

Земледелие и мелиорация

- Чуян О.Г., Караулова Л.Н., Митрохина О.А., Золотухин А.Н.**
Реализация природно-ресурсного потенциала агроландшафтов Центрального Черноземья 3
- Межевова А.С.** Влияние осадков сточных вод и приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги, продуктивность и качество семян сафлора красильного 9
- Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В.** Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв 13

Растениеводство, защита и биотехнология растений

- Крохмаль А.В., Грабовец А.И., Гординская Е.А.** Особенности трансгрессивной изменчивости и формообразования при селекции тритикале на продуктивность 17
- Жуйкова О.А., Шешегова Т.К., Баталова Г.А.** Биоресурсы овса для использования в селекции на фитоиммунитет к грибным болезням в Кировской области 23
- Ермолаева Т.Я., Нуждина Н.Н., Goverдов Д.В., Злобина Л.Н., Крупнова О.В., Осыка И.А., Кулеватова Т.Б.** Адаптивность сортов озимой ржи по реологическим свойствам суспензии шрота 27
- Ким И.В., Волков Д.И., Клыков А.Г.** Особенности формирования продуктивности сортов картофеля в условиях муссонного климата 33
- Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В.**
Особенности водного режима зеленых черенков облепихи 38
- Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Мирошниченко О.О.** Влияние сортосмешанных посевов пшеницы на снижение пораженности стеблевой ржавчиной (возбудитель *Puccinia graminis* Pers. f.sp. *tritici* Eriks. et Henn.) 43
- Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н., Сулова О.В.** Влияние электронного излучения на радиорезистентность фитопатогенной микрофлоры огурца 47

Агрочвоведение и агроэкология

- Шабает В.П.** Отзывчивость растений на применение азотфиксирующей бактерии в различных почвенных условиях 51

Зоотехния и ветеринария

- Филиппова О.Б., Фролов А.И., Красникова Е.С.**
Влияние кормового фитобиотика на течение вакцинального стресс-синдрома у телят 55
- Мифтахутдинов А.В., Журавель Н.А., Пономаренко В.В.**
Оценка влияния антистрессовых фармакологических средств на серологический статус при профилактике теносеновита кур 60
- Шабунин С.В., Сашнина Л.Ю., Шахов А.Г., Владимирова Ю.Ю., Ермакова Т.И., Тараканова К.В.** Состояние клеточного иммунитета у поросят при репродуктивно-респираторном синдроме свиней 65

Переработка

- Самойлов А.В., Сураева Н.М., Зайцева М.В., Петров А.Н.** Оценка последствий токсических эффектов пищевых консервантов методом биотестирования 71

Farming and Amelioration

- Chuyan O.G., Karaulova L.N., Mitrokhina O.A., Zolotukhin A.N.**
Implementation of the natural resource potential of agricultural landscapes
of Central Chernozem region 3
- Mezhevova A.S.** Influence of sewage sludge and basic tillage methods
on the dynamics of moisture reserves, productivity and quality of carthamus tinctorius seeds 9
- Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V.** Scientifically based regime of irrigation
of plum seedlings during drip irrigation in sod-podzolic soils 13

Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology

- Krokhmal A.V., Grabovets A.I., Gordinskaya E.A.** Features of transgressive variability
and morphogenesis in the breeding of triticale for productivity 17
- Zhuikova O.A., Sheshegova T.K., Batalova G.A.** Bioresources of oats for use
in selection for phytoimmunity to mushroom diseases in Kirov region 23
- Ermolaeva T.Ya., Nuzhdina N.N., Goverdov D.V., Zlobina L.N., Krupnova O.V.,
Osyka I.A., Kulevatova T.B.** Adaptivity of winter rye varieties on reological properties
of aqueous suspensions of meal 27
- Kim I.V., Volkov D.I., Klykov A.G.** Features of the formation of productivity
of potato varieties in the monsoon climate 33
- Zubarev Y.A., Gunin A.V., Vorobjeva A.V.**
The water mode peculiarities of seabuckthorn green cuttings 38
- Volkova G.V., Gladkova E.V., Miroshnichenko O.O.** Influence of multi-species crops of wheat
on the reduction of stem rust infestation (*Puccinia graminis* Pers.f.sp. *tritici* Eriks. Et Henn.) 43
- Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N., Suslova O.V.** Influence of electronic radiation
on radio resistance of phytopathogenic microflora of cucumber 47

Agricultural Soil Science and Agroecology

- Shabayev V.P.** Responsiveness of plants to application of N²-fixing
bacterium in various soil conditions 51

Animal Science and Veterinary Medicine

- Filippova O.B., Frolov A.I., Krasnikova E.S.**
Influence of feed probiotics on vaccinal stress syndrome in calves 55
- Miftakhutdinov A.V., Zhuravel N.A., Ponomarenko V.V.** Assessment of the influence
of anti-stress pharmacological agents on the serological status in the prevention
of chicken tenosynovitis 60
- Shabunin S.V., Sashnina L.Yu., Shakhov A.G., Vladimirova Yu.Yu.,
Ermakova T. I., Tarakanova K.V.** State of cellular immunity in piglets
with porcine reproductive and respiratory syndrome 65

Storage and Processing of Agricultural Products

- Samoylov A.V., Suraeva N.M., Zaytseva M.V., Petrov A.N.**
Assessment of the consequences of toxic effects of food preservatives with boassay 71

Земледелие и мелиорация

УДК 631.15:911.63

DOI: 10.31857/S2500262721040013

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ**О.Г. Чуян**, доктор биологических наук, **Л.Н. Караулова**, кандидат сельскохозяйственных наук, **О.А. Митрохина**, кандидат сельскохозяйственных наук, **А.Н. Золотухин**, младший научный сотрудник*Курский федеральный аграрный научный центр – ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии
305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70 б
E-mail: agrochemgis@mail.ru*

Исследования проводили с целью комплексного анализа природных, почвенно-климатических и агротехнических условий формирования урожая основных сельскохозяйственных культур в Центрально-Черноземном районе (ЦЧР). Объектом для научно-теоретических обобщений были взаимосвязи между урожайностью сельскохозяйственных культур, агроклиматическими показателями, качеством почв, а также использованием удобрений. Наибольшим количеством лет с оптимальными условиями увлажнения в ЦЧР характеризуются территории Белгородской (60,3 %), Курской (53,4 %) и Липецкой областей (63,2 %), засушливых лет – Воронежской (46,6 %) и Тамбовской (48,3 %) областей. В среднем за 2012–2019 гг. гидротермический коэффициент в ЦЧР был равен 0,92 с варьированием от 0,41 до 1,67 (30 %). Климатический потенциал продуктивности пашни на территории ЦЧР по районам составляет от 3,4 до 7,1 тыс. зерн. ед./га (14,4 %). По уровню плодородия почв области ЦЧР можно расположить в следующий ряд: Белгородская > Воронежская > Курская > Липецкая > Тамбовская. В 1996–2019 гг. продуктивность пашни на их территориях варьировала от 1,51 до 4,96 тыс. зерн. ед./га (34,9 %). Среднегодовой прирост продуктивности пашни по временному тренду был равен 0,12 тыс. зерн. ед./га. Территориальное варьирование продуктивности пашни за 2012–2019 гг. составляло от 2,45 до 5,53 тыс. зерн. ед./га. Формирование урожайности сельскохозяйственных культур обусловлено взаимодействием природных (климатических, почвенных) и агротехнических факторов ($R_{mn} = 0,52...0,81$). Наибольшая продуктивность культур достигается при гидротермическом коэффициенте равном 1,32.

IMPLEMENTATION OF THE NATURAL RESOURCE POTENTIAL OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF CENTRAL CHERNOZEM REGION**Chuyan O.G., Karaulova L.N., Mitrokhina O.A., Zolotukhin A.N.***Federal Agricultural Kursk Research Center,
305021, Kursk, ul. Karla Marksa, 70 b
E-mail: agrochemgis@mail.ru*

The aim of the work consisted in a comprehensive analysis of natural, soil, climatic and agronomical conditions of the yield formation of main crops in Central Chernozem Region. The object of scientific and theoretical generalizations was the relationship between crop yields and agroclimatic indicators, soil quality, as well as the application of fertilizers. The territories of Belgorod (60.3 %), Kursk (53.4 %) and Lipetsk regions (63.2 %) have the highest number of years with optimal humidification conditions, while the territories of Voronezh (46.6 %) and Tambov (48.3 %) regions have the highest proportion of dry years. The hydrothermal coefficient for the period 2012–2019 averaged 0.91 for the territory of the Central Chernozem Region (CChR), varying from 0.65 to 1.19 (19.8 %). The climatic potential of arable land productivity in CChR varies by region from 3.4 to 7.1 t/ha (14.4 %). According to the level of soil fertility, the regions of CChR are arranged in the following order: Belgorod > Voronezh > Kursk > Lipetsk > Tambov. For the period 1996 – 2019 the productivity of arable land in those territories varied from 1.51 to 4.96 t of yield units per hectare (34.9 %). The average annual increase in arable land productivity according to the time trend was 0.12 t. of yield units / ha. The territorial variation of arable land productivity in 2012–2019 that is 2.45 to 5.53 t. of yield units / ha. The formation of crop yield is caused by the interaction of natural (climatic, soil) and agronomical factors ($R_{mn} = 0.52...0.81$). The maximum levels of crop productivity correspond to the hydrothermal coefficient (HTC) of 1.32.

Ключевые слова: ресурсы продуктивности пашни, климатически обеспеченная урожайность, качество почв, комплексная оценка, урожай сельскохозяйственных культур, Центральное Черноземье

Key words: arable land productivity resources, climate-assured yield, soil quality, integrated assessment, crop yield, Central Chernozem region

Главные производственные культуры, занимающие более 80 % пашни в ЦЧР, – озимая пшеница, яровая ячмень, кукуруза на зерно, подсолнечник, соя, сахарная свекла, кукуруза на зеленый корм, горох и гречиха. При этом доля посевов важнейших зерновых культур (озимая пшеница и яровая ячмень) в среднем за десять последних лет варьировала от 38 % в Белгородской области до 47 % в Курской и Тамбовской областях. В Центрально-Черноземном регионе сосредоточено в среднем 17,4 % посевов озимой пшеницы, ячменя и кукурузы на зерно в России. В среднем на территории ЦЧР в 2012–2019 гг. было выращено 33,3 % зерна ку-

курузы, 18,8 % озимой пшеницы и 26,7 % ячменя. В последние годы в регионе происходят значительные изменения климатических условий [1, 2], которые способны повлиять на биоклиматический потенциал его территории [3]. На урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность пашни наибольшее воздействие оказывают климатические [4, 5], почвенные и агротехнические условия, поэтому предварительная оценка агроклиматических ресурсов продуктивности [6, 7] и комплексный анализ качества почв – необходимые элементы управления плодородием почв и рациональным использованием ресурсов земледелия.

