составило 43,0%, тогда как содержание жира было самым низким – 16,7%, что подтверждает обратную взаимосвязь между этими показателями. В 2018 г. в семенах этого сорта содержание белка снизилось до 38,6%, а жира возросло до 18,8%. В то же время скороспелый сорт Сентябринка при высоком температурном режиме 2018 г. накопил в семенах белка больше, чем в 2017 и 2019 гг., соответственно на 3,3 и 1,2%. Содержание белка в семенах ультраскороспелого сорта Топаз было стабильным – 40,8-41,0%. Подобная закономерность характерна и для среднеспелого сортообразца К-8 во все годы исследований. Выявлено также, что избыточное количество осадков в 2019 г. способствовало не только передвижению питательных веществ в семена, но и увеличению продолжительности периода вегетации сортов. Это особенно отразилось на позднеспелых сортах зарубежной селекции, не достаточно адаптированных к погодным условиям южной зоны Амурской области с сезонно-мерзлотными почвами. Так, у канадского сорта Каната бобы созрели на 80%, Максус – на 90%. Бобы верхнего яруса были подвержены заморозкам, что в дальнейшем не позволило получить полноценные семена. При этом семена вызревших бобов сорта Максус содержали 43% белка, сорта Каната – 39%, содержание жира составило 16,6 и 18,4% соответственно (табл. 3).

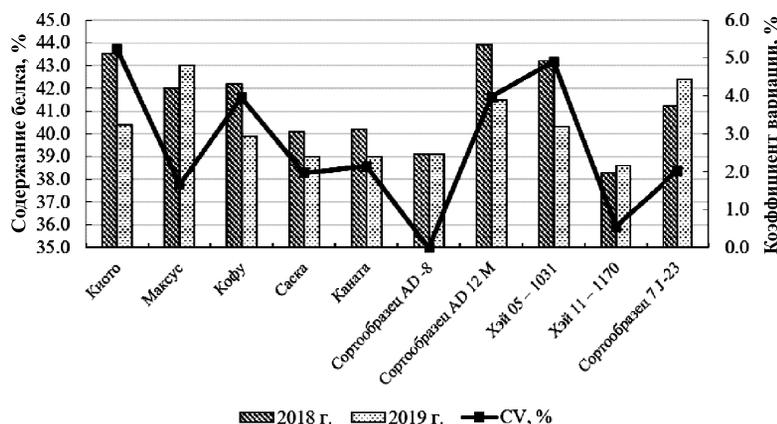


Рис. 3. Содержание белка в семенах и распределение коэффициентов вариаций у зарубежных сортов сои под влиянием различных погодных-климатических условий, 2018-2019 гг.

В связи с тем, что индивидуальные значения содержания белка в семенах сои формируются под влиянием различных погодных-климатических условий были рассчитаны коэффициенты вариации или изменчивости этого признака у всех изучаемых сортов и сортообразцов сои. Коэффициент вариации у сортов селекции ВНИИ сои изменялся от 0,28 до 5,87% в зависимости от условий года и от 2,11 до 3,80% в зависимости от сорта (рис. 2).

Определено большее влияние на формирование признака условий выращивания, чем сортовых особенностей, что подтверждает сведения других авторов [16-20]. Однако рассчитанные нами величины коэффициентов вариации по содержанию белка в семенах сои не выше 10% и в целом свидетельствуют о слабой изменчивости признака.

В среднем за годы исследований максимальный показатель вариации отмечен у сорта сои Статная, минимальный – у сорта Топаз. Расчет коэффициентов подтвердил большую устойчивость сорта Топаз к влиянию погодных условий на накопление белка в семенах. У сортов иностранной селекции также выявлено большее варьирование данного признака в зависимости от погодных условий выращивания, чем от сортовых особенностей. Так, у канадского сорта Киото показатель вариации в зависимости от погодных условий года составил 5,23%, сорта Хэй 05-1031 – 4,91, Кофу – 3,96. Вариации по сортам были меньше и составили в 2018 г. 4,63%, в 2019 г. – 3,79% (рис. 3). Для этих сортов самым благоприятным был вегетационный период 2018 г.: отмечено самое высокое содержание белка – от 43,5% у сорта Киото до 40,1% у сорта Саска, содержание жира – от 19,6 до 19,0%. Самое высокое содержание белка в семенах (43,9%) выявлено в вызревших семенах американского сортообразца AD 12M, полученных в условиях 2018 г., вегетационный период которых в среднем составил 126 дней. Содержание белка в незрелых семенах этого сорта не определяли.

В условиях 2019 г. бобы на растениях сортообразца AD 12M при сумме активных температур 2347 °C и избытке влаги созрели только на 70%, а зеленые бобы были подвержены низким отрицательным температурам. Содержание белка в семенах созревших бобов составило только 41,5%. Переувлажнение почвы, удлинив период вегетации этого сортообразца, также не позволило получить полноценный урожай. Американский сортообразец AD-8 показал стабильность по

продолжительности периода вегетации и небольшое (39,1%) содержание белка в семенах, но высокие адаптационные способности, так как уже несколько лет возделывается в условиях Амурской области. Сорта китайской селекции, имеющие северное происхождение провинции Хэйлунцзян, вызрели в оба года наших исследований. У скороспелого сорта Хэй 05-1031 отмечено высокое содержание белка в условиях 2018 г., но на 2,9% ниже, чем в 2019 г. У сорта Хэй 11-1170 содержание белка в семенах различалось лишь на 0,3%, что указывает на его стабильность по этому показателю с коэффициентом вариации 0,55. Китайский сортообразец 7 J-23 значительно различался по содержанию белка и жира в семенах, бобы вызрели в оба года исследований.

Таким образом, сорта скороспелых групп сои в годы исследований характеризовались в основном стабильностью по содержанию белка и жира в семенах за счет непродолжительного периода вегетации и большой адаптационной способностью к погодным условиям южной зоны Амурской области. Из скороспелых сортов селекции института самое большое содержание белка в семенах отмечено у сорта Сентябринка – 42,3%, из зарубежных – у китайского сорта Хэй 05-1031 – 43,2%. Выявлено стабильное содержание белка в семенах у отечественного ультраскороспелого сорта Топаз независимо от погодных условий – 40,8-41,0% с коэффициентом вариации признака по сорту 0,28%.

Сорта сои канадской селекции Максус, Саска, Каната и сортообразец AD 12M американской селекции имели период вегетации, превышающий безморозный период южной зоны Амурской области, что привело к получению морозобойных семян. Коэффициенты вариации у сортов селекции ВНИИ сои изменялись от 0,28 до 5,87% в зависимости от условий года и от 2,11 до 3,80% в зависимости от генотипа сорта. У сортов зарубежной селекции этот показатель составил соответственно 0,55-5,23% и 3,79-4,63%, что подтверждает большее влияние погодных условий выращивания на формирование белка в семенах, чем генетических признаков сорта.

Литература.

1. Петриченко В.Ф., Производство и использование сои на Украине // Вестник аграрной науки. – 2008. – N 6. – С. 24-27.
2. Лукомец В.М., Кочегура А. В., Баранов В. Ф., Махонин В. Л. Соя в России – действительность и возможность. – Краснодар, 2013. – 99 с.
3. Зятыков Ю.И., Курмышева Н.А., Наконечный В.Е. Производство сои и соевого масла в России. – М., 2002. – 86 с.
4. Катюк А.И., Шаболкина Е.Н., Васин А.В., Булатова К.А., Анисимкина Н.В. Пищевые достоинства семян фасоли, сои и гороха сортов селекции Самарского НИИСХ // Зерновое хозяйство России. – 2019. – N 4 (64). – С. 8-13. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39278553>. (DOI 10.31367/2079-8725-2019-64-4-8-13)
5. Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Перспективы селекции высокобелковых сортов сои: моделирование механизмов увеличения белка в семенах // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всерос-

- сийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2016. – N 2. – С. 34–41.
6. Синеговский М.О. Перспективы производства сои в Дальневосточном Федеральном округе // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. – 2020. – N 1. – С. 13–15. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/13-16
 7. Зотиков В.И., Грядунова Н.В., Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Сидоренко В.С. Зернобобовые культуры в экономике России // *Земледелие*. – 2014. – N 4. – С. 6–8.
 8. Бельшикина М. Е. Проблема производства растительного белка и роль зерновых бобовых культур в ее решении // *Природообустройство*. – 2018. – N 2. – С. 65–73. URL: <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-2-65-73>.
 9. Баранов В.Ф., Кочегура А., Лукомец В.М. Соя на Кубани. – Краснодар, 2009. – 321 с.
 10. Бельшикина М.Е., Кобозева Т.П., Шевченко В.А., Делаев У.А. Влияние норм высевки и способов посева на урожайность и качество семян раннеспелых сортов и форм сои северного экотипа // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2018. – N 4. – С. 182–190. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36314107> (DOI: 10.26897/0021-342X-2018-4-182-190)
 11. Chennareddy S., Cicak T., Clark L., Russell S., Skokut M., Beringer J., Yang X., Jia Y., Gupta M. Expression of a novel bi-directional Brassica napus promoter in soybean // *Transgenic Res.* – 2017. – 26(6). – P. 727–738. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11248-017-0042-1> (DOI: 10.1007/s11248-017-0042-1)
 12. Demorest Z.L., Coffman A., Baltes N.J., Stoddard T.J., Clasen B.M., Luo S., Retterath A., Yabandith A., Gamoto M.E., Bissen J. Direct stacking of sequence-specific nuclease-induced mutations to produce high oleic and low linolenic soybean oil // *BMC Plant Biol.* – 2016. – 16(1). – 225p.
 13. Zhang J., Wang X., Lu Y., Bhusal S.J., Song Q., Cregan P.B., Yen Y., Brown M., and Jiang G. Genome-wide scan for seed composition provides insights into soybean quality improvement and the impacts of domestication and breeding // *Mol. Plant.* – 2018. – 11(3). – P. 460–472.
 14. Lu C.I., Napier J.A., Clemente T.E., Cahoon E.B. New frontiers in oilseed biotechnology: meeting the global demand for vegetable oils for food, feed, biofuel, and industrial applications // *Curr. Opin. Biotechnol.* – 2011. – N 22. – P. 252–259.
 15. Clemente T.E., Cahoon E.B. Soybean oil: genetic approaches for modification of functionality and total content // *Plant Physiol.* – 2009. – N 151. – P. 1030–1040.
 16. Ващенко А.П., Мудрик Н.В., Фисенко П.П., Дега Л.А., Чайка Н.В., Капустин Ю.С. Соя на Дальнем Востоке. – Владивосток: Дальнаука. – 2010. – 435 с.
 17. Huang H., Yu H., Xu H., Ying Y. Near infrared spectroscopy for on-line monitoring of quality in foods and beverages // *J. Food Eng.* – 2008. – N 87. – P. 303–313.
 18. Гатаулина Г.Г. Зернобобовые культуры: системный подход к анализу роста, развития и формирования урожая. Монография / Сер. Научная мысль. – М.: Инфра-М, 2018. – 242 с.
 19. Толмачев М.В., Синеговская В.Т. Влияние технологических приемов возделывания на фотосинтетическую деятельность и продуктивность сортов сои // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2009. – N 12. – С. 5–8.
 20. Гуреева Е.В., Фомина Т.А. Соя как ценный источник растительного белка // Сб. науч. статей «Вклад молодых ученых в решение задач агропромышленного комплекса Азиатско-Тихоокеанского региона, ФГБНУ ВНИИ сои. – Благовещенск: ИПК «Одеон», – 2016. – С. 29–33. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27616356>
 21. Делаев У.А., Кобозева Т.П., Зузиев У.Г., Шишихаев И.Я. Сравнительный анализ симбиотической деятельности посевов сои и других зерновых бобовых культур // *Известия Чеченского государственного университета*. – 2018. – N 4(12). – С. 45–48. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36651393>
 22. Феодотов В.А., Гончаров С.В., Столяров О.В., Ващенко Т.Г., Шевченко Н.С. Соя в России. – М.: Агролига России, – 2013. – 432 с. (ISBN 978-5-85879-866-8).
 23. Тишков Н.М., Махонин В.Л., Носов В.В. Урожайность и качество урожая сои в зависимости от способов и доз применения удобрений // *Масличные культуры*. – 2019. – N 4(180). – С. 53–60. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42393304>. (DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-53-60).
 24. Шабалкин А.В., Воронцов В.А., Скорочкин Ю.П. Влияние обработки почвы в комплексе с применением удобрений и гербицидов на урожайность, качество семян сои и экономическую эффективность // *Масличные культуры*. – 2019. – N 1(177). – С. 55–59. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38514156>. (DOI: 10.25230/2412-608X-2019-1-177-55-59)
 25. Ray J.D., Fritschi F.B., Heatherly L.G. Large applications of fertilizer N at planting affects seed protein and oil concentration and yield in the Early Soybean Production System // *Field Crops Research*. – 2006. – V. 99. – N. 1. – P. 67–74.
 26. Казаченко И.Г. Роль минерального питания в продуктивности посевов сои // *Горное сельское хозяйство*. – 2018. – N 1. – С. 42–45. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32650417>. (DOI: 10.25691/GSH.2018.1.009).
 27. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. – М.: Альянс, 2014. – 352 с.
 28. Технология возделывания сои в Амурской области: методические рекомендации. / Тильба В.А., Синеговская В.Т., Фоменко Н.Д. – Благовещенск: Типография УВД Амурской области, 2009. – 72 с.

Поступила в редакцию 06.07.20
Принята к публикации 15.07.20

СОЗДАНИЕ ЛИНИЙ-ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ФЕРТИЛЬНОСТИ ЦМС ТИПА 9E СОРГО НА ОСНОВЕ ФЕРТИЛЬНЫХ РЕВЕРТАНТОВ, ИНДУЦИРОВАННЫХ УСЛОВИЯМИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Л.А. Эльконин, доктор биологических наук, С.Х. Сарсенова

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока,
410010, Саратов, ул. Тулайкова, 7
E-mail: lelkonin@gmail.com

Создание надежных линий-восстановителей фертильности – важнейшее условие использования цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) в селекции. ЦМС типа 9E сорго характеризуется нестабильным характером экспрессии генов-восстановителей фертильности, для функционирования которых необходим высокий уровень влагообеспеченности растений в период микроспорогенеза и цветения. С целью создания линий-восстановителей фертильности ЦМС типа 9E потомство тест-кроссов фертильных линий в цитоплазме 9E, полученных в результате реверсий у стерильных гибридов F₁, индуцированных условиями высокой влагообеспеченности, с ЦМС-линиями на цитоплазме 9E выращивали на селективных фонах – при засухе и на делянке с дополнительным поливом, а также в полевых условиях при естественной влагообеспеченности. В большинстве гибридных комбинаций фертильные растения выявлены только при дополнительном поливе в период цветения. Гибриды F₁ с разными ЦМС-линиями на цитоплазме 9E различались по степени восстановления фертильности и реакции на условия влагообеспеченности. В F₂ преобладали фертильные растения; в разных гибридных комбинациях отмечены расщепления 3:1 или 13:3. В результате отбора в условиях засухи фертильных растений из потомства гибридов от скрещивания ЦМС-линии 9E Пищевое 614 и мужски-фертильных ревертантов получены две линии, способные к восстановлению фертильности гибридов F₁ на данной цитоплазме в полевых условиях.

DEVELOPMENT OF LINES-FERTILITY RESTORERS FOR 9E CMS TYPE OF SORGHUM USING ENVIRONMENTALLY-INDUCED FERTILITY REVERTANTS

Elkonin L.A., Sarsenova S.Kh.

Agricultural Research Institute for South-East Regions,
410010, Saratov, ul. Tulaykova, 7
E-mail: lelkonin@gmail.com

Development of reliable lines-fertility restorers is the most important prerequisite for using cytoplasmic male sterility (CMS) in plant breeding. Sorghum 9E type CMS is characterized by the unstable nature of the expression of fertility restoring genes, which require a high level of plant water availability during microsporogenesis and flowering. In order to create reliable male-fertility restoring lines for CMS 9E, the progeny of test crosses of fertile revertant lines in the 9E cytoplasm, which were obtained as a result of reversions in sterile F₁ hybrids induced by high water availability conditions, with CMS lines in this cytoplasm were grown in selective backgrounds - in the dry plots and in the plots with additional watering, and in the field under natural moisture supply. In majority of hybrid combinations, fertile plants were observed only with additional watering during the flowering period. F₁ hybrids with different CMS lines with 9E cytoplasm significantly differed in the degree of fertility restoration and response to water availability conditions. In the F₂ families, fertile plants predominated; in different hybrid combinations, ratio of restored and sterile plants corresponded to 3:1 or 13:3 segregations. Using selection in the drought conditions of fertile plants from the offspring of hybrids from crossing the CMS line 9E Pischevoe 614 with male-fertile revertants, two lines were obtained that were able to restore the fertility of F₁ hybrids in field conditions.

Ключевые слова: цитоплазматическая мужская стерильность, гены-восстановители фертильности, засуха, сорго

Key words: cytoplasmic male sterility, fertility restoring genes, drought, sorghum

Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) служит одним из наиболее эффективных инструментов генетики и селекции растений, позволяющим вскрывать особенности взаимодействия ядерных и цитоплазматических генов и использовать явление гетерозиса в промышленных масштабах. Как известно, ЦМС возникает в результате экспрессии определенных локусов митохондриального генома, нарушающих формирование нормально развитых пыльников, или фертильных пыльцевых зерен при отсутствии в ядерном геноме генов-восстановителей мужской фертильности [1, 2]. Поскольку митохондрии являются мишенями для окислительных стрессов [3, 4], тесное взаимодействие ядерных и митохондриальных генов в развитии мужской генеративной сферы у линий и гибридов с ЦМС нередко становится причиной их повышенной чувствительности к действию факторов внешней среды – температуры, почвенной или воздушной засухи. Такая чувствительность к факторам окружающей среды может приводить к нестабильности проявления мужской стерильности или восстановления фертильности и

быть существенной преградой для использования того или иного типа стерильной цитоплазмы в селекции. Влияние температуры на восстановление мужской фертильности описано у кукурузы с ЦМС-S и ЦМС-C типами стерильности [5-8], ЦМС-линий хлопчатника [9, 10], рапса с *nap*- и *pol*-типами ЦМС [11].

Сорго относится к числу важнейших сельскохозяйственных культур, у которых ЦМС широко используют в практических целях. В результате интенсивных исследований у сорго получено большое число разных типов ЦМС, различающихся по механизмам генетического контроля ЦМС и проявлению мужской стерильности [12]. Эти работы имеют большое значение, поскольку новые типы стерильных цитоплазм увеличивают спектр возможных гибридных комбинаций для создания гетерозисных гибридов.

Ранее в результате изучения генетики восстановления фертильности в некоторых типах стерильных цитоплазм сорго, общим свойством которых является нарушение механизма раскрытия пыльников (9E, A₄, M35-1A), мы выявили необычный характер экспрессии

мужской фертильности: гены-восстановители крайне нестабильно функционировали в разные сезоны в одних и тех же гибридных комбинациях F₁, но регулярно проявлялись в самоопыленном потомстве гибридов (F₂, F₃) и при этом слабо экспрессировались в беккроссах этих гибридов с материнскими ЦМС-линиями [13-15]. В ЦМС типа 9Е экспрессия генов-восстановителей в F₁ коррелировала с выпадением осадков и высоким уровнем влажности воздуха в период микроспорогенеза и цветения [13, 15]. Фертильность, индуцированная высоким уровнем влажности, стабильно наследовалась при самоопылении в течение многих поколений, проявляясь как при высоком уровне влагообеспеченности, так и при засухе [15]. MSAP-анализ (анализ амплификационного полиморфизма, чувствительного к метилированию) показал, что у стерильных и фертильных гибридов F₁, выращиваемых в условиях засухи и высокой влагообеспеченности, различается характер метилирования нуклеотидных последовательностей ряда генов (*Mub46*, *ADPG2*), контролирурующих микроспорогенез и раскрытие пыльников [15].

В настоящей работе приведены результаты экспериментов, свидетельствующие о возможности создания на основе полученных ревертантов линий-восстановителей фертильности ЦМС типа 9Е.

Методика. Использовали мужски-фертильные линии (F₅, F₆) в цитоплазме 9Е, созданные на основе реверсий у стерильных гибридов F₁ 9Е Желтозерное 10/КВВ-263, которые были индуцированы условиями высокой влажности воздуха в теплице или на делянке с дополнительным поливом [14, 15]. Тестирование восстановительной способности проводили на стабильных ЦМС-линиях 9Е Желтозерное 10 (9Е Ж10), 9Е Пищевое 614 (9Е П614), 9Е Тх398.

Исследуемые гибриды и родительские линии выращивали на опытном поле при естественном режиме влагообеспеченности, а также на двух селективных фонах: на делянке с дополнительным искусственным поливом, который проводили со стадии трубоквания (каждые 4-5 дней по 9-10 л/м²) («влажная делянка»), и на делянке – «засушнике», где устанавливали стресс засухи. Для этого на делянку в начале стадии трубоквания помещали конструкцию, изготовленную из прозрачного поликарбоната, предотвращавшую попадание атмосферных осадков на растения. Эти делянки были расположены на одном и том же поле на расстоянии 50 м друг от друга. Исследования проводили в 2014-2019 гг.

Для определения уровня мужской фертильности все растения перед цветением изолировали пергаментными изоляторами. В зависимости от уровня завязываемости семян растения классифицировали как стерильные (с) (0% семян), полустерильные (пс) (<40%, как правило, 10-20%) и фертильные (ф) (>40%, как правило, 80-100%). Значимость различия количества фертильных и стерильных растений в разных гибридных популяциях оценивали с помощью сравнения долей по методу Фишера [16]. Анализ расщеплений в популяциях F₂ проводили с использованием критерия χ², при этом осуществляли проверку гипотез моно- и дигенного контроля.

Результаты и обсуждение. Испытание гибридов F₁ на цитоплазме 9Е с семью фертильными линиями, полученными на основе ревертантов, при разных режимах влагообеспеченности показало, что несколько линий (№№28/13, 44/13, 74/13, 222/13) обладают способностью к передаче мужской фертильности через пыльцу (табл. 1). Однако тест-кроссы с многими линиями проявляли сильную зависимость от условий

Табл. 1. Проявление мужской фертильности в тест-кроссах фертильных растений из потомства ревертантов (поколение F₁) с ЦМС-линиями на цитоплазме 9Е (2014 г.)

Гибридная комбинация	Условия выращивания ¹	Число растений, шт.			Происхождение ревертантной линии
		ф	пс	с	
9Е Ж10 × 28/13	Поле	-	-	12	Пс-ревертант №23-212 из влажной делянки (F ₁ 9Е Ж10/КВВ-263)
	Вл	3	14	-	
	Зас	2	7	1	
9Е Тх398 × 28/13	Поле	-	2	5	
	Вл	12	-	-	
	Зас	8	3	-	
9Е Ж10 × 222/13	Поле	-	4	4	
	Вл	3	8	-	
9Е П614 × 222/13	Поле	-	-	9	
	Вл	-	4	1	
9Е П614 × 74/13	Поле	-	8	8	
9Е Тх398 × 74/13	Поле	4	3	1	
9Е Ж10 × 44/13	Поле	-	6	4	Реверсия в теплице у стерильного растения №3-201 из «засушника» (F ₁ 9Е Ж10/КВВ-263)
	Вл	-	4	8	
	Зас	-	1	12	
9Е П614 × 44/13	Поле	-	4	10	
	Вл	-	9	5	
9Е Тх398 × 44/13	Зас	-	12	2	
	Поле	5	6	-	
9Е П614 × 5/13	Вл	13	1	-	
	Зас	10	2	-	
9Е П614 × 6/13	Поле	-	-	6	
9Е П614 × 181/13	Поле	-	10	-	
9Е П614 × 54/13	Вл	-	4	8	Пс-ревертант №1-224 из влажной делянки (F ₁ 9Е Волжское 615/КВВ-263)
9Е П614 × 200/13	Поле	-	1	10	Пс-ревертант №2-224 из влажной делянки (F ₁ 9Е Волжское 615/КВВ-263)
9Е П614 × 16/13	Поле	-	-	12	
Всего по тест-кроссам с разными ЦМС-линиями (%)	Поле	-	3	20	
	Вл	34.6	42.3	23.1	
	Зас	78.3*	21.7	0	
9Е Тх398	Поле	0	39.0	61.0	
	Вл	15.0***	65.0	20.0***	
	Зас	8.7	34.8	56.5**	
9Е Ж10	Поле	0	26.1	73.9	
	Вл	0	73.9	26.1***	
	Зас	0	64.3	35.7	

¹Вл – влажная делянка, зас – «засушник».

* ** Значимо отличается от доли растений того же класса фертильности на влажной делянке (p<0.05, p<0.01) в соответствии с F-критерием.

*** Значимо отличается от доли растений того же класса фертильности в условиях опытного поля (p<0.001) в соответствии с F-критерием.

влагообеспеченности в период цветения: в полевых условиях тест-кроссные гибриды были стерильными или полустерильными, тогда как в условиях делянки с дополнительным поливом доля фертильных растений возрастала, а доля стерильных растений снижалась. В полевых условиях фертильные гибриды наблюдали только в тест-кроссах с ЦМС-линией 9Е Тх398, но не с линиями 9Е Пищевое 614 и 9Е Желтозерное 10. Следует отметить, что, с линией 9Е Пищевое 614 фертильных гибридов не было ни в одном варианте опыта. Таким образом, очевидно, что ядерные геномы разных ЦМС-линий по-разному взаимодействуют с генами-восстановителями ревертантов: линия 9Е Тх398 характеризуется наиболее легким восстановлением фертильности, тогда как линия 9Е Пищевое 614 – наиболее трудным. Гибриды с линией 9Е Пищевое 614 слабо реагировали на изменение условий влагообеспеченности. При этом линии-опылители были полностью фертильными как при выращивании на делянке с дополнительным поливом и в «засушнике», так и в полевых условиях.

Анализ расщепления в потомстве гибридов F₁ с ревертантами показал, что в поколении F₂ преобладают растения с полным или частичным восстановлением мужской фертильности, при этом доля стерильных растений в большинстве комбинаций соответствует моногенному расщеплению 3:1 (табл. 2). Идентичный характер расщепления отмечен у гибридов с разными ЦМС-линиями – 9Е Тх398 и 9Е Желтозерное 10. В то же время соотношение фертильных и стерильных растений в потомстве гибридов с ЦМС-линией 9Е Пи-

щевое 614 в большинстве случаев соответствовало расщеплению 13:3, указывавшему на наличие двух локусов, контролирующих восстановление мужской фертильности, взаимодействующих по типу эпистаза. По-видимому, в генотипе линии 9Е Пищевое 614 присутствует некоторый локус, оказывающий «стерилизующий» эффект, действие которого проявляется в частичном ингибировании экспрессии генов-восстановителей. Возможно, именно по этой причине в F₁ с этой линией во всех скрещиваниях наблюдали не фертильные, а полустерильные гибриды. Необходимо отметить также, что условия выращивания гибридов F₁ не влияли на характер расщепления в F₂: идентичные расщепления были в потомстве как полустерильных, так и фертильных гибридов F₁, выращенных и на делянке с дополнительным поливом, и в «засушнике». Однако условия выращивания семей F₂ в «засушнике» в некоторых случаях модифицировали характер расщепления, увеличивая число стерильных индивидуумов.

Эти данные подтверждают наше предположение о том, что «включенные» в F₁ под действием высокого уровня влагообеспеченности гены-восстановители фертильности функционируют в F₂ как доминантные гены [14, 15], причем такой характер экспрессии отмечен в условиях как высокой влагообеспеченности (делянка с дополнительным поливом), так и засухи («засушник»), естественный режим влагообеспеченности на опытном поле). Возможно, характер метилирования некоторых локусов, участвующих в генетическом контроле развития пыльников и фертильной пыльцы, устанавливаемый под действием режима влагообеспе-

Табл. 2. Расщепление в поколении F₂ у гибридов с ревертантными линиями (2015 г.)

Гибридная комбинация	Условия выращивания F ₁	Уровень фертильности гибрида F ₁	Условия выращивания F ₂	Число растений*, шт.			Соотношение (ф+пс): с	χ ²	Р
				ф	пс	с			
9Е Ж10 × №44/13	Вл	Пс (30%)	Вл	14	6	6	3:1	0.051	0.90-0.75
9Е П614 × №44/13	Вл	Пс (10%)	Поле	32	12	13	13:1	0.616	0.55-0.25
9Е Ж10 × №222/13	Вл	Ф (100%)	Поле	18	11	11	3:1	0.133	0.75-0.50
9Е П614 × №222/13	Вл	Пс (10%)	Поле	34	19	9	13:3	0.730	0.50-0.25
			Вл	17	15	6	13:3	0.219	0.75-0.50
			Зас ¹	17	8	9	13:3	1.330	0.25-0.10
9Е Ж10 × №28/13	Вл	Ф (60%)	Поле	9	10	5	3:1	0.222	0.75-0.50
9Е Ж10 × №28/13	Зас	Пс (20%)	Поле	19	2	6	3:1	0.111	0.75-0.50
9Е Тх398 × №28/13	Вл	Ф (100%)	Поле	36	8	11	3:1	0.733	0.50-0.25
9Е Тх398 × №28/13	Зас	Ф (100%)	Поле	32	12	15	3:1	0.006	>0.95
9Е П614 × №24/13	Поле	Пс (30%)	Вл	41	13	12	13:3	0.014	>0.95
			Зас	30	15	7	13:3	0.955	0.50-0.25
9Е Ж10 × №24/13	Поле	Пс (20%)	Вл	33	8	12	3:1	0.157	0.75-0.50
			Зас	9	8	14	3:1	6.720	0.01-0.005

Примечание. Вл – влажная делянка, зас – «засушник».

Табл. 3. Отбор восстановителей фертильности в потомстве гибридов от скрещивания ЦМС-линии на цитоплазме 9Е с фертильными линиями, созданными на основе ревертантов, индуцированных условиями высокой влагообеспеченности

Поколение	Самоопыление			Тест-кросс				
	семья, условия выращивания	число растений, шт.			гибридная комбинация	число растений, шт.		
		ф	пс	с		ф	пс	с
9Е Пищевое 614 × 222/13¹								
F ₁	190/14, вл	-	3	3				
F ₂	123/15, поле	34	19	9				
F ₃	25/16, поле	16	-	-				
F ₄	110/17, поле	12	-	-	9Е П614×25/16	8	2	4
F ₅	72/18, поле	18	-	-				
F ₆	96/19, поле	24	-	-	9Е П614×72/18	18	2	-
9Е Пищевое 614 × 24/13²								
F ₁	59/14, поле	-	3	6				
F ₂	211/15, вл	41	13	12				
F ₃	212/16, зас	-	2	4				
F ₄	208/17, поле	13	1	-	9Е П614×212/16	5	6	2
F ₇	195/19, поле	15	-	-	9Е П614×212/18	16	2	-

¹222/13 – фертильная линия (F₃) на основе полустерильного ревертанта №23-212/2008, выявленного в гибридной комбинации F₁ 9Е Ж10/КВВ-263 на делянке с искусственным поливом;

²24/13 – фертильная линия (F₃), полученная в результате отбора из потомства фертильного побега, развившегося в теплице у стерильного гибрида №19-212/2009 из гибридной комбинации F₁ 9Е Ж10/КВВ-263 в условиях «засушника» и пересаженной в теплицу.

ченности, как было показано ранее [15], наследуется при самоопылении и способствует их функционированию в следующих поколениях. Кроме того, наличие стерильных растений в семьях F₂ показывает, что в изученных гибридных комбинациях имеет место спорофитный механизм действия генов-восстановителей фертильности.

Учитывая невысокий уровень восстановления мужской фертильности в большинстве гибридных комбинаций F₁ в полевых условиях, была выдвинута гипотеза о необходимости проведения отбора на устойчивость экспрессии генов-восстановителей к действию стресса засухи. В связи с этим потомство гибридов F₁ от скрещивания ревертанта №222/13 с ЦМС-линией 9Е Пищевое 614, полученное в условиях поливной делянки и представляющее собой растения с частичной мужской фертильностью (20-30%), выращивали, начиная с F₂, в засушливых условиях опытного поля для отбо-

ра индивидуумов, которые могут нести генетические факторы, обуславливающие устойчивость мужской генеративной сферы к засухе. Из семьи F₃ (№25/16) было отобрано фертильное растение, которое в тестерном скрещивании с ЦМС-линией 9Е Пищевое 614 дало 57% фертильных гибридов (табл. 3). В результате самоопыления этого растения и отбора в полевых условиях фертильных индивидуумов была получена фертильная линия (F₆) (получившая наименование «Триггер»), которая в тестерном скрещивании с ЦМС-линией 9Е Пищевое 614 дала 90% фертильных гибридов. При этом микроспорогенез и цветение растений тест-кросса 9Е П614 × 72/18 проходило в достаточно засушливых условиях (4.6 мм осадков), что свидетельствует об устойчивости экспрессии генов-восстановителей отцовской линии (№72/18) к условиям засухи.

Аналогично проведена работа с гибридной комбинацией 9Е П614 × 24/13, полученной с другой фертильной линией ревертантного происхождения – №24/13 (табл. 1). Гибрид F₁ (№59/14) с этой линией, выращенный в полевых условиях, дал полустерильные растения (табл. 3). Поколение F₂ выращивали на делянке с дополнительным поливом, тогда как поколение F₃ – в условиях засухи. Растения из поколений F₃ и F₆ были протестированы на способность к восстановлению фертильности гибридов F₁ с ЦМС-линией 9Е Пищевое 614. Тест-кросс с поколением F₃ дал 38,5% фертильных гибридов, тогда как тест-кросс с поколением F₆ – 89% фертильных гибридов.

Таким образом, с помощью отбора фертильных растений в условиях засухи в потомстве гибрида от скрещивания ЦМС-линии на цитоплазме 9Е и мужски-фертильного ревертанта, индуцированного высокой влагообеспеченностью, получены линии-восстановители мужской фертильности, способные к восстановлению фертильности гибридов F₁ на данной цитоплазме при низком уровне влагообеспеченности – главного фактора, лимитирующего восстановление фертильности в ЦМС типа 9Е у сорго. Результаты исследований показывают, что эпигенетические изменения, вызванные действием фактора внешней среды, могут способствовать отбору генетических вариантов, проявляющих устойчивость к данному фактору.

Литература

1. Chen L., Liu Y.-G. Male sterility and fertility restoration in crops // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2014. – V. 65. – P. 579–606.
2. Bohra A., Jha U.C., Adhimoalam P., Bisht D., Singh N.P. Cytoplasmic male sterility (CMS) in hybrid breeding in field crops // *Plant Cell Repts.* – 2016. – V. 35. – P. 967-993. doi: 10.1007/s00299-016-1949-3
3. Jacoby R.P., Li L., Huang S., Lee C.P., Millar A.H., Taylor N.L. Mitochondrial composition, function and stress response in plants // *J. Integr. Plant Biol.* – 2012. – V. 54. – P. 887-906. doi: 10.1111/j.1744-7909.2012.01177.x
4. Liberator K.L., Dukowic-Schulze S., Miller M.E., Chen C., Kianian S.F. The role of mitochondria in plant development and stress tolerance // *Free Radical Biology and Medicine.* – 2016. – V. 100. – P. 238-256.
5. Tracy W.F., Everett H.L., Gracen V.E. Inheritance, environmental effects and partial male fertility in C-type CMS in a maize inbred // *J. Heredity.* – 1991. – V. 82. – P. 343-346.
6. Gabay-Laughnan S., Kuzmin E.V., Monroe J., Roark L., Newton K.J. Characterization of a novel thermo-

- sensitive restorer of fertility for cytoplasmic male sterility in maize // Genetics. – 2009. – V. 182. – P. 91-103.*
7. Weider C., Stamp P., Christov N., Hüsken A., Foueillassar X., Camp K.-H., Munsch M. *Stability of cytoplasmic male sterility in maize under different environmental conditions // Crop Sci. – 2009. – V. 49. – P. 77-84.*
 8. Bückmann H., Thiele K., Schiemann J. *Influence of soil moisture and air temperature on the stability of cytoplasmic male sterility (CMS) in maize (Zea mays L.) // Agricult. Sci. – 2016. – V. 7. – P. 70-81. doi: 10.4236/as.2016.72007*
 9. Sarvella P. *Environmental influences on sterility in cytoplasmic male-sterile cottons // Crop Science. – 1966. – V. 6. – P. 361-364.*
 10. Marshall D.R., Thomson N.J., Nicholls G.H., Patrick C.M. *Effects of temperature and day-length on cytoplasmic male sterility in cotton (Gossypium) // Australian J. Agric. Res. – 1974. – V. 25. – P. 443-447.*
 11. Fan Z.G., Stefansson B.R. *Influence of temperature on sterility of 2 cytoplasmic male-sterility systems in rape (Brassica napus L.) // Canadian J. Plant Sci. – 1986. – V. 66. – P. 221-227.*
 12. Reddy B.V.S., Ramesh S., Ortiz R. *Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in Sorghum // Plant Breeding Reviews, Vol. 25. J. Janik (Ed.) – Hoboken, New Jersey: Willey & Sons, Inc. 2005. – P.139-169.*
 13. Elkonin L.A., Kozhemyakin V.V., Ishin A.G. *Influence of water availability on fertility restoration of CMS lines with the 'M35', A4 and '9E' CMS-inducing cytoplasm of sorghum // Plant Breeding. – 2005. – V. 134. – P. 565–571.*
 14. Elkonin L.A., Tsvetova M.I. *Heritable effect of plant water availability conditions on restoration of male fertility in the "9E" CMS-inducing cytoplasm of sorghum // Front. Plant Sci. – 2012. – V. 3. – 91. doi: 10.3389/fpls.2012.00091*
 15. Elkonin L.A., Gerashchenkov G.A., Domanina I.V., Rozhnova N.A. *Inheritance of reversions to male fertility in male-sterile sorghum hybrids in the '9E' cytoplasm induced by environmental conditions // Rus. J. Genet. – 2015. – V. 51. – P. 251-261.*
 16. Лакин Г.Ф. *Биометрия. – М.: Высш. школа, 1990. – 352 с.*

**Поступила в редакцию 01.07.20
Принята к публикации 15.07.20**

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ ЯБЛОНИ ВО ВСЕРОССИЙСКОМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ СЕЛЕКЦИИ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

Е.Н. Седов, академик РАН,
Т.В. Янчук, С.А. Корнеева, кандидаты сельскохозяйственных наук

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур.
302530. Орловская область, Орловский район, Жилина
E-mail:sedov@vniispk.ru

За более чем 60 лет селекционной работы с яблоней создано и включено в Госреестр 54 сорта разных сроков созревания. За этот период значительно возросли требования к новым сортам, совершенствовались методы их создания. На начальном этапе селекции использовали традиционные методы – повторную гибридизацию и географически отдаленные скрещивания, в результате создано 17 районированных сортов. Затем получены иммунные к парше сорта (более 20), в том числе первый отечественный сорт Имрус (иммунный русский). Впервые в России и мире создана серия триплоидных сортов, характеризующихся высокой товарностью плодов, большей регулярностью плодоношения и частичной самоплодностью. В связи с интенсификацией садоводства актуальным становится создание колонновидных сортов яблони, позволяющих за счет сверхплотной посадки получать быстрые высокие урожаи. Особую ценность представляют триплоидные и колонновидные сорта, обладающие иммунитетом к парше. Стратегически важная задача ученых – в течение 3-5 лет создать триплоидные сорта, обладающие колонновидностью и иммунитетом к парше. Эти сорта будут отличаться высокой скороплодностью, что сгладит периодичность плодоношения, увеличит урожайность и товарность плодов, сделает их более чистыми в медицинском отношении и оздоровит экологическую обстановку в саду и его окрестностях.