Цель исследований заключалась в комплексном анализе природных, почвенно-климатических и агротехнических условий формирования урожая основных сельскохозяйственных культур на территории Центрального Черноземья.

Методика. Работу выполняли на базе лаборатории агрохимии и ГИС ФГБНУ «Курский ФАНЦ» на основе системного анализа сопряженного комплекса агроклиматических и почвенных параметров, агрохимических свойств и продуктивности сельскохозяйственных культур. Использовали материалы Федеральной службы государственной статистики по Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой и Тамбовской областях [8]. Учитывали урожайность сельскохозяйственных культур, на которые приходится основная часть посевных площадей в ЦЧР: озимой и яровой пшеницы, ячменя, овса, кукурузы, сахарной свеклы, подсолнечника, гречихи, гороха и сои, а также внесение удобрений. Данные по тепло-влажностности брали из летописей погоды [9]. Агроклиматический потенциал продуктивности пашни рассчитывали на основе среднееголетних показателей агроклиматических ресурсов тепла и влаги для периода активной вегетации по возможному расходу продуктивной влаги [10]. Комплексную оценку качества почв пахотных земель проводили с учетом агрохимических свойств на основании подходов, представленных ранее [11].

Для оценки продукционных возможностей пашни по территориям областей ЦЧР осуществляли последовательный расчет величин базовой урожайности (У_б), которой можно достичь без применения удобрений, и действительно возможной урожайности сельскохозяйственных культур (ДВУ) на основе комплексной оценки агрохимических показателей и климатически обеспеченной урожайности (КОУ) с учетом среднееголетних агроклиматических параметров:

$$Y_b = K_A \times KOY \times \frac{ПП_i - ПП_{min}}{ПП_C - ПП_{min}} \quad (1)$$

$$ДВУ = Y_b + (ПП_i - ПП_{min}) \times \frac{КОУ - Y_b}{ПП_{max} - ПП_{min}} \quad (2)$$

где K_A – коэффициент на агротехнику; КОУ – климатически обеспеченная урожайность сельскохозяйственных культур; $ПП_i$, $ПП_C$, $ПП_{max}$, $ПП_{min}$ – комплексный балл оценки качества почвы соответственно для оцениваемого участка, средний по территории, максимальный и минимальный.

Динамику производства сельскохозяйственной продукции оценивали на основе абсолютных показателей варьирования уровней временных рядов урожаев сельскохозяйственных культур (среднего линейного и квадратического отклонения), а также относительных характеристик: коэффициента устойчивости уровней динамических рядов и параметра устойчивости тенденции динамики урожаев – индекса корреляции, отражающего степень сопряженности варьирования величин урожаев с совокупностью факторов, повышающих их, во времени [12, 13, 14].

Результаты и обсуждение. Анализ агроклиматических условий ЦЧР за 1960–2019 гг. показал, что по теплообеспеченности территории, входящих в него областей, можно расположить в следующий возрастающей последовательности: Тамбовская < Липецкая <

Табл. 1. Оценка агроклиматических условий на территории областей ЦЧР (1960–2019 гг.)

Показатель	Количество лет, %				
	Курская	Белгородская	Воронежская	Липецкая	Тамбовская
Сумма температур более 10 °С:					
2100...2400	26	12	5	30	41
2500...2800	69	67	66	65	55
2900...3200	5	21	29	5	3
Увлажнение по ГТК					
0,5...1,0 недостаточное	27,6	36,2	46,6	33,3	48,3
1,0...1,6 оптимальное	53,4	60,3	44,8	63,2	44,8
>1,6 избыточное	19,0	3,4	8,6	3,5	6,9

Курская < Белгородская < Воронежская (табл. 1). По степени увлажнения наибольшее количество лет с оптимальными условиями наблюдали на территории Белгородской (60,3 %), Курской (53,4 %) и Липецкой областей (63,2 %), засушливых – в Воронежской (46,6 %) и Тамбовской (48,3 %) областях.

Более объективно отражают условия формирования урожая комплексные агроклиматические показатели (ГТК). В наших исследованиях на оптимальном уровне величина ГТК чаще всего находилась в Белго-

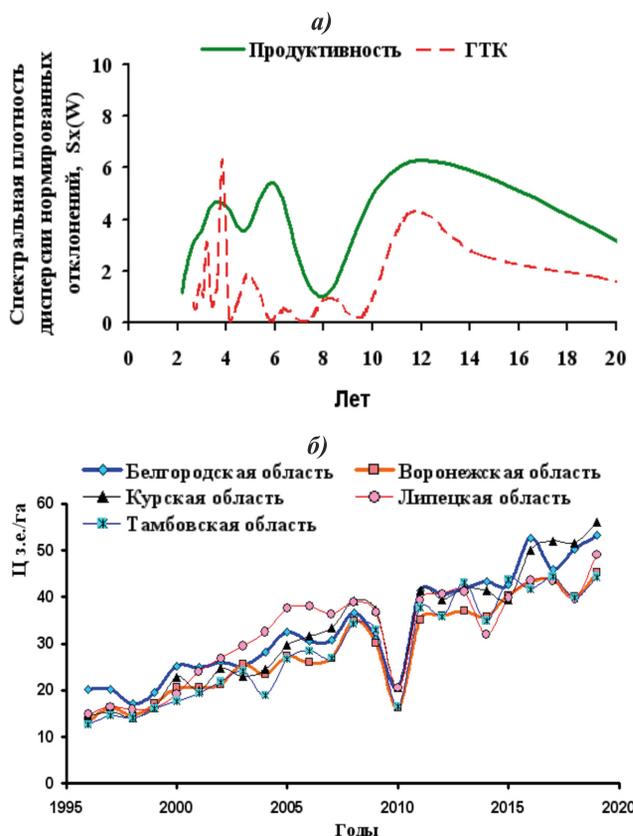


Рис. 1. Динамика продуктивности пашни (а) и периодичность изменения урожайности (б) в связи с гидротермическими условиями периода с температурой более 10° С.

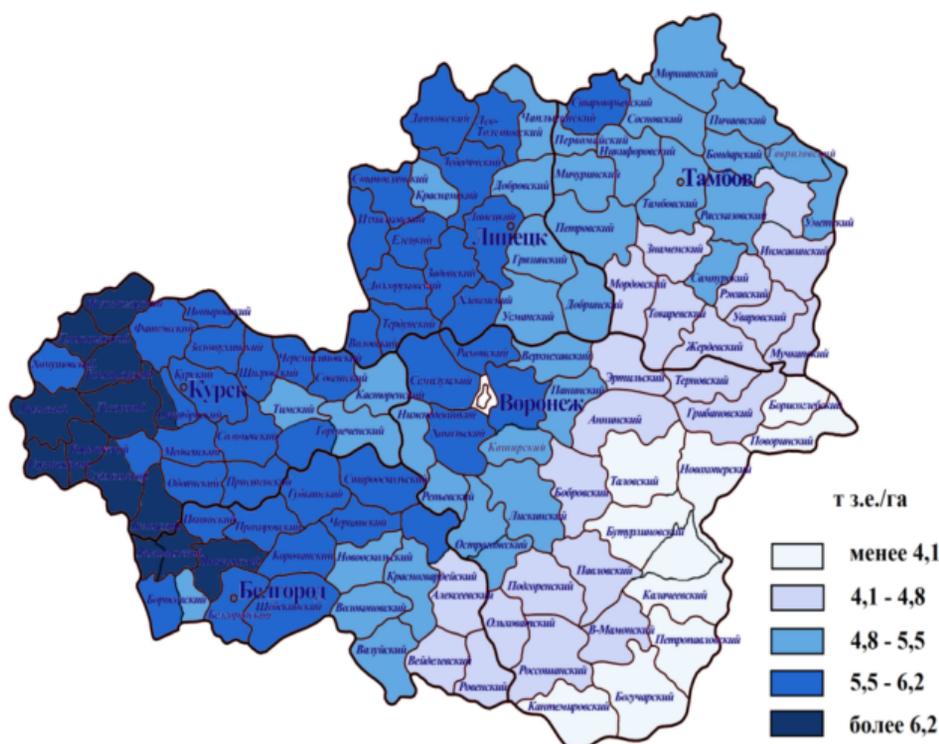


Рис. 2. Климатический потенциал продуктивности пашни территорий областей ЦФР, тыс. зерн. ед./га.

родской и Липецкой областях (60,3...63,2 % лет), реже в Тамбовской и Воронежской областях (в обоих субъектах Федерации 44,8 % лет).

Наибольшая продуктивность пашни в расчете на убранную площадь в хозяйствах всех категорий (тыс. зерн. ед./га) в 1996–2019 гг. отмечена на территории Белгородской (1,7...5,3) и Курской (1,4...5,6) областей, самая низкая – в Липецкой (1,5...4,9), Воронежской (1,3...4,5) и Тамбовской (1,3...4,4) областях. Характерен значительный тренд повышения урожайности всех сельскохозяйственных культур. Происходящие измене-

ния в динамике тесно связаны с погодными условиями и отражают как засушливые, так и избыточно увлажненные периоды (рис. 1).

Оцененная по результатам спектрального анализа, периодичность изменений коэффициентов годового увлажнения и ГТК Селянинова составила 4...5 и 11...12 лет. Параболическая зависимость продуктивности пашни от ГТК характеризуется экстремумом при значении 1,32.

Ввиду значимого влияния условий минерального питания на урожайность сельскохозяйственных куль-

Табл. 2. Климатические и почвенные показатели территории областей ЦФР за 2012–2019 гг.

Область	Показатель	ГТК	КПП*, тыс. зерн. ед./га	Комплексный показатель плодородия (ПП)	Минеральные удобрения, кг д.в. NPK/га	ДВУ, тыс. зерн. ед./га
Белгородская	Хер ± Sd	0,92 ± 0,29	5,62 ± 0,59	84,60 ± 4,30	82,6 ± 22,9	5,15 ± 0,46
	Lim	0,53...1,67	4,20...6,30	73,60...91,00	27,0...136,0	4,01...5,74
	V, %	31,0	10,5	5,1	27,8	9,0
Воронежская	Хер ± Sd	0,85 ± 0,25	4,66 ± 0,75	79,40 ± 3,90	51,1 ± 19,8	4,08 ± 0,54
	Lim	0,41...1,51	3,40...6,20	72,50...87,00	14,0...94,0	2,89...4,97
	V, %	30,0	16,1	4,9	38,9	13,2
Курская	Хер ± Sd	1,01 ± 0,24	6,12 ± 0,41	77,40 ± 8,36	99,0 ± 31,2	5,22 ± 0,41
	Lim	0,57...1,61	5,40...7,10	62,80...93,30	49,0...142,0	4,49...6,11
	V, %	23,0	6,7	10,8	29,9	7,8
Липецкая	Хер ± Sd	0,92 ± 0,30	5,73 ± 0,31	74,50 ± 4,30	85,6 ± 25,9	4,77 ± 0,22
	Lim	0,46...1,52	5,00...6,10	70,00...89,00	30,0...135,0	4,36...5,30
	V, %	33,0	5,4	5,8	30,4	4,7
Тамбовская	Хер ± Sd	0,92 ± 0,31	4,94 ± 0,38	72,80 ± 6,40	58,1 ± 14,3	4,03 ± 0,41
	Lim	0,46...1,62	4,20...5,60	64,00...85,30	26,0...86,0	3,50...4,94
	V, %	33,0	7,6	8,8	24,6	10,1

*КПП – климатический потенциал продуктивности пашни, тыс. зерн. ед./га.

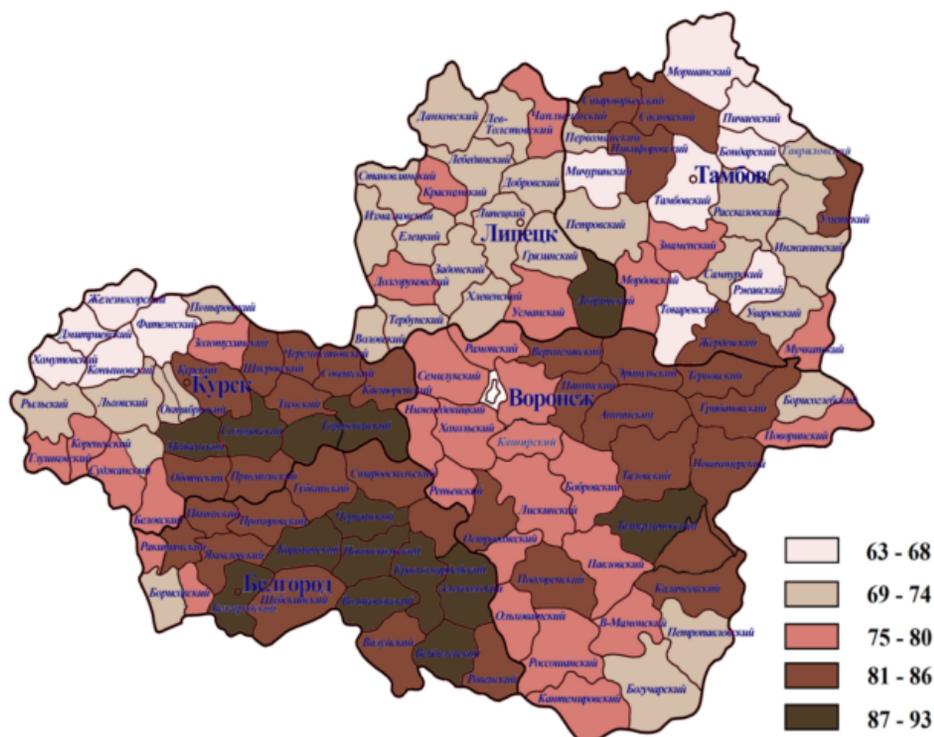


Рис. 3. Распределение территорий районов областей ЦФР по величине комплексного показателя плодородия почв.

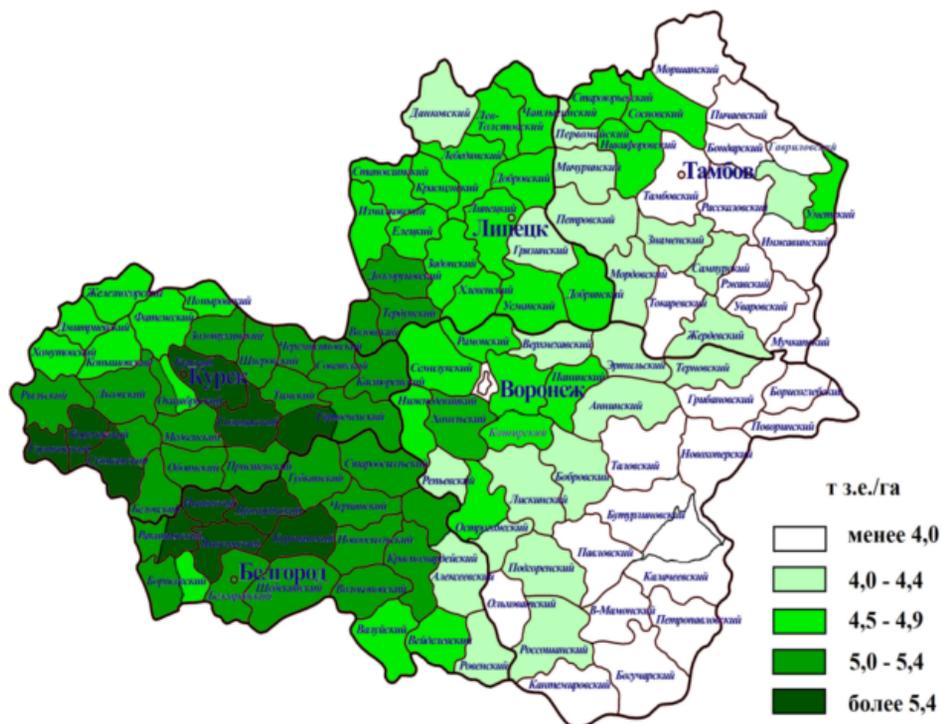


Рис. 4. Действительно возможный уровень продуктивности пшени области ЦФР, тыс. зерн. ед./га.

Табл. 3. Средняя урожайность основных сельскохозяйственных культур за период 2012–2019 гг. на территории областей ЦЧР, ц/га

Область	Показатель	Пшеница озимая	Пшеница яровая	Ячмень яровой	Овес	Кукуруза на зерно	Соя
Белгородская	Xcp±Sd	44,6±8,6	31,6±9,4	34,1±6,9	26,8±9,1	60,2±18,2	19,2±5,3
	Lim	25,1...60,3	8,1...55,8	15,1...49,9	3,6...51,4	26,6...101,6	5,9...30,4
	V, %	19,2	29,7	20,3	33,7	30,3	27,7
Воронежская	Xcp±Sd	35,6±8,5	26,2±8,4	26,1±6,4	23,3±6,7	47,6±15,9	13,8±4,3
	Lim	15,6...56,9	7,6...55,0	12,3...44,6	10,8...47,1	19,3...103,0	4,1...26,8
	V, %	23,8	32,1	24,6	28,5	33,5	31,3
Курская	Xcp±Sd	41,8±9,7	35,0±10,9	34,9±8,3	27,0±7,1	66,2±17,7	18,0±4,8
	Lim	18,7...62,0	10,6...60,7	17,0...54,8	12,1...51,3	26,4...110,1	4,3...31,9
	V, %	23,2	31,1	23,9	26,2	26,7	26,5
Липецкая	Xcp±Sd	36,5±8,7	33,4±10,6	30,7±6,6	25,3±7,3	55,1±15,9	15,4±4,4
	Lim	16,9...52,4	4,3...55,7	19,2...49,7	9,2...48,1	8,0...94,0	3,4...26,8
	V, %	23,8	31,7	21,5	28,8	28,9	28,6
Тамбовская	Xcp±Sd	33,4±7,4	27,5±7,1	27,0±5,3	20,8±5,4	57,4±14,7	15,4±4,9
	Lim	13,5...48,6	9,0...48,1	12,9...41,0	7,0...43,2	17,9...106,4	5,6...30,7
	V, %	22,3	25,9	19,5	26,1	25,6	31,8

тур [15], в качестве параметра интенсификации производства необходимо учитывать насыщение пашни удобрениями (кг NPK д.в./га).

В целом динамика продуктивности пашни (зерн. ед./га) для районов областей ЦЧР (n = 122) можно охарактеризовать следующей зависимостью:

$$Y = -11,0 + 1,17 \cdot X_1 + 36,7 \cdot X_2 - 13,96 \cdot X_2^2 + 0,066 \cdot X_3,$$

$$F = 168,1, R = 0,93, p < 10^{-4},$$

где X_1 – порядковый номер временного ряда (1...60, 1960–2019 гг.); X_2 – гидротермический коэффициент Селянинова; X_3 – удобрения, кг NPK д.в./га.

Среднегодовой прирост продуктивности пашни по временному тренду составил 0,12 тыс. зерн. ед./га, что связано с совершенствованием агротехники и сортообновлением. Внесение 1 кг действующего вещества удобрений обеспечивало прирост продуктивности на 6,6 зерн. ед.

Уровень климатически обеспеченной продуктивности пашни на территории областей ЦЧР в 2012–2019 гг. (рис. 2, табл. 2) варьировал в пределах от 3,4 до 7,1 тыс. зерн. ед./га (14,5 %). В соответствии с гидротермическими условиями по величине климатически обеспеченной продуктивности пашни области ЦЧР можно расположить в следующем порядке: Курская (5,4...7,1) > Белгородская (4,2...6,3) > Липецкая (5,0...6,1) > Тамбовская (4,2...5,6) > Воронежская (3,4...6,2 тыс. зерн. ед./га).

Качество почв на территории ЦЧР в наибольшей мере связано с содержанием подвижного фосфора, калия и кислотностью. По величине комплексного показателя плодородия почвы (рис. 3, табл. 2) области ЦЧР можно расположить в следующем порядке: Белгородская (84,60 ± 4,30) > Воронежская (79,40 ± 3,90) > Курская (77,40 ± 8,36) > Липецкая (74,50 ± 4,30) > Тамбовская (72,80 ± 6,40).