STAGES, METHODS AND RESULTS OF APPLE BREEDING AT THE RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF FRUIT CROP BREEDING

Sedov E.N., Yanchuk T.V., Kornryeva S.A.

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding.
302530, Orlovskaya oblast, Orlovskiy rayon, Zhilina
E-mail:sedov@vniispk.ru

For more than 60-year period of apple breeding, 54 apple cultivars of different dates of fruit maturation have been developed and included in the State register. Over a long period of work, the requirements for new cultivars have significantly increased, and methods for creating new cultivars have been improved. Traditional methods of selection i.e. repeated hybridization and geographically remote crosses were used at the first stage of selection. The total result of this period is 17 zoned cultivars. At the next stage, the scab-immune cultivars (more than 20) were created, including the first domestic scab-immune cultivar Imrus (immune Russian). For the first time in Russia and round the world, a series of triploid apple cultivars has been developed that are characterized by high marketability of fruit, more regular fruiting and partial autogamy. In connection with the intensification of horticulture it becomes relevant to create columnar apple cultivars that allow to get fast high yields due to super dense planting. Triploid and columnar cultivars having immunity to scab are of special value. A large interdisciplinary team of the Institute has a strategic task to create triploid cultivars that have columnar shape and immunity to scab. There is confidence that cultivars with such qualities will appear in three to five years. These cultivars will have a high rate of fertility, smooth out the periodicity of fruiting, increase productivity and marketability of fruits, make them more organic and improve the environmental situation in the garden and its surroundings.

Ключевые слова: яблоня, селекция, сорта, полиплоидия, иммунитет к парше, колонновидность

Key words: apple, breeding, cultivars, polyploidy, scab immunity, columnar habit of trees

В 2020 г. исполняется 175 лет старейшему помологическому и селекционному учреждению – Всероссийскому научно-исследовательскому институту селекции плодовых культур (ВНИИСПК). Целенаправленная крупномасштабная работа по селекции яблони ведется коллективом института 65 лет. За этот период были использованы многие методы селекции. Создано около 80 сортов, из которых 54 включено в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию (районировано).

Методика. При проведении селекционной работы с яблоней руководствовались общепринятыми программами и методиками [1-3].

Результаты и обсуждение. На первом этапе работы (с 1956 до 1970 г.) использовали традиционные методы – повторную гибридизацию и географически отдаленные скрещивания. Повторная гибридизация предусматривает улучшение имеющегося сорта за счет другого сорта – донора недостающего качества у пер-

вого. В садах института (ранее Орловской зональной плодово-ягодной станции) находилась богатая коллекция зарубежных сортов из США. В 1929 г. Всесоюзный институт растениеводства (ВИР) выписал 45 тыс. черенков американских сортов яблони. Черенки были распределены по хозяйствам и опытным учреждениям Советского Союза с целью испытания сортов в различных почвенно-климатических зонах. Самая крупная коллекция из 23 американских сортов была направлена в совхоз «Плещеево» Орловской области (ныне территория ВНИИСПК) и в Орловский помологический рассадник (до недавнего времени отделение «Ботаника» института). Это черенки следующих сортов: Джонатан, Вайнсеп, Уэлси, Мекинтош, Болдуин, Банан зимний, Норзенспай, Старк, Губбардстон, Золото Грайма, Вагнер, Делишес, Гено, Зеленка айлендская, Графенштейнское, Бен-Девис, Феймьюз, Томкин-Кинг, Кортланд, Роксбери Рассет, Йелоу Ньютон, Ром Бьюти, Стейман. Впоследствии из всех сортов в

Табл. 1. Краткая характеристика сортов яблони, созданных от повторной гибридизации и географически отдаленных скрещиваний

№ п/п	Сорт и его происхождение	Срок созревания	Лежкость плодов	Масса плодов, г	Внешний вид плодов, балл	Вкус плодов, балл	Год приема на ГСИ	Год включения в Госреестр
1.	Ветеран (Кинг – свободное опыление)	зи	До середины марта	130	4,4	4,4	1980	1989
2.	Желанное (Мекинтош – свободное опыление)	пл	До середины сентября	140	4,6	4,4	2000	2002
3.	Зарянка (Антоновка краснобочка x SR0523)	ос	До декабря	130	4,3	4,3	1998	1999
4.	Куликовское (Кинг – свободное опыление)	зи	До конца марта	125	4,4	4,2	1984	1997
5.	Морозовское (Антоновка обыкновенная x Мекинтош)	зи	До конца января	160	4,7	4,3	2000	2011
6.	Олимпийское (Мекинтош – свободное опыление)	зи	До февраля	130	4,3	4,2	1979	1999
7.	Орлик (Мекинтош x Бессемянка мичуринская)	зи	До февраля	120	4,4	4,5	1970	1986
8.	Орлинка (Старк Эрлиест x Первый салют)	ле	До второй декады сентября	140	4,3	4,3	1994	2001
9.	Орловим (Антоновка обыкновенная x SR0523)	ле	До середины сентября	130	4,4	4,5	1989	1999
10.	Орловская заря (Мекинтош x Бессемянка мичуринская)	зи	До конца января	135	4,6	4,5	1987	2002
11.	Орловский пионер (Антоновка краснобочка x SR0523)	ос	До конца октября	140	4,3	4,3	1989	1999
12.	Орловское полосатое (Мекинтош x Веснянка мичуринская)	по	До конца декабря	150	4,6	4,3	1970	1986
13.	Память воину (Уэлси x Антоновка обыкновенная)	зи	До конца января	140	4,4	4,5	1979	1997
14.	Память Исаева (Антоновка краснобочка x SR0523)	по	До середины сентября	150	4,5	4,3	1992	2008
15.	Пепин орловский (Пепин шафранный-свободное опыление)	зи	До середины января	180	4,5	4,3	1983	2001
16.	Радость Надежды (Уэлси – свободное опыление)	зи	До октября	150	4,4	4,3	2006	2011
17.	Раннее алое (Мелба x Папировка)	ле	До середины сентября	130	4,5	4,4	1997	1998
НСР _{0,5}				10,6				
Примечание: зи – зимний; ос – осенний; по – позднесенний; ле – летний; пл – позднелетний.								

сортимент средней полосы России вошли сорта Уэлси и Мекинтош, в сортимент юга России – Джонатан. Большинство американских сортов характеризовались высокими товарными и вкусовыми качествами и представляли интерес как исходные формы при географически отдаленных скрещиваниях. На первом этапе селекционной работы с яблоней в качестве одного из родителей использовали иностранные сорта Кинг, Старк Эрлиест и другие, в качестве второго родителя – хорошо адаптированные к местным условиям сорта народной селекции: Антоновка обыкновенная, Антоновка краснобочка и Папировка, а также мичуринский сорт Бессемянка мичуринская. От этих скрещиваний получены и районированы сорта Ветеран, Желанное, Куликовское, Морозовское, Орлик, Орловская заря, Орловское полосатое, Память воину, Радость Надежды, Раннее алое. Наибольшее распространение в промышленных и любительских садах получили сорта Ветеран, Орлик, Орловское полосатое, Память воину [4]. Краткая характеристика созданных сортов представлена в табл. 1.

Пионерами в создании иммунных к парше сортов яблони являются американские ученые. В 40-50-е годы прошлого столетия ученые трех университетов США: Purdue (штат Индиана), Rutgers (Нью Джерси) и Уни-

верситет в штате Иллинойс начали работу по созданию иммунных сортов яблони. Во ВНИИСПК селекция таких сортов начата в 1976 г. Большой вклад в теорию и практику отбора иммунных к парше сортов и сеянцев яблони на генетической основе внес В.В. Жданов [5] – соавтор первых в России иммунных к парше сортов яблони. К настоящему времени во ВНИИСПК создано и включено в Госреестр селекционных достижений 15 иммунных к парше диплоидных сортов (табл. 2). Наибольшее распространение в производственных и любительских садах получили сорта Имрус (первый отечественный зимний, иммунный к парше), Афродита, Болотовское, Веньяминовское, Кандиль орловский, Свежесть (плоды могут сохраняться до мая). Внедрение этих и других иммунных к парше сортов сокращает число опрыскиваний, а, следовательно, затраты, способствует производству более чистой в санитарном отношении плодовой продукции и оздоравливает экологическую обстановку в саду и его окрестностях.

Большую и результативную работу по созданию иммунных к парше сортов яблони проводят также в России в ФНЦ им. И. В. Мичурина (г. Мичуринск) и СКФНЦСВиВ (Краснодар) [6-9].

История селекции яблони на полиплоидном уровне связана с работой шведских ученых: Nilson-Éhle,

Табл. 2. Краткая характеристика иммунных к парше диплоидных сортов яблони селекции ВНИИСПК

№ п/п	Сорт и его происхождение	Срок созревания	Лежкость плодов	Масса плодов, г	Внешний вид плодов, балл	Вкус плодов, балл	Год приема на ГСИ	Год включения в Госреестр
1.	Афродита (814 – свободное опыление)	рз*	До конца декабря	130	4,4	4,4	1998	2006
2.	Болотовское (Скрыжаль х 1924)	зи	До февраля	150	4,3	4,3	1993	2001
3.	Веняминовское (814 – свободное опыление)	зи	До конца февраля	130	4,4	4,4	1997	2001
4.	Здоровье (Антоновка обыкновенная х OR4847)	зи	До середины февраля	140	4,3	4,3	2000	2001
5.	Ивановское (Уэлси х Прима)	зи	До середины февраля	150	4,4	4,4	2006	2010
6.	Имрус (Антоновка обыкновенная х OR18T13)	зи	До середины февраля	140	4,3	4,4	1989	1996
7.	Кандиль орловский (1924 – свободное опыление)	зи	До февраля	120	4,4	4,3	1991	2001
8.	Курнаковское (814 х ПА-29-1-1-63)	зи	До середины февраля	130	4,3	4,3	1996	2002
9.	Орловское полесье (814 – свободное опыление)	рз	До середины января	140	4,4	4,3	1997	2001
10.	Памяти Хитрово х OR18T13)	зи	До конца февраля	170	4,3	4,3	2001	2001
11.	Свежесть (Антоновка краснобочка х PR12T67)	пз*	До мая	140	4,3	4,2	1995	2001
12.	Солнышко (814 – свободное опыление)	по	До декабря	140	4,4	4,3	1997	2001
13.	Старт (814 х Мекинтош тетраплоидный)	зи	До конца февраля	140	4,3	4,3	1957	2002
14.	Строевское (814 – свободное опыление)	зи	До конца февраля	120	4,5	4,4	1997	2001
15.	Юбилей Москвы (814 – свободное опыление)	зи	До конца февраля	120	4,3	4,3	1997	2002
НСР _{0,5}				8,7				
Примечание см. табл. 1; рз – раннезимний; пз – позднезимний.								

1944; Einset, 1947; Dermen, 1951 [10-12], которые отметили преимущество триплоидных сортов, полученных спонтанно, перед диплоидными. Было установлено, что триплоидные сорта характеризуются меньшей периодичностью плодоношения по годам, более крупными и товарными плодами и повышенной самофертильностью. Целый ряд триплоидных сортов яблони, возникших спонтанно, имели промышленное значение в США: Болдуин, Боскопская красавица, Графенштейнское, Джонагольд и другие. При скрещивании диплоидных сортов между собой можно получать до 0,3% триплоидных семян, а тетраплоидных (4х) и диплоидных (2х) – большее их количество. Однако работы по массовому получению триплоидных семян с целью выделения сортов не были продолжены, и триплоидный сорт от таких скрещиваний не выведен.

В институте к разработке метода селекции на полиплоидном уровне и созданию новых триплоидных сортов яблони приступили в 1970 г. В этих исследованиях Г.А. Седышева осуществляла цитологический контроль при селекции яблони на полиплоидном уровне и изучала эффективность интервалентных скрещиваний яблони с целью создания новых сортов [13-16].

На основании цитологических и полевых исследований было установлено, что в качестве доноров диплоидных гамет можно использовать не все тетрапло-

идные сорта и формы, а лишь гомогенные, у которых все слои соматических клеток тетраплоиды – 4х: Мекинтош тетраплоидный – 4х, Мельба тетраплоидная – 4х, Альфа – 4х и сеянцы селекции ВНИИСПК 13-6-106 (Суворовец – свободное опыление – 4х, 25-37-35 (Уэлси тетраплоидный – свободное опыление) – 4х. В качестве доноров диплоидных гамет пригодны также диплоидно-тетраплоидные химеры 1-го типа: Антоновка плоская 2-4-4-4х, Папировка тетраплоидная 2-4-4-4х, Уэлси тетраплоидный 2-4-4-4 и др. Наиболее эффективны скрещивания типа диплоид х тетраплоид, а не тетраплоид х диплоид. Скрещивание типа 4х х 2х возможно только при кастрации цветков у материнской тетраплоидной формы, которая, как правило, обладает высокой самоплодностью.

Триплоидное потомство яблони получить значительно труднее, чем диплоидное (от скрещиваний типа 2х х 2х) потому, что от скрещивания диплоидных сортов с тетраплоидными сортами или формами в гибридном потомстве триплоидных семян бывает от 40 до 80%. Разработанная нами методика получения триплоидных семян и сортов учитывает все эти особенности.

Используя эту методику с 1970 по 2019 г. был создан большой гибридный фонд для получения триплоидных сортов. Для этого было опылено более 744 тыс.

Табл. 3. Краткая характеристика триплоидных сортов яблони с полевой устойчивостью к парше

№ п/п	Сорт и его происхождение	Срок созревания	Лежкость плодов	Масса плодов, г	Внешний вид плодов, балл	Вкус плодов, балл	Год приема на ГСИ	Год включения в Госреестр
1.	Августа (Орлик х Папировка тетраплоидная)	пл	До конца сентября	160	4,4	4,4	2002	2008
2.	Академик Савельев [Веньяминовское х 25-35-144 (Уэлси тетраплоидный х Папировка тетраплоидная)]	зи	До конца февраля	160	4,4	4,3	2017	-
3.	Бежин луг (Северный синап х Уэлси тетраплоидный)	зи	До февраля	150	4,4	4,3	2002	2010
4.	Благодать [23-20-74 (814 – свободное опыление) х Сжаент Спай]	зи	До середины марта	200	4,4	4,3	2009	-
5.	Дарёна (Мелба х Папировка тетраплоидная)	ле	До конца сентября	170	4,5	4,3	2002	2011
6.	День Победы (Ветеран х Хоркоут)	зи	До середины марта	140	4,3	4,2	2016	-
7.	Министр Киселев (Чистотел х Уэлси тетраплоидный)	зи	До середины марта	170	4,4	4,4	2011	2017
8.	Низкорослое (Скрыжаль х Пепин шафранный)	зи	До конца февраля	130	4,3	4,2	1983	1997
9.	Орловский партизан [Орлик х 13-6-106 (Сеянец суворовца)]	зи	До середины февраля	190	4,4	4,4	2008	2010
10.	Осиповское (Мантет х Папировка тетраплоидная)	ле	До середины сентября	130	4,4	4,4	2011	2013
11.	Память Семакину [Уэлси х 11-24-28 (Сеянец Голден Грайма)]	рз	До конца декабря	160	4,5	4,3	1994	2008
12.	Патриот [16-37-63 (Антоновка краснобочка х SR0523) х 13-6-106 (Сеянец Суворовца)]	зи	До начала февраля	240	4,5	4,3	2020	2013
13.	Синап орловский (Северный синап х Память Мичурина)	пз	До конца апреля	150	4,3	4,4	1979	1989
14.	Тренер Петров [18-53-22 (Скрыжаль х OR18T13) х Уэлси тетраплоидный]	зи	До марта	170	4,4	4,3	2010	-
HCP _{0,5}				21,4				
Примечание см. табл. 1, 2.								

Табл. 4. Краткая характеристика триплоидных сортов яблони с иммунитетом к парше

№ п/п	Сорт и его происхождение	Срок созревания	Лежкость плодов	Масса плодов, г	Внешний вид плодов, балл	Вкус плодов, балл	Год приема на ГСИ	Год включения в Госреестр
1.	Александр Бойко (Прима х Уэлси тетраплоидный)	зи	До второй декады марта	200	4,4	4,3	2010	2013
2.	Вавиловское [18-53-22 (Скрыжаль х OR18T13 х Уэлси тетраплоидный)]	зи	До начала марта	170	4,6	4,3	2013	2015
3.	Марс [23-12-78 (814 – свободное опыление) х 13-6-106 (С-ц Суворовца)]	зи	До середины марта	180	4,5	4,4	2017	-
4.	Масловское (Редфри х Папировка тетраплоидная)	ле	До конца сентября	220	4,3	4,3	2005	2010
5.	Праздничное (Прима х Джаент Спай)	зи	До середины января	150	4,3	4,2	2013	-
6.	Рождественское (Уэлси х ВМ41497)	зи	До конца марта	140	4,4	4,3	2000	2001
7.	Юбиляр (814 – свободное опыление)	ле	До конца сентября	130	4,4	4,3	1995	2009
8.	Яблочный Спас (Редфри х Папировка тетраплоидная)	ле	До конца сентября	200	4,4	4,3	2004	2009
HCP _{0,5}				26,3				
Примечание см. табл. 1.								

цветков, выращено 63,1 тыс. однолетних сеянцев, после браковки перенесено в селекционный сад 14,1 тыс. Многолетняя масштабная работа позволила впервые в России и мире создать серию триплоидных сортов от интервалентных скрещиваний типа 2х х 4х. За бо-

лее чем 50 лет создано 14 триплоидных сортов с полевой устойчивостью к парше, из которых 10 сортов включено в Госреестр, а 4 проходят государственное испытание (табл. 3). Наибольшее распространение в садах получил зимний сорт Синап орловский от скре-

щивания двух диплоидных сортов Северный синап и Память Мичурина в результате отсутствия редукции гамет у одного из родителей. Производственную высокую оценку получают также зимний сорт Бежин луг и летний сорт Августа.

Особую ценность представляют триплоидные сорта, обладающие иммунитетом к парше (табл. 4). Так, быстрое распространение в промышленных и любительских садах получает зимний сорт Рождественское. Высокую оценку садоводы дают также зимнему сорту Вавиловское за красивые и довольно лежкие плоды (до марта).

Колонновидные сорта яблони дают возможность увеличить урожайность садов в разы. Созданы колонновидные сорта, отвечающие основным требованиям производства. Преимущество колонновидных сортов состоит в их скороплодности, продуктивности, удобстве в уходе. Серьезные задачи стоят перед садоводами по разработке технологий их возделывания. Инициаторами селекции колонновидных сортов в России стали В.В. Кичина (ВСТИСП) [17] и М.В. Качалкин (Опытно-селекционный питомник) [18]. Показана экономическая эффективность их выращивания [19].

Работа по селекции колонновидных сортов яблони начата во ВНИИСПК в 1984 г. Создано 7 зимних колонновидных сортов, из которых 5 включено в Госреестр (районировано): Приокское, Поэзия, Восторг, Орловская Есения, Гирлянда, Созвездие и Звезда эфира, характеристика которых представлена в работе [20]. Сорта Созвездие и Звезда эфира проходят государственное испытание. Задачей становится создание колонновидных сортов с более продолжительной лежкостью плодов.

Таким образом, за 65 лет во ВНИИСПК выполнена следующая селекционная работа по яблоне:

- создано и районировано 17 сортов от повторной гибридизации и географически отдаленных скрещиваний;
- создано 15 иммунных к парше диплоидных сортов, в том числе первый отечественный иммунный сорт Имрус.

- впервые в России и мире создано и районировано 10 триплоидных сортов яблони с полевой устойчивостью к парше и 6 триплоидных сортов с иммунитетом к парше.

- создано и районировано 5 колонновидных сортов яблони.

Многие сорта (Августа, Болотовское, Веньяминовское, Ветеран, Имрус, Кандиль орловский, Масловское, Орлик, Орловское полосатое, Приокское, Рождественское, Свежесть, Синап орловский, Яблочный Спас и др.) занимают большие площади в промышленных садах России. Задача ученых ВНИИСПК – создать триплоидные сорта, обладающие иммунитетом к парше и колонновидностью.

Литература

1. Программа и методика селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: ВНИИСПК, 1995. – 504 с.
2. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – 608 с.

3. Комплексная программа по селекции семечковых культур в России на 2001-2020 гг. – Орел: ВНИИСПК, 2003. – 32 с.
4. Седов Е.Н., Красова Н.Г., Янчук Т.В., Корнеева С.А., Галашева А.М. Роль сортов яблони народной селекции как исходных форм в совершенствовании сортимента. – Орел: ВНИИСПК, 2020. – 56 с.
5. Жданов В.В., Седов Е.Н. Селекция яблони на устойчивость к парше. – Тула: Приокское кн. изд-во. 1991. – 208 с.
6. Савельев Н.И., Савельева Н.Н., Юшков А.Н. Перспективные иммунные к парше сорта яблони. – Мичуринск-научкоград РФ, 2009. – 128 с.
7. Савельева А.М. Биологические и генетические особенности яблони и селекция иммунных к парше и колонновидных сортов. – Мичуринск-научкоград РФ, 2016. – 280 с.
8. Ульяновская Е.В., Шадрин Ж.А. Эффективность возделывания иммунных к парше сортов яблони в южной зоне садоводства. // Садоводство и виноградарство. – 2014. – N 3 – С. 23-26.
9. Ульяновская Е.В., Гордеева Г.В. Новые сорта и элитные формы яблони с олигогенным и полигенным типом устойчивости к парше // Научные труды СКЗНИИСиВ. – Краснодар, 2016. – Т. 9. – С. 52-58.
10. Nilsson-Ehle H. Some new information about tetraploid apple varieties and use and role in the breeding of fruit trees // Sverig. pomol. Toren Arsskr., 1944. – P. 229-237.
11. Einset. J. Apple breeding enters a new era // Fm. Res. – 1947. – 13(2). P. – 5.
12. Dermen H. Tetraploid and diploid adventitious shoots from a giant sport of McIntosh apple // J. Hered. – 1951. – 42. – P.144-149.
13. Седов Е.Н., Серова З.М., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Триплоидные сорта яблони селекции ВНИИСПК для совершенствования сортимента. – Орел: ВНИИСПК, 2019. – 28 с.
14. Седышева Г.А., Седов Е.Н. Полиплоидия и селекция яблони. – Орел: ВНИИСПК, 1994. – 212 с.
15. Седышева Г.А., Седов Е.Н., Горбачева Н.Г., Серова З.М., Ожерельева З.Е. Новый донор селекционно значимых признаков для создания триплоидных. адаптивных, высококачественных сортов яблони // Садоводство и виноградарство. – 2013. – N 1. – С. 13-18.
16. Седышева Г.А., Седов Е.Н., Горбачева Н.Г., Серова З.М., Мельник С.А. Цитологический контроль в селекции яблони на полиплоидном уровне // Достижения науки и техники в АПК. – 2013. – N 7. – С.11-13.
17. Кичина В.В. Колонновидные яблони. Все о яблоках колонновидного типа. – М., 2006. – 162 с.
18. Качалкин М.В. Яблоня 21 века (Колонны, которые плодоносят). – М., 2013. – 64 с.
19. Савельев Н.И., Савельева Н.Н., Савельева И.Н. Экономическая эффективность выращивания колонновидных сортов яблони // Адаптивный потенциал и качество продукции садов; материалы международной науч.-практ. конф. – Орел: ВНИИСПК, 2012. – С. 212-214.
20. Седов Е.Н., Корнеева С.А., Серова З.М. Колонновидная яблоня в интенсивном саду. – Орел: ВНИИСПК, 2013. – 64 с.

Поступила в редакцию 08.04.20
Принята к публикации 15.04.20

Защита растений

УДК 633.16 : 632.4 : 632.938.1

DOI:10.31857/S2500262720050075

УСТОЙЧИВОСТЬ К ЧЕРНОЙ ГОЛОВНЕ СОРТОВ И КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ДВУРЯДНОГО ЯЧМЕНЯ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.В. Мешкова,¹ кандидат биологических наук,
Л.Я. Плотникова,² доктор биологических наук, О.Б. Сабаяева¹¹Омский аграрный научный центр, 644012, Омск, пр. Королева, 26²Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 644008, Омск, Институтская пл., 1
E-mail: lplotnikova2010@yandex.ru

Черная головня, вызываемая грибом *Ustilago nigra* Тарке, наносит существенный ущерб посевам ячменя в России. Целью работы была оценка устойчивости к заболечиванию сортов ярового двурядного ячменя селекции Омского аграрного научного центра и образцов из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова в Западной Сибири. Оценку развития болезни проводили в полевых условиях в 2016–2019 гг. по общепринятым методикам. Перед посевом осуществляли искусственную инокуляцию семян телиоспорами *U. nigra*. Поражение сортов значительно варьировало, что определялось контрастными погодными условиями в критические для заражения растений периоды. Стабильную устойчивость к черной головне сохранили сорта Омский 91 и Саша, а поражение других сортов омской селекции возрастало. Коллекционные образцы российской и западноевропейской селекции проявляли высокую устойчивость к головне, если заражение происходило в благоприятных или засушливых условиях с высокими температурами. Украинские и латвийские сорта были устойчивы к инфицированию в холодную влажную погоду. Высокая резистентность в контрастных условиях отмечена у сортов Ворсинский 2, Ясный, Вакула, Задел 3, Ястреб, Инклюзив, Взирець. Лучшим сочетанием устойчивости к болезни и урожайности обладали сорта Ворсинский 2, Зерноградский 770, Вакула, Взирець, Инклюзив. Эти сорта ячменя перспективны для использования в качестве источников устойчивости к черной головне в Западной Сибири.

RESISTANCE OF TWO-ROWED BARLEY CULTIVARS AND COLLECTION ACCESSIONS TO BLACK LOOSE SMUT IN WESTERN SIBERIA

Meshkova L.V.¹, Plotnikova L.Ya.², Sabaeva O.B.¹¹Omsk Agricultural Scientific Center, 644012, Omsk, pr. Koroleva, 26²Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 644008, Omsk, Institutskaya pl., 1
E-mail: lplotnikova2010@yandex.ru

Black loose smut caused by the fungus *Ustilago nigra* Tarpe causes significant damage to barley crops in Russia. The aim of the work was to estimate the black smut resistance of spring double-row barley varieties created by the Omsk Agrarian Research Center and samples from the Collection of N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) in Western Siberia. Estimations of cultivars was accomplished in the field in 2016–2019 according to common methods. The artificial inoculation of seeds with *U. nigra* teliospores was carried out before sowing. Cultivar damages significantly varied which was due to contrasting weather conditions during critical the periods for plant infection. Stable resistance to disease showed cvs. Omskiy 91 and Sasha but the injuries of other cultivars of Omsk breeding was increased. Collection cultivars of Russian and Western European breeding showed high resistance to black smut in favorable conditions for infection, as well as in drought with high temperatures. Ukrainian and Latvian cultivars showed high resistance when infected in conditions of high humidity and low temperature. The Vorsinsky 2, Yasny, Vakula, Zadel 3, Yastreb, Inklusiv, and Vzirec, cvs. demonstrated high resistance under contrasting conditions. The best combination of resistance to disease and yield was showed by Vorsinsky 2, Zernogradsky 770, Vakula, Vzirets, Inclusive cvs. These varieties are promising to be used as sources of black smut resistance for barley breeding in Western Siberia.

Ключевые слова: ячмень, черная головня, устойчивость, коллекция ВИР, Западная Сибирь

Key words: barley, black loose smut, resistance, VIR Collection, Western Siberia

Ячмень посевной *Hordeum sativum* Jess. относится к наиболее распространенным зерновым злакам в мире. Благодаря особенностям биохимического состава зерна он представляет собой ценную фуражную и крупяную культуру [1]. При развитии головневых болезней наблюдается явный ущерб, вызванный разрушением зерен колоса, а также скрытый, связанный с угнетением растений, снижением их продуктивной кустистости и массы 1000 зерен, ухудшением качества зерна. Ущерб от головневых болезней ячменя в регионах России оценивается в 10–15% урожая, а при сильном поражении достигает 30% [2, 3].

Ячмень поражают три вида головни: каменная, пыльная и черная (ложная пыльная), вызываемые грибами *Ustilago hordei* (Pers.) Kell. et Sw., *U. nuda* (Jens.) Kell. et Sw и *U. nigra* Тарке соответственно. Симптомы пыльной и черной головни схожи: на месте семян образуются сорусы, расплывающие споры гриба. Однако, если *U. nuda* инфицирует цветки, то *U. nigra* заражает

проростки семян. Критический для поражения растений период – 8–10 суток после посева [4].

Распределение головневых грибов в патогенном комплексе ячменя по регионам мира неравномерно [5]. При обследовании посевов этой культуры в Саратовской области выявлены только *U. hordei* и *U. nuda* [6], в Кемеровской – преимущественно *U. nuda* и *U. nigra* [7], в Омской области – три гриба, но *U. nigra* преобладал среди пыльноголовневых [8]. Ранее в европейской и азиатской частях России было установлено существование различающихся популяций фитопатогенных грибов, что определяется особенностями климата, набором возделываемых сортов и технологий [9, 10]. Поэтому необходима оценка образцов ячменя к региональным популяциям патогенов [11].

С учетом постоянного формообразовательного процесса в популяциях грибов важно контролировать резистентность коммерческих сортов, а также вести опережающую селекцию новых. В России в качестве

источников устойчивости к болезням традиционно используют образцы из коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Целью работы был мониторинг устойчивости к черной головне коммерческих сортов ярового двурядного ячменя селекции Омского аграрного научного центра, а также оценка образцов коллекции ВИР в Западной Сибири.

Методика. Материалом для исследований служили сорта ярового пленчатого двурядного ячменя *Hordeum sativum* Jess. селекции Омского аграрного научного центра (Омский АНЦ, г. Омск) – 6 шт., а также образцы из коллекции ВИР (г. Санкт-Петербург) – 45 шт. В качестве стандарта и индикатора восприимчивости в полевых исследованиях использовали сорт Омский 95.

Полевые исследования проводили в южной лесостепи Западной Сибири (г. Омск) в 2016-2019 гг. Перед посевом семена с травмированными оболочками обрабатывали суспензией телиоспор *U. nigra* (2 г спор/л) по методике ВИР. Посев проводили во второй декаде мая, когда в регионе складывались лучшие условия для инфицирования растений (влажность почвы – 50-70% ПВ, температура –12-16 °С). Для продления критического для заражения периода семена помещали на глубину 10 см. Посев проводили гнездовой сеялкой СПР-2 по 50 семян в трех повторностях. Поражение сортов и коллекционных образцов определяли методом разбора снопа по доле зараженных колосьев от их общего количества (в процентах) [11].

Известно, что поражение растений головней значительно зависит от условий среды. Для сопоставления результатов был использован индекс устойчивости (ИУ) в модификации для головневых болезней [12]. ИУ рассчитывали как отношение значения поражения образца к поражению сорта-индикатора восприимчивости. Степень устойчивости сортов определяли в соответствии со значениями ИУ: 0 – высокая устойчивость (иммунитет); 0,01-0,10 – практическая устойчивость; 0,11-0,40 – слабая восприимчивость; 0,41-0,80 – средняя восприимчивость; 0,81-1,00 – сильная восприимчивость. Урожайность сортов определяли на делянках площадью 2 м² (результаты предоставлены лабораторией селекции зернофуражных культур Омского АНЦ).

Результаты и обсуждение. Микроэволюционные процессы в популяциях фитопатогенных грибов, существующих в агроценозах, значительно ускорились в последние десятилетия. Это приводит к периодическому появлению новых рас и преодолению устойчивости сортов [13]. В Омском АНЦ уделяется большое внимание селекции ярового ячменя на устойчивость к головневым болезням [1]. Сорта, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2000-2015 гг., на стадии передачи проявляли иммунитет или практическую устойчивость. Мониторинг развития черной головни важен для определения перспектив использования этих сортов в производстве, организации защиты, а также понимания фитопатологической ситуации в регионе.

В период исследований отмечены контрастные погодные условия в критический для заражения растений период (вторая – третья декады мая). В 2016 г. стояла жесткая засуха (суммарное количество осадков в мае составило 8 мм) с высокими температурами воздуха (12 и 17,3 °С во второй и третьей декадах). В мае 2017 и 2019 гг. регулярно выпадали осадки (30 и 42 мм в месяц соответственно) при умеренных средних температурах воздуха (11-13 °С). В 2018 г. значительные осадки отмечены в первой и третьей декадах (108 мм в месяц), но

температура была низкой (6, 7, 10 °С в 1–3 декадах), что привело к слабому прогреву почвы.

Оценки развития черной головни на сортах омской и инорайонной селекции значительно варьировали (табл. 1, 2). Поражение восприимчивого сорта (индикатора) показывает, насколько были благоприятными условия для заражения и развития болезни. В благоприятном 2017 г. поражение сорта Омский 95 составило 30,6%, в неблагоприятном 2018 г. – 5,2%. Аналогично изменялась и средняя оценка поражения сортов.

Ранее в ходе изучения развития черной головни ячменя в Европейской части РФ был сделан вывод о том, что заражению способствуют высокая влажность почвы (не менее 60% ПВ) и температура 18-20 °С [11]. В наших экспериментах сходная средняя оценка поражения сортов получена как при умеренных значениях увлажнения и температуры в мае 2019 г., так и при острой засухе и высокой температуре в 2016 г. Наименьшее заражение растений отмечено в холодном и влажном мае 2018 г. Таким образом, на заражение ячменя преимущественно влияла температура среды, а не влажность почвы. Возможно, в Западной Сибири сформировалась популяция *U. nigra*, приспособившаяся к заражению растений в условиях характерной весенней засухи.

Индекс устойчивости (ИУ) позволяет в значительной мере нивелировать колебания условий среды и выделить влияние резистентности сортов на развитие болезни. Так, если средние оценки поражения сортов менялись в период наблюдений в 5-7 раз, то средние ИУ – в 1,64 раза (табл. 1). ИУ сорта Сибирский авангард составил 0,46-0,64 (за исключением 2018 г.), то есть сорт остался средневосприимчивым к головне. ИУ сорта Омский 90 резко возрос с 2016 по 2019 г., что свидетельствует о потере им устойчивости и переходе в сильно восприимчивую группу. В то же время ИУ сортов Омский 91 и Саша снизился, в результате из сильно- и средневосприимчивой группы они перешли в слабо восприимчивую. Ранее [12] было показано преодоление устойчивости к каменной головне сортов Омский 90, Сибирский авангард и усиление поражения сорта Саша. Таким образом, резистентность ячменя может преодолеваться грибами *U. hordei* и *U. nigra* независимо. Эти результаты необходимо учитывать при использовании сортов в производстве.

Взаимодействие физиологических рас головневых грибов *U. nigra* и *U. hordei* с сортами происходит в соответствии с теорией «ген-на-ген» [14, 15]. Ранее было установлено сцепление генов устойчивости к черной и каменной головне *Rung* и *Ruh*, однако в гибридном потомстве выявлено 9,6% растений, устойчивых к одной из болезней, что показывает возможность разрыва сцепления [16]. Вероятно, сорта омской селекции несут разные комбинации генов устойчивости к двум болезням (сцепленные или разделенные). Кроме того, изменения резистентности сортов могут быть связаны с колебаниями в популяциях грибов.

В связи с регулярной потерей сортами устойчивости необходимо вести опережающую селекцию с использованием разнородного исходного материала. Для выявления источников устойчивости к черной головне в исследования были включены 45 коллекционных образцов двурядного ячменя, созданных в селекционных учреждениях: России – 16 шт., Западной Европы (Великобритания, Германия, Нидерланды, Финляндия, Чехия) – 7 шт., Украины – 15 шт., Латвии – 5 шт., Беларуси и США (единичные). ИУ были рассчитаны для индивидуальных образцов, по коллекции в целом, а также по группам происхождения. Средние значения

Табл. 1. Поражение черной головней и индекс устойчивости сортов ярового пленчатого двурядного ячменя в Западной Сибири, 2016–2019 гг.

Сорт, год включения в ГР	Поражение, %				Индекс устойчивости			
	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
Омский 95 – стандарт, 2007	12,9	30,6	5,2	14,7	1,00	1,00	1,00	1,00
Омский 90, 2000	3,6	14,3	2,2	12,5	0,28	0,47	0,38	0,85
Омский 91, 2004	11,1	20,6	3,1	3,6	0,86	0,67	0,60	0,24
Омский 96, 2008	11,8	9,8	2,5	7,8	0,91	0,32	0,48	0,53
Сибирский авангард 2010	7,5	19,5	0,6	6,8	0,58	0,64	0,12	0,46
Саха, 2012	8,2	3,5	0,6	3,4	0,64	0,11	0,12	0,23
Среднее	8,1	14,6	2,0	7,3	0,63	0,48	0,38	0,50

Примечание. ГР – Государственный реестр селекционных достижений РФ.