Уровень действительно возможной продуктивности пашни на территории областей ЦЧР варьирует от 2,89 до 6,11 тыс. зерн. ед./га (15,1 %). По величине этого показателя (рис. 4, табл. 2) их можно расположить в следующем порядке: Курская (5,22 ± 0,41) > Белгородская (5,15 ± 0,46) > Воронежская (4,08 ± 0,54) > Липецкая (4,77 ± 0,22) > Тамбовская (4,03 ± 0,41) тыс. зерн. ед./га.

Территориальное варьирование фактических урожаев сельскохозяйственных культур обусловлено различиями совокупности природных и антропогенных факторов (см. табл. 2). Результаты анализа интенсификации производства, проведенного с учетом насыщения пашни минеральными удобрениями (д.в. кг NPK/га) в 2012–2019 гг., свидетельствуют, что эффекты от внесения удобрений или повышения качества почв проявляются в соответствии с величиной климатического потенциала продуктивности. Это отражается положительным взаимодействием указанных факторов. Окупаемость удобрений на более обеспеченных элементами питания почвах снижается, что характеризуется отрицательным взаимодействием (табл. 3, 4).

Урожайность сельскохозяйственных культур формируется при взаимодействии природных и агротехнических факторов. Теснота связи величины этого показателя с расчетной действительно возможной урожайностью (ДВУ) характеризуется значимыми коэффициентами парной корреляции (R = 0,49...0,80). Ана-

Табл. 4. Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от агроклиматических, почвенных и агротехнических факторов на территории ЦЧР

Культура	Параметры уравнений вида* $Y = d + a \cdot X_1 X_2 + b \cdot X_1 X_3 + c \cdot X_2 X_3$				Параметры связи	
	d	a	b	c	R	F
Зерновые	20,6	0,0035	0,0031	-0,0014	0,76	54
Озимая пшеница	14,3	0,0045	0,00088	-	0,81	116
Яровая пшеница	10,3	0,0032	0,0032	-0,0013	0,75	50
Ячмень	12,6	0,0024	0,0017	-	0,78	93
Овес	4,7	0,0047	0,002	-0,0012	0,52	14
Кукуруза	17,0	0,0052	0,0047	-0,0042	0,68	35
Соя	5,0	0,0036	0,0014	-0,00025	0,67	32
Продуктивность пашни	19,6	0,0038	0,0029	-0,0012	0,77	58

*где Y – урожайность культуры, ц/га; X_1 – КОУ, ц/га; X_2 – комплексный показатель плодородия, ПП; X_3 – внесение минеральных удобрений, кг д.в. NPK/га.

лиз динамических рядов урожайности за 1996–2019 гг. показал, что по величине коэффициента их устойчивости (%) сельскохозяйственные культуры на территории ЦЧР можно расположить в следующий возрастающий ряд: горох (72,2) < гречиха (72,9) < соя (74,2) < кукуруза (74,6) < озимая пшеница (79,9) < ячмень (80,1) < сахарная свекла (82,2) < подсолнечник (83,9), что связано, в основном, с биологией самих культур и длительностью периода активной вегетации. При этом как по степени устойчивости, так и по самой динамике роста урожая за длительный срок (по индексу корреляции) выделяются культуры, в наибольшей мере испытывавшие генетические изменения и сортообновление: горох (0,641) < озимая пшеница (0,729) < ячмень (0,755) < гречиха (0,771) < соя (0,845) < кукуруза (0,851) < сахарная свекла (0,889) < подсолнечник (0,931).

Таким образом, агроклиматические условия – один из основных факторов территориальных различий устойчивости производства сельскохозяйственной продукции и динамики ее роста. Устойчивость тенденции роста урожая по субъектам Федерации ЦЧР соответствует следующей иерархии: Курская область (0,865) > Белгородская область (0,815) > Воронежская область (0,795) > Тамбовская область (0,793) > Липецкая область (0,740).

Варьирование урожайности сельскохозяйственных культур на территории ЦЧР обусловлено совокупным взаимодействием климатических условий, агротехники и качества почв ($R_{\text{мн}} = 0,52 \dots 0,81$). Анализ природных ресурсов продуктивности служит основой для ранжирования территориальных объектов по приоритету мероприятий, направленных на повышение плодородия почв, совершенствование структуры посевных площадей и оптимизации агротехники.

Литература.

1. *Khlebnikova E.I., Rudakova Yu.L., Shkolnik I.M. Changes in Precipitation Regime over the Territory of Russia: Data of Regional Climate Modeling and Observations // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. V. 44. No. 7. P. 431–439.*
2. *Trends in Summer Season Climate for Eastern Europe and Southern Russia in the Early 21 st Century / M.G. Lebedeva, O.V. Krymskaya, A.R. Lupo, et al. // Advances in Meteorology. 2016. Vol. 2016. Article ID 5035086. URL: <https://www.hindawi.com/journals/amete/2016/5035086/> (дата обращения: 15.01.2021).*
3. *Pavlova V., Karachenkova A., Shkolnik I. Future changes in spring wheat yield in the European Russia as inferred from a large ensemble of high-resolution climate projections // Environmental Research Letters. 2019. V. 14. No 3. P. 034010. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaf8be/pdf> (дата обращения: 15.01.2021).*
4. *Кошкин Е.И., Андреева И.В., Гусейнов Г.Г. Влияние глобальных изменений климата на продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессорам // Агрохимия. 2019. №12. С. 83–96.*
5. *Izrael Yu.A., Sirotenko O.D. Modeling climate change impact on Russian agriculture productivity // Russian Meteorology and Hydrology. 2003. No 6. P. 5–17.*
6. *Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Пракопьев Е.А. Влияние изменения климата на сельское хозяйство Российских регионов // Регионология. 2015. № 2. (91). С. 56–63.*
7. *Павлова В.Н., Каланка П., Караченкова А.А. Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 78–94.*
8. *Паспорт муниципального образования (munst14 - Белгородская область; munst20 - Воронежская область; munst38 - Курская область; munst42 - Липецкая область; munst68 - Тамбовская область). URL: https://rosstat.gov.ru/scripts/db_inet2/passport/munr.aspx?base=munst14. (дата обращения: 26.02.2020).*
9. *Температура воздуха и осадки по месяцам и годам: (=31 Белгородская область; =36 - Воронежская область; =46 - Курская область; =48 - Липецкая область; =68 - Тамбовская область), Россия. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php?id=ru®ion=31>. (дата обращения: 02.03.2020).*
10. *Чуян, О.Г., Дериглазова, Г.М. Оценка агроклиматического потенциала продуктивности пашни для модели управления агрохимическими свойствами почв // Земледелие. 2018. № 7. С. 6–11.*
11. *Оценка плодородия / А.С. Фрид, О.Г. Чуян, В.Д. Соловиченко и др. // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. С. 17–34.*
12. *РусакOVA Т.И., Лебедева В.М., Грингоф И.Г. Исследования климатообусловленных колебаний урожайности основных зерновых культур, их количественная оценка в новых социально - экономических условиях Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2010. №12. С. 88–97.*
13. *Суслов, С.А., Громова, И.В. Методика региональной оценки экономической устойчивости сельскохозяйственного производства // Вестник НГИЭИ. 2012. № 5(12). С. 100–114.*
14. *Камышенко Г.А. Анализ устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси (на примере озимой пшеницы и картофеля) // Природопользование. 2010. Вып. 18. С. 97–102.*
15. *Критерии и ресурсы продуктивности пашни в условиях лесостепной зоны Центрального Черноземья / В.Д. Соловиченко, В.В. Никитин, В.В. Мельников и др. // Агрохимический вестник. 2016. №5. С. 28–33.*

Поступила в редакцию 10.03.2021
 После доработки 15.04.2021
 Принята к публикации 20.05.2021

ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ПРИЕМОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ДИНАМИКУ ЗАПАСОВ ВЛАГИ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН САФЛОРА КРАСИЛЬНОГО

А.С. Межевова, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
400062, Волгоград, просп. Университетский, 97
E-mail: asmezhevova@mail.ru

Цель исследований – изучение влияния осадков сточных вод и приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги, продуктивность и качество семян сафлора красильного. Работу проводили в 2016–2018 гг. в Волгоградской области на светло-каштановой солонцеватой тяжелосуглинистой почве с содержанием гумуса 1,7...1,8 %. Высевали сорт сафлора красильного Александрит. Осадок, образованный в процессе биологической очистки сточных вод, отличается повышенным содержанием органического вещества и элементов питания. Схема полевого двухфакторного опыта включала применение отвальной, дисковой и чизельной обработок почвы на фоне внесения осадка сточных вод в дозах 0, 5, 10 т/га. Использование в качестве органического удобрения осадка сточных вод в дозе 5 т/га приводило к увеличению запасов продуктивной влаги на фоне чизельной обработки почвы до 82,1 мм, 10 т/га – до 88,5 мм. Чизельная обработка почвы способствовала формированию наибольшей в опыте урожайности возделываемой культуры: при внесении 5 т/га осадка сточных вод – 1,42 т/га, 10 т/га – 1,51 т/га. При увеличении дозы осадка сточных вод до 10 т/га отмечено наибольшее в опыте содержание жира (25,2 %) в семенах сафлора красильного. Концентрация цинка в семенах при дозе внесения осадка сточных вод 5 т/га составила 21,8 мг/кг, 10 т/га – 25,1 мг/кг. Содержание меди находилось соответственно на уровне 11,3 и 12,1 мг/кг, кадмия – 0,09 и 0,10 мг/кг.

INFLUENCE OF SEWAGE SLUDGE AND BASIC TILLAGE METHODS ON THE DYNAMICS OF MOISTURE RESERVES, PRODUCTIVITY AND QUALITY OF CARTHAMUS TINCTORIUS SEEDS

Mezhevova A.S.

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences,
400062, Volgograd, prosp. Universitetskii, 97
E-mail: asmezhevova@mail.ru

The purpose of the research is to study the influence of sewage sludge and basic tillage methods on the dynamics of moisture reserves, productivity and quality of carthamus tinctorius seeds. The object of research is sewage sludge, carthamus tinctorius (Alexandrite variety). The scheme of the two-factor field experiment included the use of moldboard, disk and chisel tillage with the introduction of sewage sludge at doses of 0, 5 and 10 t/ha. It was revealed that the introduction of sewage sludge as an organic fertilizer in combination with chisel tillage led to an increase in the reserves of productive moisture up to 82.1 at a fertilizer dose of 5 t/ha and 88.5 mm at a fertilizer dose of 10 t/ha. It was found that the highest crop yield of the culture cultivated in the experiment was obtained by the use of chisel tillage. The crop yields at introduction of sewage sludge at a dose of 5 t/ha was 1.42 t/ha, at introduction of sewage sludge at a dose of 10 t/ha – 1.51 t/ha. Sewage sludge dose increasing to 10 t/ha makes it possible to obtain a highest fat content (25.2 %) in safflower seeds. Studies of safflower seeds for the heavy metals content were carried out. The content of zinc in the safflower seeds was 21.78 mg/kg at introduction of sewage sludge at a dose of 5 t/ha, 25.08 mg/kg at introduction of sewage sludge at a dose of 10 t/ha. The copper content was 11.32 and 12.12 mg/kg, the cadmium content was 0.09 and 0.1 mg/kg, respectively, to the doses of sewage sludge introduction.

Ключевые слова: осадок сточных вод, запасы влаги, урожайность, сафлор красильный (*Carthamus tinctorius* L.), обработка почвы, качество семян

Key words: sewage sludge, moisture reserves, crop yields, safflower (*Carthamus tinctorius* L.), tillage, quality of seeds

Современная стратегия земледелия, основанная на химизации, применении высоких доз минеральных удобрений и химических средств защиты растений в значительной мере привела к деградации, засолению и загрязнению почв. В свою очередь, в условиях дефицита пресной воды и отсутствия орошения в зонах засушливого земледелия возникает необходимость поиска альтернативных путей повышения запасов почвенной влаги и продуктивности сельскохозяйственных культур.

Использование сточных вод в качестве органического удобрения широко распространено во всем мире, однако в России оно остается на весьма низком уровне. На большинстве отечественных станций по очистке хозяйственно-бытовых (канализационных) сточных вод количество отходов на иловых картах достигло критических объемов, а технологии их переработки и утилизации требуют изучения и совершенствования.

По мнению некоторых авторов [1], для восстановления деградированных земель и повышения их продуктивности необходимо разрабатывать и внедрять технологии применения органоминеральных удобрений на основе осадков сточных вод. При этом известно [2], что осадок сточных вод обладает удобрительной ценностью и оказывает положительное влияние на дерново-подзолистую супесчаную почву, а также на режим органического вещества. Доказано [3], что осадки сточных вод оказывают заметное положительное влияние на азотный режим и биологические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Учитывая стрессовые климатические условия Волгоградской области, наряду с применением органических удобрений и внедрением ресурсосберегающих технологий обработки почвы, необходимо введение в севообороты стрессоустойчивых культур, способных

адаптироваться к засухам и высоким температурам. Традиционными масличными культурами Нижнего Поволжья выступают подсолнечник и горчица, но в последние годы широкое распространение в качестве одной из перспективных культур приобретает сафлор красильный [4, 5, 6]. Его можно рассматривать как масличную, техническую, лекарственную, кормовую, медоносную и декоративную культуру, а благодаря фитомелиоративным свойствам и в качестве средства воспроизводства плодородия почв [7, 8].

Цель исследований – изучение влияния осадков сточных вод и приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги, продуктивность и качество семян сафлора красильного.

Методика. Полевой опыт проводили на опытном участке в Учебном научно-производственном центре «Горная поляна» Городищенского района Волгоградской области в 2016–2018 гг. Почва участка – светло-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса – 1,7...1,8 % с постепенным уменьшением вниз по профилю. По наличию основных элементов питания почва опытного участка характеризовалась следующими показателями: содержание щелочногидролизующего азота по Корнфилду – 48...54 мг/кг, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – соответственно 47...53 мг/кг и 460...490 мг/кг. В опыте высевали сорт сафлора красильного Александрит.

Исследуемый осадок сточных вод получен с очистных сооружений предприятия «МУП Водоканал» г. Волжский. Результаты химического анализа, проведенного перед его внесением, показали, что содержание свинца, кадмия, цинка, меди, марганца, кобальта, никеля, ртути, мышьяка не превышает ПДК, ГХЦГ-изомеры, ДДТ и его метаболиты, цезий не обнаружены.

Осадок сточных вод вносили весной 2016 г. перед посевом сафлора красильного на поверхность поля в виде мульчирующего слоя в дозах 5 и 10 т/га, которые рассчитывали в соответствии с формулой максимально допустимых доз внесения осадка под сельскохозяйственные культуры (ГОСТ Р 17.4.3.07 – 2001). Основную обработку почвы проводили осенью.

Схема опыта представлена следующими вариантами: приём основной обработки почвы (фактор А) – отвальная вспашка ПН-4-35 на глубину 0,20...0,22 м; дискование БДТ-3 на глубину 0,12...0,14 м; чизелевание рабочим органом Ранчо на глубину 0,37...0,40 м с оборотом верхнего слоя почвы на глубину 0,12...0,15 м. осадок сточных вод (фактор В) – без внесения (0); 5 т/га; 10 т/га.

Опыт закладывали в 4-кратной повторности методом расщепленных делянок. Площадь делянок первого порядка – 240 м² (20 м × 12 м), второго порядка – 80 м² (20 м × 4 м). Предшественник – озимая пшеница. Норма высева – 250 тыс. шт. всхожих семян на 1 га.

Массовую долю сырого жира в семенах сафлора красильного определяли согласно ГОСТ 13496.15-2016, содержание тяжелых металлов – методом атомно-абсорбционной спектроскопии на атомно-абсорбционном анализаторе «Спектр-5». Учет урожая проводили поделочно методом прямого комбайнирования Сампо-500.

Закладку опыта, наблюдения и учеты выполняли общепринятыми методами, статистическую обработку данных – методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования)*. М.: Агрпромиздат, 1985. 351 с.).

Применяемый в опыте осадок сточных вод был получен путем биологической очистки ферментно-кавитационным методом [9], предусматривающим генерирование в циркулируемом субстрате кавитации низкой интенсивности (с числом кавитации не более 0,05), а также интенсивное обогащение субстрата кислородом, засасываемым вместе с воздухом посредством эжекторов. Влажность высушенного осадка сточных вод составляет 11 % и полностью соответствует требованиям ГОСТ Р 54651-2011. Анализ химического состава осадка (табл. 1) показал, что он отличается повышенным содержанием общего (3,3 %), в том числе аммиачного (0,19 %) азота, общего фосфора (4,27 %) и калия (0,31 %). Содержание органического вещества составило 32 %. Это свидетельствует о высокой удобрительной ценности осадка сточных вод.

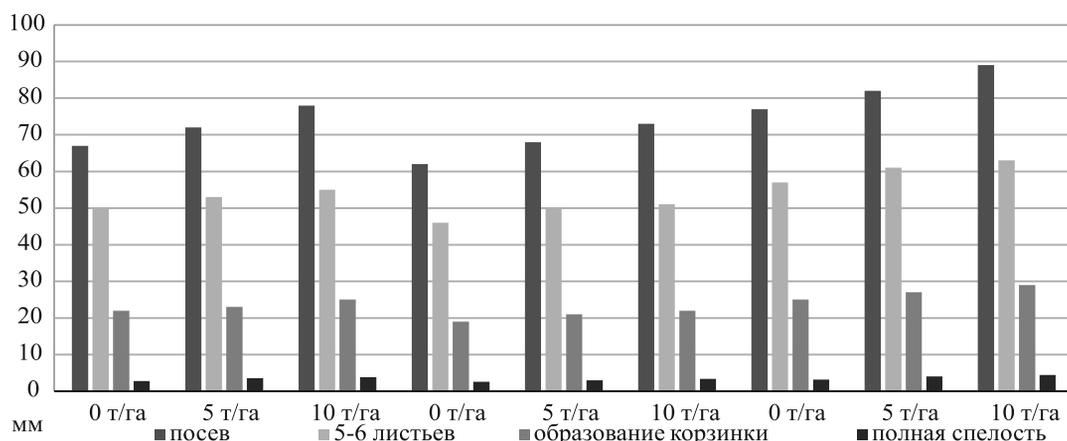
Табл. 1. Химический состав осадка сточных вод

Показатель	Результаты испытаний
Массовая доля влаги, %	11,0
Общий азот, %	3,30
Аммиачный азот, %	0,19
Реакция среды pH сол.	6,60
Общий фосфор, %	4,27
Общий калий, %	0,31
Массовая доля органического вещества в пересчете на С, %	32,0
Массовая доля золы, %	35,0

Климат Волгоградской области характеризуется холодными малоснежными зимами и продолжительным жарким и сухим летом, поэтому в условиях недостаточного увлажнения формирование высоких урожаев возможно лишь при орошении. На неорошаемых полях зачастую возделывают адаптированные к засухам и высоким температурам культуры, но для обеспечения стабильных урожаев необходима разработка новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

В годы исследований складывались разные условия тепло- и влагообеспеченности. За период вегетации (с апреля по август включительно) в 2016 г. выпало 331,6 мм осадков, что при сумме температур за вегетационный период 2720,8 °С характеризует условия как слабозасушливые с ГТК = 1,22. В 2017 г. с апреля по август выпало 243 мм осадков, в 2018 г. – 142 мм, гидротермические коэффициенты составили 0,94 и 0,48 соответственно, что характеризует вегетационный период 2017 г. как засушливый, 2018 г. – крайне засушливый.

Результаты и обсуждение. Поскольку влага выступает лимитирующим фактором для формирования высоких урожаев, пополнение ее запасов в почве – первостепенная задача. Результаты оценки запасов продуктивной влаги в почве свидетельствуют (см. рисунок), что максимальными в опыте они были при чизельном рыхлении почвы рабочим органом Ранчо на глубину 0,37...0,40 м с оборотом верхнего слоя почвы на 0,12...0,15 м и внесением осадка сточных вод в дозах 5 и 10 т/га. К посеву сафлора красильного запасы влаги в этих вариантах в слое 0...0,4 м находились на уровне 82,1 и 88,5 мм соответственно, тогда как в варианте без удобрений – 76,6 мм. Чизельное рыхление



Фазы роста сафлора красильного

Запасы продуктивной влаги в посевах сафлора красильного в слое 0...0,4 м (среднее за 2016–2018 гг.), мм ($HCP_{05}(A) = 0,21$; $HCP_{05}(B) = 0,21$; $HCP_{05}(AB) = 0,24$).