ИУ коллекции были в 1,5–2,5 раза ниже, чем у омских сортов (0,31; 0,17 и 0,22 – соответственно в 2016, 2017 и 2018 гг.) (табл. 1, 2). Это свидетельствует о том, что резистентность коллекции была выше, чем у местных сортов ячменя.

Соотношение образцов коллекции по группам устойчивости показано на рисунке. В целом по коллекции иммунитет или практическую устойчивость проявили более половины образцов (55%) в благоприятном для заражения 2017 г., 32% – в холодном 2018 г. и только 23 % – в засушливом 2016 г. В то же время в различных по происхождению группах результаты различались. Российские образцы показали лучшие результаты в 2017 и 2016 гг. (иммунных и практически

устойчивых – 63 и 52% соответственно), но в 2018 г. их доля снизилась до 35%.

Сходные закономерности установлены в группе сортов, созданных в странах Западной Европы в 2017 и 2016 гг., однако в 2018 г. значительная их доля проявила иммунитет или практическую устойчивость. Показатели украинской группы сортов улучшались от 2016 к 2018 г. Латвийские сорта имели лучшие оценки в 2017 и 2018 гг.

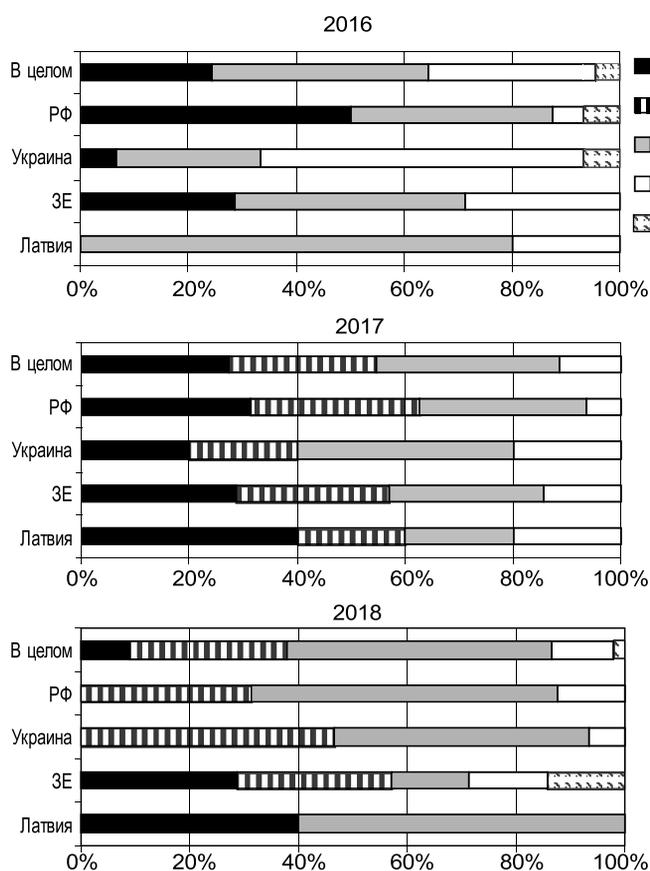
Результаты исследований показали, что в контрастных условиях Западной Сибири российские сорта имели более высокую и стабильную устойчивость к черной головне по сравнению с инорайонными. У западноевропейских и латвийских сортов отмечена устойчивость к инфицированию при пониженных температурах и высокой влажности почвы. Резистентность украинских и латвийских сортов в значительной степени снижалась при засухе и высоких температурах в период заражения. Возможно, условия среды подавляли механизмы устойчивости растений к проникновению *U. nigra*.

Для практической селекции представляют интерес источники генов, показывающие стабильную устойчивость и урожайность в контрастных погодных условиях. Лучшие сорта Ясный, Вакула (Россия) проявили иммунитет в 2016 и 2017 гг., в 2018 – практическую устойчивость (табл. 2). Оценки сортов Ворсинский 2, Задел 3, Ястреб и Инклюзив колебались от иммунитета до слабой восприимчивости, остальные образцы проявили практическую устойчивость или слабую восприимчивость. Ранее [12] было показано, что часть этих сортов иммунна (Задел 3 и Взирець) или высоко устойчива и к каменной головне (Ворсинский 2, Черноградский 770, Ясный, Вакула, Klinta, IRBEIPR).

Урожайность образцов ячменя значительно варьировала по годам. В среднем по коллекции самая низкая урожайность отмечена в засушливом 2016 г. (359 г/м²), а самая высокая – на фоне регулярных обильных осадков

Табл. 2. Поражение черной головней, индекс устойчивости и урожайность лучших образцов ярового двурядного ячменя из коллекции ВИР в Западной Сибири, 2016–2018 гг.

Сорт	Происхождение, регион, страна	Поражение, %			ИУ			Урожайность, г/м ²			
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	средняя
Омский 95 – стандарт	Омская область	12,9	30,6	5,2	1,00	1,00	1,00	346	672	522	513
Ворсинский 2	Алтайский край	0	1,5	0,9	0	0,05	0,17	352	658	666	558
Задел 3	- « -	0	0	1,4	0	0	0,27	373	383	423	393
Наран	Бурятия	0	7,7	0,9	0	0,25	0,17	394	475	436	434
Первоцелинник	Оренбургская область	1,8	2,9	0,5	0,14	0,09	0,10	402	415	393	403
Черноградский 770	Ростовская область	2,3	1,4	0,9	0,18	0,05	0,17	356	586	466	469
Ясный	- « -	0	0	0,4	0	0	0,08	314	532	456	433
Володон	Самарская область	0	0	1,4	0	0	0,27	356	352	706	471
Ястреб	- « -	0	1,5	1,5	0	0,05	0,29	386	385	603	457
Вакула	Ставропольский край	0	0	0,5	0	0	0,10	411	558	563	510
Privis	Латвия	2,2	1,9	0	0,17	0,06	0	243	618	491	449
Klinta	- « -	2,6	0	1,5	0,20	0	0,29	343	203	793	446
IRBEIPR	- « -	2,1	0	1,4	0,16	0	0,27	376	352	633	454
Персей	Украина	3,4	2,0	0,6	0,26	0,07	0,12	346	329	613	429
Взирець	- « -	0	0	0,4	0	0	0,08	502	563	674	578
Инклюзив	- « -	2,1	0	0,6	0,16	0	0,12	436	687	602	574
Среднее	-	4,0	5,4	1,2	0,31	0,17	0,22	359	453	565	457
НСР ₀₅	-	-	-	-	-	-	-	23	56	46	-



Распределение образцов ячменя из коллекции ВИР по группам в соответствии с индексом устойчивости, 2016–2018 гг.;
 1 – иммунные, 2 – практически устойчивые,
 3 – слабо восприимчивые, 4 – средне восприимчивые,
 5 – сильно восприимчивые; 3E – Западная Европа.

в 2018 г. (565 г/м²). По средней за три года урожайности выделились сорта Вакула (на уровне сорта-стандарта, 510 г/м²), а также Ворсинский 2, Взрещь, Инклюзив (выше стандарта, 558–578 г/ м²). Особо следует отметить сорта Ворсинский 2 и Инклюзив, которые в контрастных условиях 2016–2018 гг. формировали урожайность, не уступающую или превышающую показатели адаптированного к зоне сорта Омский 95. Лучшее сочетание устойчивости к головневым болезням и урожайности определено у сортов Ворсинский 2, Зерноградский 770, Вакула, Взрещь, Инклюзив.

Таким образом, результаты исследований показали, что среди сортов ячменя сибирской селекции высокую устойчивость к черной головне сохраняют Омский 91 и Саша, в то время как поражение других сортов усиливается. Группа сортов российской селекции имела лучшие показатели резистентности среди набора образцов коллекции ВИР. Выделены образцы различного происхождения, сочетающие стабильную устойчивость к черной головне и урожайность в Западной Сибири и представляющие интерес для селекционных программ.

Литература

1. Аниськов Н.И., Поползухин П.В. Яровой ячмень в Западной Сибири (селекция, семеноводство, сорта): монография. – Омск: ООО «Вариант-Омск». – 2010. – 388 с.

2. Степановских А.С. Головнёвые болезни ячменя: монография. – Челябинск. – 1990. – 400 с.
 3. Тютюрев С.Л. Протравливание семян зерновых колосовых культур // Защита и карантин растений. – 2005. – N 3. – С. 90-132.
 4. Усольцев Ю.А. Снижение потерь урожая ярового ячменя от головневых заболеваний // Вестник Курганской ГСХА. – 2018. – N 3. – С. 65-69.
 5. Menzies J.G., Thomas P.L., Woods S. Incidence and severity of loose smut and surface-borne smuts of barley on the Canadian prairies from 1972 to 2009. – Canadian J. Plant Pathol. – 2014. – V. 36 – N 3. – P. 300-310.
 6. Айдарова Н.С. Изучение видового состава головневых заболеваний на посевах ячменя в КХ «Берег Волги» Духовницкого района Саратовской области // Вавиловские чтения. – 2007. – Матер. Межд. научн.-практ. конф. – Саратов: Научная книга. – 2007. – С. 5-6.
 7. Zaushintsena A.V., Svirikova S.V. Technology of barley breeding for resistance to smut fungi // Science Evolution. – 2017. – V. 2. – N 2. – P. 22-32.
 8. Падерина Е.В. Источники ячменя со стабильной комплексной устойчивостью к головневым заболеваниям // Источники устойчивости сельскохозяйственных культур к болезням в Западной Сибири: Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. СибНИИСХ. – 1990. – Вып. 6. – С. 17-21.
 9. Мешкова Л.В., Пяткова О.В. Мониторинг популяций возбудителей головневых заболеваний овса в Омской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – N 11 (157). – С. 13-18.
 10. Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В., Гульяева Е.И., Митрофанова О.П., Лапочкина И.Ф. Тенденция преодоления генов устойчивости к бурой ржавчине, интрогрессированных от *Aegilops speltoides* Tausch в мягкую пшеницу, в Западной Сибири // Вавиловский журнал селекции и генетики – 2018. – Т. 22. – N 5. – С. 550-567.
 11. Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головневые болезни зерновых культур // Устойчивость генетических ресурсов зерновых культур к вредным организмам: Методическое пособие. – М., 2008. – С. 32-85.
 12. Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В., Сабаева О.Б., Николаев П.Н. Резистентность к каменной головне сортов и коллекционных образцов двурядного ячменя в Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – N 1 (37). – С. 50-60.
 13. Parlevliet J.E. What is durable resistance, a general outline // Durability of Disease Resistance – Th. Jacobs & J.E. Parlevliet (Eds.), Kluwer Academic Publishers: The Netherlands. – 1993. – P. 23-39.
 14. Sidhu G., Person C. Genetic control of virulence in *Ustilago hordei* III. Identification of genes for host resistance and demonstration of gene-for-gene relations // Can. J. Genet. Cytol. – 1972. – V. 14. – N 2. – P. 209-213.
 15. Zuo W., Okmen B., Depotter J.R.L., Ebert M.K., Redkar A., Misas Villamil J., Doehlemann G. Molecular Interactions Between Smut Fungi and Their Host Plants // Annu. Rev. Phytopathol. – 2019. – V. 57. – P. 411-430. DOI: 10.1146/annurev-phyto-082718-100139.
 16. Легкун И.Б. Создание и оценка сортов ячменя озимого на групповую устойчивость к головневым заболеваниям // Вавиловский журнал селекции и генетики. – 2015. – Т. 19 – N 2. – С. 191-196.

Поступила в редакцию 13.05.20
 После доработки 30.05.20
 Принята к публикации 05.06.20

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТА ТУРМАКС ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.А. Перченко, кандидат биологических наук, О.Н. Сергеева

Томский сельскохозяйственный институт –
филиал Новосибирского государственного аграрного университета,
634050, Томск, ул. Карла Маркса, 19
E-mail: ksuser@vtomske.ru

Представлены результаты полевых испытаний органо-минеральной добавки Турмакс. Целью исследований было изучение влияния этого препарата на повышение урожайности и снижение заболеваемости картофеля. Объектом исследования был препарат Турмакс, в состав которого входят основные минеральные элементы питания и продукты метаболизма ризосферных микроорганизмов. Испытания проводили при возделывании картофеля сорта Невский в течение четырех различных по погодным условиям лет на серой лесной почве. Варианты опыта включали контроль, однократное опрыскивание растений картофеля Турмаксом по всходам и в период бутонизации, двукратное опрыскивание растений по всходам и в бутонизацию. Показано, что в различные погодные условия наиболее эффективна двукратная обработка картофеля – по всходам и перед цветением. Урожайность картофеля в разные годы возрастала на 21-40%. При такой обработке не только существенно увеличивалась урожайность культуры, но и снижалась ее заболеваемость грибковой (фитофтороз, ризоктониоз, обыкновенная парша) и бактериальной (бактериальная гниль, мокрая гниль, кольцевая гниль) инфекциями.

THE RESULTS OF 4-YEAR TRIALS OF THE DRUG TURMAX FOR THE CULTIVATION OF POTATOES IN THE CONDITIONS OF THE TOMSK REGION

Perchenko N.A., Sergeeva O.N.

Tomsk Agricultural Institute – Branch of FSBEI HE Novosibirsk State Agrarian University,
634050, Tomsk, ul. Karla Marxa, 19
E-mail: ksuser@vtomske.ru

The article presents the results of field trials of Turmax organomineral supplements. The aim of the study was to study the effect of Turmax on increasing yields and reducing the incidence of potatoes. The object was a drug, which includes the basic mineral nutrients and metabolic products of rhizospheric microorganisms. The tests were carried out with the cultivation of Nevsky potatoes for four years with different weather conditions on gray forest soil. Test options included control, a single spraying of potato plants by Turmax on seedlings and during budding, two-time spraying of plants on seedlings and budding. The results of the study showed that in different weather conditions, double processing of potatoes is most effective - for seedlings and before flowering. Potato yield in different years increased by 21-40%. With this treatment, not only did the potato yield increase significantly, but the incidence of its fungal (late blight, rhizoctonia, common scab) and bacterial (bacterial rot, wet rot, ring rot) infections also decreased.

Ключевые слова: картофель, внекорневая подкормка, органо-минеральная добавка Турмакс, бактериальные, грибковые заболевания, урожайность

Key words: potato, foliar top dressing, organomineral supplement Turmax, bacterial, fungal diseases, productivity

Картофель – универсальная культура, которую используют для разнообразных хозяйственных целей. Клубни картофеля служат ценным и важным продовольственным и кормовым ресурсом. Его можно успешно возделывать во всех почвенно-климатических зонах нашей страны [1]. В Сибири урожайность этого важнейшего продукта питания – одна из самых низких среди картофелепроизводящих регионов (16-18 т/га). Основная причина – сильная пораженность болезнями, связанная с биологией картофеля: при вегетативном размножении возможно наличие на ботве возбудителей болезней в паразитически активной форме. Сочные, богатые углеводами клубни служат благоприятной средой обитания для всех групп возбудителей болезней, что приводит к потерям во время хранения [2], которые могут составлять 10-60% [3].

В настоящее время большое внимание уделяется экологически безопасным способам защиты, в частности применению препаратов, способствующих повышению устойчивости картофеля к заболеваниям. Учитывая, что большинство исследований, проводимых по картофелю, связано с органическими и минеральными удобрениями [1, 4, 5], мы решили испытать новый препарат Турмакс, созданный в научно-производственном

предприятии «Планта Плюс» (г. Томск), в состав которого входят макро- и микроэлементы, органические кислоты, а также продукты метаболизма ризосферных микроорганизмов. Он предназначен для внекорневой подкормки овощей, бобовых и зеленных культур, фруктовых деревьев, цветов.

Актуальность работы связана с получением экологически чистой продукции, для чего в агротехнологию картофеля необходимо ввести препараты, не только повышающие его урожайность, но и защищающие от болезней.

Методика. Испытания препарата проводили в течение четырех лет (2016-2019) на серой лесной среднесуглинистой почве, которая характеризуется невысоким содержанием гумуса (4,38%) и кислой реакцией среды ($pH_{\text{сол}} = 5,3$) [6]. Схема полевого опыта включала 4 варианта: 1 – контроль (обработка водой), 2 – однократная обработка картофеля препаратом Турмакс по всходам, 3 – однократная обработка Турмаксом в период бутонизации, 4 – двукратная обработка Турмаксом по всходам и в бутонизацию.

Опыты были заложены на картофеле сорта Невский, введенного в Госреестр сортов РФ [3, 4]. Общая площадь опытных вариантов составляла 10 га (пло-

щадь одного варианта – 2,5 га), ширина междурядий – 2 м, ширина защитной полосы – 5 м. Посадку осуществляли в гребни (70x40 см), глубина посадки – 6-8 см.

Для опыта рабочий раствор Турмакса готовили разведением коммерческого препарата водой перед использованием в соотношении 1:400. Опрыскивание растений проводили трактором ЮМЗ-40 с подвесным опрыскивателем Grinda (8-425114) при норме расхода 800 л/га. Контрольный вариант опрыскивали водой.

Фенологические фазы картофеля устанавливали по методике Госсортосети. Морфологические показатели вегетативных органов определяли в возрасте 20, 40 и 60 дней от посадки, урожай – весовым методом, зараженность болезнями – после сбора урожая по ГОСТ 33996-2016. Статистическая обработка результатов проведена с помощью пакета программ statistica 6.0.

Результаты и обсуждение. Турмакс – это комплексное удобрение, имеющее ряд преимуществ перед традиционными видами удобрений. Главная особенность препарата в том, что питательные элементы в его составе находятся в форме хелатов – химических соединений микроэлементов с хелатирующим агентом. Эти комплексы близки по структуре к природным веществам, таким как хлорофилл или витамин В12, которые являются хелатами.

Большое значение имеют и микроэлементы, они играют важную роль в физиологических и биохимических процессах и повышают устойчивость растений к заболеваниям. К продуктам микробного брожения и метаболизма относятся первичные метаболиты, ферменты и клеточная биомасса, ускоряющие минерализацию органических веществ, переводя их в усвояемую для растений форму; при этом выделяется ряд биотических веществ, которые защищают от фитопатогенных микроорганизмов [7].

Поскольку пахотные почвы Томской области обладают невысоким естественным плодородием, необходимость применения таких удобрений или подкормок, которые снабжали бы растения комплексом элементов питания, имеет большое значение. Проведенные нами ранее испытания Турмакса показали, что этот препарат служит перспективной органо-минеральной подкормкой при выращивании картофеля [6, 8, 9].

Вегетационные периоды 4 лет испытаний различались погодными условиями. Аномально жаркая погода и недостаток влаги (2-16% нормы) в 2016 г. отмечены в период активного роста и клубнеобразования картофеля, что отразилось на его продуктивности. В 2017 г. сложились более благоприятные условия для выращивания культуры, в то время как в 2018 г. затяжная холодная весна (в мае температура была ниже нормы на 4,8 °С), привела к сдвигу сроков посадки картофеля с мая на начало июня. Вегетационный период 2019 г. был стабилен по температуре, но так же, как и в предыдущем году в период формирования клубней, была критическая нехватка влаги [10]. Все это повлияло на урожайность не только картофеля, но зерновых и других культур. Во все годы исследования наибольшая урожайность картофеля отмечена в более благоприятном 2017 г., прибавка урожайности получена в вариантах с обработкой вегетативных органов Турмаксом (табл. 1). Положительное действие препарата на эти показатели наблюдали во все годы исследования, несмотря на различие погодных условий.

По данным фенологических наблюдений, обработка картофеля Турмаксом по всходам способствовала появлению более дружных всходов, а двукратная (по всходам и в фазе бутонизации) усиливала ростовые

Табл. 1. Урожайность картофеля сорта Невский по вариантам

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка		Урожайность, ц/га	Прибавка	
		ц/га	%		ц/га	%
2016 г.						
Контроль	172	-	-	250	-	-
Опрыскивание по всходам	189	17	10,0	273	23	9,2
Опрыскивание в фазе бутонизации	179	7	4,0	255	5	2,0
Опрыскивание по всходам и в фазе бутонизации	209	37	21,5	350	100	40,0
2018 г.						
Контроль	152	-	-	164	-	-
Опрыскивание по всходам	166	14	9,2	189	25	15,2
Опрыскивание в фазе бутонизации	158	6	3,9	169	5	9,1
Опрыскивание по всходам и в фазе бутонизации	186	34	22,4	212	48	29,3
НСР ₀₅		8			8	
2019 г.						

параметры растений, что, вероятно, связано с включением активных компонентов препарата в регуляцию ростовых процессов. Своевременная подкормка микроэлементами на этой стадии онтогенеза способствовала улучшению работы ферментов, участвующих в процессах морфогенеза, и, как следствие, – повышению интенсивности роста растений и урожая картофеля. При этом вариант с однократной обработкой в период бутонизации не показал существенной разницы.

Низкая влажность почвы в период клубнеобразования в 2016, 2018 и 2019 гг. повлияла на урожайность картофеля, она была существенно ниже, чем в 2017 г. При этом однократное опрыскивание по всходам и двукратное по всходам и в бутонизацию показали достоверные прибавки урожайности при 5%-ном уровне, несмотря на разные погодные условия. Наибольший эффект отмечен при двукратной обработке картофеля препаратом Турмакс.

Таким образом, влияние препарата Турмакс на урожайность картофеля очевидно: азот усиливает рост ассимиляционных органов, фосфор способствует более сильному развитию механических тканей и совместно с калием увеличивает энергию роста растений. Большое значение имеют и микроэлементы, содержащиеся в препарате. Картофель, особенно, на ранних стадиях развития, очень чувствителен к недостатку бора, марганца, цинка, меди. Недостаток этих микроэлементов и их недоступность для растений служат причиной снижения количества и качества урожая [11]. Исследования последних лет свидетельствуют о том, что наиболее эффективная форма микроэлементов для растений – комплексные соединения металлов типа хелатов [12]. Хелаты удерживают ионы микроэлементов в растворимом состоянии до поступления в растение, а затем высвобождают их, переводя в биологически доступную форму, легко усваиваемую растениями. Поступая

Табл. 2. Пораженность (%) картофеля грибковыми заболеваниями

Заболевание	Контроль	Опрыскивание по всходам	Опрыскивание в бутонизацию	Опрыскивание по всходам и в бутонизацию
2016 г.				
Фитофтороз	0,9	0,3	0,3	0,1
Ризоктониоз	1,9	1,4	1,6	1,0
Обыкновенная парша	4,3	3,2	3,9	1,2
Серебристая парша	0	0	0	0
Фузариоз	0,9	0,6	0,7	0
Фомоз	0,3	0,2	0,3	0
Резиновая гниль	0,1	0,1	0,1	0
2017 г.				
Фитофтороз	0,6	0	0	0
Ризоктониоз	1,0	0,8	0,9	0,7
Обыкновенная парша	4,1	3,0	3,7	1,2
Серебристая парша	0,5	0,3	0,3	0,2
Фузариоз	0,9	0	0,7	0
Фомоз	0	0	0	0
Резиновая гниль	0	0	0	0
2018 г.				
Фитофтороз	0,8	0,4	0,5	0,3
Ризоктониоз	1,2	0,8	0,9	0,6
Обыкновенная парша	4,0	3,2	3,8	1,3
Серебристая парша	0,6	0,3	0,4	0,3
Фузариоз	1,0	0,7	0,7	0
Фомоз	0,3	0	0,1	0
Резиновая гниль	0,1	0,1	0,1	0
2019 г.				
Фитофтороз	0,9	0,6	0,7	0,1
Ризоктониоз	0,8	0,5	0,6	0,5
Обыкновенная парша	4,0	3,0	3,0	1,2
Серебристая парша	0,6	0,3	0,4	0,2
Фузариоз	0,9	0,4	0,4	0
Фомоз	0,2	0	0,1	0
Резиновая гниль	0,1	0	0,1	0

в растения в малых количествах, они играют важную роль в физиологических и биохимических процессах и повышают устойчивость растений к заболеваниям [13].

В Томской области широко распространены такие болезни, как фитофтороз, сухая и мокрая гнили, парша обыкновенная и другие. Эти заболевания картофеля не только снижают его урожайность, но и увеличивают потери при хранении в осенне-весенний период. На клубнях чаще всего встречается парша обыкновенная. Высокое содержание в почве неразложившихся органических остатков в пахотном слое способствует поражению клубней картофеля этим заболеванием, возбудителем которой является *Streptomyces scabiei*.

Табл. 3. Пораженность (%) картофеля бактериальными заболеваниями

Заболевание	Контроль	Опрыскивание по всходам	Опрыскивание в бутонизацию	Опрыскивание по всходам и в бутонизацию
2016 г.				
Бактериальная гниль	0,3	0	0	0
Мокрая гниль	1,0	0,5	0,7	0,2
Кольцевая гниль	0,6	0,1	0,1	0,1
2017 г.				
Бактериальная гниль	0,2	0	0	0
Мокрая гниль	0,9	0,2	0,7	0,1
Кольцевая гниль	0,4	0	0	0
2018 г.				
Бактериальная гниль	0,3	0	0	0
Мокрая гниль	1,0	0,6	0,8	0,3
Кольцевая гниль	0,6	0,1	0,1	0,1
2019 г.				
Бактериальная гниль	0,3	0	0	0
Мокрая гниль	1,0	0,5	0,6	0,2
Кольцевая гниль	0,7	0,2	0,3	0,1

Проведенный анализ заболеваемости картофеля в течение четырех лет показал (табл. 2), что из грибковых заболеваний больше всего была распространена обыкновенная парша, а ризоктониоз, фузариоз и фитофтороз в меньшей степени. При этом двукратная обработка препаратом по всходам и в бутонизацию привела к значительному снижению этих болезней, исчезли такие инфекции, как фузариоз, фомоз и резиновая гниль. Не отмечено поражение клубней картофеля этими болезнями и в период хранения.

Из бактериальных болезней на картофеле преобладала мокрая гниль – широко распространенное заболевание этой культуры. Количество ее заметно уменьшилось после обработки растений, особенно при однократной (по всходам) и двукратной (по всходам и в фазе бутонизации) (табл. 3).

При этом в опытных вариантах четырех лет отсутствовала бактериальная гниль, а в 2017 г. и кольцевая гниль, в то время как в клубнях контрольных вариантов эти болезни присутствовали на протяжении всего периода исследований. Первые признаки поражения появлялись на листьях, которые желтели и скручивались вдоль центральной жилки. Далее происходило медленное увядание наземной части растений. При хранении пораженные клубни загнивали, в то время как клубни обработанных препаратом растений хорошо сохранялись.

Возможно, действие препарата основано на влиянии азота, калия и фосфора, содержащихся в препарате, на анатомическое строение, обмен веществ и физиологические функции растений, изменяющем их в направлении, неблагоприятном для фитопатогенных организмов [14]. Кроме того калий и фосфор активизируют деятельность ферментов, снижают скорость гидролитических процессов, увеличивают вязкость цитоплазмы, тургор клеток, механическую прочность

тканей. В результате повышается общая сопротивляемость растений к воздействию неблагоприятных факторов среды, их устойчивость или выносливость к инфекционным болезням [15-17].

Входящие в Турмакс микроэлементы играют очень важную роль в биохимических реакциях клеток, сдвигая их в неблагоприятном для патогена направлении. Они повышают болезнеустойчивость растений, способствуют утолщению кутикулы и клеточных стенок, увеличению прочности тканей, то есть формированию механических защитных барьеров, препятствующих заражению растений и распространению в них возбудителей болезней [7, 18, 19,]. Многие микроэлементы входят в состав ферментов, непосредственно участвующих в защитных реакциях растений. Они могут инактивировать ферменты и токсины патогенов, вызывать у них регрессивные изменения: угнетение роста, лизис и дегенерацию клеток. Исследования Н.А. Дорожкина [20] показали, что благодаря этому заболевания фитофторозом и мокрой гнилью снижаются более чем в 3 раза, а ризоктониозом – в 2 раза.

Таким образом, эффективно опрыскивать картофель препаратом Турмакс 2 раза в течение вегетационного периода – по всходам и в период бутонизации. При этом повышается урожайность культуры, снижается заболеваемость грибковой и бактериальной инфекциями. Этот препарат может быть использован для получения экологически чистой продукции.

Литература

1. Якушкин И.В. Картофель. – 2-е изд., перераб. – М.: Сельхозгиз, 1952. – 168 с.
2. Кинчарова М.Н. Влияние регуляторов роста и биопрепаратов на устойчивость картофеля к болезням и урожайность в зависимости от погодных условий // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2014. – С. 14-19.
3. Сайнакова А.Б. Система защиты картофеля от болезней и вредителей в условиях таежной зоны Западной Сибири: 1. Методические рекомендации. – СибНИИСХиТ СО Россельхозакадемии. – Томск, 2008. – 40 с.
4. Штефан В.К. Жизнь растений и удобрений. – М.: Моск. рабочий, 1981. – 241 с.
5. Рудой Е.В., Рюмкин С.В., Петухова М.С. Методические подходы к прогнозированию научно-технологического развития отрасли растениеводства // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – N 10. – С. 8-17.
6. Сергеева О.Н., Перченко Н.А. Турмакс – эффективный препарат для повышения продуктивности картофеля // Аграрная Россия.. – 2016. – N 8. – С. 16-18.
7. Вавилов Н.И. Проблемы иммунитета культурных растений. – М.: Наука, 1964. – 25 с.
8. Galeev R.R., Sergeeva O.N., Perchenko N.A., Maslova N.B. Tests of new products for improving the yield of potato and the quality of the crop // International Journal of Pharmaceutical Research. – 2018. – V. 10. – P. 619-625.
9. Галеев Р.Р., Сергеева О.Н., Перченко Н.А., Чиркова В.О. Результаты испытаний сортов картофеля для возделывания в условиях Томской области // Аграрная Россия. – 2020. – N 1. – С. 31-34.
10. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=29430&month=5&year=2019>. (Дата обращения: 18.02.2020).
11. Flis B., Plich J. Relationship between cultivation system, potato tuber flavor and macro or micronutrients content in tubers // 17-th Triennial Conference EAPR: Potato for a Changing World. Brasov, 2008. – P. 232-234.
12. Персикова Т.Ф., Козотько Ю.В., Радкевич М.Л. Комплексное применение микроэлементов, регуляторов роста растений и бактериальных удобрений в предпосевной обработке семян проса и люпина узколистного: рекомендации. – Горки: БГСХА, 2015. – 24 с.
13. Микроудобрения в хелатной форме [Электронный ресурс] // Новейшие технологии сельскому хозяйству. URL: <https://agropius.livejournal.com/tag/хелаты/> (Дата обращения: 27.09.2018).
14. Вавилов Н.И. Проблемы иммунитета культурных растений. – М.: Наука, 1964. – 25 с.
15. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 154–171.
16. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – С. 136.
17. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев // Тимирязевские чтения. – М., 1956. – С. 75–80.
18. Тагиров М.Ш. Хелаты – перспективный вид удобрений в картофелеводстве // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – N 5. – С. 33-34.
19. Тарр С. Основы патологии растений. – М.: Мир, 1975. – 143 с.
20. Методы оценки картофеля на устойчивость к клубневой гнилям: рекомендации / Н.А. Дорожкин, С.И. Бельская, И.В. Викторчик [и др.]. – Минск, 1985. – 16 с.

Поступила в редакцию 23.03.20
После доработки 15.04.20
Принята к публикации 20.04.20

Радиобиология

УДК:613.648.4;632.76

DOI:10.31857/S2500262720050099

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ *Trogoderma granarium* Ev.
К ДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ****Н.Н. Лой**, кандидат биологических наук,
Н.И. Санжарова, член-корреспондент РАН, **С.Н. Гулина***Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
249032, Обнинск, Калужская область, Киевское шоссе, 109 км
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

*Изучено влияние разных доз и мощности гамма-излучения на жизнеспособность капрового жука *Trogoderma granarium* (стадия личинки) в условиях лабораторных опытов 2019-2020 гг. Зерно ярового ячменя сорта Нур, зараженное вредителем, облучали на установке ГУР-120 в диапазоне доз 50-450 Гр (мощность дозы – 100, 500, 950 Гр/ч) и 500-1000 Гр (950 Гр/ч). Облучение капрового жука в дозах 50-450 Гр при мощности дозы 100 Гр/ч вызывало 100%-ную смертность личинок при дозах 350 и 450 Гр через 7 суток, при дозах 100 и 300 Гр – через 8 суток, при дозах 50, 150, 200, 250 и 400 – только через 14-17 суток. Облучение личинок такими же дозами, но мощностью 500 Гр/ч привело к более растянутой во времени смертности популяции вредителя: при 400 Гр – 8 суток, при 200 и 300 Гр – 12 суток, при 350 Гр – 14 суток, при дозах 50, 100, 250, 450 Гр – 18 суток. При дозе 150 Гр смертность достигала 90% на 14-е сутки и оставалась на этом уровне в течение 9 суток, что можно объяснить разным возрастом личинок вредителя. При увеличении мощности дозы до 950 Гр/ч динамика отмирания личинок представляла собой длительное плато при дозах 350-450 Гр на уровне смертности 70-90%, вследствие чего произошла задержка наступления их полной гибели до 20-24 суток. Облучение вредителя в диапазоне доз 500-1000 Гр при мощности дозы излучения 950 Гр/ч оказалось более эффективным: полная смертность личинок отмечена на 5-6 сутки. Не выявлено значимого влияния ионизирующего излучения на содержание в зерне ячменя протеинов, жира, клетчатки, сухого вещества и безазотистых экстрактивных веществ. Содержание золы статистически значимо изменялось под действием облучения, но не более чем на 3-6%.*

**SENSITIVITY *Trogoderma granarium* Ev.
TO THE ACTION OF IONIZING RADIATION****Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N.***Russian Institute of Radiology and Agroecology,
249032, Obninsk, Kaluzskaya oblast, Kievskoe shosse, 109 km
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

*The effect of different doses and gamma radiation powers on the viability of the capoe beetle *Trogoderma granarium* (larval stage) was studied in laboratory experiments in 2019-2020. Grain of spring barley of the Nur variety infected with a pest was irradiated on a GUR-120 installation in a dose range of 50-450 Gy (dose rate of 100, 500 and 950 Gy/h) and a dose range of 500 to 1000 Gy at a dose rate of 950 Gy/h. It was established that irradiation of a cap beetle in doses from 50 to 450 Gy at a dose rate of 100 Gy/h caused 100% mortality of larvae at doses of 350 and 450 Gy after 7 days, at doses of 100 and 300 Gy after 8 days, and at doses of 50, 150, 200, 250 and 400 only after 14-17 days. Irradiation of larvae in the same dose range, but at a power of 500 Gy/h, led to a more extended pest population mortality rate and amounted to 8 days at 400 Gy, 12 days at 200 and 300 Gy, 14 days at 350 Gy, 18 days at doses of 50, 100, 250 and 450 Gy, and at a dose of 150 Gy, mortality reached 90% on day 14 and stayed on this plateau for 9 days, which can be explained by the different age of caper beetle larvae. With an increase in dose rate to 950 Gy/h, it was noted that the dynamics of the death of larvae of the caper beetle demonstrates a long plateau at doses of 350-450 Gy at a mortality rate of 70-90%, as a result of which there was a delay in the onset of their complete death up to 20-24 days. Irradiation of the pest in the dose range of 500-1000 Gy with a radiation dose rate of 950 Gy/h had a more effective effect on the viability of caper beetle larvae: complete mortality of the larvae was observed on days 5-6. Determination of the chemical composition of irradiated grain of spring barley Nur varieties did not reveal a significant effect of ionizing radiation on the content of proteins, fat, fiber, dry matter and nitrogen-free extractive substances (BEV). The ash content was statistically significantly changed under the influence of irradiation in one direction or another, but not more than 3-6%.*

Ключевые слова: ионизирующее излучение, капровый жук, выживаемость, насекомые-вредители, радиационная дезинсекция, зерно ячменя

Key words: ionizing radiation, caper beetle, survival, insect pests, radiation disinsection, barley grain

Обработку ионизирующим излучением сельскохозяйственной продукции активно используют в пищевой промышленности передовых стран в качестве эффективного способа сохранения качества, замедления порчи, фитосанитарной и микробиологической безопасности. Радиационные технологии обработки продовольственного зерна и продуктов его переработки отличаются высокой эффективностью и производительностью, точностью дозирования излучения, отсутствием высокого нагрева продукта, соответствием облученной продукции санитарно-гигиеническим нормам [1-4]. Радиационная дезинсекция зерна служит

альтернативой химической обработке зерна (фумигации).

Опасные вредители хранящегося зерна в Российской Федерации – долгоносики, зерновой точильщик, хрущак и мукоеды [5]. К наиболее опасным вредителям карантинного значения относится капровый жук (*Trogoderma granarium* Ev.), распространенный во многих странах практически всех континентов. Его личинки превращают зараженную продукцию в порошкообразную массу, состоящую из остатков продуктов и экскрементов, непригодную для использования в пищу и на корм скоту. Вредитель способен уничтожить

до 60-70% хранимой продукции. Скорость развития капрowego жука зависит от питания и достаточно высокой температуры, вид способен давать массовое заражение.

При наличии карантинных вредителей в продукции цель обработки – полное исключение жизнеспособных особей [6]. При этом важна доза облучения. Величина абсолютной летальной дозы (LD_{100}) зависит от вида насекомых, стадии развития и изменяется в широких пределах [7-10]. В работе [11] показано, что доза 0,5 кГр необходима для приостановки размножения всех вредителей, хотя многие виды, особенно жесткокрылых жуков (*Coleoptera*), можно контролировать меньшими дозами. Этот порог предотвращает воспроизводство насекомых вместо того, чтобы обеспечивать острую смертность, которая требует больших доз.