обеспечивает разрушение плужной «подшвы» и способствует накоплению влаги в почве, а осадок сточных вод обладает адсорбционными свойствами и способен удерживать влагу. При этом увеличение дозы осадка сточных вод до 10 т/га обеспечивало наилучшие результаты. При отвальной обработке ПН-4-35 на глубину 0,20...0,22 м ко времени посева запасы продуктивной

влаги в слое 0...0,4 м при внесении осадка в дозе 10 т/га составляли 77,6 мм, а при дозе осадка 5 т/га снижались до 72,0 мм. Наименьшие в опыте запасы продуктивной влаги отмечали на фоне дисковой обработки БДТ-3 на глубину 0,12...0,14 м – 62,0, 67,7 и 72,6 мм соответственно дозам внесения удобрения 0, 5, 10 т/га.

Наибольшую в опыте урожайность отмечали в 2016 г., что напрямую связано с более высокими влагозапасами в почве. В 2017 и 2018 гг. сбор семян сафлора красильного был ниже (табл. 2).

Использование в качестве органического удобрения осадка сточных вод обеспечивало прибавку урожайности. Причем различные дозы по-разному влияли на ее размеры. Внесение осадка в дозе 5 т/га позволило увеличить сбор семян на фоне дисковой обработки до 1,23 т/га (на 0,7 т/га); вспашки – до 1,34 т/га (на 1,1 т/га), чизельной обработки – до 1,42 т/га (на 1,1 т/га). При внесении осадка в дозе 10 т/га прибавка к варианту с 5 т/га после вспашки и дисковой обработки составила 0,6 т/га, чизельной обработки – 0,9 т/га. Сочетание осадка сточных вод в дозе 10 т/га и чизельной обработки почвы способствовало формированию самой высокой в опыте урожайности, которая в среднем за годы исследований составила 1,51 т/га.

Наряду с урожайностью, важную роль играет качество продукции. Поскольку сафлор красильный это масличная культура, важный показатель качества его семян – содержание жира. Как известно, на уровень масличности оказывают влияние различные факторы, в том числе условия произрастания, норма высева семян, удобрения, гидротермический режим и др. Известно [10], что, чем крупнее семя, тем больше в нем запасных тканей, которые содержат масло. В варианте без удобрений масса 1000 семян составила 38,5 г, а со-

Табл. 2. Урожайность сафлора красильного, т/га

Год	Доза осадка сточных вод (фактор В)	Прием обработки почвы (фактор А)			Среднее по фактору В
		вспашка	дискование	чизелевание	
2016	0 т/га	1,27	1,21	1,37	1,28
	5 т/га	1,37	1,30	1,47	1,38
	10 т/га	1,44	1,36	1,56	1,45
	среднее по фактору А	1,36	1,29	1,47	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				
2017	0 т/га	1,23	1,16	1,29	1,23
	5 т/га	1,35	1,22	1,41	1,33
	10 т/га	1,41	1,29	1,50	1,40
	среднее по фактору А	1,33	1,22	1,40	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				
2018	0 т/га	1,18	1,10	1,26	1,18
	5 т/га	1,29	1,17	1,37	1,28
	10 т/га	1,34	1,23	1,46	1,34
	среднее по фактору А	1,27	1,17	1,36	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				
Среднее	0 т/га	1,23	1,16	1,31	1,23
	5 т/га	1,34	1,23	1,42	1,33
	10 т/га	1,40	1,29	1,51	1,40
	среднее по фактору А	1,32	1,23	1,41	
	$HCP_{05} A, B, AB - 0,01$				

Табл. 3. Качественные показатели семян сафлора красильного (среднее за 2016–2018 гг.)

Доза осадка сточных вод, т/га	Содержание жира, %	Масса 1000 семян, г
0	23,5	38,5
5	24,4	40,5
10	25,2	42,5
HCP_{05}	0,8	0,7

Табл. 4. Содержание тяжелых металлов в семенах сафлора красильного (в воздушно-сухой пробе), мг/кг

Вариант	Цинк	Медь	Кадмий
Без удобрений	17,3	9,4	0,02
Осадок сточных вод, 5 т/га	21,8	11,3	0,09
Осадок сточных вод, 10 т/га	25,1	12,1	0,10
НСР ₀₅ %	2,8	1,9	16,4
ПДК (для продовольственного масличного сырья)	50,0	15,0	0,10

держание жира – 23,5 % (табл. 3). При внесении осадка сточных вод в дозе 5 т/га величины этих показателей увеличивались соответственно на 2 г и 0,9 %, а при дозе 10 т/га – еще на 2 г и 0,8 %.

Наряду с основными элементами минерального питания, растения поглощают из почвы тяжелые металлы. Согласно результатам наших исследований, в семенах сафлора отмечено присутствие таких тяжелых металлов, как цинк, медь и кадмий, содержание которых не превышает ПДК во всех вариантах опыта (табл. 4). Это указывает на то, что изучаемые в эксперименте осадки сточных вод безопасны с экологической точки зрения и могут использоваться в качестве удобрения при возделывании сафлора красильного.

Таким образом, без применения удобрений дискование почвы снижает запасы влаги в слое почвы 0...0,4 м, по сравнению с традиционной вспашкой, на 5 мм, а чизельная обработка повышает их на 9,6 мм. Внесение осадка сточных вод в дозах 5 и 10 т/га способствует росту величины этого показателя на 5,0...11,9 мм. При этом наибольшие запасы формируются в варианте с чизельной обработкой и использованием самой высокой дозы осадка.

Наименьшая в опыте урожайность сафлора красильного в среднем за годы исследований отмечена без удобрений: в варианте с отвальной вспашкой – 1,23 т/га, с дискованием – 1,16 т/га, с чизелеванием – 1,31 т/га. Внесение осадка сточных вод в дозе 5 т/га повышало величину этого показателя на фоне разноглубинных обработок почвы в среднем с 1,23 т/га до 1,33 т/га. Внесение удобрения в самой высокой изучаемой дозе (10 т/га) обеспечивало наилучшие результаты. В среднем урожайность составляла 1,41 т/га, наибольшей она была на фоне чизельной обработки – 1,51 т/га. В варианте с дозой осадка сточных вод 10 т/га отмечены наибольшие масса 1000 семян (42,5 г) сафлора красильного и содержание жира в семенах (25,2 %). Концентрация тяжелых металлов в продукции культуры

оставалась в пределах ПДК во всем диапазоне изучаемых доз осадка сточных вод.

Литература.

1. Ильинский А.В., Евсенкин К.Н., Нефедов А.В. Обоснование экологически безопасного использования осадков сточных вод канализационных очистных сооружений жилищно-коммунального хозяйства // *Агрохимический вестник*. 2020. № 1. С. 60–64. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10009.
2. Рабинович Г.Ю., Подолян Е.А., Зинковская Т.С. Использование осадка сточных вод и режим органического вещества дерново-подзолистой почвы // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 4. С. 37–41. doi: 10.31857/S 2500262720040092.
3. Касатиков В.А. Влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых культур // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 64–68. doi: 10.31857/S 0002188120060058.
4. Esfahani M.A., Javanmard H., Golparvar A. Assessment of growth physiological indices, seed and oil yield of two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different tillage methods in Isfahan province of Iran // *Research on Crops*. 2016. Vol. 17. No 2. P. 244–247.
5. Jabeen N., Ahmad R. The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013. Vol. 93. No 7. P. 1699–1705.
6. Афанасьева Ю.В. Интродукция и особенности возделывания сафлора красильного (*Carthamus tinctorius* L.) на семена в условиях центрального района Нечерноземной зоны: дис. канд. с.-х. наук. М.: ВСТИСП. 2017. 163 с.
7. Попов А.В. Совершенствование технологии возделывания сафлора красильного в рисовых севооборотах Сарпинской низменности: дис. канд. с.-х. наук. Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. 209 с.
8. Тютюма Н.В., Туманян А.Ф., Щербакова Н.А. Продуктивность сафлора красильного в аридной зоне Прикаспия при различной густоте стояния // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017. № 4. С. 32–34.
9. Степкина Ю.А. Совершенствование технологий и систем обработки осадка при очистке сточных вод, получение и апробация комплексного удобрения: автореф. дис. канд. техн. наук. Волгоград: ВГ-СХА, 2009. 22 с.
10. Moses D. R. Performance evaluation of continuous screw press for extraction soybean oil // *American journal of science and technology*. 2014. Vol. 1. No 5. P. 238–242.

Поступила в редакцию 01.12.2020

После доработки 19.01.2021

Принята к публикации 23.06.2021

НАУЧНО-ОБОСНОВАННЫЙ РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ САЖЕНЦЕВ СЛИВЫ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ В УСЛОВИЯХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Н.Н. Дубенок, академик РАН, **А.В. Гемонов**,
А.В. Лебедев, кандидат сельскохозяйственных наук

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: ndubenok@mail.ru*

Из-за широкого распространения в практике питомниководства ресурсосберегающих технологий особую актуальность приобретают вопросы, связанные с рациональным использованием водных ресурсов. Одним из перспективных способов полива, который обеспечивает создание благоприятных условий для роста растений, считают капельное орошение. Цель исследования – разработка научно-обоснованного режима орошения при капельном поливе саженцев сливы на дерново-подзолистой почве для производства высококачественного посадочного материала. Двухфакторный полевой опыт был заложен весной 2018 г. Первый фактор – режим капельного орошения (поддержание влажности корнеобитаемого слоя почвы в диапазонах 60...80, 70...90 и 80...100 % наименьшей влагоемкости), второй фактор – сорт (Машенька и Утро) на подвое алычи. Капельный полив обеспечил формирование равномерного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы с экономией поливной воды, по сравнению с дождеванием, до 2...3 раз. В орошаемых вариантах основную часть суммарного водопотребления саженцев составляли оросительная норма (от 55 до 67 %) и атмосферные осадки (от 14 до 29 %). По биометрическим показателям (диаметр штамба, высота саженцев, площадь листовой поверхности) трехлетние саженцы, выращенные с капельным поливом, превосходили саженцы в контроле без орошения в 1,2...1,5 раза. Для выращивания максимально возможных объемов высококачественного посадочного материала сливы в питомнике рекомендуется использование режима орошения с поддержанием влажности почвы в диапазоне 80...100 % наименьшей влагоемкости. В варианте с поддержанием влажности почвы в диапазоне 70...90 НВ выход стандартных саженцев снижается, по сравнению с вариантом с 80...100 % НВ, на 1...2 %, при этом оросительная норма одновременно уменьшается в зависимости от условий года на 59...206 м³/га.

SCIENTIFICALLY BASED REGIME OF IRRIGATION OF PLUM SEEDLINGS DURING DRIP IRRIGATION IN SOD-PODZOLIC SOILS

Dubenok N.N., Gemonov A.V., Lebedev A.V.

*Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: ndubenok@mail.ru*

Due to the widespread introduction of resource-saving technologies in nursery practice, issues related to the rational use of water resources are of particular relevance. Drip irrigation is considered one of the most promising irrigation methods, which creates favorable conditions for plant growth. The purpose of the study is to develop a scientifically grounded irrigation regime for drip irrigation of plum seedlings in sod-podzolic soils to obtain high-quality planting material. The two-factor field experience was laid down in the spring of 2018. The first factor is the drip irrigation regime (maintaining the moisture content of the root layer of the soil in the ranges of 60 ... 80, 70 ... 90 and 80 ... 100% of the lowest moisture capacity), the second factor is the variety (Mashenka and Morning) for cherry plum stock. Drip irrigation ensured the formation of uniform moistening of the root layer of the soil, saving irrigation water in comparison with sprinkling up to 2-3 times. According to the results of studies in irrigated variants of the experiment, the main part in the total water consumption of seedlings is the irrigation rate (from 55 to 67%) and atmospheric precipitation (from 14 to 29%). In terms of biometric indicators (stem diameter, height of seedlings, leaf area), three-year-old seedlings grown with drip irrigation are 1.2-1.5 times higher than seedlings in the control variant without irrigation. For the rational use of irrigation water and the cultivation of high-quality plum planting material in the nursery, it is recommended to use the irrigation regime with the maintenance of soil moisture in the range of 80...100% of the lowest moisture capacity.

Ключевые слова: *капельное орошение, питомник, саженцы, слива, водопотребление*

Key words: *drip irrigation, nursery-garden, seedlings, plum, water consumption*

В последние годы из-за широкого распространения ресурсосберегающих технологий в практике питомниководства и садоводства особую актуальность приобретают вопросы, связанные с рациональным использованием водных ресурсов. Одним из перспективных способов полива, который обеспечивает создание наиболее благоприятных условий для роста и развития растений, дает возможность подавать воду непосредственно к их корням, считают капельное орошение. Повышение его эффективности основано на производстве максимума продукции при минимуме затрат поливной воды и труда [1, 2].

Перспективная плодовая культура для возделывания в центральном регионе – слива. В рамках реализа-

ции госпрограммы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса России на 2021–2030 гг. использование адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям режимов орошения позволит питомниководческим хозяйствам увеличить качество и выход стандартных саженцев, обеспечить садоводческие хозяйства районированным посадочным материалом. Поэтому исследования по разработке и обоснованию режима капельного орошения саженцев в плодовых питомниках, представляют как научный, так и практический интерес.

Капельное орошение оказывает положительное влияние на развитие сельскохозяйственных культур,

способствует экономии поливной воды, обеспечивает возможность автоматизации поливов [3, 4, 5]. Однако в современных условиях его распространение в питомниках и садах Нечерноземной зоны России сдерживает отсутствие отработанных режимов орошения, обеспечивающих формирование благоприятного водно-воздушного режима почв, а также теоретических исследований по использованию таких систем и технологий полива.

Цель исследований – разработка научно-обоснованного режима орошения при капельном поливе сливы в условиях дерново-подзолистых почв Центрального района Нечерноземной зоны России для производства высококачественного посадочного материала.

Методика. Полевые исследования проводили на территории учебно-опытного хозяйства лаборатории плодородия «Мичуринский сад» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Почвенный покров опытного участка представлен дерново-среднеподзолистой, среднесуглинистой, глубоко пахотной, глееватой, окультуренной почвой на моренном (легком песчаном) суглинке, который на глубине 140...160 см подстилают подморенные пески. Благодаря регулярному внесению больших доз навоза и систематическому известкованию почва пахотного горизонта ($A_{\text{пак}}$) характеризуется слабокислой реакцией ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,7$). Его плотность перед закладкой опыта в 2018 г. составляла $1,17 \text{ г/см}^3$, общая пористость – 52,91 %, наименьшая влагоемкость – 31,7 % от сухой массы почвы, максимальная гигроскопичность – 8,6 % от сухой массы почвы, влажность завядания – 13,0 % от сухой массы почвы. Содержание гумуса в пахотном слое почвы ($A_{\text{пак}}$) в среднем находилось на уровне 2,8 %, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 261 мг/кг и 169 мг/кг почвы, емкость поглощения катионов в пахотном горизонте – 15,2 мг-экв/100 г почвы.

В период вегетации 2018–2020 гг. складывалась достаточно теплая погода. Наибольшее отклонение от нормы среднемесячной температуры за орошаемый период (май–август) отмечали в 2018 г. – от +1,2 до +4,2 °С. Среднее отклонение температурного режима от многолетних значений за орошаемый период в 2018 г. составило +3,0 °С, в 2019 г. – +1,7 °С, в 2020 г. – +1,2 °С. За вегетационный период 2018 г. отмечено 15 дней с продуктивными осадками (более 5 мм), или 29 % от общего числа дней с осадками, в 2019 г. – 13 (23 %), в 2020 г. – 30 (45 %). Число дней с осадками более 10 мм было еще меньше: соответственно 6 (12 %), 8 (14 %) и 21 (31 %).

Двухфакторный полевой опыт по изучению различных диапазонов увлажнения на формирование

сортовых саженцев сливы, привитых на подвой алычи, был заложен весной 2018 г. в соответствии с действующими методическими рекомендациями [6, 7, 8]. Перед этим были внесены органические удобрения в виде конского навоза с опилками в количестве 100 т/га. Первый фактор (режим увлажнения почвы) включал варианты с поддержанием влажности почвы в следующих диапазонах: 60...80 % наименьшей влагоемкости (НВ); 70...90 % НВ; 80...100 % НВ; без орошения (контроль). В качестве второго фактора выступали сорта сливы Машенька и Утро.

Высадку саженцев осуществляли по схеме $0,9 \times 0,33 \text{ м}$, расстояние между соседними рядами разных вариантов составляло 1 м. Плотность посадки – 33,5 тыс. саженцев на 1 га. Повторность – трехкратная, расположение делянок – систематическое. В каждой повторности высаживали по 30 растений каждого сорта. Для полива использовали многолетнюю капельную линию. В первый год исследования глубина промачивания почвы составляла 30 см, во второй – 40 см, в третий – 50 см. Влажность почвы контролировали с использованием тензиометров, градуированных на основании результатов ее измерения термостатно-весовым методом. Основные агрохимические и водно-физические свойства почвы на опытном участке определяли общепринятыми методами. Результаты наблюдений за биометрическими показателями растений обрабатывали методом дисперсионного анализа с расчетом показателя наименьшей существенной разницы (НСР) при уровне значимости 5 %.

Результаты и обсуждение. Для поддержания предположенных порогов влажности почвы в соответствии со схемой опыта были разработаны режимы капельного орошения, в которых определены поливные и оросительные нормы, число поливов и продолжительность межполивного периода (табл. 1).

При поливе дождеванием, согласно существующим рекомендациям, растения испытывают двойной стресс от периодичности и цикличности увлажнения почвы: в начале межполивного периода по причине избыточного увлажнения нормой $300...350 \text{ м}^3/\text{га}$, в конце межполивного периода, продолжительность которого составляет 20...25 дней, из-за недостатка влаги. Кроме того, рекомендуемый режим орошения предполагает проведение всего 5...6 поливов, что в особо засушливые годы не позволяет поддерживать влажность почвы в оптимальном для растений диапазоне, необходимом для формирования наибольшей продуктивности. Капельный полив обеспечил формирование равномерного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы с экономией поливной воды, по сравнению с дождеванием, до 2...3 раз.

Табл. 1. Сравнительная характеристика режимов орошения саженцев сливы

Показатель	Вариант опыта									Существующие рекомендации (дождевание)
	60...80 % НВ			70...90 % НВ			80...100 % НВ			
	год исследования									
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	
Оросительная норма, $\text{м}^3/\text{га}$	705	593	460	893	816	697	952	960	903	1500...2100
Средняя поливная норма, $\text{м}^3/\text{га}$	37,1	45,6	51,1	38,8	45,3	53,6	38,1	45,7	53,1	300...350
Число поливов	19	13	9	23	19	13	25	21	17	5...6
Межполивной период, дн.	6	9	13	5	6	9	5	6	7	20...25

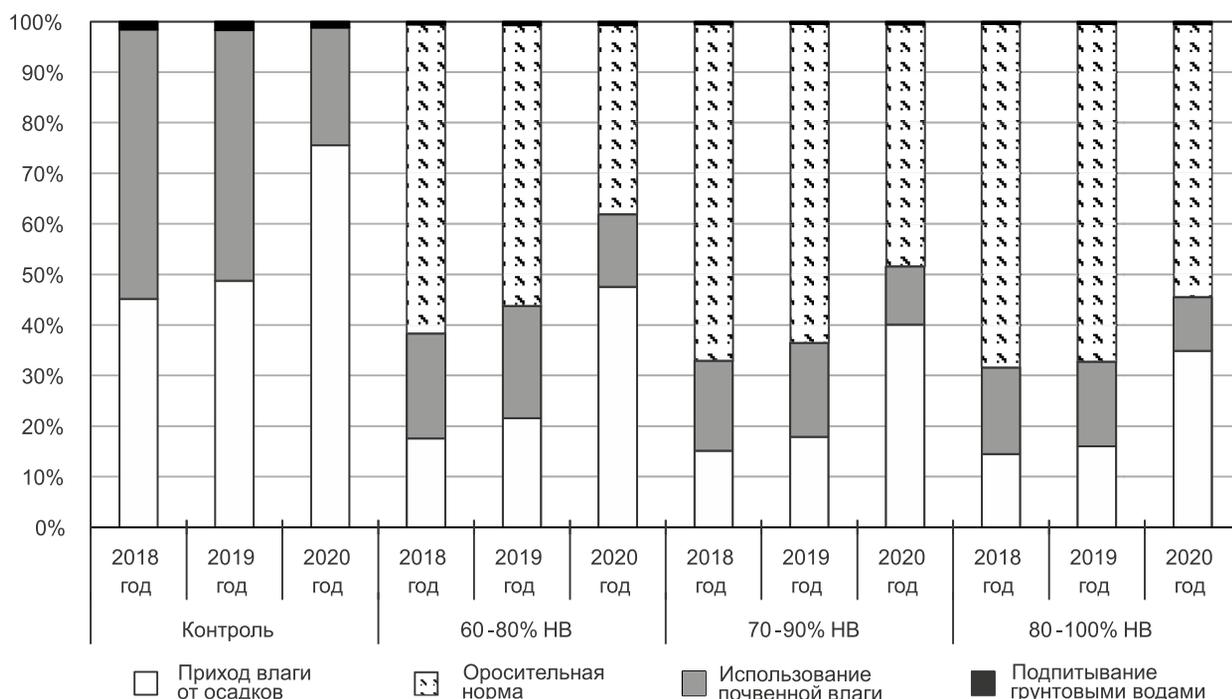


Рис. 1. Структура суммарного водопотребления саженцев.