Воспроизводство жесткокрылых жуков можно предотвратить дозами 0,05-0,4 кГр [12]. По мнению автора, целесообразна доза 0,4 кГр, поскольку она в значительной степени эффективна для всех насекомых, кроме куколок и взрослых чешуекрылых (*Lepidoptera*), когда достаточна более низкая доза облучения. Установлено, что дозы для предотвращения размножения у взрослых особей из двух чешуекрылых – моли выемчатокрылой (*Lepidoptera Gelechiidae*) и огневки настоящей (*Lepidoptera Pyralidae*) могут быть снижены до 0,35 и 0,45 кГр соответственно. Доза 0,45 кГр, вероятно, предотвратила бы размножение взрослых чешуекрылых (*Lepidoptera*) [13].

Ранее мы изучали влияние различных видов ионизирующего излучения и мощности доз на жизнеспособность малого мучного хрущака *Tribolium confusum* Div. и мукоеда суринамского *Oryzaephilus surinamensis* [14-16]. Применение тормозного и электронного излучений вызывало полную гибель хрущака через 15 суток после облучения при всех изученных дозах и мощности доз и обоих видах излучения, кроме дозы 250 Гр (тормозное излучение), при которой гибель отмечена через 30 суток после облучения. При гамма-облучении мукоеда суринамского (стадия имаго) дозами 170-1000 Гр (мощность дозы – 100 Гр/ч) выявлена полная гибель вредителя через 15 суток после облучения, так же как и при дозах 150-600 Гр (1800 Гр). При электронном излучении полная гибель наступала через 15 сут после облучения при всех изученных дозах (мощность дозы – 100 Гр/имп.).

Цель работы – изучение влияния разных доз и мощности гамма-излучения на жизнеспособность насекомого-вредителя – капрowego жука.

Методика. Объектом исследований были насекомое-вредитель – капровой жук *Trogoderma granarium* Everts из семейства *Dermestidae* в стадии личинки и яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Нур. Жизнеспособность капрowego жука изучали в условиях лабораторных экспериментов во Всероссийском НИИ радиологии и агроэкологии (ВНИИРАЭ) в 2019-2020 гг. Зерно, зараженное разновозрастными личинками вредителя, помещали в мешочки из органзы, которые обеспечивали свободное поступление кислорода, и облучали на стационарной установке ГУР-120 (ВНИИРАЭ, Обнинск) дозами 50-1000 Гр (мощность дозы гамма-излучения – 100, 500 и 950 Гр/ч).

Для измерения поглощенных доз в воздухе и материале объектов использован современный клинический дозиметр ДКС-101, предназначенный для измерения поглощенной и эквивалентной дозы и мощности широкого диапазона энергии фотонного и электронного излучений.

Зараженность зерна насекомыми-вредителями определяли по действующему в России межгосударственному ГОСТ 13586.4-83 [17]. Качество зерна (содержание золы, протеинов, жира, клетчатки, сухого вещества, безазотистых экстрактивных веществ) после облучения определяли методом диффузной отражательной спектроскопии в ближней ИК-области спектра на ИК-анализаторе «Инфрапид-61» (Россия) [18]. Результаты экспериментов обработаны с применением пакета прикладных программ в составе Microsoft Excel 2003.

Результаты и обсуждение. Для изучения возможности применения радиационной дезинсекции против капрowego жука необходимо установить его радиостойчивость. В наших экспериментах исследовано влияние гамма облучения на жизнеспособность личинок – вредоносной стадии этого вредителя.

Облучение личинок дозами 50-450 Гр при мощности дозы излучения 100 Гр/ч вызвало 50%-ную их гибель: при дозах 200-450 Гр – через 2-3 суток после обработки, при дозах 50-150 Гр – через 4-5 суток (рис. 1 а). Полная (100%) гибель личинок наступила при дозах 350 и 450 Гр через 7 суток, при дозах 100 и 300 Гр – через 8 суток, при дозах 50, 150, 200, 250 и 400 – только через 14-17 суток.

Отсутствие прямо пропорциональной зависимости смертности личинок от величины дозы облучения объясняется разным возрастом личинок, подсаженных на зерно, – чем больше их возраст, тем они более радиостойчивы. Наличие взрослых личинок способствовало при скрытом поражающем действии на них ионизирующего излучения растянутости отмирания во времени.

Увеличение мощности дозы излучения до 500 Гр/ч при таком же диапазоне доз облучения – 50-450 Гр показало аналогичную зависимость смертности личинок капрowego жука от дозы облучения, как и при мощности дозы 100 Гр/ч (рис. 1 б). Через 5-6 суток после облучения при всех дозах, кроме вариантов облучения в дозах 100 и 150 Гр, отмечена 50%-ная летальность личинок. Полная гибель популяции вредителя была более растянута во времени: при 400 Гр – 8 суток, при 200 и 300 Гр – 12, при 350 Гр – 14, при дозах 50, 100, 250, 450 Гр – 18. При дозе 150 Гр смертность достигала 90% на 14-е сутки и сохранялась на этом плато в течение 9 суток, что можно объяснить разным возрастом личинок (рис. 1 б).

Облучение личинок дозами 50-450 Гр при увеличении мощности дозы до 950 Гр/ч показало длительное плато динамики отмирания личинок при высоких дозах 350-450 Гр на уровне смертности 70-90%, вследствие чего произошла задержка наступления их полной гибели – через 20-24 суток (рис. 2 а). Увеличение диапазона доз облучения до 500-1000 Гр при мощности дозы излучения 950 Гр/ч оказало более эффективное действие на жизнеспособность личинок: их смертность отмечена на 5-6 сутки (рис. 2 б). При таком диапазоне доз кривые смертности на графике мало различались, поэтому при выборе доз для радиационной дезинсекции продукции, зараженной капрowym жуком, на стадии личинок можно ограничиться дозой 500 Гр в целях экономии средств на проведение обработки.

Ионизирующее излучение значимо не влияло на такие показатели химического состава зерна ячменя сорта Нур, как содержание протеинов, жира, клетчатки, сухого вещества и безазотистых экстрактивных веществ. Содержание золы статистически значимо изменялось под действием облучения, но не более чем на 3-6%.

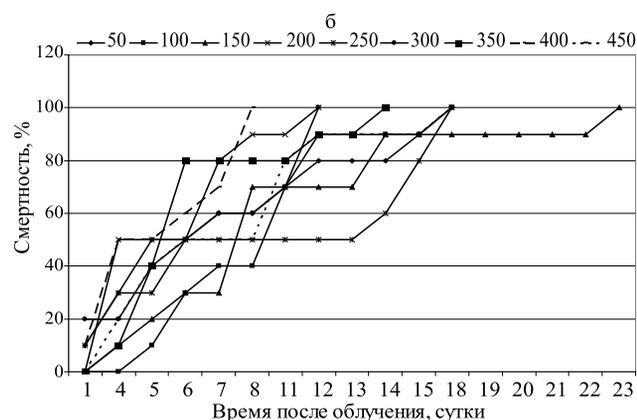
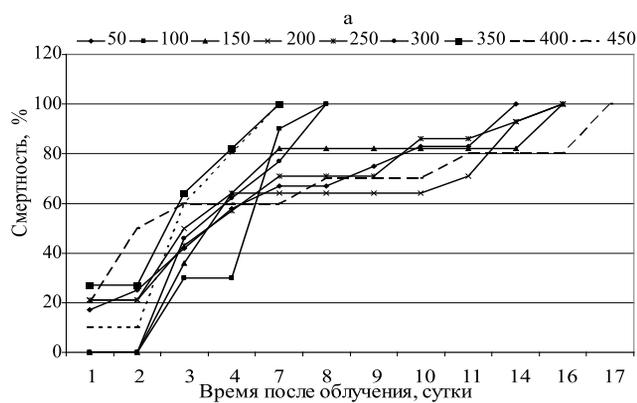


Рис. 1. Смертность личинок капрowego жука при мощности дозы излучения 100 (а) и 500 (б) Гр/ч.

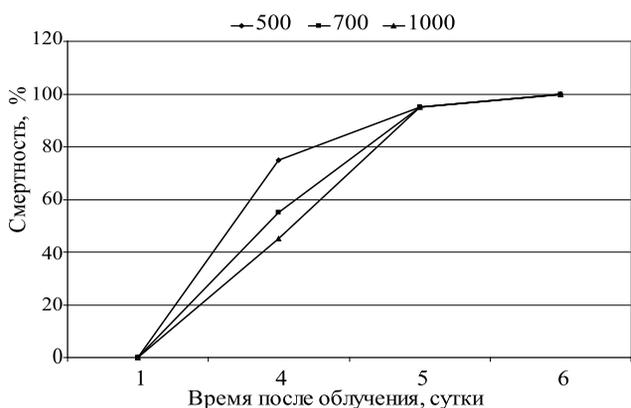
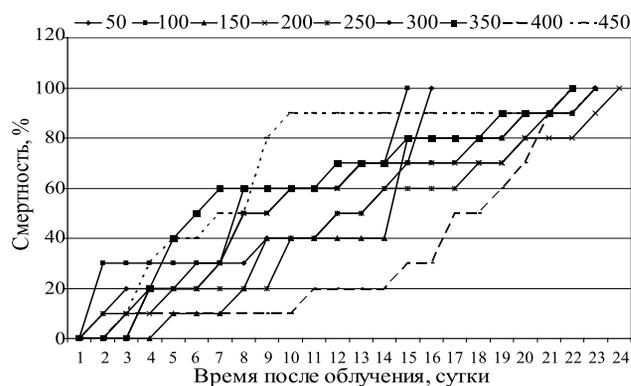


Рис. 2. Динамика отмирания личинок капрowego жука при мощности дозы 950 Гр/ч.

Таким образом, в результате лабораторных экспериментов установлено, что при облучении в диапазоне доз 50-450 Гр жизнеспособность личинок капрowego жука зависит от их возраста и дозы излучения, а при облучении дозами 500-1000 Гр – только от дозы и мощности излучения. Химический состав облученного зерна ячменя сорта Нур значительно не изменялся, кроме содержания золы, но не более чем на 3-6%.

Литература

1. Гордеев А.В., Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Быстров П.А., Илюхина Н.В., Молин А.А., Павлов Ю.С., Полякова С.П., Прокопенко А.В., Филиппович В.П. Перспективы применения облучения электронным пучком для обеспечения микробиологической безопасности пищевой продукции // *Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛаПлаз-2018: сб. научных трудов IV между. Конф. (30 января – 1 февраля 2018 года, Москва, Россия). Т. 1.* – М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 385-386.
2. Грачева А.Ю., Завьялов М.А., Павлов Ю.С., Прокопенко А.В., Филиппович В.П. Радиационное воздействие электронов на суспензии микроорганизмов // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Техническая физика и автоматизация.* – 2015. – N 71. – С. 73-79.
3. Быстров П.А., Розанов Н.Е. Модель облучения электронным пучком трехмерного объекта в стерилизационной установке с местной биоэцицией // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядернофизические исследования.* – 2014. – N 3(91). – С. 128-133.

4. Бьковченко Т.В., Волкова О.В., Завьялов М.А. Радиационное воздействие электронов на чистые культуры микроорганизмов // *Хранение и переработка сельхозсырья.* – 2014. – N 12. – С. 45-49.
5. Закладной Г.А. Радиационная дезинсекция зерна: Монография. – М.: Центр подготовки специалистов. – 2020. – 151 с.
6. Follett P.A., Neven L.G.. Current trends in quarantine entomology // *Annu. Rev. Entomol.* – 2006. – 51. – P. 359. – P. 385.
7. Климшина А.Я. Половая стерилизация свекловичной мухи. / *Биологический метод борьбы с вредителями растений.* – Рига, 1968. – С. 247-282.
8. Brown G.A., Brower J.H., Tilton E.W. Gamma radiation effects on *Sitophilus zeamais* and *S. granarius* // *Journal of Economic Entomology.* – 1972. – 65. – P. 203-205.
9. Tilton E.W., Brower J.H. Ionizing radiation for insect control in grain and grain products // *Cereal Food World.* – 1987. – 32. – P. 330-335.
10. Zewar M.M., Abdel-Salam C.A. Food consumption by irradiated *Sitophilus granarius* (L.) and *Rhyzopertha dominica* F. // *Agricultural Research Review.* – 1988. – 66. – P. 55-61.
11. Guy J. Hallman. Control of stored product pests by ionizing radiation. // *Journal of Stored Products Research.* – 2013. – 52. – P. 36-41
12. Hallman G.J. Generic phytosanitary irradiation treatments // *Radiation Physics and Chemistry.* – 2012. – 81. – P. 861-866.
13. Hallman G.J., Phillips T.W. Ionizing irradiation of adults of Angoumois grain moth (*Lepidoptera*:

- Gelechiidae) and Indianmeal moth (Lepidoptera: Pyralidae) to prevent reproduction, and implications for a generic irradiation treatment for insects. // Journal of Economic Entomology. – 2008. – 101. – P. 1051-1056.*
14. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н. Влияние ионизирующих излучений на радиочувствительность *Oryzaephilus surinamensis* // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – N 1. – С. 25-28.
15. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н., Щагина Н.И., Миронова М.П., Губарева О.С. Влияние ионизирующего излучения на жизнеспособность насекомых-вредителей и качество зерна и зернопродуктов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – N 6. – С. 53-55.
16. Лой Н.Н., Гулина С.Н., Щагина Н.И., Миронова М.П. Влияние ионизирующих излучений на жизнеспособность насекомых-вредителей зерна и зернопродуктов // Круглый стол «Применение химических веществ, ионизирующих и неионизирующих излучений в агробиотехнологиях», в рамках XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Москва, 21 сентября 2016 г. – Обнинск: ВНИИРАЭ. Сборник докладов, 2016. – С. 82-86.
17. Зерно. Методы определения зараженности и повреждения вредителями. ГОСТ 13586.4-83. – М.:Стандартинформ, 1984.
18. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 24-28.

Поступила в редакцию 18.05.20
После доработки 10.06.20
Принята к публикации 12.06.20

Агрехимия. Почвоведение

УДК 631.445.24

DOI:10.31857/S2500262720050105

**ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЗАЛЕЖНЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ИХ ОСВОЕНИИ В ПАШНЮ****А.В. Леднев¹**, доктор сельскохозяйственных наук,
А.В. Дмитриев^{1,2}, кандидат сельскохозяйственных наук, **Д.А. Попов²**, аспирант¹Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
426067, Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34
E-mail: av-lednev@yandex.ru²Ижевская государственная сельскохозяйственная академия,
426069, Ижевск, ул. Студенческая, 11
E-mail: agro@izhgsha.ru

Исследовали влияние исходной степени окультуренности на развитие современных почвообразовательных процессов в течение четырехлетнего зарастания агродерново-подзолистых суглинистых почв и их освоения под пашню, которые привели к изменению агрохимических показателей. Объектом исследования был пахотный слой агродерново-подзолистой суглинистой почвы разного исходного уровня плодородия и вида использования. Полевые эксперименты проведены на базе многолетнего полевого опыта, в котором в течение трех ротаций 7-польного парозернотравяного севооборота сформированы три уровня окультуренности почв: средний, повышенный и высокий. Показано, что даже кратковременный период зарастания (4 года) вызывает дифференциацию пахотного слоя на два подгоризонта. В верхней его части (0-10 см) развивался дерновый процесс почвообразования, обусловленный разложением травянистой сорной растительности, что привело к увеличению в этом подгоризонте содержания органического вещества и суммы обменных оснований. На нижнюю часть пахотного слоя (10-20 см) накладывался зональный подзолистый процесс, обуславливающий снижение его гумусированности и увеличение кислотности. Повышенное и высокое исходное окультуривание ускоряли процесс дифференциации постагрогенного горизонта на подслои. Распашка постагрогенного горизонта устраняла наметившуюся дифференциацию уже в течение первого года освоения залежи. Распаханный постагрогенный горизонт отличался от пахотного слоя аналогичных почв, которые продолжали активно использовать в сельскохозяйственном обороте, более высокой кислотностью и несколько повышенным содержанием органического вещества (на 0,06-0,10 абс.% или на 3,3-4,8 отн.%). Созданный в предыдущие годы уровень окультуренности пахотного горизонта сохранялся даже на пятый год наблюдений.

**CHANGE IN AGROCHEMICAL PARAMETERS OF FALLOW
SOD-PODZOLIC SOILS DURING THEIR DEVELOPMENT
IN ARABLE LAND****Lednev A.V.¹, Dmitriev A.V.^{1,2}, Popov D.A.²**¹Udmurt Federal Research Center of UrO RAS,
426067, Izhevsk, ul. T. Baramzinoy, 34
E-mail: av-lednev@yandex.ru²Izhevsk state agricultural Academy, 4
26069, Izhevsk, ul. Studencheskaya, 11
E-mail: agro@izhgsha.ru

The influence of the initial cultivation degree on the development of modern soil-forming processes during the four-year period of overgrowing of agro-soddy-podzolic loamy soils and their development under arable land was studied. The object of the study was the arable layer of agro-sod-podzolic soil of different initial levels of fertility and type of use. Based on the data of long-term field experience, the influence of the initial cultivation degree on the development of modern soil-forming processes over the period of four-year overgrowing of agro-sod-podzolic loamy soils and their development by arable land, which led to a change in their agrochemical indicators, was established. It was shown that the overgrowing process caused the differentiation of the arable layer into two subhorizons. The soddy process of soil formation due to the decomposition of grassy weeds in it is superimposed on its upper part (0-10 cm), which leads to an increase in the content of organic matter and the amount of exchange bases in this subhorizon. The zonal podzolic process, which causes a decrease in its high humus content and an increase in acidity, begins to superimpose on the lower part of the arable layer (10-20 cm). Increased and high initial cultivation accelerates the differentiation process of the post-agrogenic horizon into sublayers. The plowing of the post-agrogenic horizon eliminates the emerging differentiation during the first year of development of the fallow lands. The plowed post-agrogenic horizon differs from the arable layer of similar agro-sod-podzolic loamy soils with a higher acidity and increased organic matter content (by 0.06-0.10 abs.% or 3.3-4.8 rel.%). The levels of cultivation of the arable horizon created in previous years are preserved even in the fifth year of observations.

Ключевые слова: залежь, агродерново-подзолистые почвы, степень окультуренности, агрохимические показатели**Key words:** fallow land, agro-sod-podzolic soils, cultivation degree, agrochemical indicators

Согласно официальной статистике, в Российской Федерации не используются в сельском хозяйстве 35,92 млн га или 18,1% площади сельскохозяйственных угодий. Все они постепенно зарастают травянистой сорной и древесно-кустарниковой растительностью и превращаются в залежь, площадь которой в 2016 г. составила 4,4 млн га или 2,2% [1]. С 2007 г.

темпы вывода земель из сельскохозяйственного оборота снизились, и наметилась тенденция их постепенного вовлечения в пашню. По данным Росреестра на 1 января 2019 г., площадь залежей составила 4,3 млн га, то есть только за последние три года она сократилась на 100 тыс. га. В целом это позитивное явление, которое свидетельствует о постепенном выходе аграрного

Табл. 1. Агрохимические показатели почв до их зарастания (0-20 см слой), 2014 г.

Уровень плодородия	КПП	ОВ*, %	рН _{КСЛ}	Физико-химические свойства, ммоль/100 г		Химические свойства, мг/кг	
				Н _T	S	P ₂ O ₅	K ₂ O
Средний	0,73	1,78±0,18	5,25±0,07	2,75±0,21	10,7±0,5	213±13	148±68
Повышенный	0,83	2,26±0,11	5,40±0,23	2,80±0,80	12,1±0,7	303±20	116±31
Высокий	0,92	2,48±0,07	5,47±0,40	2,97±0,29	12,6±0,5	357±15	130±32

*Органическое вещество.

Табл. 2. Изменение обменной кислотности (ед. рН_{КСЛ}) в пахотном слое агродерново-подзолистой почвы в зависимости от исходного уровня плодородия и вида использования

Вариант	Слой, см	2015 г. (28.08.)	2016 г. (26.08.)	2017 г. (15.09.)	2018 г. (30.08.)	2019 г. (год освоения залежи (15.09.))	Отклонение 2019/2018 г.
Средний (залежь)	0-10	5,25	5,33	5,19	5,21	5,06	-0,15
	10-20	5,10	5,10	5,05	5,00	4,79	-0,21
Средний (пашня)	0-10	5,18	5,22	5,20	5,04	5,24	0,20
	10-20	5,11	5,16	5,20	4,97	5,11	0,14
Повышенный (залежь)	0-10	5,40	5,20	5,30	5,46	5,16	-0,30
	10-20	5,30	5,08	5,16	5,18	5,27	0,09
Повышенный (пашня)	0-10	5,36	5,18	5,20	5,22	5,36	0,14
	10-20	5,05	5,16	5,25	4,97	5,33	0,36
Высокий (залежь)	0-10	5,47	5,30	5,36	5,48	5,20	-0,28
	10-20	5,30	5,17	5,13	5,16	5,21	0,05
Высокий (пашня)	0-10	5,26	5,24	5,20	5,18	5,33	0,15
	10-20	5,47	5,30	5,25	5,16	5,25	0,09
НСР ₀₅	0-10	F _p < F _T	F _p < F _T	F _p < F _T	0,09	0,02	-
	10-20	0,11/2,1	0,10	0,05	0,06	0,05	-

сектора из кризиса, но оно создает и комплекс проблем по разработке эффективных экологически безопасных технологий освоения залежи и выявлению закономерностей течения современного почвообразовательного процесса, который происходит в залежи после ее освоения в пашню.

В настоящее время хорошо изучено влияние процесса зарастания на свойства различных зональных агрогенных почв; выявлены факторы, которые на него непосредственно воздействуют: период зарастания, ландшафтные условия, тип почвы, ее гранулометрический состав и степень окультуренности [2-11]. В то же время имеются лишь единичные разрозненные литературные данные о влиянии на эти свойства различных агрономических мероприятий по их освоению в пашню, проведенных в разных почвенно-климатических условиях [12-20].

Цель наших исследований – определить влияние освоения кратковременной залежи в пашню на развитие современных почвообразовательных процессов в агродерново-подзолистых суглинистых почвах, приводящих к изменению их агрохимических показателей.

Методика. Влияние способов освоения залежи на свойства агродерново-подзолистых почв изучали на базе многолетнего полевого опыта в течение трех ротаций 7-польного парозернотравяного севооборота с разными видами паров, различными биоресурсами и ми-

неральными удобрениями. Все это позволило сформировать в опыте три уровня окультуренности дерново-подзолистых почв: средний, повышенный и высокий [11]. Усредненные показатели пахотного слоя изучаемых ключевых площадок приведены в табл. 1. Согласно методике расчета определяли показатели почвенного плодородия (КПП) для каждой ключевой площадки, которые были затем объединены по уровню окультуренности в три группы.

В 2014 г. часть делянок в опыте была оставлена для естественного зарастания на четыре года. В первой декаде сентября 2018 г. эти делянки начали осваивать в пашню. Изучали две системы агротехнических мероприятий по освоению залежи: отвальную и безотвальную. В настоящей работе приведены данные только по отвальной системе обработки залежи, более контрастной по сравнению с безотвальной обработкой.

В течение всего периода наблюдений (2015-2019 гг.) на делянках, оставленных под естественное зарастание, определяли агрохимические показатели и сравнивали их с показателями почв, расположенных на аналогичных делянках, но по-прежнему используемых под пашню. Количество анализируемых делянок по каждому уровню плодородия – 9 (6 делянок под залежью и 3 делянки под пашней). Размер делянок – 18 м x 8 м, учетная площадь – 144 м². На каждой делянке из пахотного слоя отбирали почвенные образцы по слоям 0-10 и 10-20 см и анализировали в биохимической лаборатории Удмуртского НИИ сельского хозяйства стандартными методами.

Результаты и обсуждение. Изменение обменной кислотности в пахотном слое агродерново-подзолистой почвы в зависимости от исходного уровня плодородия и вида использования показано в табл. 2. В процессе зарастания на всех фонах окультуренности почвы наметилась тенденция дифференциации пахотного слоя на два подгоризонта. В верхней его части (0-10 см) кислотность не изменялась или несколько снижалась, а в нижней (10-20 см) в большинстве случаев наблюдали подкисление, особенно хорошо выраженное при более высоком уровне окультуренности исходной почвы. Это объясняется течением зональных почвообразующих процессов, которые резко активизировались сразу после вывода пашни из сельскохозяйственного оборота: в верхнем подслое пахотного горизонта – дернового, в нижнем подслое – подзолистого. Отмеченную закономерность мы выявили и при почвенно-экологическом обследовании залежных земель на территории Удмуртской Республики [8].

После распашки залежи в 2019 г. кислотность слоев пахотного горизонта практически выравнивалась: в верх-

Табл. 3. Изменение суммы поглощенных катионов оснований (ммоль/100 г) в пахотном слое агродерново-подзолистой почвы в зависимости от исходного уровня плодородия и вида использования

Вариант	Слой, см	2015 г. (28.08.)	2016 г. (26.08.)	2017 г. (15.09.)	2018 г. (30.08.)	2019 г. (год освоения залежи (15.09.))	Отклонение 2019/2018 г.
Средний (залежь)	0-10	10,7	12,5	13,8	11,6	12,2	0,6
	10-20	11,6	12,8	11,8	9,8	12,4	2,6
Средний (пашня)	0-10	11,2	12,0	12,1	10,0	12,2	2,2
	10-20	12,6	13,2	13,6	10,1	12,4	2,3
Повышенный (залежь)	0-10	12,1	13,2	14,7	12,0	14,0	2,0
	10-20	12,6	13,6	13,6	11,3	15,0	3,7
Повышенный (пашня)	0-10	13,2	12,9	14,0	11,1	14,2	3,1
	10-20	13,8	14,0	15,7	16,9	15,8	-1,1
Высокий (залежь)	0-10	12,6	14,4	16,3	15,5	14,8	-0,7
	10-20	12,2	15,2	12,7	13,0	14,9	1,9
Высокий (пашня)	0-10	12,6	13,8	15,0	14,2	13,8	-0,4
	10-20	14,8	15,6	16,7	17,7	14,8	-2,9
НСР ₀₅	0-10	0,8	1,2	1,5	1,5	0,8	-
	10-20	F _p < F _T	F _p < F _T	1,5	1,0	1,0	-

Табл. 4. Изменение содержания (%) органического вещества в пахотном слое агродерново-подзолистой почвы в зависимости от исходного уровня плодородия и вида использования

Вариант	Слой, см	2015 г. (28.08.)	2016 г. (26.08.)	2017 г. (15.09.)	2018 г. (30.08.)	2019 г. (год освоения залежи (15.09.))	Отклонение 2019/2018 г.
Средний (залежь)	0-10	1,78	1,73	1,94	1,98	1,88	-0,10
	10-20	1,60	1,51	1,57	1,56	1,76	0,20
Средний (пашня)	0-10	1,82	1,70	1,90	1,70	1,82	0,12
	10-20	1,80	1,64	1,75	1,66	1,78	0,12
Повышенный (залежь)	0-10	2,26	2,20	2,28	2,27	2,20	-0,07
	10-20	2,12	2,10	2,08	2,00	2,12	0,12
Повышенный (пашня)	0-10	2,22	2,14	2,12	2,09	2,10	0,01
	10-20	2,18	2,16	2,14	2,00	2,00	0,00
Высокий (залежь)	0-10	2,48	2,57	2,55	2,53	2,43	-0,10
	10-20	2,36	2,30	1,98	2,08	2,27	0,19
Высокий (пашня)	0-10	2,28	2,35	2,30	2,29	2,33	0,04
	10-20	2,18	2,25	2,11	2,02	2,27	0,25
НСР ₀₅	0-10	0,12	0,17	0,24	0,20	0,25	-
	10-20	F _p < F _T	F _p < F _T	0,36	0,29	0,24	-

ней части несколько увеличилась, в нижней – уменьшилась. Это обусловлено, во-первых, перемешиванием слоев между собой, во-вторых, разложением большой массы сорной растительности преимущественно в верхнем слое пахотного горизонта. Исключение составил только слой 10-20 см в средние окультуренных почвах, который подкислялся и после распахки. В целом кислотность пахотного слоя освоенной залежи была выше, чем в аналогичных вариантах пахотного слоя пашни, которую продолжали активно использовать в сельскохозяйственном обороте: в слое 0-10 см на 0,02-0,18 ед. рН_{KCl} (0,4-3,4%); в слое 10-20 см на 0,04-0,33 ед. рН_{KCl} (0,8-6,5%). Наибольшая разница по показателю рН_{KCl} отмечена в варианте со средним уровнем окультуренности.

Приведенные в табл. 2 данные подтверждают сохранение после четырехлетнего зарастания залежи и одного года ее освоения ранее сформированных уровней окультуренности. Фон со средним уровнем окультуренности (слой 0-10 см) имел реакцию, более кислую на 0,10 ед. рН_{KCl} (на 2,0%), чем на фоне с повышенным уровнем, и на 0,14 ед. рН_{KCl} (на 2,8%), чем на фоне с высоким уровнем при НСР₀₅ 0,02.

Даже кратковременный процесс зарастания обусловил небольшое повышение суммы обменных оснований в слое почвы 0-10 см по сравнению с аналогичными вариантами, используемыми под пашней (табл. 3). Эта закономерность объясняется накоплением в этом слое продуктов промежуточного распада травянистой сорной растительности (лигнина, клетчатки, высокомолекулярных органических кислот и др.), обладающих большой поглощательной способностью. В слое почвы 10-20 см с 3-го года зарастания началось постепенное снижение этого показателя по сравнению с верхним слоем 0-10 см. За счет этого наметилась дифференциация пахотного горизонта на два подгоризонта и по показателю суммы обменных оснований. После распахки залежи в 2019 г. произошло выравнивание этого показателя между изучаемыми слоями, он изменялся только от исходного уровня окультуренности. Фон с повышенным уровнем окультуренности (слой 0-10 см) превышал средний уровень на 1,8 ммоль/100 г (14,7%), высокий уровень – на 2,6 ммоль/100 г (на 21,3%) при НСР₀₅ 0,8. В вариантах, находящихся под пашней, сумма обменных оснований в слое почвы 10-20 см во все годы наблюдений была выше этого показателя в слое 0-10 см.

Важнейшим показателем, характеризующим общее экологическое состояние почв, является содержание в них органического вещества. Влияние исходной степени окультуренности и вида использования пашни на этот показатель показано в табл. 4. В опыте подтвердились литературные данные [3-5, 7, 8] о постепенном увеличении общего содержания органического вещества в постагрогенном слое залежных земель, что объясняется ежегодным поступлением травянистого опада сорных растений на поверхность почвы на первых этапах зарастания. Однако в отличие от почв дернового типа оно отмечено только в верхнем слое 0-10 см. В слое 10-20 см проявилась противоположная тенденция: общее количество органического вещества уменьшилось по сравнению с пахотными аналогами. Намечившаяся дифференциация пахотного слоя по этому показателю на два подгоризонта подтверждает проявление на постагрогенных почвах зональных почвообразующих процессов: в слое 0-10 см – дернового, в слое 10-20 см – подзолистого. Ранее мы выявили наличие стадийности в изменении этого показателя по годам [8]. Так, после 40 летнего зарастания агродерново-подзолистых почв содержание органического вещества в слое 0-10 см приблизилось к таковому в гор. АУ целинных почв, а в слое 10-20 см – к гор. ЕЛ.

Распашка кратковременной залежи устранила наметившуюся дифференциацию пахотного слоя по содержанию органического вещества, однако его общее количество в слое 0-10 см несколько превышало (на уровне положительной тенденции) аналогичные варианты с пашней (на 0,06-0,10 абс. % или на 3,3-4,8 отн. %) при НСР₀₅ 0,25. Содержание органического вещества в слое 0-10 см на фонах с повышенным и высоким уровнем окультуренности было выше этого показателя на фоне со средним уровнем (соответственно на 0,12 и 0,55 абс. %), что свидетельствует о сохранении созданного в предыдущие годы уровня окультуренности пахотного горизонта даже на пятый год наблюдений.

Таким образом, зарастание агродерново-подзолистых почв в таежно-лесной зоне неизбежно приводит к дифференциации пахотного слоя на два подгоризонта. На верхнюю его часть (0-10 см) накладывается дерновый процесс почвообразования, обусловленный разложением травянистой сорной растительности, что приводит к увеличению в этом подгоризонте содержания органического вещества и суммы обменных оснований. В нижней части пахотного слоя (10-20 см) развивается зональный подзолистый процесс, обуславливающий снижение его гумусированности и увеличение кислотности. Повышенное и высокое исходное окультуривание ускоряет процесс дифференциации постагрогенного горизонта на подслои. Созданные в предыдущие годы уровни окультуренности пахотного горизонта сохраняются даже на пятый год наблюдений.

Литература

1. Доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2016 году. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2018. – 240 с.
2. Анненков С.А., Белоконов А.Л., Неведров Н.П. Агрохимическая характеристика залежных земель Северо-западного (Свапского) района Курской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2017. – № 2. – С. 36-39.
3. Дричко В.Ф., Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Чернов Д.В., Буре В.М. Скорости изменения кислотности-основных параметров, содержания общего углерода и состава гумуса в дерново-подзолистой песчаной почве при переходе от пашни к лесу при сукцессии залежных земель // Агрехимия. – 2015. – № 11. – С. 19-29.
4. Ерохова А.Е., Макаров М.И., Моргунов Е.Г., Рыжова И.М. Изменение состава органического вещества дерново-подзолистых почв в результате естественного восстановления леса на пашне // Почвоведение. – 2014. – № 11. – С. 1308-1314.
5. Зинякова Н.Б., Ходжаева А.К., Тулина А.С., Семенов В.М. Активное органическое вещество в серой лесной почве пахотных и залежных земель // Агрехимия. – 2013. – № 9. – С. 3-14.
6. Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудиков А.В., Лопес де Гереню В.О. Изменение запасов углерода и эмиссии CO₂ в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в Европейской части России // Почвоведение. – 2017. – № 5. – С. 580-594.
7. Кечайкина И.О., Рюмин А.Г., Чуков С.Н. Постагрогенная трансформация органического вещества дерново-подзолистых почв // Почвоведение. – 2011. – № 10. – С. 1178-1192.
8. Леднев А.В., Дмитриев А.В. Зависимость агрохимических показателей залежных земель, расположенных на аккумулятивном направлении вещественно-энергетического потока, от срока зарастания и типа почв // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 5. – С. 27-32.
9. Салина Ю.Б., Яковлева Л.В. Комплексная оценка плодородия залежных земель Астраханской области // Агрехимический вестник. – 2016. – № 6. – С. 10-13.
10. Tirgarsoltani M.T., Gorji M., Mohammadi M.H., Millan H. Evaluation of models for description of wet aggregate size distribution from soils of different land uses // Soil Sci. Plant Nutr. – 2014. – V. 60. – P. 123-133.
11. Леднев А.В., Дмитриев А.В., Пегова Н.А., Попов Д.А. Влияние степени исходного окультуривания на агрохимические показатели залежных дерново-подзолистых почв // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. – № 6. – С. 36-39.
12. Гулюк Г.Г., Семёнов Н.А., Шуравилин А.В., Сурикова Н.В. Освоение долготелней залежи при возделывании сеяных злаковых трав // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 4. – С. 19-23.
13. Наумов Р.В., Сабитов М.М. Влияние способов основной обработки залежных земель на засоренность почвы и посевов озимой и яровой пшеницы // Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 3(15). – С. 59-64.
14. Ильинов Е.А. Введение в оборот залежных земель // Аграрные конференции. – 2018. – № 6(12). – С. 42-48.
15. Кутузова А.А., Алтунин Д.А. Эффективность создания сенокосов на залежах в нечерноземной зоне и возврата их в пашню // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1. – № 10. – С. 7-16.
16. Семенов Н.А., Шуравилин А.В., Сурикова Н.В. Влияние запаханной биомассы на свойства дерново-подзолистой почвы при освоении залежных земель в условиях Московской области // Природообустройство. – 2018. – № 1. – С. 69-76.
17. Семенова Е.И., Титова В.И. Динамика агрохимических показателей чернозема оподзоленного в состоянии 5-летней залежи // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития: матер. между. научн. экологической конф., 2020. – С. 71-73.
18. Семенова Е.И., Титова В.И., Митянин И.О. Содержание тяжелых металлов в почве после распашки залежи первой стадии сукцессии // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 1-1(91). – С. 108-113.
19. Черкасов Г.Н., Сосов Н.А. Эффективные приемы освоения залежных земель под зерновые культуры на склонах ЦЧЗ // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 2. – С. 35-37.
20. Шпедт А.А., Трубников Ю.Н. Гумусное состояние и рациональное использование почв залежных земель Приенисейской Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 5. – С. 5-8.

Поступила в редакцию 15.05.20

После доработки 02.06.20

Принята к публикации 30.06.20

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВИННО-КОНЬЯЧНОЙ БАРДЫ НА ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ
ТАМАНСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

В.Н. Слюсарев, доктор сельскохозяйственных наук,
А.В. Осипов, кандидат сельскохозяйственных наук,
В.П. Власенко, доктор сельскохозяйственных наук

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
350044, Краснодар, ул. Калинина, 13
E-mail: mail@kubsau.ru

*Изучали свойства южных черноземов Тамани с позиций их пригодности для выращивания винограда и возможность утилизации отходов винодельческой промышленности методом разбавления водой, с последующим внесением в почву. Объектами исследования были чернозем южный и состав вино-коньячной барды. Чернозем южный характеризуется высокой плотностью (1,29-1,64 г/см³), щелочностью (рН 8,0-8,5), насыщенностью почвенного поглощающего комплекса кальцием (69,6-73,2%), магнием (17,0-18,9%) и натрием (7,3-11,5%). Оценено влияние различных концентраций вино-коньячной барды на химические свойства почвы, качественный и количественный состав грибной флоры и степень почво-утомления. Компостирование почвы с отходами вино-коньячной продукции в ее естественном состоянии в лабораторных условиях существенно влияло на реакцию почвенной среды (изменение составило 0,1 единицы рН по отношению к контрольному варианту) и количество органического вещества (разница с контролем – 0,21%). В почвенных образцах условно-патогенная группа грибов была представлена тремя родами: грибами рода *Fusarium* spp., *Cephalosporium* spp. и *Alternaria* spp. При этом преобладали грибы из рода *Fusarium*, на долю которых приходилось 54,5 % от общего количества выделенных микромицетов.*

**AGROECOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF WINE
AND COGNAC BARDA IN THE SOUTHERN CHERNOZEMS
OF THE TAMAN PENINSULA**

Slyusarev V.N., Osipov A.V., Vlasenko V.P.

Kuban state agrarian University named after I.T. Trubilin,
350044, Krasnodar, ul. Kalinina, 13
E-mail: mail@kubsau.ru

*The purpose of the research was to study the properties of southern Taman chernozems from the point of view of their suitability for growing grapes and to establish the possibility of recycling waste from the wine industry by diluting it with water, followed by adding it to the soil. The objects of research were southern Chernozem and the composition of wine and cognac Barda. Southern Chernozem is characterized by high density (1.29-1.64 g/cm³), alkalinity (pH 8.0-8.5), saturation of the soil absorbing complex with calcium (69.6-73.2%), magnesium (17.0-18.9%) and sodium (7.3-11.5%). The influence of various concentrations of wine and cognac Barda on the chemical properties of the soil, the qualitative and quantitative composition of the fungal flora and the degree of soil fatigue was evaluated. Composting of soil in laboratory controlled conditions with waste of wine and cognac products in its natural state had a significant impact on the reaction of the soil environment (the change was 0.1 pH units in relation to the control variant) and on the amount of organic matter: the difference with the control was 0.21 %. In soil samples, the opportunistic group of fungi was represented by three genera: fungi of the genus *Fusarium* SPR., *Cephalosporium* SPR. and *Alternaria* SPR. At the same time, the predominant fungi were from the genus *Fusarium*, which accounted for 54.5 % of the total number of isolated micromycetes.*

Ключевые слова: чернозем южный, физические и физико-химические свойства, отходы, винодельческая продукция, микрофлора, патогены, супрессоры

Key words: southern chernozem, physical, physical and chemical properties, waste, wine, products, fungal flora, pathogens, suppressors

Кубань занимает первое место в Российской Федерации по объему производства вина и шампанского. Общая площадь виноградников в регионе составляет 27 тыс. га, или 30% от всех виноградных насаждений России. Основные их площади расположены в Темрюкском районе – около 70% площадей, занятых виноградниками на Кубани. Земельный фонд этого региона представлен преимущественно черноземами южными (32866 га), среди которых солонцеватые почвы занимают 18,1%. Они ограниченно пригодны для выращивания винограда из-за неблагоприятных свойств, но агрофирма «Фанагория» рассматривает их как один из резервов производства виноградарской продукции. Общая площадь виноградников фирмы составляет 3419 га [1].

Установлен устойчивый тренд в изменении климатических показателей по метеостанции г. Темрюк: среднегодовое количество осадков составляет 837,0-748,9 мм, что выше на 40-65% среднегодовых данных [1]. На этом фоне одновалентные катионы

минеральных удобрений усиливают пептизацию гумусовых кислот, а анионы, вымываясь из почвы, выносят эквивалентное количество кальция, что негативно сказывается на состоянии почвенного поглощающего комплекса (ППК). Эти процессы ускоряют минерализацию гумуса, ухудшают условия питания растений, формируют неблагоприятные для винограда физические свойства почвы.

Не менее важная проблема вино-коньячного производства – большое количество специфических отходов. Известно, что для их утилизации существуют различные способы и технологии, однако, все они предусматривают сложную технологическую переработку и требуют высоких финансовых затрат [2, 3]. Практически отсутствуют сведения о влиянии отходов винодельческой промышленности на биологическое разнообразие почвы и перспективы развития болезней винограда. Известны исследования микромицетов в почве, не связанные с применением барды [4].

Таким образом, совокупность природных и антропогенных факторов обусловила необходимость оперативного изучения состава и свойств ограниченно пригодных почв для виноградарства с целью разработки мелиоративных и агротехнических мероприятий повышения их плодородия. Учитывая высокое содержание карбонатов в черноземах южных Тамани, способных нейтрализовать значительное количество кислот, мы сформулировали рабочую гипотезу эксперимента, в котором предусмотрена возможность утилизации коньячной барды путем предварительного разбавления ее водой и внесения в почву без предварительной нейтрализации кислот в ее составе.

Цель исследований состояла в изучении свойств южных черноземов Тамани с позиций их пригодности для выращивания винограда и возможности утилизации отходов винодельческой промышленности методом разбавления водой, с последующим внесением в почву.

Методика. Виноградники «Фанагории» находятся на Таманском полуострове, между Таманским заливом Черного моря и Азовским морем. Объектами исследования были почва земельного участка фирмы – чернозем южный и состав вино-коньячной барды. При полевом обследовании заложены три почвенных разреза (шурфа), пробурены скважины, проведено морфологическое описание почвы и отобраны пробы для ее исследования. Определяли физические свойства почвы: плотность сложения методом режущего кольца (пробы с ненарушенным сложением), плотность твердой фазы – пикнометрическим методом, пористость общую и пористость аэрации – расчетом, а также влажность почвы – гравиметрическим методом [5]. В августе 2019 г. на кафедре был смоделирован лабораторный опыт с целью изучения влияния вино-коньячной барды различных концентраций на свойства чернозема южного и состав почвенной грибной флоры.

Воздушно-сухую почву, предварительно просеянную через сито с диаметром отверстий 3 мм, помещали по 150 г в химические стаканы объемом 200 мл и увлажняли из расчета 25 % от воздушно сухой массы. Схема опыта включала 4 варианта со следующими концентрациями барды: 1 – увлажнение почвы дистиллированной водой (контроль); 2, 3, 4 – увлажнение почвы винной бардой с концентрацией раствора соответственно 100, 50 и 25 %. Повторность в опыте – 3-кратная. Компостирование проводили при комнатной температуре (23-25 °С) в течение 3 месяцев. Влажность почвы во время экспозиции поддерживали на уровне 25 % от массы сухой почвы периодическим взвешиванием стаканов и добавлением дистиллированной воды до расчетной массы.

Химические анализы почвы и вино-коньячной барды проводили в аттестованной лаборатории Центра агрохимической службы «Краснодарский» по методикам, разработанным в соответствии с ГОСТ [6]. Методы учета грибов проводили путем прямого микроскопирования, а также методом агаровых пленок в лаборатории кафедры фитопатологии, энтомологии и защиты растений Кубанского государственного аграрного университета. Видовой состав определяли по комплексу культурально-морфологических признаков и физиолого-биохимическим свойствам [7]. Статистическая обработка результатов лабораторного опыта проведена по методике в изложении Т.М. Литтлз, Ф.Дж. Хилз [8].

Результаты и обсуждение. Исследуемый участок представлен многолетней залежью, используемой в качестве пастбища и сенокосов. Рельеф окрестности – пологие склоны холмисто-рядовой Фанагорийской возвышенности. Три почвенных разреза заложены в верхней, средней и нижней части склона юго-юго западной (ЮЮЗ) экспозиции. Состояние угодья удовлетворительное. В результате морфологического описания почвы установлено ее полное название: чернозем южный солонцеватый мощный тяжелосуглинистый на третичных глинистых отложениях. Результаты определения общих физических свойств черноземов южных свидетельствуют о неблагоприятных показателях их величин для роста и развития виноградных растений (табл. 1).

В верхней части профиля почвы величина плотности характеризует ее как слабо уплотненную. В горизонте А плотность почвы возрастает до критических пределов, а в горизонте АВ достигает величин, лимитирующих развитие корневой системы, что приводит к угнетению виноградной лозы [9]. В соответствии с изменением этого показателя варьирует и величина общей пористости: от приемлемой для роста и развития винограда в горизонте Ад до минимальной величины в горизонтах В и С.

Поры, занятые воздухом, уже в горизонтах АВ характеризовались неблагоприятными для развития кор-

Табл. 1. Агрохимические показатели почв до их зарастания (0-20 см слой), 2014 г.

Горизонт	Мощность горизонта, см	Плотность почвы, г/см ³	Пористость, %	
			общая	аэрации
Ад	$19,0 \pm 0,71$ 5,26	$1,29 \pm 0,01$ 0,77	$51,3 \pm 0,3$ 0,78	$30,3 \pm 0,4$ 1,82
А	$39,3 \pm 2,95$ 10,5	$1,50 \pm 0,08$ 7,21	$43,6 \pm 2,8$ 9,00	$18,7 \pm 3,7$ 28,0
АВк	$64,3 \pm 18,2$ 40,0	$1,61 \pm 0,07$ 6,03	$39,6 \pm 2,4$ 8,65	$12,4 \pm 2,6$ 29,1
Вк	$55,7 \pm 13,8$ 35,0	$1,64 \pm 0,09$ 7,62	$38,9 \pm 3,2$ 11,8	$7,24 \pm 2,1$ 41,5
Ск	–	$1,62 \pm 0,05$ 4,02	$40,4 \pm 1,9$ 6,70	$8,13 \pm 2,5$ 44,0

Примечание. Над чертой – средняя арифметическая величина и ее ошибка, под чертой – коэффициент вариации, %.

Табл. 2. Средние статистические показатели физико-химических свойств почвы

Горизонт	Гумус, %	рН водной вытяжки	Кальций	Магний	Натрий
Ад	$2,27 \pm 0,17$ 10,6	$7,97 \pm 0,21$ 3,83	$22,7 \pm 7,0$ 43,6	$6,03 \pm 0,9$ 21,1	$2,28 \pm 0,58$ 36,1
А	$1,88 \pm 0,07$ 5,59	$8,20 \pm 0,28$ 4,88	$22,9 \pm 4,8$ 29,6	$6,20 \pm 1,5$ 34,9	$3,79 \pm 0,37$ 13,8
АВк	$1,56 \pm 0,18$ 16,8	$8,27 \pm 0,50$ 8,58	$23,9 \pm 3,9$ 22,8	$6,47 \pm 0,4$ 8,92	$4,07 \pm 0,64$ 22,0
Вк	–	$8,50 \pm 0,35$ 5,88	$21,0 \pm 4,2$ 28,4	$8,23 \pm 0,4$ 5,99	$3,71 \pm 0,35$ 13,2
Ск	–	$8,30 \pm 0,50$ 8,43	$17,4 \pm 4,6$ 37,6	$7,57 \pm 0,5$ 9,56	$4,13 \pm 0,59$ 20,0

Примечание. Над чертой – средняя арифметическая величина и ее ошибка, под чертой – коэффициент вариации, %.

Табл. 3. Действие винно-коньячной барды на качественный и количественный состав микрофлоры, реакцию почвенного раствора и содержание органического вещества

Вариант	Количество КОЕ*						Пато-ген: суп-рессор	рН водной вытяжки	Органиче-ское вещество, %	
	условно-патогенные			всего	условно-супрессивные					всего
	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Cephalosporium</i> sp.	<i>Alternaria</i> sp.		<i>Triходерма</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.				
Фон – почва (St)	01,3	0,0	0,4	01,7	0	02,0	02,0	0,9:1	8,13	1,27
Фон +100%-й раствор	30,0	2,9	0,0	32,9	0	04,2	04,2	7,8:1	8,03	1,48
Фон +50%-й раствор	12,7	1,7	0,3	14,7	0	33,6	33,6	2,6:1	8,13	1,28
Фон +25%-й раствор	03,5	1,5	0,7	05,7	0	05,7	05,7	1:1	8,17	1,16
НСП ₀₅	–	–	–	–	–	–	–	–	0,09	0,14

* КОЕ – колониобразующие единицы, тыс./г абсолютно сухой почвы.

невой системы винограда показателями, а в горизонтах В и С их величина уменьшалась ниже критических значений. Известно, что активные поры (крупные полости диаметром в десятки микрон) могут заполняться капиллярными формами влаги, а также пропускать гравитационную воду. Эти поры содержат воздух и большое микробиологическое население: масса микроорганизмов на кубанских черноземах достигает 7 т/га и поставляет для растений подвижные формы элементов питания [10]. Следовательно, физические свойства средней и особенно нижней части профиля исследуемых черноземов очень неблагоприятные с точки зрения их использования для выращивания культуры винограда.

Большое значение в плодородии почвы и для развития винограда имеет состояние ППК черноземов южных (табл. 2). Уровень содержания обменного кальция снижался с уменьшением количества гумуса вниз по профилю от 73,2% емкости катионного обмена (ЕКО) и в почвообразующей породе составлял 59,8% ЕКО. Присутствие катиона кальция служит благоприятным фактором формирования плодородия почвы. Однако в черноземах южных солонцеватых в результате усиления солонцового почвообразовательного процесса катионы кальция вытесняются катионами натрия из ППК вследствие достаточно высокой его концентрации в почвенном растворе. Содержание обменного натрия в гумусовых горизонтах составляет 7,4-11,5% ЕКО, и почвы с таким содержанием натрия следует считать солонцеватыми [11].

По исследованиям на Северном Кавказе, слабая солонцеватость почв снижает урожай винограда на 10%, средняя – на 30% и сильная – на 50% по сравнению с несолонцеватыми почвами [10, 11]. В наших исследованиях реакция почвенного раствора в гумусовых горизонтах чернозема – среднещелочная, в нижней части почвенного профиля – щелочная, на границе допустимых пределов для роста и развития винограда. Известно, что виноград развивается в очень широком диапазоне рН: от слабокислых почв до щелочных [10, 11].

Следует отметить высокую вариабельность показателей свойств исследуемой почвы, которая объясняется делювиальными процессами, характерными для склонового рельефа. Наши расчеты показывают, что для мелиорации только верхнего 20-сантиметрового слоя при средней плотности почвы 1,29 г/см³ и содержании обменного натрия 2,28 ммоль/100 г почвы потребуется в среднем 5,0 т/га гипса.

Определен химический состав винно-коньячной барды (%): массовая доля сухого вещества – 5,5, обще-

го азота – 1,12, подвижного фосфора – 0,45, обменного калия – 1,98, золы – 4,1, влаги – 94,5; количество макроэлементов в сухом веществе (мг/кг): кальция – 1,7, магния – 13,55, натрия – 0,37. Установлена высокая кислотность барды (рН 3,8), что может негативно сказываться на состоянии почвы после ее применения в концентрированном составе.

В лабораторном опыте на 2-е сутки с начала компостирования в вариантах с применением барды объем почвы увеличился, особенно в условиях применения раствора в естественном состоянии. Английские ученые, которые использовали в аналогичном опыте растворы мелассы, также отмечали увеличение объема почвы за счет ферментации, которая происходила одновременно с заметным повышением численности микроорганизмов. Предположительно, бактериальные полисахариды выстилали поры в обработанной почве, и такая разбухающая структура сохранялась при высыхании [12].

Компостирование почвы с отходами винно-коньячной продукции существенно влияло на реакцию почвенной среды только в варианте с применением раствора барды в естественном состоянии: изменение составило 0,1 единиц рН по отношению к контрольному варианту. Применение разбавленных растворов не оказало существенного воздействия на величину рН, что подтверждает высокую буферную способность чернозема южного (табл. 3). Количество органического вещества также достоверно увеличилось при исходной концентрации по сравнению с контролем (на 0,21%). Изменение количества компонента в других вариантах существенно не отличалось от контроля.

В результате микологического анализа почвы установлен родовой состав условно-патогенного и условно-супрессивного комплексов микромицетов. В почвенных образцах условно-патогенная микота представлена тремя родами грибов: *Fusarium* spp., *Cephalosporium* spp. и *Alternaria* spp. Преобладали грибы из рода *Fusarium*, на долю которых приходилось 54,5% общего количества выделенных микромицетов. Максимальное их количество было в варианте с применением 100 %-ного раствора барды (91,2%). С уменьшением концентрации раствора их количество уменьшалось и в варианте с максимальным разбавлением компонента составило 61,4%. В почве этого варианта фузариев было в 2,5 раза больше, чем в почве контрольного варианта.

В группе условно-супрессивной микрофлоры выявлено много колоний гриба из рода *Aspergillus*. На их долю приходилось 43,5 % общего количества выделен-

ных грибов. Это означает, что барда во всех образцах оптимизирует рост аспергилла, который и развивает плесень в почве. Грибов из рода *Trichoderma* не выявлено, преобладали грибы рода *Fusarium*. Таким образом, высоких супрессивных свойств в анализируемых пробах не отмечено. Почва, подвергнутая воздействию растворами виноградной барды, характеризовалась пониженным антифитопатогенным потенциалом. Признаки почвоутомления в разной степени наблюдали во всех образцах: в почве вариантов 2 и 3 антифитопатогенный потенциал отсутствовал, в почве вариантов 1 (контроль) и 4 характеризовался как низкий. Для оздоровления почвы с нарушенным биоразнообразием микробных биосистем рекомендуется вносить биологический фунгицид для создания защитной биозоны в ризосфере растений из полезных грибов – супрессоров рода Триходерма [13-15]. В этом направлении исследования будут продолжены в полевых условиях.

Таким образом, черноземы южные солонцеватые мощные тяжелосуглинистые на третичных глинистых отложениях характеризуются близкими к оптимальным физическими свойствами в верхнем горизонте, но неблагоприятными для роста и развития винограда высокой плотностью и низкой пористостью – в горизонтах А, АВ, В, и С.

Исследуемые черноземы могут быть ограниченно пригодными для выращивания винограда, желательно на корнесобственном подвое. Они требуют проведения комплекса агротехнических и мелиоративных мероприятий, направленных на разуплотнение средней части почвенного профиля, а также внесения гипса из расчета 5,0 т/га.

Винно-коньячная барда в естественном состоянии обладает агрессивной кислотностью (рН 3,8) и способствует в лабораторных условиях резко выраженному почвоутомлению с большим количеством патогенов в почве, особенно фузариев. Ее разбавление в 3-4 раза от исходной концентрации снижает фитопатогенную нагрузку и существенно не влияет на активную кислотность и содержание органического вещества южного чернозема.

Литература

1. Попова В.П., Воробьева Т.Н., Фоменко Т.Г., Сергеева Н.Н., Юрченко Е.Г. Управление воспроизводством плодородия почв плодовых и виноградных ценозов. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2016. – 120 с.
2. Сичевський М.Є., Винник А.Л. Вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунтах Криму і його практична значущість // *Агроєкологічний журнал*. – 2010. – № 4. – С. 49–53.
3. Воробьева Т.Н., Ветер Ю.А. Использование отходов винного производства для повышения плодородия почвы и очистки от ксенобиотиков // *Проблемы рекультивации отходов быта промышленного и сельскохозяйственного производства: материалы науч. конф.* – Краснодар: Кубгау, 2015. – С. 196-199.
4. Юрков А.П., Юрченко Е.Г., Политов З.С., Курило П.В., Мороз Н.Б. Изучение влияния грибов арбускулярной микоризы на показатели биологической продуктивности и стандартность саженцев винограда в школке // *Достижения, проблемы и перспективы развития отечественной виноградо-винодельческой отрасли на современном этапе: материалы Межд. науч.-практ. конф.* – Новочеркасск: ВНИИВиВ им Потапенко, 2013. – С. 180-186.
5. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биоиндикации наземных экосистем: монография. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 365 с.
6. Химический анализ почв. Руководство по применению почвенных лабораторий и тест-комплектов / Под ред. А.Г. Муравьева. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб: Кримас+, 2015. – 136 с.
7. Кураков А.В. Методы выделения и характеристики комплексов микроскопических грибов наземных экосистем. – М.: МАКС Пресс, 2001. – 92 с.
8. Литтл Т.М. Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ /Т.М. Литтл, Ф.Дж. Хилз ; пер. с англ. Б.Д. Кирюшина; под ред. Д.В. Васильевой. – М.: Колос, 1981. – 32 с.
9. Цховребов В.С., Ефремов Ю.Е. Физические свойства чернозёма южного при различных способах основной обработки // *Плодородие*. – 2012. – № 5. – С. 16-17.
10. Вальков В.Ф. Почвы и сельскохозяйственные растения. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1992. – 215 с.
11. Попова В.П., Бондарь А.В., Черников Е.А., Фоменко Т.Г. Изучение процессов вторичного засоления чернозёмных почв виноградников // *Наука Кубани*. – 2014. – № 3. – С. 33-38.
12. Почвенная микробиология; пер. с англ. В.В. Новикова. – М.: Колос, 1979. – 316 с.
13. Воробьева Т.Н., Волкова А.А., Ветер Ю.А. Биологизация промышленного возделывания столового винограда в агроусловиях юга Кубани (исследования и разработка биотехнологических приёмов). – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2013. – 142 с.
14. Сокирко В.П., Слюсарев В.Н. Агрессивный синергизм и профилактика фитотоксикозных полей Кубани // *Энтузиасты аграрной науки*. – Краснодар, 2016. – С. 207-211.
15. Fomenko T.G., Popova V.P., Pestova N.G. Effect of local fertilization and water reclamation on soil parameters of orchard cenoses // *Russian Agricultural Sciences*. – 2015. – V. 41. – N4. – P. 247-251.

Поступила в редакцию 23.04.20
После доработки 03.05.20
Принята к публикации 10.05.20

Животноводство

УДК 636.3.033

DOI:10.31857/S2500262720050129

**ФОРМИРОВАНИЕ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ БАРАНЧИКОВ
КАРАЧАЕВСКОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ ВЕРТИКАЛЬНОЙ
ЗОНАЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА*****М.Б. Улимбашев**, доктор сельскохозяйственных наук,
Р.А. Улимбашева, кандидат сельскохозяйственных наук*Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства –
филиал Северо-Кавказского федерального научного аграрного центра,
355017, Ставрополь, пер. Зоотехнический, 15
E-mail: murat-ul@yandex.ru*

Цель исследований состояла в оценке мясной продуктивности и качества продукции баранчиков карачаевской породы, выращенных при разных технологиях содержания и в условиях вертикальной зональности территории Северного Кавказа. Баранчики I группы на протяжении всего периода исследований содержались на пастбищах в горах на высоте 2200 м н.у.м.; II группы – в предгорье на высоте 540 м н.у.м.; III группы – до отбивки в 4-месячном возрасте – в предгорье на высоте 540 м н.у.м., с 4 до 8 месяцев – на пастбищах (1200 м н.у.м.), в 9 месяцев – в предгорье; IV группы – до отбивки в 4-месячном возрасте – в предгорье на высоте 540 м н.у.м., с 4 до 8 месяцев – на высокогорных пастбищах (2200 м н.у.м.), в 9 месяцев – в предгорье. Установлено превосходство по предубойной живой массе баранчиков отгонно-горного содержания над сверстниками круглогоддового пастбищного и предгорного содержания, которое составило 3,1-3,8 ($P>0,95-0,99$) и 1,5-2,2 ($P>0,95$) кг соответственно. От особей круглогоддового пастбищного содержания получены туши массой 18,4 кг, что ниже показателей других групп в среднем на 0,8-2,7 кг ($P>0,95$). Баранчики отгонно-горного содержания (IV группа) по убойному выходу превзошли сверстников круглогоддового пастбищного содержания на 2,2% ($P>0,95$). Наибольшей массой отрубов первого сорта отличались туши молодняка отгонно-горного содержания – 17,3-18,3 кг, против 15,3-16,0 кг у сверстников круглогоддового пастбищного и предгорного содержания ($P>0,95-0,99$). Баранина, полученная от молодняка пастбищного содержания, характеризовалась более высоким уровнем содержания триптофана – на 5-28 мг/100 г ($P>0,95-0,99$) и белково-качественного показателя – на 0,19-0,89 ($P>0,95$).

**FORMATION OF MEAT PRODUCTIVITY OF KARACHAEVSKY ROCK BREEDS
UNDER CONDITIONS OF VERTICAL ZONALITY
OF THE NORTH CAUCASUS TERRITORY****Ulimbashev M.B., Ulimbasheva R.A.***All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding –
branch of the Institution North Caucasian Agrarian Center,
355017, Stavropol, per. Zootekhnicheskyy, 15
E-mail: murat-ul@yandex.ru*

The purpose of the research is to give a comparative description of the level of meat productivity and the quality of the products of Karachai breed rams grown under different content technologies and in the conditions of vertical zonality of the territory. During the entire period of research, the rams of group I were kept in the mountains at an altitude of 2200 m above sea level, group II - in the foothills at an altitude of 540 m above sea level, group III - until beating (at 4 months of age) - in the foothills at an altitude of 540 m above sea level, from 4 to 8 months - on pastures (1200 m above sea level), at 9 months - in the foothills, group IV - before beating (in a 4-month age) - in the foothills at an altitude of 540 m above sea level, from 4 to 8 months - in high mountain pastures (2200 m above sea level), at 9 months - in the foothills. The superiority in pre-slaughter live weight of rams of distant-mountain content over peers of year-round grazing and foothill content was established, which amounted to 3,1-3,8 ($P>0,95-0,99$) and 1,5-2,2 ($P>0,95$) kg, respectively. From individuals of year-round pasture content, carcasses weighing 18,4 kg were obtained, which is lower than the indicators of other groups by an average of 0,8-2,7 kg ($P>0,95$). The rams of the transhumance mountain content (group IV) in terms of slaughter yield exceeded peers of year-round pasture content by 2,2% ($P>0,95$). The largest mass of cuts of the first grade was distinguished by the young growth of the groups of distant-mountain content 17,3-18,3 kg versus 15,3-16,0 kg among peers of year-round pasture and foothill content ($P>0,95-0,99$). Pasture rams, unlike the foothill ones, using summer pastures in the summer, were characterized by a high level of tryptophan of 5-28 mg/100 g ($P>0,95-0,99$) and a protein-quality indicator (0,19-0,89 units, $P>0,95$).

Ключевые слова: баранчики, карачаевская порода, мясная продуктивность, технология содержания, вертикальная зональность, пастбище

Key words: rams, Karachai breed, meat productivity, content technology, vertical zoning, pasture

Одним из источников увеличения производства и повышения качества баранины является реализация молодняка на мясо в первый год жизни. На этот период приходится основной прирост мышечной ткани, а мясо, произведенное в это время, находит хороший сбыт на рынке. Карачаевские овцы достаточно скороспелы, их

ягнята к отбивке достигают 60% и более живой массы взрослых животных [1-3]. При рациональном использовании высокогорных альпийских пастбищ среднесуточный прирост ягнят составляет 150-190 г, что дает возможность увеличить живую массу и проводить случку ярок в раннем возрасте [4].

* Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ВНИИОК – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (№ 0513-2019-0003)

Табл. 1. Схема опыта

Группа	n	Время и место содержания, высота над уровнем моря, м
I	20	Круглогодичное содержание в горах (2200 м н.у.м.)
II	20	Круглогодичное содержание в предгорье с использованием в летний период присельских пастбищ (540 м н.у.м.)
III	20	Отгонно-горное: стойловое содержание в предгорье (540 м н.у.м.), пастбищное – летом в горах (1200 м н.у.м.)
IV	20	Отгонно-горное: стойловое содержание в предгорье (540 м н.у.м.), пастбищное – летом в горах (2200 м н.у.м.)

Адаптация сельскохозяйственных животных, в том числе овец, к климатическим, кормовым и другим условиям высокогорья происходит по-разному, она во многом зависит от высоты над уровнем моря, возраста, породы, происхождения животных [5-7].

В статье «О возрасте овец при убое» [8] авторы отмечают, что наиболее интенсивное отложение самой ценной составной части мяса – белка – происходит у овец в первые 7–8 месяцев жизни. В более старшем возрасте увеличение массы тела происходит, преимущественно, за счет роста жировой ткани, что снижает экономическую эффективность производства баранины и биологическую ценность мяса. Это связано с тем, что в возрасте старше года на образование жира у овец расходуется больше питательных веществ, нежели на развитие мышечной ткани. В результате исследований на молодняке карачаевской породы при круглогодичном пастбищном содержании выяснено, что мясо животных 6-месячного возраста соответствует требованиям экологической безопасности и качества, а также пригодно для выработки продуктов детского питания на мясной основе [9].

Характеризуя скороспелость животных как важный селекционный признак, ученые-овцеводы [10] относят карачаевскую породу овец к одной из наиболее скороспелых. При выращивании ягнят этой породы на горных пастбищах без подкормки концентратами, по интенсивности роста и мясным качествам они не уступают зарубежным мясным породам.

Таким образом, изучению показателей мясной продуктивности в зависимости от возраста реализации баранчиков карачаевской породы на мясо [8, 11], принадлежности к внутривидовому типу [12], живой массы овцематок [13], йодной обеспеченности в разных условиях содержания (низина и горы) [14], технологии отгонно-горного овцеводства с размещением на разных пастбищах [15] посвящено достаточное количество исследований. Однако до сих пор нет комплексных данных по установлению уровня мясной продуктивности молодняка овец карачаевской породы при круглогодичном пастбищном содержании в горах и предгорье с использованием присельских пастбищ, а также при отгонно-горном содержании в летний период на высотах разной поясности. В связи с тем, что все перечисленные технологии содержания молодняка этой породы практикуются сельскохозяйственными предприятиями, работы в этом направлении актуальны, представляют научный и практический интерес, вносят определенный вклад в горное овцеводство нашей страны.

Цель исследований – дать сравнительную характеристику уровня мясной продуктивности и качества продукции баранчиков карачаевской породы, выращенных при разных технологиях содержания и в условиях вертикальной зональности территории Северного Кавказа.

Методика. Для исследований были сформированы

в период новорожденности (январь-февраль) четыре группы баранчиков карачаевской породы по 20 голов в каждой, особенности технологии содержания которых отражены в таблице 1.

Баранчики I группы на протяжении всего периода исследований содержались в горах на высоте 2200 м над уровнем моря (н.у.м.); II – в предгорье на высоте 540 м н.у.м.; III – до отбивки в 4-месячном возрасте – в предгорье на высоте 540 м н.у.м., с 4 до 8 месяцев – на горных пастбищах (1200 м н.у.м.), в 9 месяцев – в предгорье; IV – до отбивки в 4-месячном возрасте – в предгорье на высоте 540 м н.у.м., с 4 до 8 месяцев – на высокогорных пастбищах (2200 м н.у.м.), в 9 месяцев – в предгорье.

Контрольный убой животных был проведен по достижении ими 9-месячного возраста. Мясную продуктивность изучали по методике ВИЖ (1978) на 5 баранчиках из каждой группы. При убое учитывали предубойную живую массу, массу туши, внутреннего жира и курдюка, убойную массу, убойный выход, содержание в туше мякоти, костей и сухожилий, определяли коэффициент мясности, морфологический и сортовой состав туши.

Выход сортов туш определяли на основании их разубоя в соответствии с ГОСТ Р 54367-2011, и исходя из этого туши разделяли на шесть отрубов, которые в зависимости от калорийности и содержания в них костей делили на два сорта.

Исследование физико-химических показателей баранины проводили в соответствии с действующими стандартами: ГОСТ 33319-15 (массовая доля влаги), ГОСТ 25011-81, п.2 (массовая доля белка), ГОСТ 23042-86, п.2 (массовая доля жира), ГОСТ 31727-12 (массовая доля золы), ГОСТ Р 50207-92 (содержание триптофана, оксипролина, мг/100 г). Белково-качественный показатель (БКП) определяли по отношению триптофана к оксипролину.

Полученный цифровой материал обработан биометрически. Достоверность межгрупповых различий

Табл. 2. Результаты контрольного убоя

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
Предубойная живая масса, кг	40,3±0,57	41,9±0,47	43,4±0,48	44,1±0,62
Масса туши, кг	18,4±0,27	19,2±0,24	20,3±0,37	21,1±0,54
Выход туши, %	45,7	45,8	46,8	47,8
Масса внутреннего жира, кг	0,4±0,04	0,6±0,04	0,5±0,05	0,5±0,07
Выход внутреннего жира, %	1,0	1,4	1,1	1,1
Масса курдюка, кг	1,3±0,12	1,6±0,06	1,5±0,06	1,4±0,05
Выход курдюка, %	3,2	3,8	3,4	3,2
Убойная масса, кг	20,1±0,36	21,4±0,32	22,3±0,45	23,0±0,46
Убойный выход, %	49,9±0,45	51,0±0,68	51,4±0,57	52,1±0,49

Табл. 3. Морфологический состав туш

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
Масса охлажденной туши, кг	18,4±0,27	19,2±0,24	20,3±0,37	21,1±0,54
Масса мякоти, кг	14,4±0,36	15,1±0,35	16,2±0,46	17,0±0,46
Выход мякоти, %	78,3	78,6	79,8	80,6
Масса сухожилий, кг	0,29±0,02	0,33±0,03	0,36±0,02	0,38±0,03
Выход сухожилий, %	1,6	1,7	1,8	1,8
Масса костей, кг	3,71±0,17	3,77±0,16	3,74±0,18	3,72±0,19
Выход костей, %	20,1	19,6	18,4	17,6
Коэффициент мясности	3,91±0,28	4,04±0,28	4,37±0,30	4,60±0,24

Табл. 4. Сортовой состав туш

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
Отрубы 1 сорта: кг	15,3±0,35	16,0±0,53	17,3±0,53	18,3±0,35
%	84,2	83,3	85,2	86,7
Отрубы 2 сорта: кг	3,1±0,13	3,2±0,30	3,0±0,23	2,8±0,20
%	15,8	16,7	14,8	13,3

определяли по критерию Стьюдента при трех уровнях вероятности: $P>0,95$; $P>0,99$; $P>0,999$.

Результаты и обсуждение. Результаты контрольного убоя животных подопытных групп представлены в таблице 2.

Установлено превосходство по предубойной живой массе баранчиков отгонно-горного содержания над сверстниками круглогодного пастбищного и предгорного содержания, которое составило 3,1-3,8 ($P>0,95-0,99$) и 1,5-2,2 кг ($P>0,95$) соответственно. От особой круглогодного пастбищного содержания получены туши массой 18,4 кг, что ниже показателей других групп на 0,8-2,7 кг ($P>0,95$). Аналогичная тенденция наблюдается по массе внутреннего жира и курдюка, однако различия между группами не достоверны. Более высокая убойная масса баранчиков отгонно-горного содержания (IV группа) обеспечила им превосходство по убойному выходу, которое в сравнении со сверстниками круглогодного пастбищного содержания составило 2,2% ($P>0,95$). Остальные группы животных занимали промежуточное положение между крайними значениями признака.

О морфологическом составе туш баранчиков карачаевской породы, выращенных при разных условиях содержания, судили по данным таблицы 3.

Масса мякоти в тушах баранчиков отгонно-горного содержания была наивысшей и составила 16,2-17,0 кг, что больше, чем у молодняка круглогодного пастбищного содержания, на 1,8-2,6 кг ($P>0,95$). По этому показателю зарегистрировано достоверное превосходство животных IV группы над баранчиками предгорного содержания (II группа), которое составило 1,9 кг ($P>0,95$). По массе костей и сухожилий животные подопытных групп практически не различались, что обеспечило особям отгонно-горного содержания преимущество в коэффициенте мясности. Указанное превосходство над

Табл. 5. Химический состав баранины, %

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
Влага	63,6±0,57	64,8±0,42	63,0±0,35	63,8±0,65
Жир	18,4±0,45	17,6±0,27	18,6±0,14	18,2±0,25
Белок	17,0±0,09	16,3±0,31	17,2±0,18	16,9±0,33
Зола	1,0±0,06	1,3±0,08	1,2±0,08	1,1±0,08

Табл. 6. Белково-качественная характеристика баранины

Показатель	Группа			
	I	II	III	IV
Триптофан, мг/100 г	263±2,72	248±2,81	276±3,20	253±2,76
Оксипролин, мг/100 г	50±2,12	56±2,32	52±2,03	55±2,78
Белково-качественный показатель	5,28±0,18	4,44±0,14	5,33±0,16	4,63±0,19

животными круглогодного предгорного и пастбищного содержания оказалось недостоверным ввиду высокой изменчивости признака ($C_v = 10,4-14,2\%$).

Для полной характеристики мясных качеств туш была проведена их разделка и обвалка. В таблице 4 приведены результаты итоговой сортовой разрубки туш подопытного молодняка.

Независимо от технологии содержания туши баранчиков всех групп характеризовались доминирующим выходом отрубов 1 сорта. Наибольшей массой отрубов указанного сорта отличался молодняк отгонно-горного содержания (17,3-18,3 кг) против 15,3-16,0 кг у сверстников круглогодного пастбищного и предгорного содержания ($P>0,95-0,99$). Масса отрубов 2 сорта практически не различалась во всех группах и варьировала в пределах 2,8-3,2 кг.

Анализ химического состава мяса свидетельствует о более высоком содержании основных компонентов (жира и белка) в продукции баранчиков, содержащихся на высокогорных пастбищах как круглый год, так и в течение пастбищного сезона (табл. 5). Животные предгорного содержания по уровню указанных питательных веществ уступали молодняку других групп: по содержанию в баранине жира – на 0,6-1,0%, белка – на 0,6-0,9%.

В баранине молодняка, выращенного на горных пастбищах, уровень триптофана был выше, чем в мясе сверстников предгорного содержания, что обеспечило ему превосходство по величине белково-качественного показателя (табл. 6). Различия по содержанию в баранине триптофана составили 5-28 мг/100 г в пользу баранчиков горного пастбищного содержания, причем достоверными в сравнении с особями предгорного содержания они были у животных I и III групп ($P>0,95$ и $P>0,99$ соответственно). Незначительные различия по уровню оксипролина в баранине животных подопытных групп и более существенные – по уровню триптофана обеспечили преимущество молодняка горного пастбищного содержания по белково-качественному показателю, которое варьировало в пределах 0,19-0,89 ($P>0,95$).

Таким образом, отгонно-горная технология выращивания баранчиков карачаевской породы способствовала получению более высоких количественных показателей мясной продуктивности по сравнению с технологией круглогодного содержания в горах и в предгорье с использованием в летний период при-

сельских пастбищ. Молодняк, выращенный по отгонно-горной технологии содержания, опережал сверстников других технологий по таким качественным показателям как выход мякоти, коэффициент мясности и удельный вес отрубов первого сорта. Баранина, полученная от животных разных форм пастбищного содержания, характеризовалась наибольшей концентрацией основных компонентов мяса – белка и жира, а также высоким уровнем белково-качественного показателя.

Литература

1. Кипкеев М.Х., Селькин И.И. Мясная продуктивность ягнят карачаевской породы в различном возрасте // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2004. – Т. 2. – № 1-1. – С. 16-21.
2. Yuldashbayev Yu.A., Shevhuzhev A.F., Kochkarov R.Kh., Mishvelov E.G., Ponomareva A.I. Meat productivity of young sheep karachai breed // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2018. – Т. 9. – No 4. – P. 692-699.
3. Temiraev V.Kh., Yuldashbaev Yu.A., Gurina A.E., Kalagova R.V., Kantemirova M.A., Demurova A.R., Tokhtieva E.A., Gogaeva L.O. The patterns of sheep muscle weight growth // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2019. – Т. 6. – No 6. – P. 11625-11630.
4. Гаджиев З.К. Мясная продуктивность, морфо-физиологические показатели и их взаимосвязь у грубошерстных пород овец Северного Кавказа // *Достижения науки и техники АПК*. – 2010. – № 11. – С. 71-72.
5. Gogaev O.K., Yuldashbaev Yu.A., Kebekov M.E., Kairov V.R., Kaloev B.S., Demurova A.R. The features of sheep adaptation to their keeping in mountainous conditions // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2019. – Т. 6. – No 9. – P. 15653-15661.
6. Горлов И.Ф., Федотова Г.В., Сложеникина М.И., Мосолова Н.И., Гишларкаев Е.И., Магомадов Т.А., Юлдашбаев Ю.А., Мосолова Д.А. Адаптационные особенности овец эдилбаевской породы, выращенных в агроэкологических условиях засушливых территорий юга России // *Юг России: экология, развитие*. – 2019. – Т. 14. – № 3. – С. 71-81.
7. Улимбаев М.Б., Шевхужев А.Ф., Попов И.И. Приспособительные механизмы популяций крупного рогатого скота, яков и овец в разных экологических зонах Северного Кавказа // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 2 (64). – С. 227-230.
8. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. О возрасте овец при убое // *Овцы, козы, шерстяное дело*. – 2016. – № 3. – С. 40-43.
9. Забаица Н.Н., Головкин Е.Н., Полежаева О.А., Селионова М.И. Физико-химические показатели мяса молодняка овец карачаевской породы для детского питания // *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. – 2017. – Т. 1. – № 10. – С. 131-136.
10. Ерохин А.И., Карасев Е.А., Ерохин С.А. Скороспелость животных – важный селекционный признак // *Овцы, козы, шерстяное дело*. – 2014. – № 4. – С. 22-25.
11. Шевхужев А.Ф., Смакуев Д.Р., Пономарева А.И. Мясная продуктивность молодняка овец карачаевской породы // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 4 (49). – С. 102-107.
12. Гаджиев З.К., Османова О.Р. Мясные показатели овец карачаевской породы разных внутривидовых типов // *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. – 2017. – Т. 1. – № 10. – С. 59-61.
13. Габаев М.С., Болатчиев А.Т. Влияние живой массы маток овец карачаевской породы на их воспроизводительную способность, сохранность и продуктивность полученного потомства // *Международные научные исследования*. – 2016. – № 3 (28). – С. 294-297.
14. Михайленко А.К., Чижова Л.Н., Чотчаева Ч.Б., Гаджиев З.К., Долгашова М.А. Мясная продуктивность овец, выращиваемых в разных условиях содержания // *Аграрный научный журнал*. – 2018. – № 12. – С. 39-41.
15. Биттиров А.М., Бегиева С.А., Биттиров И.А. Адаптивные характеристики организма овец карачаевской породы к экоспецифическим условиям изолированных горных пастбищ «Кая-арта», «Крандух» и «Уш-тулу» в Северо-Кавказском регионе // *Известия Горского государственного аграрного университета*. – 2018. – Т. 55. – № 3. – С. 41-45.

Поступила в редакцию 09.02.20
После доработки 29.05.20
Принята к публикации 03.06.20

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА ЛЕПТИНА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МЯСНОГО СКОТА

Т.А. Седых¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
Л.А. Калашникова², доктор биологических наук,
Р.С. Гизатуллин³, доктор сельскохозяйственных наук,
В.И. Косилов⁴, доктор сельскохозяйственных наук

¹Уфимский федеральный исследовательский центр РАН,
Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
450059, Уфа, ул. Р. Зорге, 19

²Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела,
141212, Московская область, Лесные Поляны, ул. Ленина

³Башкирский государственный аграрный университет,
450001, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

⁴Оренбургский государственный аграрный университет,
460014, Оренбург, ул. Челюскинцев, 18
E-mail: nio_bsau@mail.ru

Для производства высококачественной говядины в мясном скотоводстве успешно используют специализированные породы, которые сочетают высокую энергию роста с хорошими откормочными качествами. Использование ДНК-маркеров как дополнительных критериев отбора и подбора животных позволяет повысить эффективность селекционных процессов при совершенствовании мясных характеристик скота. Целью исследования явилось определение влияния полиморфизма гена лептина на интенсивность роста молодняка и качество продукции мясного скота. Научно-хозяйственный опыт проводился в 2014-2017 гг. Методом полимеразной цепной реакции с последующим анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (SNP LEP-A422B) генотипированы бычки на откорме герефордской (114 голов) и лимузинской (111 голов) пород. У животных выявлено сходное распределение генотипов, чаще встречается гомозиготный генотип LEP^{AA} (47,34% и 52,25%) и аллель LEP^A (частота встречаемости 0,68 и 0,71). У бычков обеих пород с генотипом LEP^{AA} установлена тенденция увеличения живой массы в возрасте 8, 12, 16 и 20 месяцев, а также незначительное превосходство по величине промеров статей тела. Анализ индексов телосложения свидетельствовал о гармоничном развитии животных и подтвердил выраженность мясных форм у молодняка всех генотипов по гену лептина. Послеубойная оценка позволила выявить тенденцию увеличения показателей предубойной живой массы, массы парной туши, убойной массы, а у герефордского скота – выхода туши у бычков с генотипом LEP^{AA}. В ходе исследований установлена достоверная ассоциация изученного полиморфизма с увеличением массы внутреннего жира-сырца и выхода жира в тушах у бычков с генотипами LEP^{AB} и LEP^{BB}. Анализ морфологического состава туши у бычков герефордской породы выявил достоверную ассоциацию генотипа LEP^{BB} с содержанием жира. Таким образом, генотипирование по SNP LEP-A422B может быть использовано в селекции скота герефордской и лимузинской пород с целью улучшения мясных качеств.

EFFECT OF LEPTIN GENE POLYMORPHISM ON BEEF CATTLE PRODUCTIVITY

Sedykh T.A.¹, Kalashnikova L.A.², Gizatullin R.S.³, Kosilov V.I.⁴

¹Ufa Federal research center of the Russian Academy of Sciences,
Bashkir research Institute of agriculture,
450059, Ufa, ul. R. Zorge, 19

²All-Russian Breeding Research Institute,
141212, Moskovskaya oblast, Lesnye Polyany, ul. Lenina

³Bashkir State Agrarian University,
450001, Ufa, ul. 50-letiya Oktyabrya, 34

⁴Orenburg state agrarian university,
460014, Orenburg, ul. Chelyuskintsev, 18
E-mail: nio_bsau@mail.ru

In beef breeding, specialized cattle that combine high growth capacity and good fattening performance characteristics are successfully used to produce high-quality beef. DNA markers as an additional criterion to select animals make it possible to increase the efficiency of selection processes when improving livestock meat qualities. The conducted study aimed to determine the effect of leptin gene polymorphism on the growth rate of young beef cattle, as well as the quality of meat products. The scientific and economic experiment was conducted in 2014-2017. Fattening Hereford (114 heads) and Limousine (111 heads) bull calves were genotyped by the method of a polymerase chain reaction with subsequent analysis of the restriction fragment length polymorphism (SNP LEP-A422B). There was found a similar genotype distribution in the studied animals. The most common were the homozygous genotype LEP^{AA} (47.34% and 52.25%) and the allele LEP^A (0.68 and 0.71). LEP^{AA} genotype bull calves of both breeds have found to slightly increase their live weight at 8, 12, 16, and 20 months of age, as well as to have some advantages in the size of body measurements. Meat productivity indices showed a harmonious development of the body and proved beef breed manifestation of all leptin genotype bull calves. The post-slaughter assessment of meat productivity demonstrated higher indicators of pre-slaughter live weight, hot carcass, slaughter weight in LEP^{AA} genotype cattle, while Hereford cattle had higher carcass yield. The given research detected a reliable association of the studied polymorphism with a higher weight of internal raw fat and carcass fat yield in LEP^{AB} and LEP^{BB} genotype bull calves. The morphological composition of carcasses of LEP^{BB} genotype Hereford animals was found to have a similar association of leptin gene polymorphism with fat content. Thus, SNP LEP-A422B genotyping can be used in the selection of Hereford and Limousine livestock in order to improve meat qualities.

Ключевые слова: полиморфизм, ген лептина, качество туш, герефордская порода, лимузинская порода

Key words: polymorphism, leptin's gene, the quality of carcasses, Hereford, Limousine breed

Продукция животноводческой отрасли является главным источником полноценных белков для человеческого организма. Ассортимент мяса и мясопродуктов, предлагаемый производителями в настоящее время, способен удовлетворить предпочтения любого потребителя. Для производства высококачественной говядины, как правило, используют специализированные мясные породы крупного рогатого скота, которые сочетают высокую энергию роста с хорошими откормочными показателями. Совершенствование их продуктивности достигается проведением целенаправленной селекционно-племенной работы, ориентированной на воспроизводство животных с желаемыми хозяйственно-полезными качествами.

Поиск ДНК-маркеров, связанных с хозяйственно-полезными признаками у животных, и разработка новых систем генетического маркирования по сей день являются актуальной задачей в генетике количественных признаков. Большая часть исследований в этом направлении проводится на уровне ДНК генома животных. Наиболее часто используются методики, основанные на использовании полимеразной цепной реакции (ПЦР) с последующим анализом полиморфизма длин рестриционных фрагментов (ПДРФ). Полученные полиморфные рестриционные фрагменты поворающейся ДНК представляют собой специфические генетические маркеры [1-3].

Одним из известных гормонов, влияющих на качество мяса, является лептин. Лептин – полипептид с молекулярной массой 16 кДа, который состоит из 167 аминокислотных остатков, продуцируется адипоцитами, регулирует накопление жировых отложений в организме, пищевое поведение, весовой и линейный рост животных, развитие телосложения, функцию иммунной и воспроизводительной систем. Одной из основных его функций является контроль обеспечения баланса между запасом жировой ткани, его расходом и потреблением пищи [2, 4]. По результатам многочисленных исследований отмечено, что лептин обладает плейотропным воздействием на организм животных. Наблюдается участие лептина в регуляции потребления корма, энергетического метаболизма, роста животных и предполагается ассоциация между полиморфизмом гена *LEP* с мясными формами скота и величиной мышечного глазка [5, 6]. Отмечено, что полиморфизм лептина ассоциирован с толщиной развития подкожного жира и содержанием внутримышечного жира [7, 8]. Найдена взаимосвязь с содержанием внутримышечного жира в длиннейшей мышце спины, что ассоциируется с большей мраморностью [9]. Установлена достоверная связь полиморфизма гена *LEP* с показателями толщины подкожной жировой клетчатки и усилием на разрез [10].

В связи с этим, целью наших исследований явилось определение влияния полиморфизма гена лептина на интенсивность роста молодняка и качество продукции мясного скота. В задачи исследования входило: генотипирование бычков герефордской и лимузинской пород по SNP *LEP-A422B*; определение ассоциаций изучаемого полиморфизма с некоторыми показателями прижизненной и послеубойной оценки мясной продуктивности.

Методика. Научно-хозяйственный опыт проводился в 2014-2017 гг. Объектами исследования являлись

бычки герефордской породы в количестве 114 голов (вторая и третья отечественная генерация австралийских герефордов, ООО «САВА-Арго-Усень») и лимузинской породы в количестве 111 голов (четвертое поколение, полученное поглотительным скрещиванием симментальских коров с быками французской селекции, «САВА-Агро-Япрык»). Хозяйства являются племенными заводами. Разведение скота осуществляется по стойлово-пастбищной технологии с элементами ресурсосбережения [11].

Генотипирование осуществлялось в лаборатории ДНК-технологий Всероссийского научно-исследовательского института племенного дела и в лаборатории молекулярной генетики Башкирского государственного аграрного университета. Выделение ДНК проводили общепринятыми методами [3]. Полиморфность гена *LEP* определяли методом ПЦР-ПДРФ с использованием праймеров: F: 5'-tgg-agt-ggc-ttg-tta-ttt-tct-tct-3'; R: 5'-gtc-ccc-gct-tct-ggc-tac-cta-act-3'. Амплификаты гена расщепляли эндонуклеазой *Sau3AI*. Число и длину рестриционных фрагментов определяли электрофоретически в 7,5%-ном ПААГе в УФ-свете после окрашивания бромистым этидием. Для анализа гелей применяли геледокументирующую систему Gel Doc XR и прилагаемое к ней программное обеспечение Image Lab версия 2.0 «DNA-analyser». Размеры рестриционных фрагментов: *LEP^{AA}* – 390,32 пн; *LEP^{AB}* – 390,303,88,32 пн; *LEP^{BB}* – 303,88,32 пн.

Из бычков различных генотипов по SNP *LEP-A422B* методом аналогов по живой массе и развитию были сформированы три группы: в I группу вошли животные с генотипом *LEP^{AA}* (n=20), во II – с генотипом *LEP^{AB}* (n=20) и в III – бычки с генотипом *LEP^{BB}* (n=10). Оценка динамики живой массы проводилась по результатам контрольных взвешиваний телят в возрасте 8, 12, 16 и 20 месяцев. Для оценки линейного роста в возрасте 8 и 20 месяцев определялись линейные и объемные промеры статей тела молодняка: высота в холке, обхват груди за лопатками, ширина груди за лопатками, глубина груди, косая длина туловища, обхват пясти и полуобхват зада; вычислялись индексы телосложения: грудной, сбитости, костистости, массивности, мясности, растянутости.

Убой животных проводился в условиях мясокомбината САВА. Для послеубойной оценки мясной продуктивности из туш бычков различных генотипов были сформированы партии: I – из туш, полученных от животных с генотипом *LEP^{AA}* (n=10), II – с генотипом *LEP^{AB}* (n=10), III – из туш бычков с генотипом *LEP^{BB}* (n=5). Показатели качества туш бычков различных генотипов определялись по ГОСТ 33818-2016: «Мясо. Говядина высококачественная. Технические условия».

Статистическую обработку результатов проводили стандартным методом с использованием программного приложения «Excel» из пакета «Microsoft Office».

Результаты и обсуждение. Данное исследование является продолжением ранее проведенного научного эксперимента по генотипированию по SNP *LEP-A422B* бычков герефордской и лимузинской пород [12], в результате которого нами не были выявлены животные с генотипами *LEP^{BB}*. Результаты генотипирования расширенной выборки подопытных животных, полученные в настоящем опыте, позволили определить все три генотипа. Выявлено сходное распределение генотипов

Табл. 1. Динамика живой массы

Возраст, мес	Порода/генотип					
	герефордская (n=50)			лимузинская (n=50)		
	AA (n=20)	AB (n=20)	BB (n=10)	AA (n=20)	AB (n=20)	BB (n=10)
При рождении	33,4±0,32	32,9±0,35	33,7±0,35	34,0±0,31	34,2±0,30	33,6±0,34
8	250,5±1,41	248,9±2,20	246,5±1,71	265,11±5,96	260,9±1,46	255,33±1,35
12	364,1±2,04	359,4±2,39	356,6±12,0	378,4±3,14	376,5±2,84	368,9±2,99
16	474,9±3,89	469,8±3,80	469,7±5,30	491,9±3,62	489,6±3,18	482,5±3,75
20	575,9±5,58	572,2±4,17	571,3±8,64	604,7±3,74	599,4±2,86	589,3±5,38

Табл. 2. Результаты убоя бычков

Показатель	Порода/генотип					
	герефордская			лимузинская		
	AA (n=10)	AB (n=10)	BB (n=5)	AA (n=10)	AB (n=10)	(n=5)
Предубойная живая масса, кг	555,5±6,30	552,3±3,68	553,0±4,70	583,5±5,11	577,4±4,45	570,3±6,70
Масса парной туши, кг	327,2±3,15	324,2±2,50	324,6±4,64	349,3±2,25	346,4±4,11	341,0±3,69
Выход туши, %	58,9±0,48	58,7±0,44	58,7±0,61	59,9±0,77	60,0±1,45	59,8±0,98
Масса внутреннего жира-сырца, кг	19,11±0,08	19,51±0,06*	19,57±0,05*	17,80±0,09	18,20±0,07*	18,30±0,09*
Выход жира, %	3,44±0,02	3,53±0,02*	3,54±0,03*	3,05±0,01	3,20±0,02*	3,20±0,01*
Убойная масса, кг	346,3±4,35	343,7±3,23	344,2±3,63	367,1±2,50	364,6±1,67	359,3±4,11
Убойный выход, %	62,3±0,24	62,2±0,30	62,2±0,21	62,9±0,15	63,1±0,21	63,0±0,16

*P<0,05 по сравнению с генотипом AA

у животных обеих пород. Так, у бычков герефордской и лимузинской пород частота встречаемости генотипа LEP^{AA} была 47,34% и 52,25%; LEP^{AB} – 4,35% и 37,84%; LEP^{BB} – 12,28% и 9,91%, соответственно. У герефордских бычков частоты аллелей LEP^A и LEP^B составили 0,68 и 0,32; у лимузинских – 0,71 и 0,29. Полученные данные отчасти согласуются с результатами отечественных и зарубежных ученых, установивших при изучении полиморфизма лептина преобладание гетерозиготного генотипа, за счет чего частота встречаемости аллеля LEP^T у герефордского скота приближается к 0,48 и у лимузинского – 0,44 [13], в других исследованиях у этих же пород скота аллель LEP^T встречается с частотой 0,42 и 0,40, соответственно [7].

Динамика живой массы бычков различных генотипов по гену лептина приводится в таблице 1.

На фоне отсутствия достоверных межгрупповых различий отмечена тенденция незначительного увеличения живой массы у бычков по генотипам в направлении $LEP^{BB} \rightarrow LEP^{AB} \rightarrow LEP^{AA}$. У герефордских бычков с генотипом LEP^{AA} живая масса превышала показатель сверстников с генотипами LEP^{AB} и LEP^{BB} в 8-ми месячном возрасте на 0,6% и 1,6%; а в 20-ти месячном – на 0,63% и 0,79%; у лимузинских бычков, соответственно, на 1,57% и 3,69%; 0,83% и 2,54%. Живая масса бычков лимузинской породы во все возрастные периоды была больше аналогичного показателя герефордских сверстников. Полученные данные согласуются с результатами, полученными Н.Ю. Сафиной,

Ю.Р. Юльметьевой, Т.М. Ахметовым, Ш.К. Шакировым, Ф.Ф. Зиннатовой (2017), которые установили, что телки голштинской породы с генотипом LEP^{CC} имели более высокую массу в возрасте 6, 12 и 18 месяцев по сравнению со сверстниками генотипа LEP^{TT} [14].

Наряду с этим, наблюдалась тенденция незначительного превосходства бычков с генотипом LEP^{AA} в отношении величины промеров статей тела: высота в холке, обхват груди за лопатками, ширина груди за лопатками, глубина груди, косая длина туловища, обхват пясти и полуобхват зада. Анализ индексов мясной продуктивности свидетельствовал о гармоничном развитии телосложения молодняка обеих пород и подтвердил выраженность мясных форм у бычков всех генотипов по гену лептина.

Следует отметить, что туши, полученные от бычков всех групп, были отнесены к высшей категории В, поскольку были полномясными, с округлой, выпуклой, отлично развитой мускулатурой и широкими при осмотре в профиль. Результаты послеубойной оценки мясной продуктивности молодняка различных генотипов по гену лептина приводятся в таблице 2.

Табличные данные свидетельствуют о тенденции к увеличению послеубойных показателей в сторону $LEP^{BB} \rightarrow LEP^{AB} \rightarrow LEP^{AA}$. Разница между тушами животных генотипов $LEP^{AA} > LEP^{BB}$ по показателям предубойной живой массы составила 0,45% (герефордская порода) и 2,26% (лимузинская порода); по массе парной туши – 0,79% и 2,38%; по выходу туши – 0,20%

Табл. 3. Морфологический состав туш

Показатель	Порода/генотип					
	герефордская			лимузинская		
	AA (n=10)	AB (n=10)	BB (n=5)	AA (n=10)	AB (n=10)	BB (n=5)
Масса охлажденной полутуши, кг	161,0±2,11	159,5±1,36	160,1±1,79	171,9±2,01	170,6±1,33	166,1±1,15
в т.ч. мякоть, кг	117,9±0,99	117,0±0,69	117,0±1,58	126,5±1,40	125,5±0,88	122,0±1,52
%	73,20	73,20	73,10	73,60	73,50	73,44
жир, кг	10,6±0,16	10,7±0,51	10,9±0,31*	11,5±0,17	11,5±0,14	11,7±0,09
%	6,60	6,70	6,90	6,70	6,70	7,04
кости, кг	27,4±0,28	27,0±0,31	27,1±0,42	28,7±0,15	28,6±0,14	27,5±0,17
%	17,00	16,90	17,00	16,70	16,80	16,56
сухожилия и хрящи, кг	5,1±0,05	5,1±0,09	5,1±0,12	5,1±0,11	5,0±0,12	4,9±0,18
%	3,20	3,20	3,20	3,00	3,00	2,95
Коэффициент мясности	4,32	4,34	4,32	4,41	4,40	4,43

*P<0,05 по сравнению с генотипом AA

и 0,10%; по убойной массе – 3,50% и 2,12%, соответственно. Убойный выход был выше в тушах, полученных от герефордских бычков с генотипом *LEP^{AA}* (62,3%), и в тушах, полученных от лимузинских бычков гетерозиготного генотипа (63,1%). Отмечено, что жировых отложений в тушах бычков генотипов *LEP^{BB}* и *LEP^{AB}* больше, по сравнению с тушами от бычков с генотипом *LEP^{AA}*. У бычков герефордской породы (*LEP^{BB}*, *LEP^{AB}*) наблюдается достоверное увеличение ($P \leq 0,05$) показателя массы внутреннего жира сырца на 2,35% и 2,05%; у лимузинских бычков – на 2,73% и 2,20%, соответственно. В тушах животных с указанными генотипами также достоверно ($P \leq 0,05$) увеличивается выход жира на 0,10% и 0,09% (герефорды) и на 0,15% (лимузины). Полученные нами данные согласуются с исследованиями зарубежных ученых, которые считают, что полиморфизм гена лептина оказал влияние на липидный обмен и мясные качества иранского голштинского скота [15].

Морфологический состав туш бычков различных генотипов приводится в таблице 3.

Анализируя полученные данные, можно отметить тенденцию увеличения показателей массы охлажденной туши, и, соответственно, массы мякоти в тушах, полученных от животных генотипа *LEP^{AA}*. Так, в тушах герефордского и лимузинского скота этого генотипа процент содержания мякоти, в сравнении с тушами генотипа *LEP^{BB}*, был выше на 0,76% и 3,56%, соответственно. Отмечено достоверное увеличение ($P \leq 0,05$) содержания жира в тушах бычков герефордской породы с генотипом, гомозиготным по второму аллелю, на 2,75% по сравнению с животными генотипа *LEP^{AA}*. У бычков лимузинской породы межгрупповая разница по этому показателю была недостоверна и составила 1,71%. Анализ коэффициентов мясности туш молодняка различных генотипов лимузинской породы выявил его колебания в пределах 4,41-4,43, герефордской породы – 4,32-4,34.

Таким образом, в результате генотипирования бычков герефордской и лимузинской пород нами установлено сходное распределение генотипов: частота встре-

чаемости аллеля *LEP^A* составила 0,68 и 0,71; аллеля *LEP^B* – 0,32 и 0,29, соответственно. Показано, что влияние полиморфизма гена лептина на исследованные показатели мясной продуктивности не зависит от породы подопытных животных. Так, у бычков обеих пород с генотипом *LEP^{AA}* отмечена тенденция увеличения показателей живой массы, предубойной живой массы, массы парной туши, выхода туши, убойной массы. Достоверный рост массы внутреннего жира-сырца и выхода жира в тушах наблюдается у бычков с генотипами *LEP^{AB}* и *LEP^{BB}*. В морфологическом составе туш у бычков герефордской породы с генотипом *LEP^{BB}* отмечена аналогичная ассоциация SNP *LEP-A422B* с содержанием жира.

Литература

1. Зиновьева Н.А., Костюнина О.В., Гладырь Е.А., Банникова А.Д., Харзинова В.Р., Ларионова П.В., Шавырина К.М., Эрнст Л.К. Роль ДНК маркеров признаков продуктивности сельскохозяйственных животных // Зоотехния. – 2010. – № 1. – С. 8–10.
2. Komisarek J. Impact of LEP and LEPR gene polymorphisms on functional traits in Polish Holstein-Friesian cattle // Animal Science Papers and Reports. – 2010. – V.10. – P.133-141.
3. Калашикова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б., Дунин М.И., Приданова И.Е. Рекомендации по геномной оценке крупного рогатого скота. – Лесные поляны: ВНИИ плем, 2015. – 35 с.
4. Yoon D.H., Cho B.H., Park B.L., Choi Y.H., Cheong H.S., Lee H.K., Chung E.R., Cheong I.C., Shin H.D., Yoon D.H., Cho B.H., Park B.L., Choi Y.H., Cheong H.S., Lee H.K., Chung E.R., Cheong I.C., Shin H.D. Polymorphic Bovine Leptin Gene // J.Anim.Sci. – 2005. – V.18. – №11. – P.1548-1551.
5. Curi A. Chardulo L.A.L., Arrigoni. M.D.B., Silveira A.C., Oliveira H.N. Associations between LEP, DGAT1 and FABP4 gene polymorphisms and carcass and meat traits in Nelore and crossbred beef cattle // Arrigoni Livestock Science. – 2011. – №135. – P. 244–250

6. Buchanan F.C., Fitzsimmons C.J., Van Kessel A.G., Thue T.D., Winkelman-Sim D.C., Schmutz S.M. Association of a missense mutation in bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels // *Genet. Sel. Evol.* – 2002. – №34. – P. 105-16.
7. Aviles C., Polvillo O., Pena F., Juarez M., Martinez A.L., Molina A. Associations between DGAT1, FABP4, LEP, RORC, and SCD1 gene polymorphisms and fat deposition in Spanish commercial beef // *Animal Biotechnology.* – 2015. – № 26(1). – P. 40-44.
8. Zwierzchowski L., Oprzadek J., Dymnicki E. An association of growth hormone, K-caseine, B-lactobolubin, Leptin and Pit1 loci polymorphism with growth rate and carcass traits in beef cattle // *Anim. Sci. papers and report.* – 2001. – V. 19. – № 1. – P. 65-77.
9. Anton I., Kovacs K., Hollo G., Farkas V., Lehel L., Hajda Z., Zsolnai A. Effect of leptin, DGAT1 and TG gene polymorphisms on the intramuscular fat of Angus cattle in Hungary // *Livestock Science.* – 2011. – №135. – P. 300–303.
10. Carvalho T.D., Siqueira F., Júnior R.A.A.T., Medeiros S.R., Feijó G.L.D., Junior M.D.S., Blecha I.M.Z., Soares C.O. Association of polymorphisms in the leptin and thyroglobulin genes with meat quality and carcass traits in beef cattle // *Revista Brasileira de Zootecnia.* – 2012. – V.41. – №10. – P. 2162-2168.
11. Гизатуллин П.С., Седых Т.А. Адаптивная ресурсосберегающая технология производства говядины: монография. - Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016 – 119 с.
12. Sedykh T.A., Kalashnikova L.A., Gusev I.V., Pavlova I.Yu., Gizatullin R.S., Dolmatova I.Yu. Influence of TG5 and LEP gene polymorphism on qualitative meat composition in beef calves // *Iraqi Journal of Veterinary Sciences.* – 2016. – Т. 30. – № 2. – С. 41-48.
13. Шарипов А.А., Шакиров Ш.К., Юльметьева Ю.Р., Гафурова Л.И. Шарипов А.А. Молекулярно-генетические аспекты селекции мясного скота по морфности мяса // *Вестник мясного скотоводства.* – 2014. – Т. 2. – №.85. – С. 59-64.
14. Сафина Н.Ю., Юльметьева Ю.Р., Ахметов Т.М., Шакиров Ш.К., Зиннатова Ф.Ф. Ассоциация полиморфизма гена-кандидата лептин с энергией роста и физическим развитием голштинского крупного рогатого скота // *Ветеринарный врач.* – 2017. – № 6. – С. 52-56.
15. Sharifzadeh A., Doosti A. Investigation of leptin gene polymorphism in Iranian native cattle // *Bulg. J. Vet. Med.* – 2012. – V.15. – №2. – P. 86–92.

Поступила в редакцию 01.06.20
После доработки 08.06.20
Принята к публикации 15.06.20

Рыбоводство

УДК 639.219: 637.5 (282.256.6) (571.56)

DOI:10.31857/S2500262720050142

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПИЩЕВАЯ ЦЕННОСТЬ
МУКСУНА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЛЕНА

А.Ф. Абрамов, доктор биологических наук, **Т.В. Слепцова**,
А.А. Ефимова, кандидат сельскохозяйственных наук,
В.Т. Васильева, кандидат биологических наук, **М.В. Прудецкая**

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова,
677001, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, 23/1
E-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

Исследования проводили с целью определения биохимического состава и пищевой ценности муксуна (Coregonus muksun (Pallas)) нижнего течения реки Лена. Это ценная промысловая рыба, в реке Лена добывается 90% от ее общего вылова по Якутии, в остальных реках численность низкая и продолжает сокращаться в результате чрезмерного вылова. Ежегодный вылов муксуна в Якутии в среднем составляет 450 т, общие допустимые уловы – 510-590 т. Отмечено, что филе и теша муксуна по количеству белков относятся к белковым продуктам (15-20%). Содержание белков в филе составило 16,05±0,003%, в теше – 18,72±0,009%. По содержанию жиров в теше (22,67±0,009%) муксун относится к особо жирным сортам рыб (более 15%). По питательной ценности муксун является высококалорийным продуктом питания (более 200-300 ккал/100 г). Белки филе и теша муксуна обладают высокой биологической ценностью, так как сумма аминокислотного сора выше эталона идеального белка (более 100%). Проведенные исследования дают основание отнести мясо муксуна к качественному и хорошо сбалансированному пищевому продукту.

BIOCHEMICAL COMPOSITION AND NUTRITIONAL VALUE OF MUKSUN
OF THE LOWER REACHES OF THE LENA RIVER

**Abramov A.F., Sleptsova T.V., Efimova A.A.,
Vasilyeva V.T., Prudetskaya M.V.**

Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after Safronov M.G.,
677001, Yakutsk, ul. Bestuzheva-Marlinskogo, 23/1
E-mail: SlepsovaTV@yandex.ru

Research was conducted to determine the biochemical composition and nutritional value of the lower reaches of the Lena river muksun (Coregonus muksun (Pallas)). This is a valuable commercial fish, especially numerous in the Lena river, where 90% of its total catch in Yakutia is extracted, in other rivers the number is low and continues to decrease as a result of overfishing. The average annual catch of muksun in Yakutia is 450 tons, and the total allowable catches are 510-590 tons. It is noted that the fillet and tesh of muksun are protein products (15-20%) in terms of the number of proteins. Thus, the protein content in the fillet was 16.05±0.003%, in the tesh-18.72±0.009%. According to the fat content in tesh (22.67±0.009%), muksun belongs to particularly fatty fish varieties (more than 15%). In terms of nutritional value, muksun is a high-calorie food (more than 200-300 kcal/100g). Fillet and teshi muksun proteins have a high biological value, since the amount of amino acid score is higher than the ideal protein standard (more than 100%). The conducted research gives grounds to attribute the meat of muksun to a high-quality and well-balanced food product.

Ключевые слова: рыбы, муксун, Лена, аминокислоты, витамины, минеральные вещества, биологическая и пищевая ценность

Key words: fish, muksun, Lena, amino acids, vitamins, minerals, biological and nutritional value

Муксун заселяет узкую прибрежную полосу опресненных участков морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (примерно до 10 км ширины), дельты всех рек, впадающих в них, и поднимается по рекам до их нижних или средних течений. Для нагула использует шельф северного Ледовитого океана [1-3]. Половой зрелости муксун достигает в возрасте 9-14 лет. Плодовитость – 17-108 тысяч икринок. Нерестовый ход происходит с июня по сентябрь, более выраженный характер имеет в сентябре. В Якутии достигает длины тела 71 см, массы 4,08 кг [4].

Муксун в Республике Саха (Якутия) является одной из основных промысловых рыб, запасы его, кроме ленокской популяции, сильно подорваны и нуждаются в охране [1,5]. Основные показатели вылова муксуна в бассейнах рек Республики Саха (Якутия) представлены в таблице 1.

Химический состав рыбы не постоянен и зависит от времени и места вылова, возраста, пола, физиологического состояния. Обладая исключительными вку-

совыми качествами, муксун имеет повышенный спрос у населения республики. По пищевой и биологической ценности мясо муксуна не уступает мясу наземных животных, а во многих отношениях и превосходит его. В муксуне содержатся необходимые для человека аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, микро- и макроэлементы, другие нутриенты, в т.ч. минорные компоненты пищи [6-8]. Пищевая и биологическая ценность муксуна, вылавливаемого в Якутии, мало изучена. Так, некоторыми учеными был

Табл. 1. Основные показатели вылова муксуна, т

Год	Всего	В т.ч. по бассейнам рек				
		Анабар	Лена	Яна	Индигирка	Колыма
2000	381,4	3,2	358,0	0,8	15,8	3,6
2004	402,8	-	350,8	19,0	25,2	7,8
2014	440,3	9,9	328,6	21,0	40,1	0,36

исследован его химический состав, в т.ч. содержание минеральных веществ [9,10].

Цель – изучить биохимический состав и пищевую ценность муксуна (*Coregonus muksun (Pallas)*) нижнего течения реки Лена.

Методика. Для исследования были отобраны рыбы осенне-зимнего улова 2013 г. низовья бассейна реки Лена у п. Жиганск Жиганского улуса Республики Саха (Якутия), быстрозамороженные при температуре не выше –30 °С в модульной установке для замораживания продуктов (МУЗ-07-10) с последующим хранением в ледниках и морозильных камерах с температурой не выше –15 °С [11].

Отбор образцов продукции проводили непосредственно на местах вылова методом выборки из каждой партии характерных мерных экземпляров, согласно ГОСТ 7631-2008. Все образцы рыбной продукции были измерены и взвешены согласно ГОСТ 1368-2003. Полученные образцы от всех частей рыб объединили в однородные партии и привели к средней пробе, в соответствии с ГОСТ 31339-2006. В лаборатории перед исследованием биохимического состава цельные замороженные тушки рыб предварительно размораживали на воздухе при комнатной температуре, очищали от чешуи и внутренностей. Из отобранных проб удаляли кости и хрящи. На исследование брали мышечную ткань из спинной и брюшной части рыб.

Определение биохимического состава рыбы устанавливали методом инфракрасной спектроскопии на инфракрасном анализаторе Spectra Star 2200, калиброванном на основе общепринятых стандартных химических методов в лаборатории переработки сельскохозяйственных продуктов и биохимических анализов ЯНИИСХ.

Аминокислотный скор (АС) рассчитывали по формуле [12]:

$$AC = \frac{\text{Количество аминокислоты в 100 г исследуемого белка, г}}{\text{Количество аминокислоты в 100 г идеального белка, г}} \times 100$$

Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики с учетом критерия Стьюдента при $p \leq 0,05$ [13].

Результаты и обсуждение. Живая масса муксуна в среднем составила 1302±12,00 г, масса филе – 690,02±4,50 г (52,9%), теши – 296,9±5,40 г (22,9%), отходов – 315,08±2,70 г (24,2%), в т.ч. внутренности – 92,02±1,10 г (29,2%), голова – 105,4 ±2,05 г (30,4%), плавники – 19,11±2,00 г (6,0%), чешуя – 22,13±1,30 г (7,02%), шкура – 35,15±1,50 г (11,15%), кости – 61,19±1,60 г (16,2%).

Химический состав и энергетическая ценность определены на основе исследования биохимического состава. По результатам проведенных исследований филе и теши муксуна по количеству белков отнесены к белковым продуктам (15-20%) (табл. 2). Так, содержание белков в филе составило 16,05±0,003%, в теши – 18,72±0,009%. По содержанию жира в теши (22,67±0,009%) муксун относится к особо жирным сортам рыб (более 15%), по содержанию белков и жиров – к высококалорийным продуктам питания (более 200-300 ккал/100 г).

Наиболее высокое содержание макро- и микроэлементов наблюдалось в теши (табл. 3): концентрация кальция составила 68,61±0,039 мг/100 г, фосфора – 295,68±0,121 мг/100 г, калия – 296,76±0,094

Табл. 2. Химический состав (%) и энергетическая ценность филе и теши муксуна

Показатель	Филе	Теши
Вода	71,44±0,009	84,67±0,009
Белок	16,05±0,003	18,72±0,009
Жир	9,99±0,006	22,67±0,009
Зола	2,52±0,003	0,99±0,003
Энергетическая ценность, ккал/100 г	154	341,91

Табл. 3. Содержание макро- и микроэлементов, жирно- и водорастворимых витаминов в филе и теши муксуна

Показатель	Единица измерения	Количество	
		в филе	в теши
Макроэлементы			
Кальций	мг/100 г	37,19±0,021	68,61±0,039*
Фосфор	мг/100 г	197,47±0,062	295,68±0,121*
Калий	мг/100 г	223,10±0,048	296,76±0,094*
Микроэлементы			
Фтор	мкг/100 г	1,99±0,003	3,91±0,003*
Йод	мкг/100 г	12,31±0,006	19,67±0,009*
Селен	мкг/100 г	32,91±0,015	55,99±0,027*
Хром	мкг/100 г	34,37±0,015	58,92±0,031*
Молибден	мкг/100 г	10,77±0,007	19,61±0,012*
Кобальт	мкг/100 г	107,72±0,054	196,11±0,111*
Железо	мг/100 г	13,42±0,009	26,43±0,015*
Марганец	мг/100 г	0,79±0,003	1,28±0,003*
Цинк	мг/100 г	14,16±0,009	27,42±0,018*
Медь	мг/100 г	0,35±0,003	0,68±0,003*
Жирорастворимые			
A	мкг/100 г	85,04±0,038	137,41±0,072*
D	мкг/100 г	16,95±0,009	29,38±0,019*
E	мг/100 г	1,15±0,003	1,96±0,003*
Водорастворимые			
H (биотин)	мкг/100 г	6,05±0,003	10,77±0,007*
PP (ниацин)	мг/100 г	5,67±0,003	9,80±0,007*
B ₃ (пантотеновая кислота)	мг/100 г	7,21±0,007	9,99±0,041*
B ₆ (пиридоксин)	мг/100 г	4,66±0,006	5,70±0,023*
B ₁₂ (цианокобаламин)	мкг/100 г	7,02±0,003	12,43±0,009*
*p ≤ 0,05			

Табл. 4. Аминокислотный скор белка филе и теша муксуна

Показатель	Филе		Теша		Идеальный белок (ФАО/ВОЗ), г/100 г белка
	г/100 г белка	скор, %	г/100 г белка	скор, %	
Валин	7,12	142,4	5,29	105,8	5,0
Изолейцин	6,86	171,5	6,36	159,0	4,0
Лейцин	13,92	198,8	15,82	226,0	7,0
Лизин	13,00	236,3	13,21	240,2	5,5
Метеонин	4,18	418	5,29	529,0	1,0
Треонин	8,36	209,0	10,53	263,25	4,0
Триптофан	2,11	211,0	1,07	107,0	1,0
Фенилаланин	7,58	252,6	10,53	351,0	3,0
Аланин	13,20	440,0	16,36	545,3	3,0
Глицин	4,58	91,6	6,10	122,0	5,0
Пролин	8,56	122,2	11,40	162,8	7,0
Серин	8,04	268,0	11,18	372,6	3,0
Тирозин	7,19	239,6	10,80	360,0	3,0
Цистин	1,83	91,5	2,56	128,0	2,0
Аргинин	4,86	97,2	5,29	105,8	5,0

мг/100 г. В теше муксуна содержание микроэлементов намного выше, чем в филе.

Витаминный состав мяса муксуна сбалансирован и наглядно демонстрирует, что мясо этого вида рыбы обладает высокой биологической ценностью. Уровень жирорастворимых витаминов в филе составил 1,25 мг/100 г, в теше – 2,12 мг/100 г. Сумма водорастворимых витаминов в филе – 17,55 мг/100 г, в теше – 25,51 мг/100 г (табл. 3). Такая концентрации витаминов позволяет восполнить их дефицит в организме человека в условиях Крайнего Севера при использовании в рационе питания 200-300 г в сутки продукции из муксуна.

Белок считается полноценным, если в нем присутствуют все незаменимые аминокислоты в сбалансированном соотношении. К полноценным белкам по своему химическому составу приближаются белки молока, мяса, рыбы, яиц, усвояемость которых около 90%. Белки растительного происхождения (мука, крупа, бобовые) не содержат полного набора незаменимых аминокислот и поэтому относятся к разряду неполноценных. В частности, в них содержится недостаточное количество лизина. Усвоение таких растительных белков составляет, по некоторым данным, около 60% [14, 15].

Исследования аминокислотного состава показали, что в белке мяса муксуна содержатся все незаменимые аминокислоты, в наибольшем количестве такие как лейцин, треонин, причем суммарный их уровень в теше выше (26,3 г/100 г) по сравнению с филе рыбы (22,2 г/100 г) (табл. 4). Если исходить из оптимальной потребности взрослого человека в незаменимых аминокислотах в сутки (изолейцин – 4,5 г/100 г, лейцин – 8,6 г/100 г, лизин – 9,3 г/100 г, треонин – 4,5 г/100 г, триптофан – 1,1 г/100 г, валин – 5,0 г/100 г), то результаты исследований показывают, что употребление 100 г мяса муксуна в 1,5–1,9 раза позволяет превысить суточную потребность взрослого человека в незаменимых аминокислотах.

Анализ концентрации заменимых аминокислот показал, что по количественному содержанию доминируют аланин, пролин, серин, на долю которых приходится от 29,8 до 38,9 г/100 г белка в филе и теше рыбы от общей суммы заменимых аминокислот соответственно.

Расчет аминокислотного сора выявил, что белки мяса муксуна отличаются высокой биологической ценностью. Так, содержание всех незаменимых аминокислот, кроме цистина, превосходит их уровень в идеальном белке в 1,0–5,3 раза (табл. 4).

Таким образом, муксун по содержанию белков относится к белковым, а по содержанию жиров – к жирным продуктам питания. Содержание полного комплекса макро- и микроэлементов, витаминов в филе и теше свидетельствует о высокой биологической ценности рыбы. Муксун является высококачественным пищевым продуктом, необходимым для здоровья человека, живущего в экстремальных климатических условиях.

Литература

1. Карпова Л.Н., Кириллов А.Ф., Сивцева Л.В. Результаты мониторинга водных биологических ресурсов на водоемах Республики Саха (Якутия) // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2015. – Т. 2. – №2 (6). – С. 3-17.
2. Абрамов А.Ф., Салова Т.А., Степанов К.М. Пищевая и биологическая ценность пресноводных рыб рек Якутии. – Новосибирск: СибАК, 2018. – 154 с.
3. Кириллов А.Ф. Промысловые рыбы Якутии. – М.: Научный мир, 2002. – 194 с.
4. Кириллов А.Ф., Книжнин И.Б. Современный состав и история формирования ихтиофауны реки Лена (Бассейн моря Лаптевых) // Вопросы ихтиологии. – 2014. – Т. 54. – №4. – С. 413–425.
5. Кириллов А.Ф. Влияние промысла на состояние популяций рыб в водоемах Якутии // Вестник Якутского государственного университета. – 2005. – Т. 2. – №2. – С. 48–57.
6. Гнедов А.А. Сравнительный анализ содержания полиненасыщенных жирных кислот омега 3 и омега 6 в мясе северных рыб // Ветеринарный фармакологический вестник. – 2018. – №4 (5). – С. 12–20.
7. Ефимова А.А., Степанов К.М., Петрова Л.В. Энергетическая и биологическая ценность промысловых рыб Якутии // Наука и образование. – 2013. – № 4 (72). – С. 86–89.
8. Будагяна Ф.Е. Таблицы химического состава и питательной ценности пищевых продуктов. М.: Медгиз, 1961. – 602 с.
9. Тяптурьянов М.М., Тяптурьянова В.М. Пищевая

- ценность рыб Якутии // Вопросы питания. – 2015. – Т. 84. – № 53. – С. 169.*
10. Слепцов Я.Г. *Промысловое рыболовство Якутии. Новосибирск, 2002. – 112 с.*
11. Абрамов А.Ф. *Использование естественного холода в производстве, переработке и хранении продуктов питания в экстремальных климатических условиях Республики Саха (Якутия). – Якутск: Октаэдр, 2015. – 136 с.*
12. Лысиков Ю.А. *Аминокислоты в питании человека // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2012. – №2. – С. 88–104.*
13. Лебедев П.Т., Усович А.Т. *Методы исследования кормов, органов и тканей животных. – М.: Россельхозиздат, 1969. – 476 с.*
14. Лебедева У.М., Абрамов А.Ф. *Основы рационального питания населения Якутии. – Якутск: Изд-во СВФУ, 2015. – 248 с.*
15. Степанов К.М., Лебедева У.М. *Основы рационального питания в условиях воздействия низких температур // Якутский медицинский журнал. – 2018. – № 2. – С. 70-73.*

Поступила в редакцию 24.06.20

После доработки 03.07.20

Принята к публикации 10.07.20

Ветеринария

УДК 619:159.96:636.4

DOI:10.31857/S2500262720050154

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРО- И АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСА И ЦИТОКИНОВОГО ПРОФИЛЯ У ПОРОСЯТ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

С.В. Шабунин, академик РАН, **А.Г. Шахов**, член-корреспондент РАН,
Л.Ю. Сашнина, доктор ветеринарных наук, **Г.А. Востроилова**, доктор биологических наук,
Т.Г. Ермолова, кандидат биологических наук, **Ю.Ю. Владимирова**

*Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии,
 394087, Воронеж, ул. Ломоносова, 114б
 E-mail: gvostroilova@mail.ru*

Представлены результаты изучения динамики показателей про- и антиоксидантного статуса и цитокинового профиля у поросят при стрессе, вызванном отъемом их от свиноматок и переводом на доращивание в условиях промышленного свиноводческого комплекса. Установлено, что технологический стресс у животных сопровождается повышением содержания малонового диальдегида, среднемолекулярных пептидов, индекса эндогенной интоксикации и уровня провоспалительных цитокинов на 3-10 сутки после стрессового воздействия. Повышение активности ферментов антиоксидантной защиты, а также увеличение уровня стабильных метаболитов оксида азота и противовоспалительных цитокинов ИЛ-4 и ИЛ-10 способствовало нормализации метаболических процессов в организме и снижению содержания провоспалительных цитокинов ИЛ-1β, ФНО-α и ИФН-γ. Динамика изменений показателей про- и антиоксидантного статуса и цитокинового профиля свидетельствует об их взаимозависимости при развитии оксидативного стресса, связанного с отъемом и переводом на доращивание. Завершение процесса адаптации поросят к новым условиям практически полностью происходило к 20 суткам после стрессового воздействия, и большинство изученных показателей восстанавливалось до предотъемного уровня.

INTERACTION OF PRO- AND ANTIOXIDANT STATUS AND CYTOKINE PROFILE IN PIGLETS UNDER A TECHNOLOGICAL STRESS

**Shabunin S.V., Shakhov A.G., Sashnina L.Yu., Vostroilova G.A.,
 Ermolova T.G., Vladimirova Yu.Yu.**

*All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy,
 394087, Voronezh, ul. Lomonosova, 114b
 E-mail: gvostroilova@mail.ru*

The article presents the results of studying the dynamics of indicators of the antioxidant status and cytokine profile in piglets under stress caused by weaning them from sows and transferring to nursery in an industrial pig breeding complex. It has been detected that technological stress in animals is accompanied by an increase in the content of malondialdehyde, medium molecular weight peptides, the index of endogenous intoxication and the level of proinflammatory cytokines on days 3-10 after stress exposure. An increase in the activity of antioxidant defense enzymes, as well as an increase in the level of stable metabolites of nitric oxide and anti-inflammatory cytokines IL-4 and IL-10, contributed to the normalization of metabolic processes in the organism and a decrease in the content of proinflammatory cytokines IL-1β, TNF-α and IFN-γ. The dynamics of changes in the indicators of pro- and antioxidant status and cytokine profile indicates their interdependence during the development of oxidative stress associated with weaning and transferring to nursery. The completion of the process of adaptation of piglets to new conditions almost completely occurred by day 20 after stress exposure and most of the studied indicators were restored to a pre-weaning level.

Ключевые слова: поросята, технологический стресс, малоновый диальдегид, каталаза, глутатионпероксидаза, оксид азота, среднемолекулярные пептиды, эндогенная интоксикация, цитокины

Key words: piglets, technological stress, malondialdehyde, catalase, glutathione peroxidase, nitric oxide, medium molecular weight peptides, endogenous intoxication, cytokines

В промышленном свиноводстве при интенсивной технологии производства животные подвергаются стрессовому воздействию на протяжении всего технологического цикла. Ведущее место занимает технологический стресс, возникающий при отъеме, перегруппировках, перемещениях, транспортировке, вакцинациях [1, 2]. Технологический стресс, связанный с ранним отъемом поросят и изменением условий содержания и кормления, приводит к дисбалансу метаболического статуса организма, влияющему на состояние гомеостаза и течение процессов обмена веществ, развитию морфофункциональных нарушений [3, 4]. В основе многих метаболических процессов лежат окислительно-восстановительные реакции, среди которых особую роль играют процессы свободнорадикального окисления. Патогенез постстрессорных нарушений тесно связан с изменением баланса между окислительными и антиоксидантными процес-

сами в тканях. Увеличение генерации активированных кислородных метаболитов, нарушение соотношения про- и антиоксидантов и, как следствие, чрезмерная активация процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в клетках являются универсальным механизмом повреждения биологических тканей при стрессе [5-7]. Процессам свободнорадикального окисления подвержены белки, аминокислоты, углеводы и особенно липиды за счет входящих в их состав полиненасыщенных жирных кислот [8].

Важная роль в поддержании гомеостаза принадлежит системе антиоксидантной защиты (АОЗ), регулирующей содержание активных форм кислорода, свободных радикалов и препятствующей накоплению в организме токсических продуктов окисления. Несоответствие про-оксидантных и антиоксидантных ресурсов клетки приводит к возникновению дисбаланса в течении процессов

образования и утилизации активированных кислородных метаболитов и развитию окислительного стресса. Избыточное количество активных форм кислорода, обуславливая окислительную модификацию белков, сопровождается формированием синдрома эндогенной интоксикации [9, 10]. Биохимическим маркером эндогенной интоксикации служат среднемолекулярные пептиды, являющиеся продуктами нормального и нарушенного белкового и липидного обмена, и обладающие высокой биологической активностью [11].

В настоящее время установлено участие оксида азота как в реакциях окислительного стресса, усиливающего негативные эффекты активных форм кислорода, так и в механизмах антиоксидантной защиты, действуя как акцептор кислородных радикалов, замедляя пероксидное окисление липидов [12]. Кроме того, процессы свободнорадикального окисления и система оксида азота являются универсальными факторами регуляции стрессорных и адаптивных ответов организма [13]. По данным некоторых исследователей окислительный стресс, характеризующийся повышенным содержанием свободных радикалов, оказывает индуцирующее влияние на активность провоспалительных цитокинов [14, 15].

Известно, что цитокины, являясь первичными медиаторами межклеточных взаимодействий, обеспечивают поддержание клеточного и тканевого гомеостаза, способствуют формированию и регуляции защитных реакций организма при воздействии негативных факторов [16, 17].

Целью настоящего исследования явилось изучение активности процессов перекисного окисления липидов и системы антиоксидантной защиты, определения содержания оксида азота во взаимосвязи с содержанием цитокинов у поросят при технологическом стрессе, связанном с отъемом и переводом их на доращивание в условиях промышленного свиноводческого хозяйства.

Методика. Исследования проведены в марте-апреле 2019 года в промышленном свиноводческом хозяйстве ООО «Вишневок» Верхне-Хавского района Воронежской области на клинически здоровых поросятах, полученных от помесных свиноматок (крупная белая х ландрас х дюрк) третьего опороса. После отъема на 28 день поросят переводили в цех доращивания. Животных содержали при оптимальных параметрах микроклимата с учетом их физиологического состояния. Поросят кормили комбикормом СК-3, сбалансированным, согласно данным производителя, по энергии, протеину, аминокислотам, витаминам, макро- и микроэлементам.

Биохимические и иммунологические исследования крови поросят (n=6) проводили до отъема и через 3, 10 и 20 суток после перевода их на доращивание.

Содержание малонового диальдегида (МДА), активность каталазы (КА) и глутатионпероксидазы (ГПО), среднемолекулярные пептиды (СМП), индекс эндогенной интоксикации (ИЭИ) определяли в соответствии с «Методическими положениями» [9] и с использованием методик [18].

Содержание интерлейкина-1β (ИЛ-1β), интерлейкина-2 (ИЛ-2), интерлейкина-4 (ИЛ-4), интерлейкина-10 (ИЛ-10), фактора некроза опухоли-α (ФНО-α), γ-интерферона (ИФН-γ) в сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) с последующим учетом результатов на спектрофотометре «Униплан-ТМ» в соответствии с утвержденными наставлениями к диагностическим наборам «Вектор-Бест» Россия.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Statistica v6.1, оценку достоверности – по критерию Стьюдента.

Табл. 1. Показатели антиоксидантного статуса, оксида азота и эндогенной интоксикации у поросят

Показатель	За 3 сут до отъема	Срок после перевода на доращивание, сут		
		3	10	20
МДА, мкМ/л	2,7±0,11	4,1±0,11***	3,2±0,3*	3,0±0,25
КА, мкМ H ₂ O ₂ /л×мин×10 ³	61,2±0,95	58,7±2,02	62,3±0,86	58,4±0,39**
ГПО, мкМ G-H/л×мин×10 ³	13,4±0,74	10,8±0,25**	11,9±0,9	14,0±0,87
NOx, мкМ/л	57,7±3,93	49,9±6,59	62,3±8,29	58,3±1,22
СМП, усл. ед.	0,31±0,02	0,34±0,005	0,35±0,02	0,32±0,002
ИЭИ, усл. ед.	17,8±0,95	21,1±0,46*	22,6±0,45*	19,9±0,17***

*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001 по отношению к предыдущему периоду

Результаты и обсуждение. У поросят на 3 сутки после отъема и перевода на доращивание отмечали повышение уровня малонового диальдегида в 1,5 раза, среднемолекулярных пептидов на 9,7% и индекса эндогенной интоксикации на 18,5%, свидетельствующее об оксидативном стрессе, связанным с отъемом и адаптацией животных к новым условиям (табл. 1).

На 10 сутки после отъема у животных происходило снижение концентрации МДА на 22,0%, при этом содержание среднемолекулярных пептидов и индекс эндогенной интоксикации имели тенденцию к повышению, свидетельствующую о накоплении биологически активных продуктов катаболизма белков за счет их повышенной окислительной модификации.

Выявленные изменения содержания в крови продуктов ПОЛ у поросят связаны с деятельностью ферментов антиоксидантной защиты. Так, на 3 сутки после стрессового воздействия установлено снижение активности каталазы и глутатионпероксидазы на 3,5 и 19,4% соответственно, обусловленное развитием окислительного стресса. Повышение уровня каталазы на 6,2% и ГПО на 10,2% в крови поросят на 10 сутки свидетельствовало об активации системы антиоксидантной защиты организма.

При адаптации к новым условиям у животных на 20 сутки после отъема активность ферментов антиоксидантной защиты обеспечивала снижение уровня МДА, среднемолекулярных пептидов и индекса эндогенной интоксикации на 6,3; 8,6 и 11,9% соответственно, что указывало на уменьшение окислительного стресса и нормализацию метаболических процессов в организме.

Установленное в этот период незначительное снижение уровня каталазы на 6,3% при сохранении тенденции повышения активности глутатионпероксидазы на 17,6% обусловлено конкурентными отношениями за используемые концентрации субстрата, так как в физиологических условиях между активностью каталазы и ГПО существует прямая линейная зависимость, вызванная идентичностью субстанции (пероксида водорода) для этих ферментов [19].

Содержание стабильных метаболитов оксида азота, принимающего участие в реакциях антиоксидантной защиты, на 3 сутки после отъема и перевода на доращивание снизилось на 13,5%, что обусловлено повышенным образованием активных форм кислорода в условиях нарастающего оксидативного стресса, приводящего к уменьшению активности эндотелиальной NO-синтазы, индуцирующей образование оксида азота [12].

Табл. 2. Цитокиновый профиль у поросят, пг/мл

Показатель	За 3 сут до отъема	Срок после перевода на доращивание, сут		
		3	10	20
ИЛ-1 β	11,1 \pm 0,4	11,8 \pm 0,06	12,4 \pm 0,16**	10,8 \pm 0,36***
ИЛ-2	12,6 \pm 0,96	9,8 \pm 0,75*	7,8 \pm 0,83***	8,7 \pm 0,31**
ИЛ-4	3,3 \pm 0,19	2,9 \pm 0,13*	3,9 \pm 0,22***	3,8 \pm 0,38
ИЛ-10	20,2 \pm 0,13	19,6 \pm 0,13	21,5 \pm 0,37	23,4 \pm 0,33***
ФНО- α	3,5 \pm 0,16	3,7 \pm 0,11	3,9 \pm 0,09	3,4 \pm 0,14
ИФН- γ	117,5 \pm 3,49	129,0 \pm 6,14	132,3 \pm 8,87	114,1 \pm 4,94*

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ по отношению к предыдущему периоду

Выявленное повышение уровня оксида азота на 10 сутки на 24,8% и последующее его снижение к 20 дню на 22,5% свидетельствовало об участии NO в регуляции стресс-реакции, ограничивая ее чрезмерную активацию и повреждающие эффекты. Антиоксидантный эффект оксида азота обусловлен взаимодействием супероксида-ниона и NO, приводящем к детоксикации потенциально опасных активных форм кислорода [20]. Кроме того, один из защитных эффектов NO при стрессе связан с его способностью увеличивать активность антиоксидантных ферментов и экспрессию кодирующих их генов, восстанавливать гемоглобинсодержащие ферменты антиоксидантной защиты, к которым относится каталаза [21, 22].

При изучении цитокинового профиля у поросят при отъеме и переводе на доращивание установлено повышение уровня провоспалительных цитокинов ИЛ-1 β и ФНО- α на 3 и 10 сутки на 4,5% и 10,3; 5,7 и 11,4% соответственно (табл. 2). Аналогичные изменения отмечали и в концентрации провоспалительного цитокина ИФН- γ (9,8 и 12,6%). Концентрация цитокина ИЛ-2, стимулирующего клеточный иммунный ответ, в эти же сроки снизилась на 22,2 и 20,4% соответственно.

Установленное повышение уровня провоспалительных цитокинов и снижение содержания ИЛ-2 на 3 и 10 сутки после перевода на доращивание обусловлено действием окислительного стресса, проявляющегося увеличением уровня малонового диальдегида и среднемолекулярных пептидов [23, 24]. При этом, по мнению ряда авторов [14, 25, 26], повышение при стрессе уровня цитокинов, являющихся первичными медиаторами провоспалительного и противовоспалительного ответов, стимулирует образование и активацию различных вторичных медиаторов, в том числе свободнорадикальных молекул. Кроме того, под действием провоспалительных цитокинов повышается активность фермента NO-синтазы и увеличивается синтез NOx, обладающего антиоксидантными свойствами, что приводит к снижению окислительного стресса [27].

Динамика изменений содержания ИЛ-4, определяющего развитие гуморального иммунитета, характеризовалась снижением его количества у поросят на 3 сутки на 12,1% и повышением на 10 сутки на 34,5%. Известно, что ИЛ-4 подавляет продукцию провоспалительных цитокинов, в частности ИЛ-1, и стимулирует образование его рецепторного антагониста [28].

Уровень противовоспалительного ИЛ-10, являющегося антагонистом цитокинов воспаления, увеличился на 10 и 20 сутки после отъема на 9,7 и 19,4%, что обусловлено компенсаторной реакцией, направленной на ингибирование избыточного синтеза провоспалительных цитокинов ИЛ-1 и ФНО- α . Выявленное повышение уровня противовоспалительных цитокинов ИЛ-4 на 10 и ИЛ-10 на 10 и 20 сутки связано с увеличением содержания СМП и индекса эндогенной интоксикации и является физиологической адаптационно-компенсаторной реакцией организма [24].

На 20 сутки, по сравнению с предыдущими показателями, установлено снижение уровня ИЛ-1 β , ИФН- γ и ФНО- α на 12,9; 13,8 и 12,8% соответственно, при увеличении концентрации ИЛ-2 на 11,5%, свидетельствующее о снижении стресс-реакции и адаптации животных к новым условиям.

Таким образом, выявленные изменения показателей про- и антиоксидантного статуса и цитокинового профиля свидетельствуют об их взаимозависимости при развитии оксидативного стресса, связанного с отъемом поросят и переводом их на доращивание в условиях промышленных свиноводческих хозяйств.

Проведенными исследованиями установлено, что технологический стресс, вызванный отъемом поросят и переводом на доращивание, сопровождается активацией процессов перекисного окисления липидов, увеличением содержания среднемолекулярных пептидов и индекса эндогенной интоксикации, свидетельствующих о наличии оксидативного напряжения организма. Увеличение активности ферментов антиоксидантной защиты и уровня стабильных метаболитов оксида азота в процессе адаптации животных снижало интенсивность процессов перекисного окисления липидов и эндогенной интоксикации, что способствовало восстановлению баланса системы ПОЛ-АОЗ. Изменения цитокинового профиля характеризовались повышением содержания в крови провоспалительных цитокинов – интерлейкина-1 β , γ -интерферона и ФНО- α , снижением уровней интерлейкина-2 и интерлейкина-4, стимулирующих соответственно клеточный и гуморальный иммунитет, и противовоспалительного цитокина интерлейкина-10. Последующее снижение количества интерлейкина-1 β , ФНО- α и γ -интерферона и повышение уровней ИЛ-2, ИЛ-4 и ИЛ-10 указывало на снижение стресс-реакции и завершение процесса адаптации животных к новым условиям.

Динамика изменений концентрации продуктов перекисного окисления липидов и уровня провоспалительных цитокинов свидетельствовала об их взаимовлиянии, что указывает на возможность рассматривать способы их взаимокоррекции с использованием различных средств и методов.

Литература

1. Рецкий М.И., Бузлама В.С., Жаркой Б.Л., Водолазский Ю.В. Молекулярно-биохимические механизмы стресса и адаптации // Эколого-адаптационная стратегия защиты здоровья и продуктивности животных в современных условиях. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2001. – С. 29-85.
2. Попов В.С. Этиологические особенности иммунодефицитов у свиней в условиях промышленной технологии / В.С. Попов, Н.В. Самбуров, А.А. Зорикова // Животноводство. – 2016. – №4 – С. 63-67.
3. Востроилова Г.А. Изучение эффективности аминокислот при технологическом стрессе на свино-

- водческих комплексах / Г.А. Востроилова, Н.А. Хохлова, П.А. Паришин, Л.В. Ческидова, И.В. Брюхова, Л.Ю. Сашина, Ю.А. Канторович, С. С. Карташов // *Ветеринарный фармакологический вестник*. – 2018. – № 2(3). – С. 37-41.
4. Максимов Г.В. Система антиоксидантной защиты организма в зависимости от стресс-реакции, возраста и породы свиней / Г.В. Максимов, Н.В. Ленков // *Ветеринарная патология*. – 2010. – №4. – С.59-61.
 5. Рецкий М.И. Значение антиоксидантного статуса в адаптивной гетерогенности и иммунологической резистентности животных / М.И. Рецкий, В.С. Бузлама, А.Г. Шахов // *Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы болезней молодняка в современных условиях»*. – Воронеж, 2002. – С. 33-36.
 6. Akpinar D. The effect of lipoic acid on antioxidant status and lipid peroxidation in rats exposed to chronic restraint stress / D. Akpinar, P. Yargıçođlu, N. Derin, Y. Alicigüzel, A. Ađar // *Physiol Res*. – 2008. – V. 57(6). – P. 893-901.
 7. Goncharova N.D. Stress, aging and reliability of antioxidant enzyme defense / N.D. Goncharova, V.Y. Marenin, T.N. Bogatyrenko // *Curr Aging Sci*. – 2008. – V. 1(1). – P.22-29.
 8. Воробьев Д.В. Физиологический механизм влияния недостающих в среде микроэлементов на гематологические, морфофизиологические параметры, метаболизм и продуктивность сельскохозяйственных животных. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 281 с.
 9. Рецкий М.И. Методические положения по изучению процессов свободнорадикального окисления и системы антиоксидантной защиты организма / М.И. Рецкий, С.В. Шабунин, Г.Н. Близначева, Т.Е. Рогачева, Т.Г. Ермолова, О.Ю. Фоменко, Э.В. Братченко, В.Ю. Дубовцев, Н.Н. Каверин, О.И. Цебржинский. – Воронеж, 2010. – 61с.
 10. Шмойлов Д.К. Патогенетическая роль эндогенной интоксикации / Д.К. Шмойлов, И.З. Каримов, Т.Н. Одинец // *Лабораторная диагностика*. – 2012. – №2(60). – С. 65-69.
 11. Матвеев С.Б. Оценка эндогенной интоксикации по показателям среднемoleкулярных пептидов при неотложных состояниях / С.Б. Матвеев, Н.Ф. Федорова, М.А. Годков // *Клиническая лабораторная диагностика*. – 2009. – №5. – С.16-18.
 12. Соловьева А.Г. Роль оксида азота в процессах свободнорадикального окисления / А.Г. Соловьева, В.Л. Кузнецова, С.П. Перетягин, Н.В. Диденко, А.И. Дударь // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. – 2016. – №1(53). – С.228-233.
 13. Malyshev I. Yu. Stress, adaptation, and nitric oxide/ I. Yu. Malyshev, E.В Manukhina // *Биохимия*. – 1998. – Т. 63. – № 7. – С. 992-1006.
 14. Cracowski J.L. Isoprostanes: new markets of oxidative stress. Fundamental and clinical aspect / J.L.Cracowski, F. Stance-Labesque, G.Bessard // *Rev. med. Intern*. – 2000. – Vol. 21. – P.304-307.
 15. Anisman H. Cytokines, stress and depressive illness: brain-immune interactions / H. Anisman, Z. Merali // *Merali Ann Med*. – 2003. – Vol. 35(1). – P. 2-11.
 16. Наровлянский А.Н. Интерфероны: перспективные направления исследований / А.Н. Наровлянский, Ф.И. Еришов, А.Л. Гинцбург // *Иммунология*. – 2013. – Т. 34. – №3 – С. 168-172.
 17. Симбирцев А.С. Цитокины в патогенезе и лечении заболеваний человека. – СПб.: Фолиант, 2018. – 512с.
 18. Гребнева О.Л. Способ подсчета показателей веществ низкой и средней молекулярной массы плазмы крови / О.Л. Гребнева, Е.А. Ткачук, В.О. Чубейко // *Клиническая лабораторная диагностика*. – 2006. – №6. – С.17-19.
 19. Вашанов Г.А. Взаимосвязи между основными антиоксидантными системами крови телят разного возраста / Г.А. Вашанов, Н.Н. Каверин // *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2009. – №1. – С.58-61.
 20. Кузнецова Л.В. Оксид азота: свойства, биологическая роль, механизмы действия / Л.В. Кузнецова, А.Г. Соловьева // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – №4. – С.24-29.
 21. Чеснокова Н.П. Молекулярно-клеточные механизмы индукции свободнорадикального окисления в условиях патологии / Н.П. Чеснокова, Е.В. Понукалина, М.Н. Бизенкова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2006. – №6. – С.21-26.
 22. Соловьева А.Г. Коррекция метаболических нарушений экзогенным оксидом азота при экспериментальном окислительном стрессе / А.Г. Соловьева, А.И. Дударь, Н.В. Диденко // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2017. – №4-3. – С.550-554.
 23. Pederá J.I. Interacticon between cytokines and oxidative stress in acute pancreatitis / J.I.Pederá, L. Sabater, L. Aparisa [et al.] // *Curr Med Chem*. – 2006. – V. 13(23). – P.2775-85.
 24. Копытова Т.В. Цитокиновый профиль сыворотки крови у больных хроническими распространенными дерматозами с синдромом эндогенной интоксикации / Т.В. Копытова, Н.А. Добротина, Л.Н. Химикина, Н.А. Щелчкова, Г.А. Пантелеева // *Медицинская иммунология*. – 2011. – Т.13. – №2-3. – С.205-210.
 25. Wan Y. Fever of recombinant human interferon-alpha is mediated by opioid domain interaction with opioid receptor inducing prostaglandin E2 / Y. Wan, W. Xu, X.Sun // *J. Neuroimmunol*. – 2004. – Vol. 156(1-2). – P.107-112.
 26. Ibrahim HMI Blocking type 1 interferon signaling rescues lymphocytes from oxidative stress, exhaustion, and apoptosis in a streptozotocin-induced mouse model of type 1 diabetes / HMI Ibrahim, IA El-Elaimy, HM SaadEldien [et al.] // *Oxid Med Cell Logev*. – 2013. – P. 1-12. Doi: 10.1155/2013/148725. Epub 2013 Mar 7.
 27. Аль-Акрас Рашид Кадим Махмуд Влияние окислительного стресса на уровень цитокинов в культуре клеток // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2014. – №4(23). – Ч.1. – С. 78-80.
 28. Кетлинский С.А., Симбирцев А.С. Цитокины. – СПб.: Фолиант, 2008. – 552 с.

Поступила в редакцию 09.06.20
Принята к публикации 21.07.20

Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции

УДК 664.2:613.22

DOI:10.31857/S2500262720050166

**ИССЛЕДОВАНИЕ СО-КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГЛЮКОЗЫ
С ХЛОРИДОМ НАТРИЯ****Л.С. Хворова**, доктор технических наук,
Н.Р. Андреев, член-корреспондент РАН, **Л.В. Баранова***Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов –
филиал Федерального научного центра пищевых систем имени В.М. Горбатова РАН,
140051, Московская область, п. Красково, ул. Некрасова, 11
E-mail: vniik@arrisp.ru*

Изучали фармацевтическую субстанцию глюкозы с хлоридом натрия, соединенных кристаллической решеткой в единый со-кристалл в соотношении, идентичном составу лекарственных растворов глюкозы с хлоридом натрия (NaCl). В настоящее время эти растворы получают из глюкозы и хлорида натрия, что создает определенные трудности в производстве субстанций и растворов, усложняя технологию их получения и себестоимость лекарственных препаратов. Предлагаемая фармацевтическая субстанция разработана на основе двойного соединения глюкозы с хлоридом натрия, характеризующегося высокой скоростью кристаллизации и растворимости. Определены основные параметры технологического режима со-кристаллизации глюкозы с NaCl для включения в производственную линию получения кристаллической глюкозы. Показана высокая растворимость субстанции в сравнении с другими видами глюкозы.

**STUDY OF GLUCOSE CO- CRYSTALLIZATION
WITH SODIUM CHLORIDE****Khvorova L.S., Andreev N.R., Baranova L.V.***All-Russian research Institute of starch products –
the branch of Federal research center of food systems V.M. Gorbatov RAS.,
140051, Moskovskaya oblast, Kraskovo, ul. Nekrasova, 11
E-mail: vniik@arrisp.ru*

The article is devoted to the pharmaceutical substance of glucose with sodium chloride, connected by a crystal lattice into a single co-crystal in a ratio identical to the composition of medicinal solutions of glucose with sodium chloride (NaCl). Currently, these solutions are obtained from two substances of glucose and sodium chloride, which creates certain difficulties in the production of substances and solutions, complicating their technology and the cost of drugs. The proposed pharmaceutical substance is developed on the basis of a double compound (DC) of glucose with sodium chloride, characterized by a high crystallization rate and solubility. The main parameters of the technological mode of co-crystallization of glucose with NaCl for inclusion in the production line for the production of crystalline glucose are determined. The high solubility of the substance in comparison with other types of glucose is shown.

Ключевые слова: фармацевтическая субстанция глюкозы с NaCl, двойное соединение глюкозы с NaCl, со-кристаллизация глюкозы с NaCl, растворимость

Key words: pharmaceutical substance of glucose with NaCl, double compound of glucose with NaCl, co-crystallization of glucose with NaCl, solubility

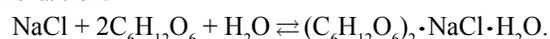
Развитие фармацевтики привело к открытию очень сложных систем доставки лекарств в организм для поддержания постоянного уровня содержания препарата. В то же время количество плохо растворимых лекарственных средств значительно увеличилось при снижении их биодоступности [1]. Водорастворимость и другие характеристики препаратов можно улучшить за счет химического обмена: образования солей, со-кристаллов или сольватов, полиморфизма, технологической обработки и других реакций [2]. Образование со-кристаллов – один из новых подходов к улучшению различных параметров молекул лекарственного средства [3].

Глюкоза и хлорид натрия – необходимые компоненты питания человека и животных, поставляемые извне [4, 5]. В связи с этим для обеспечения потребности организма в критических состояниях: при сердечной слабости, больших потерях крови, обезвоживании при диарее и других патологиях среди лекарственных средств имеется препарат «Раствор натрия хлорида с глюкозой 5%», применяемый в качестве инфузионного раствора [6]. В настоящее время большая часть потребности российского здравоохранения в кристаллической глюкозе и растворах удовлетворяется за счет импорта. При

этом особенно дорогостояще перевозить 5-20%-ные растворы глюкозы и глюкозы с хлоридом натрия [7].

По существующей технологии при производстве растворов глюкозы с хлоридом натрия применяют две субстанции (глюкозу и хлорид натрия), из-за чего создаются определенные трудности, повышается себестоимость производства и снижается качество продукции [8]. Цель наших исследований состояла в создании сухой порошкообразной субстанции, соединяющей в кристаллической решетке глюкозу и NaCl в соотношении, идентичном инфузионным растворам глюкозы с хлоридом натрия [9]. Предлагаемая технология упрощает производство субстанции и растворов из нее, повышает их качество и рентабельность производства.

В основу технологии порошкообразной субстанции положена реакция образования двойного соединения (ДС) глюкозы с NaCl, которое выделяется из пересыщенного раствора путем со-кристаллизации глюкозы с хлоридом натрия в виде крупных четко оформленных кристаллов.



Кристаллы ДС впервые получены и описаны в 1825 г. [10]. ДС легко кристаллизуется, а в контакте с

холодной водой (около 10 °С) быстро разлагается на кристаллы глюкозы и межкристальный раствор, содержащий часть растворенной глюкозы и хлорид натрия. Между тем эксперименты и дискуссии по уточнению структурной формулы ДС продолжаются [11]. При этом рассматривают три химические формулы ДС с различным содержанием воды. Химическую формулу ДС $(C_6H_{12}O_6)_2 \cdot NaCl \cdot H_2O$ с одной молекулой H_2O подтвердили многие исследователи, в том числе Ferguson G. [12] в 1991 г. и Курец И.З. в 2003 г. [13]. Cho Y. и Honzatko R.B. [14] в 1990 г. получили ДС с химической формулой $(C_6H_{12}O_6)_2 \cdot NaCl \cdot 0,78H_2O$, включающей 0,78 H_2O . Wang K.C. et al. [15] в 2009 г. опубликовали сообщение о безводном варианте ДС - $(C_6H_{12}O_6)_2 \cdot NaCl$. Во всех трех структурах катион натрия и анион хлорида идеально разделены с помощью молекул глюкозы [11, 12, 15], что подтверждает ионный характер связи глюкозы с NaCl. Механизм со-кристаллизации глюкозы с NaCl представляется блоковым. Блоки $\{[Na(C_6H_{12}O_6)_2]Cl\}_n$, состоящие из 6 молекул глюкозы, 3 ионов Na^+ , 3 ионов Cl^- и 3 молекул воды, образуют полимерные цепи с искаженной октаэдрической геометрией. Составные части: анионы хлорида и молекулы сольвата воды связаны в трехмерную структуру водородными связями.

На основе привлекательных свойств ДС в 60-е годы прошлого века были разработаны технологии получения глюкозы из сырья, содержащего целлюлозу: древесные опилки, стружки и др. [16] и из крахмала [17]. Однако технология не нашла практического применения, так как не обеспечивала требуемого качества глюкозы и побочных продуктов. В последние годы интерес к глюкозе, получаемой из целлюлозы по технологии через ДС, возобновился. Это связано с использованием ее как возобновляемого сырья для синтеза химических соединений, эффективных в качестве добавок к бензину [18].

В задачи наших исследований входила разработка технологического режима со-кристаллизации глюкозы с NaCl с целью получения ДС и изучения его свойств применительно к фармацевтике и пищевой промышленности.

Методика. В качестве установок для кристаллизации использовали роторный испаритель EVELAN-1100 фирмы «Токай Тогю гикайкаи Со., Ltd» (Япония), опытные горизонтальные кристаллизаторы объемом 5 и 18 л. Материалом для исследований служили глюкоза кристаллическая ГОСТ 975-88, соль пищевая ГОСТ P51574-2000, вода дистиллированная. Методы контроля: концентрацию сухих веществ (СВ) в растворах и утфеле определяли рефрактометрически; форму и размер кристаллов контролировали с помощью микроскопов DMLN фирмы Leica (Германия) и МБИ-4 (Россия).

Содержание кристаллов в утфеле (Кр) вычисляли по формуле:

$$Kp (\%) = \frac{СВ_y - СВ_p}{100 - СВ_p}$$

где $СВ_y$ и $СВ_p$ – содержание сухих веществ соответственно в утфеле и межкристальном растворе, %.

Коэффициент пересыщения (Кп) вычисляли из отношения $Kp = Сп/Сн$ – количества абсолютно сухого вещества в пересыщенном растворе (Сп, г/100 г воды) к абсолютно сухому веществу в насыщенном растворе (Сн, г/100 г воды).

Рабочий раствор глюкозы с хлоридом натрия для опытов готовили с определенным соотношением глюкозы, NaCl и воды. Требуемый объем заливали в

колбу, которую после плотного укупоривания пробкой помещали в термостатирующую баню роторного испарителя, и при перемешивании проводили опыты. Для приготовления стабильно устойчивых растворов с определенным соотношением глюкозы и NaCl руководствовались справочными данными о растворимости ДС, представленными в работе [19].

Результаты и обсуждение. В технологии получения ДС глюкозы с NaCl процесс со-кристаллизации этих веществ является основным. Экспериментальные исследования проводили с целью изучения основных теоретических и технологических закономерностей получения ДС, необходимых для разработки технологии его промышленной кристаллизации.

Нуклеация со-кристаллов глюкозы с хлоридом натрия. Процесс кристаллизации условно разделяют на две стадии: нуклеацию и рост образовавшихся зародышей. Одна из важных характеристик нуклеации – длительность индукционного периода (ИП) до появления зародышей, различная для разных веществ. Высокой длительностью ИП характеризуется глюкоза. Для ускорения процесса ее нуклеации в условиях производства требуются затравки в виде кристаллов или утфеля.

По вопросу нуклеации ДС существуют разные мнения. В технологии получения глюкозы из крахмала (с помощью ДС) нуклеация зародышей ДС у Малышева А.А. [17] проходила самопроизвольно. Rendle D.F. et al. [20] при получении глюкозы из целлюлозы (через ДС) для ускорения со-кристаллизации применяли затравочные кристаллы, полученные простым механическим смешиванием сухих кристаллов глюкозы и хлорида натрия в присутствии эквимолярных количеств воды в вибрационной шаровой мельнице в течение 1,5 ч. Выход кристаллов составлял 93%.

Наши опыты состояли в испытании способов нуклеации ДС без затравки и с затравкой. Наиболее показательный график нуклеации ДС без затравки представлен на рис. 1. Прямолинейный участок без изменения СВ на графике демонстрирует длительность индукционного периода 100 мин. Начавшееся после этого снижение СВ межкристального раствора свидетельствует о самопроизвольном образовании кристаллов.

В опытах при более высоких коэффициентах пересыщения ($Kp > 1,3$) без затравки и с применением затравки (0,005%) при $Kp = 1,15$ образование кристаллов

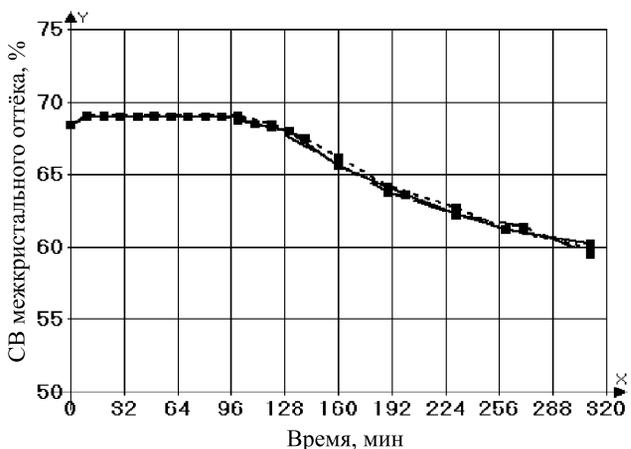


Рис. 1. Кинетика нуклеации ДС при $Kp = 1,1$ без затравки.

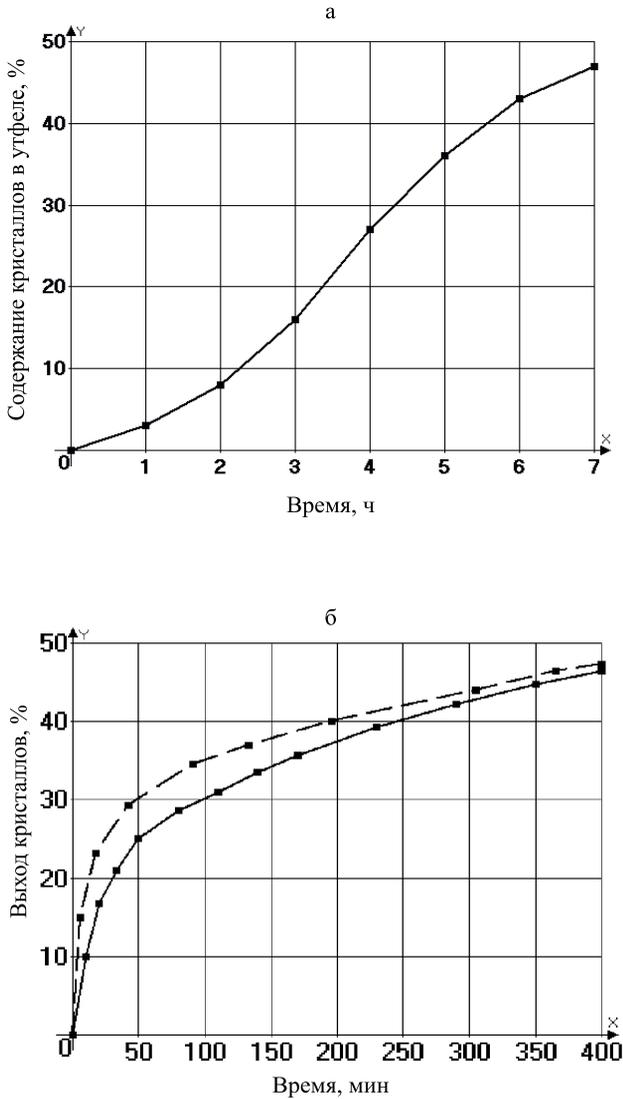


Рис. 2. Кинетика кристаллизации ДС при снижении температуры от 65 до 30°С без затравки (а) и с затравкой (б).

происходило сразу, минуя ИП. Результаты опытов о самопроизвольном образовании кристаллов ДС согласуются с данными работы [17]. Однако при самопроизвольной достаточно простой нуклеации зародышей из-за ее затяжного характера и затруднений в контроле за количеством образующихся кристаллов в производственных кристаллизаторах сложно получить равномерные кристаллы, что неизбежно снижает выход и качество продукта.

Кинетика кристаллизации ДС без затравки и с затравкой. На рис. 2 а, б показана кинетика со-кристаллизации ДС на стадиях нуклеации и наращивания кристаллов без затравки (а) и с затравкой (б).

При сходстве процессов по продолжительности и содержанию кристаллов процессы кристаллизации существенно различаются по кинетике и качеству кристаллов. Например, для накопления 20% кристаллов в растворе без затравки потребовалось почти 3,5 ч, с затравкой – менее 30 мин. Из-за длительной нуклеации без затравки кристаллы характеризовались высокой степенью неравномерности, хуже обрабатывались при центрифугировании при повышенном расходе воды на их промывку. Поэтому снизились качество и выход кристаллов.

На основании исследований разработана технология получения ДС, легко совмещаемая с производством кристаллической гидратной глюкозы, получаемой из сиропов ферментативного гидролиза крахмала с высокой доброкачественностью [21], которые отбирают из глюкозного производства и подают на линию производства ДС, представленной на рис. 3. Глюкозный сироп после выпарки в выпарном аппарате 1 перекачивают в реактор-смеситель 2 для смешивания с NaCl, дозировка которого составляет 16-17% к массе глюкозы, растворяют при перемешивании. Полученный сироп очищают в патронном фильтре 3, уваривают в вакуум-аппарате 4 до концентрации 78-79%, охлаждают в холодильнике 5 до 65 °С и сливают в кристаллизатор 6 для кристаллизации ДС в политермических условиях при охлаждении до 29-30 °С. Процесс продолжается 7-8 ч. Затем кристаллы ДС от межкристалльного раствора отделяют и промывают на центрифуге 7. Сырой продукт влажностью 14-16% высушивают на барабанной сушилке 8 до равновесной влажности 3,5% и через бункер 9 упаковывают в автомате 10. Межкристалльный раствор возвращают в производство ДС в реактор 2.

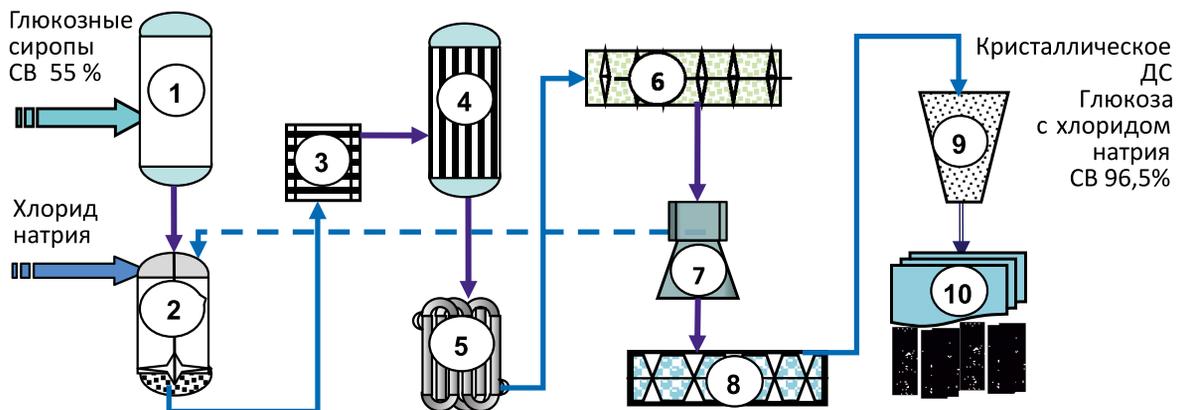


Рис. 3. Технологическая блок-схема производства кристаллического ДС глюкозы с хлоридом натрия. Пояснения в тексте.

Физико-химические показатели процесса кристаллизации двойного соединения глюкозы с хлоридом натрия

Длительность опыта, мин	Интервал температур, °С	Кп	СВ сиропа, %	Скорость охлаждения, °С/ч	СВ межкристалльного раствора %	Выход кристаллов, %	Средний размер кристаллов, мкм
460	75-30	1,15	77,06	6,0	59,8	44,7	232
490	80-30	1,2	78,84	7,5	60,6	48,4	320
490	80-29	1,15	78,20	7,5	59,4	48,23	340

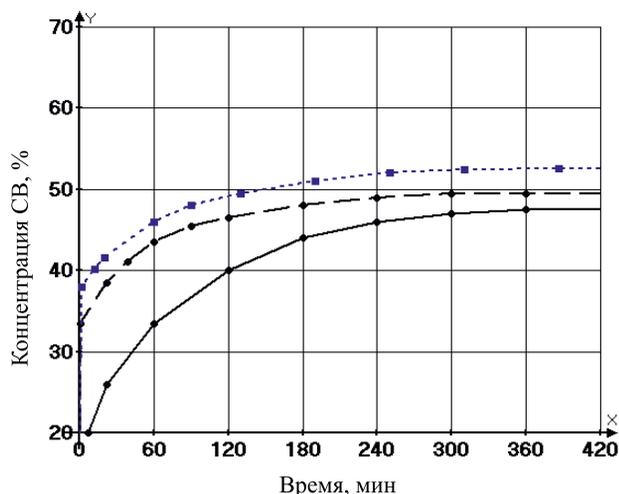


Рис. 4. Длительность растворения глюкозных продуктов при температуре 20 °С:

- глюкоза гидратная;
- - - глюкоза ангидридная;
- ДС с хлоридом натрия.

Физико-химические показатели режима кристаллизации ДС. Значения основных физико-химических показателей, характеризующих режимы кристаллизации, представлены в таблице. Процесс кристаллизации ДС протекает с высокой скоростью, в течение 7-8 ч, образуется уфель с содержанием более 45% крупных (300-340 мкм) кристаллов. Межкристалльный раствор истощается до 59,5-60,5% СВ. Скорость охлаждения составляет 6-7 °С/ч. Полученный продукт – двойное соединение глюкозы с хлоридом натрия представляет собой кристаллический порошок белого цвета влажностью 3,5%, содержит 14-15% NaCl, эффективен для широкого применения [22].

Растворимость кристаллов ДС. Согласно рис. 4, кривая растворимости кристаллов ДС располагается выше подобных кривых для ангидридной и гидратной глюкозы и показывает самую высокую растворимость ДС в сравнении с представленными видами глюкозы. Очень быстро из ДС получен раствор 40%-ной концентрации, в то время как для получения подобного раствора из гидратной глюкозы требуется 2 ч. Насыщенный раствор ДС также имеет более высокую (на 2-3%) концентрацию СВ.

Высокая скорость растворения и растворимость ДС при приготовлении растворов глюкозы с NaCl – его преимущество перед другими видами глюкозы.

Таким образом, предлагаемый продукт обладает рядом полезных оригинальных свойств: соотношение глюкозы и NaCl соответствует лекарственному раствору глюкозы с хлоридом натрия [23], он легко кристаллизуется и растворяется в воде, эффективен для

применения в пищевой промышленности в составе посолочного средства [24], специализированном и спортивном питании [25].

Литература

1. Jampilek J D. Investigation of Carbohydrates and Their Derivatives as Crystallization Modifiers // In book: Carbohydrates - Comprehensive Studies on Glycobiology and Glycotechnology, 2012. – P. 81-116. DOI: 10.5772/50626
2. Kumar S. Pharmaceutical cocrystals: An overview // Indian J Pharm Sci. – 2018. – 79. – P. 858-71.
3. Bijay K.Y. Yadav, Anif Khursheed, Rattan Deep Singh. Cocrystals: a Complete Review on conventional and novel methods of its formation and its evaluation // Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. – 2019. – V. 12. – N. 7. – P. 68-74. doi:10.22159/ajpcr.2019.v12i7.33648
4. Лысыков Ю.А. Углеводы в клиническом питании // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2013. – N 2. – С.89-110.
5. Пламб Д. К. Фармакологические препараты в ветеринарной медицине. – М: Аквариум-Принт, 2016. – 1060 с.
6. Регистр лекарственных средств России. РЛС. 2000-2020. Энциклопедия лекарств и товаров аптечного ассортимента. https://www.rlsnet.ru/tn_index_id_7616.htm.
7. Губин М.М. Производство инфузионных растворов в России: особенности и перспективы // Ремедиум. – 2009. – N 3. – С. 55-59.
8. Губин М.М. Технология лекарств по GMP: инфузионные растворы. – М: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 224 с.
9. Хворова Л.С., Андреев Н.Р. Фармацевтическая субстанция и способ её получения // Патент на изобретение RUS 2546286 от 10.04.2015. Заявка 2013126163 от 07.06.2013.
10. Calloud // Annalen der Pharmacie. – 1825. – Bd. XIV. – S. 308.
11. Heiko Oertling, Céline Besnard, Thibaut Alzieu, Mathieu Wissenmeyer, Heiko O.g, Céline B.d, Thibaut A.u, Mathieu W.r. Ionic Cocrystals of Sodium Chloride with Carbohydrates // Crystal Growth & Design. – 2017. – 7(1). – P. 262-270. DOI: 10.1021/acs.cgd.6b01521.
12. Ferguson G., Kaitner B., Connett B.E., Rendle D.F. Structure of the α -D-Glucose-Sodium Chloride-Water Complex // Acta Crystallogr., Sect. B: Struct. Sci. – 1991. – 47. – 4. – P. 79-484.
13. Курец И.З., Трофимова Н.Н., Бичевина О.Б., Белоногова Л.Н., Кашаев А.А., Бабкин В.А. Характеристика кристаллов комплексного соединения глюкозы с хлористым натрием методами рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа // Химия растительного сырья. – 2003. – N 2. – С. 15-18.

14. Cho Y., Honzatko R. B. Coordination complex of Na⁺ and α-D-glucose // *Acta Crystallogr. Sect. C: Cryst. Struct. Commun.* – 1990. – 46. – P. 587-590. <https://doi.org/10.1107/S0108270189008383>
15. Wang K.C., Hamid A., Baharuddin S., Quah C.K., Fun H-K. Catena-Poly [[sodium-di-μ-β-D-glucose] chloride] // *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online.* – 2009. – 65. – P.1308–1309. (6) Gill C. H. // *J. Chem. Soc.* – 1871. – 24. – P. 269-275.
16. Лебедев Н.В., Любин Б.О., Глазкова З.Л. Способ кристаллизации двойного соединения глюкозы с хлористым натрием // *Патент RUS 889726/28 09.01.58. БИ № 13, 1959.*
17. Malyshev A. A. // *Die Stärke.* – 1961. – 13. – P. 396–400.
18. Heather B.M., Jianhui T., Michael W.N., Brent H. Sh., Gregg T.B., Gnanakaran S., Linda J.B. Ionic Cocrystals of Sodium Chloride with Carbohydrates // *Journal of Physical Chemistry.* – 2014. – 118. – P. 1990. doi: 10.1021/jp409481f.
19. Жарова Е.Я., Ладур Т.А., Малышев А.А., Шамборант Г.Г. Производство кристаллической глюкозы из крахмала. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 238 с.
20. Rendle D.F., Connett B.E. // *J. Forensic Sci. Soc.* – 1988. – 28. – P. 295-297.
21. Хворова Л.С. Условия кристаллизации гидратной глюкозы из сиропов, полученных с применением ферментов // *Хранение и переработка сельхозсырья.* – 2008. – № 6. – С. 48-49.
22. Андреев Н.Р., Хворова Л.С. Новый пищевой продукт, лекарственное средство, ветеринарный препарат // *Вестник российской сельскохозяйственной науки.* – 2013. – № 6. – С. 73.
23. Исаков Ю.Ф., Михельсон В.А., Штатнов М.К. Инфузионная терапия и парентеральное питание в детской хирургии. – М.: Медицина, 1985. – 288 с. Файл формата DJVU <https://www.twirpx.com/file/1044589/>. Доступ 29.01.13.
24. Бремнер Г. Безопасность и качество рыбо- и морепродуктов: пер. с англ. – СПб: Профессия, 2009. – 512 с.
25. Трихина В.В., Австриевских А.Н. Специализированный продукт для коррекции водно-солевого баланса в организме рабочих горячих цехов металлургических предприятий // *Техника и технология пищевых производств.* – 2017. – N 2 (45). – С. 106-111.

Поступила в редакцию 15.04.20
Принята к публикации 20.04.20

Информационное обеспечение

УДК 025.4:63(470)

DOI:10.31857/S2500262720050178

**ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВЫЙ ТЕЗАУРУС ПО СЕЛЬСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ
И ПРОДОВОЛЬСТВУ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИБЛИОТЕКИ****М.С. Бунин**, доктор сельскохозяйственных наук,
Л.Н. Пирумова, кандидат педагогических наук*Центральная научная сельскохозяйственная библиотека,
107400, Москва, Орликов пер., 3Б
E-mail: pln@cnsnb.u*

Представлены результаты научно-исследовательских работ, проведенных в Центральной научной сельскохозяйственной библиотеке (ЦНСХБ) по совершенствованию информационного обеспечения научных исследований АПК в части актуализации информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию (ИПТ). ИПТ – основное лингвистическое средство для формирования, структурирования информационных массивов и тематического поиска в них, а также отраслевой терминологический справочник нормализованной научной лексики. Он обеспечивает унифицированное представление информации в информационно-поисковой системе и использование актуальной научной терминологии. Методика исследования включала отбор новой лексики из научных публикаций, ее нормализацию, научную и лексикографическую обработку, а также редактирование ранее включенной в тезаурус лексики; подбор английских эквивалентов. Проведены лингвистическая обработка и ввод в ИПТ новой лексики по следующим тематическим разделам: Защита растений, Зоология, Микология, Пищевая промышленность, Механизация сельского хозяйства, Экономика АПК, Животноводство. Актуализированная версия ИПТ содержит 57715 лексических единиц (ЛЕ), в 2020 г. добавлено 3345 ЛЕ. Более 24000 ЛЕ являются научными (латинскими) наименованиями организмов. Всего было откорректировано (добавлено, изменено, удалено) около 4400 ЛЕ. Объем тезауруса позволяет адекватно и с достаточной полнотой описывать различные предметные области.

**INFORMATION SEARCH THESAURUS IN AGRICULTURE AND FOOD
OF THE SCIENTIFIC AGRICULTURAL LIBRARY****Bunin M.S., Pirumova L.N.***Scientific Agricultural Library,
107400, Moskva, Orlikov per. 3B,
E-mail: pln@cnsnb.ru*

Presented are the results of research works carried out in the Central Scientific Agricultural Library (CSAL) to improve the information support of agricultural research in particular updating the Information Search Thesaurus in Agriculture and Food (IST). The IST is the main linguistic tool for forming, structuring information arrays and thematic search in them, as well as a business terminological reference book of controlled scientific vocabulary. It provides unified representation of information in the information retrieval system and use of relevant scientific terminology. The research procedure comprised selecting new lexis from scientific publications, its standardization, scientific and lexicographic treatment, as well as revising the lexis previously included in the thesaurus; selecting English equivalents. A linguistic treatment and input into the IST of new lexis has been performed for the following thematic areas: Plant Protection, Zoology, Mycology, Food Industry, Agricultural Mechanization, AIC Economics, and Animal Husbandry. The updated version of the IST comprises 57715 lexical items (LI), in the current year 3345 LI are added. More than 24000 LI are scientific (Latin) names of organisms. In total about 4400 LI were revised (added, amended, and removed). The scope of the thesaurus allows adequately and sufficiently fully describing different subject areas.

Ключевые слова: *информационный поиск, научная лексика, тезаурусы, терминологические словари, АПК, ЦНСХБ***Key words:** *information search, scientific lexis, thesauri, terminological dictionaries, AIC, CSAL*

За 90 лет существования в Центральной научной сельскохозяйственной библиотеке (ЦНСХБ) создана система информационного обеспечения научных исследований по проблематике АПК, включающая традиционные и электронные информационные ресурсы, представленные в информационно-поисковой системе (ИПС) библиотеки. Лингвистические средства являются важнейшей составляющей ИПС, поскольку формируют, структурируют информационные массивы, превращая их из множества безликих документов в стройную систему, где каждый документ имеет библиографическую запись и место. Благодаря этому возможен поиск по запросу и получение соответствующей запросу информации. Лингвистические средства автоматизированной ИПС ЦНСХБ – это формализованные искусственные информационно-поисковые языки

(ИПЯ), специально разработанные для обеспечения унифицированного индексирования документов, формирования, хранения и поиска информации. Одним из них является информационно-поисковый тезаурус (ИПТ) – словарь лексических единиц (ЛЕ) с парадигматическими смысловыми отношениями между ними. Преимущество ИПЯ перед естественными языками в том, что они лишены их недостатков с точки зрения поиска, поскольку богатство естественного языка при поиске создает информационный шум. Наличие в естественном языке слов, которые не несут смысловой нагрузки (предлоги, союзы, междометия) и без которых можно обойтись при передаче смысла содержания документа, делает естественный язык избыточным для индексирования и поиска. Затрудняет использование естественного языка в качестве поискового и наличие

в нем синонимов, антонимов; неоднозначность выражений (перефразировка). В то же время ЛЕ в ИПТ представлены на естественном языке. Кроме того, тезаурус – это словарь нормализованной научной лексики, которую рассматривают как систему знаний [1, с.71], онтологию [2, с.12], позволяющую описывать отношения между терминами предметной области и сами предметные области.

ИПТ ЦНСХБ включает научную лексику по всем отраслям АПК и служит общепрофессиональным лингвистическим средством. В его функции входят индексирование документов и запросов; отражение парадигматических отношений между ЛЕ; контроль и нормализация лексики по сельскому хозяйству и продовольствию; единое и формализованное представление информации в ИПС; функция терминологического справочного пособия в области сельского хозяйства; формально-логический контроль терминов индексирования; автоматизированное расширение поискового образа документа [3].

Разработка тезауруса – сложный многоэтапный процесс [4, с.35], но он считается наиболее эффективным лингвистическим средством тематического поиска, так как обеспечивает точность поиска по узкой тематике. В крупнейших международных (AGRIS – FAO ООН, CABI, IFIS – Международное сельскохозяйственное бюро стран Британского содружества) и зарубежных (AGRICOLA, США) базах данных по сельскому хозяйству и продовольствию тезаурусы – основное лингвистическое средство индексирования и тематического поиска. Создание и развитие таких лингвистических средств, как тезаурус, соответствует современному мировому уровню развития лингвистического обеспечения автоматизированных ИПС. ИПТ ЦНСХБ используют в процессе индексирования документов по проблематике АПК в научных сельскохозяйственных библиотеках отрасли, некоторых областных универсальных библиотеках, национальной и сельскохозяйственной библиотеках Белоруссии.

ИПТ как лингвистическое средство нуждается в постоянном пополнении новой лексикой в связи с развитием науки и производства [5], чтобы отражать современный уровень аграрной науки. От актуальности ИПТ зависит качество индексирования (определение места документа в ИПС и свертывание информации, перевод содержания документа с естественного на ИПЯ); эффективность информационного поиска в БД, ИПС в различных информационных продуктах, использующих эти лингвистические средства.

Целью работы была актуализация информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию для адекватного и точного описания предметных областей, отображения содержания документов в процессе индексирования и эффективного тематического поиска в автоматизированных ИПС.

Методика. Объектом исследования служил контент ИПТ, разрабатываемый в соответствии с ГОСТ 7.25-2001 Тезаурус информационно-поисковый одноязычный. Правила разработки, структура, состав и форма представления и ГОСТ Р 7.0.91-2015 (ИСО 25964-1:2011) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Тезаурусы для информационного поиска.

Основные принципы разработки тезаурусов описаны в ряде работ [6-11]. В ЦНСХБ также создана методика разработки ИПТ, которую соблюдали в процессе исследований, проведенных в 2020 г. [12]. Работа по

актуализации ИПТ включала два направления: пополнение контента ИПТ новыми лексическими единицами (ЛЕ) и редактирование ранее включенных понятий [13,14]. Пополнение контента предусматривало анализ отраслевых терминов в российских и иностранных научных публикациях, выявление и отбор новых понятий, семантическую и лексическую обработку терминов, подлежащих включению в ИПТ, установлению их статуса в ИПТ, выявление и создание синонимического ряда, установление парадигматических отношений между лексическими единицами. Редактирование ранее включенных понятий включало устранение ошибочных орфографических, синтаксических форм написания ЛЕ, замену статуса термина в словарных статьях, пополнение синонимического ряда отдельных понятий, развитие системы парадигматических отношений, обогащение иерархических деревьев.

Проведен мониторинг отобранных терминов, в ходе которого установлена их частотность, то есть частота упоминания в научных публикациях, их развитие и т.д. После достижения определенной частотности термин проходил лексикографическую и семантическую обработку. Для определения статуса и лексической формы проводили сверку с ГОСТами. При обработке ЛЕ в ИПТ использовали списки предметных рубрик, алфавитно-предметные указатели комплексно-системного каталога ЦНСХБ, алфавитно-предметные указатели классификаций, терминологические и толковые словари, справочники, нормативные документы. Для гармонизации термина с международной терминологией подыскивали эквивалент термина в международных каталогах по сельскому хозяйству: Тезаурус CABI [15] (CABThesaurus) и тезаурус AGRIS (AGROVOC) [16].

Результаты и обсуждение. В процессе исследования анализировали научную терминологию в отечественных и иностранных документах из входного документного потока, поступающего в фонд ЦНСХБ, для выявления терминов, отображающих новые понятия в сельскохозяйственной науке и практике, а также отраслевые терминологические справочники для определения отсутствующих в ИПТ понятий. Отбор лексики для ИПТ осуществляли с учетом частоты появления термина в индексированных документах и поисковых запросах; полезности для поиска информации; наличия термина в авторитетных справочниках, терминологических стандартах, а также в тезаурусах международных систем по сельскому хозяйству и продовольствию.

Термин оформляли в виде единообразной записи и нормализовали посредством грамматики тезауруса и устранения синонимии и полисемии. Для этого использовали унифицированные формы записи: род, падеж, число, разрешение использования словосочетаний и целостных понятий, определения порядка записей в них (наличие или отсутствие инверсии). Использовали различные уточняющие или ограничительные пометки. Затем между терминами устанавливали парадигматические смысловые связи, образовывали классы условной эквивалентности. Между ЛЕ, входящими в один класс условной эквивалентности, устанавливали отношения равнозначности (тождества, выражаемые синонимами), пересечения (частичного совпадения объемов понятий, отношения связывающего слова, между которыми существует ассоциативная связь), подчинения (отношения типа «род-вид», «целое-часть»).

Проведена лингвистическая обработка и ввод в ИПТ новой лексики по следующим тематическим разделам: Защита растений, Зоология, Микология,

Пищевая промышленность, Механизация сельского хозяйства, Экономика АПК, Животноводство. Например, в терминологической области «Защита растений» дополнено новыми родами и видами чрезвычайно важное с экономической точки зрения семейство чешуекрылых Tortricidae (листовертки). Введено 15 родов и 72 вида. Пример:

CYDIA PYRIVORA http://www.cnshb.ru/jour/th_home.asp

Эквивалентный термин в другом тезаурусе: Cydiapyrivora B1 CYDIA

- С CARPOCAPSA DANNEHLI
- С CARPOCAPSA PYRIVORA
- С CYDIA DANNEHLI
- С LASPEYRESIA DANNEHLI
- С LASPEYRESIA PYRIVORA
- С ПЛОДОЖОРКА ГРУШЕВАЯ.

Начата работа по расширению словарной статьи Ichneumonidae (наездники-ихневмониды). При отборе видов для включения в тезаурус отдавали предпочтение массовым видам и видам, используемым в качестве агентов биологической борьбы с вредителями. Введено более 90 родов и более 150 видов наездников-ихневмонид. Всего по защите растений введено около 1500 новых лексических единиц.

В терминологической области «Зоология» была продолжена работа по пополнению словарной статьи Muridae (мышинные). Введено 7 подсемейств, 46 родов и около 100 видов грызунов сем. Muridae, например:

MURIDAE http://www.cnshb.ru/jour/th_home.asp

Эквивалентный термин в другом тезаурусе: Muridae

- H1 ARVICOLINAE
- H1 CALOMYSCINAE
- H1 CRICETINAE
- H1 CRICETOMYINAE
- H1 DENDROMURINAE
- H1 GERBILLINAE
- H1 LOPHIOMYINAE
- H1 MURINAE
- H1 MYOPALACINAE
- H1 NESOMYINAE
- H1 PLATACANTHOMYINAE
- H1 SPALACINAE
- С МЫШИНЫЕ
- А ГРЫЗУНЫ

Всего в раздел тезауруса «Зоология» введено более 400 новых лексических единиц (включая синонимы и русские названия).

Новая актуализированная версия Тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию содержит 57715 ЛЕ, в 2020 г. добавлено 3345 ЛЕ. Более 24000 ЛЕ являются научными (латинскими) наименованиями организмов (из них 2426 новые). Всего было откорректировано (добавлено, изменено, удалено) около 4400 ЛЕ, из них 2826 латинских терминов. Более 650

ЛЕ имеют лексические примечания, из них 7 добавлены в последнюю версию тезауруса. Добавлено 2062 ЛЕ со статусом синоним, из них 1413 ЛЕ – научные названия организмов. Увеличилось количество ЛЕ, для которых введены языковые эквиваленты в тезаурусах AGROVOC и CABI (на 5 и 2054 ЛЕ соответственно). Добавлено более 4600 связей между терминами (иерархических, синонимичных, ассоциативных).

Таким образом, осуществлено обогащение контента ИПТ новой лексикой и иерархическими деревьями по следующим тематическим областям: защита растений, ветеринария, растениеводство, механизация сельского хозяйства, экономика АПК, животноводство, агрохимия. Актуализированная версия тезауруса, включающая новую лексику, обеспечивает полноту и точность раскрытия содержания документа в процессе его научной обработки, позволяет адекватно раскрывать содержание документов по сельскому хозяйству и пищевой промышленности, является эффективным средством индексирования и тематического поиска. Создание и развитие ИПТ ЦНСХБ соответствует современному уровню развития тезаурусов. ИПТ – общепрофессиональный терминологический справочник нормализованной научной лексики, который специалисты используют при написании научных статей. Объем ИПТ, развитость его словарных статей, представленные в нем парадигматические связи терминов позволяют достаточно полно описывать различные предметные области.

Литература

1. Осокина С.А. *Основания лингвистической теории тезауруса* // Диссер. на соискание учен.степ. доктора филолог. наук. – Барнаул, 2015 – 468 с.
2. *Онтология и тезаурусы: модели, инструменты, приложения: учебное пособие*/Б.В.Добров, В.В. Иванов, Н.В.Лукашевич, В.Д.Соловьев – М.: Интернет-университет информационных технологий. Бином. Лаборатория знаний. – 2013. – 173 с.
3. Пирумова Л.Н., Милевская И.А., Соколова Ж.В., Петранкова З.М. *Установление парадигматических отношений между понятиями, входящими в тезаурус по сельскому хозяйству и продовольствию*// *Аграрная наука.* –2017.– N 8.– С.29-32.
4. Лукашевич Н.В. *Тезаурус в задачах информационного поиска.* – М.: Из-во МГУ, 2011. – 512 с.
5. Гендина Н.И. *Информационно-поисковые тезаурусы: структура, назначение и порядок разработки [Электронный ресурс]* URL: <https://nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/8962/IPT.pdf>
6. Лавренова О. – *Методика разработки информационно-поискового тезауруса.* – М.: Пашиков дом , 2001. – 54 с.
7. ЛафтимииИмад. *Информационно-поисковые тезаурусы: основные понятия, назначение и методика разработки. Отраслевой рыболовный тезаурус Текст: непосредственный* // *Молодой ученый.* – 2012. –N 7 (42). – С. 164-166. – URL:<http://moluch.ru/archive/42/5096/> (дата обращения: 03.06.2020).
8. Мдивани Р.Р. *О разработке серии тезаурусов по социальным и гуманитарным наукам/НТИ.Сер.2 – 2004. – N7. – С.1-9*
9. Магай Е.В., Мдивани Р.Р. *Опыт ведения информационно-поисковых тезаурусов по общественным наукам // Взаимовлияние информационно-библиотечной среды и общественных наук : сб. науч. ст. – М.: ИНИОН, 2018. – С. 209-223.*

10. Магай Е.В., Мдивани Р.Р. Тезаурусы ИНИОН РАН по социальным и гуманитарным наукам (из опыта работы) / НТИ Сер. 1. Организация и методика информационной работы. – 2018. – № 4. – С. 21-27.
11. Мдивани Р.Р. О разработке дескрипторных языков автоматизированной информационной системы по общественным наукам ИНИОН РАН // Теория и практика общественно-научной информации / РАН. ИНИОН. – М., 2005. – Вып. 19. – С. 22-42.
12. Пирумова Л.Н., Харченко Л.Т. Тезаурус по сельскому хозяйству и продовольствию: индексирование документов и поиск информации в БД АГРОС. (Методические материалы). – М.: ЦНСХБ, 2001. – 69 с.
13. Пирумова Л.Н., Милевская И.А. Тезаурус как система отражения состояния предметной области // Агротех. вестник. – 2018. – №6. – С. 61-64.
14. Милевская И.А. Тематические списки терминов как метод пополнения тезауруса // Ветеринария и кормление. – 2017. – №6. – С. 37-40.
15. ThesaurusCABI [Электронный ресурс]. – 2018. – URL :<http://www.cabi.org/cabithesaurus/>.
16. 10.AGROVOC [Электронный ресурс]. – 2019. – URL:<http://aims.fao.org/vest-registry/vocabularies/agrovoc-multilingual-agricultural-thesaurus>.

Поступила в редакцию 08.06.20
После доработки 15.06.20
Принята к публикации 20.-06.20

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.