По результатам исследований в орошаемых вариантах опыта основную часть в суммарном водопотреблении саженцев составляли оросительная норма (от 55 до 67 %) и атмосферные осадки (от 14 до 29 %). Доля атмосферных осадков увеличивалась в более влажные годы (2020 г.), а в засушливые (2018 г.), наоборот, снижалась. В контроле (без орошения), основная часть водопотребления приходилась на осадки и почвенную влагу (рис. 1).

Известно, что минимальные величины водопотребления саженцами сливы приходятся на влажные годы, максимальные – на сухие [9]. При этом существенное влияние на его величину оказывает среднесуточная температура воздуха. На основании расчетов по вариантам опыта были получены регрессионные уравнения зависимости суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры (рис. 2), согласно которым с увеличением среднедекадной температуры воздуха водопотребление возрастает. Кроме того, их анализ указывает на то, что с повышением поддерживаемой влажности почвы в корнеобитаемом слое водопотребление также возрастает (табл. 2). С использованием этих уравнений можно определять усредненное теоретическое водопотребление саженцев сливы в питомниках центрального района Нечерноземной зоны России при водобалансовых расчетах.

Результаты проведенного статистического анализа не выявили существенного влияния сортовых особенностей выращиваемых саженцев на диаметр штамба. При этом между величиной этого показателя в контроле (без орошения) и в вариантах с поливом установлены достоверные различия, возрастающие по мере повышения поддерживаемого уровня влажности почвы. Так, для трехлетних саженцев сорта Машенька средний диаметр штамба в варианте 60...80 % НВ составил 1,34 см, 70...90 % НВ – 1,62 см, 80...100 % НВ – 1,67 см, в контроле – 1,21 см; для сорта Утро – 1,32 см, 1,61 см, 1,64 см и 1,19 см (при $HCP_{0,05} = 0,11$ см).

Максимальную в опыте высоту саженцев сливы сортов Машенька и Утро во все годы исследования также отмечали в варианте с поддержанием влажности почвы в диапазоне 80...100 % НВ. Например, у трехлетних растений (2020 г.) при таком режиме увлажнения она была больше, чем в контроле, соответственно на 43 см и 34 см соответственно и достигала 225 см и 203 см соответственно, при $HCP_{0,05}$ для фактора режим орошения = 24 см. Следует отметить, что на величину этого показателя большое влияние оказывали сортовые особенности. Саженцы сливы сорта Машенька были в среднем на 5...10 % выше, чем растения сорта Утро.

Площадь листовой поверхности саженцев сорта Машенька была в среднем на 5...7 % больше, чем у растений сорта Утро. Самые высокие величины этого

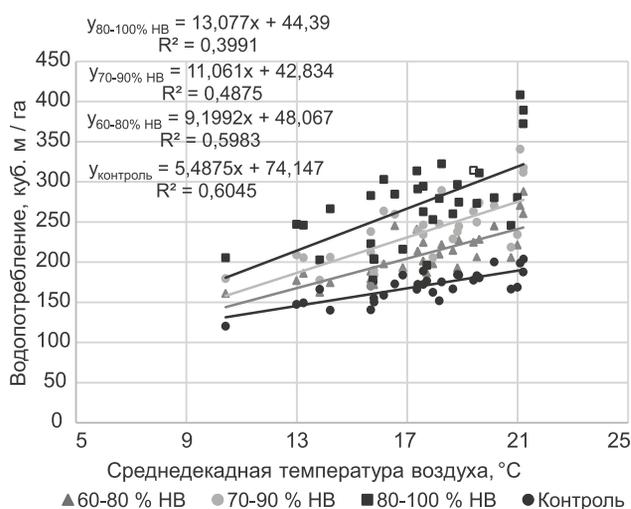


Рис. 2. Зависимость суммарного водопотребления за декаду от среднесуточной температуры воздуха.

Табл. 2. Выход стандартных саженцев при различных режимах орошения

Режим орошения	1 категория		2 категория		Итого	
	%	тыс. шт./га	%	тыс. шт./га	%	тыс. шт./га
Однолетние саженцы (2018 г.)						
60...80 % НВ	47	15,7	16	5,4	63	21,1
70...90 % НВ	63	21,1	15	5,0	78	26,1
80...100 % НВ	65	21,8	14	4,7	79	26,5
Контроль (без орошения)	24	8,0	18	6,0	42	14,1
Двухлетние саженцы (2019 г.)						
60...80 % НВ	45	15,1	14	4,7	59	19,8
70...90 % НВ	60	20,1	12	4,0	72	24,1
80...100 % НВ	63	21,1	11	3,7	74	24,8
Контроль (без орошения)	20	6,7	17	5,7	37	12,4
Трехлетние саженцы (2020 г.)						
60...80 % НВ	45	15,1	14	4,7	59	19,8
70...90 % НВ	60	20,1	12	4,0	72	24,1
80...100 % НВ	63	21,1	11	3,7	74	24,8
Контроль (без орошения)	20	6,7	17	5,7	37	12,4

показателя по итогам трех лет опыта отмечены в вариантах с поддержанием влажности почвы в корнеобитаемом слое в диапазоне 80...100 % НВ: Машенька – 5575 см², Утро – 5336 см², или больше, чем в контроле, соответственно на 283 см и 403 см при НСР_{0,05} для фактора режим орошения = 237 см².

Максимальный в опыте выход стандартных саженцев отмечали в вариантах с поддержанием влажности почвы в корнеобитаемом слое в диапазоне 80...100 % НВ и 70...90 % НВ, при этом значительная доля растений относилась к первой категории (табл. 2). Минимальный в опыте выход саженцев в контроле обусловлен тем, что в условиях недостаточного увлажнения развитие получал подвой, а культурная прививка погибала.

На второй год опыта выход саженцев уменьшился во всех вариантах опыта в среднем на 10 %, относительно высаженного количества, из-за перезимовки. На третий год выход саженцев практически остался неизменным, по сравнению со вторым, так как в 2019–2020 гг. была очень мягкая зима.

Таким образом, использование капельного орошения способствует увеличению площади листовой поверхности, диаметра штамба и высоты растений, что обеспечивает больший выход стандартных саженцев. Для максимально возможного производства высококачественного посадочного материала сливы в питомнике целесообразно использовать режим орошения с поддержанием влажности почвы в диапазоне 80...100 % НВ с глубиной промачивания в первый год – 30 см, на второй год – 40 см и на третий год – 50 см. В варианте с поддержанием влажности почвы в диапазоне 70...90 % НВ выход стандартных саженцев снижается, по сравнению с вариантом с 80...100 % НВ, на 1...2 %, при этом оросительная норма одновременно уменьшается в зависимости от условий года на 59...206 м³/га.

Литература.

1. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Особенности водопотребления саженцев сливы, выращиваемых в питомнике при капельном орошении // Плодородие. 2020. № 4 (115). С. 53–56.

2. Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Общая пористость и пористость аэрации дерново-подзолистой почвы при выращивании саженцев сливы при капельном орошении // Земледелие. 2020. № 7. С. 3–6.

3. Кружилин И.П., Никольская О.А. Режим капельного орошения саженцев черешни на светло-каштановых почвах правобережья Волги // Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий: Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета. 2019. С. 42–47.

4. Panigrahi P., Srivastava A.K., Huchche A.D. Effects of drip irrigation regimes and basin irrigation on Nagpur mandarin agronomical and physiological performance // Agricultural Water Management. 2012. № 104. P. 79–88.

5. Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system / D.I. Sokalska, D.Z. Haman, A. Szewczuk, et al. // Agricultural Water Management. 2009. № 6 (96). P. 917–924.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований) / 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

7. Комиссаров В.А. Методика постановки опытов с плодово-ягодными и цветочно-декоративными растениями. М.: Просвещение, 1982. 220 с.

8. Марков Ю.А. Программа и методика исследований по орошению плодовых и ягодных культур: методические рекомендации. Мичуринск: ВНИИС, 1985. 118 с.

9. Дубенок Н.Н. Ресурсосберегающие и ландшафтоулучшающие технологии орошения склоновых земель. М.: Агробизнесцентр, 2006. 312 с.

10. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: Справочник / под. ред. Б.Б. Шумакова. М.: Агропромиздат, 1990. 415 с.

Поступила в редакцию 28.04.2021
 После доработки 30.05.2021
 Принята к публикации 24.06. 2021

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.19:631.527

DOI: 10.31857/S2500262721040049

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСГРЕССИВНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СЕЛЕКЦИИ ТРИТИКАЛЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ

А.В. Крохмаль, кандидат сельскохозяйственных наук,
А.И. Грабовец, член-корреспондент РАН,
Е.А. Гординская, научный сотрудник

Федеральный Ростовский аграрный научный центр,
 346735, Ростовская обл., Аксайский р-н, пос. Рассвет, ул. Институтская, 1
 E-mail: grabovets_ai@mail.ru

Исследования проводили с целью выявления особенностей формообразования в популяциях тритикале в условиях нарастания аридности климата. Работу выполняли в 2010–2020 гг., в северо-западной зоне Ростовской области на чернозёмах по черному пару. Изучали гибриды, популяции и линии озимых тритикале зернового направления, всего 3001 комбинация внутривидовых и 57 – отдаленных скрещиваний. Методы селекции общепринятые – педигри и балк-метод. Селекционный питомник закладывали необмолоченными колосьями. Частота трансгрессий в гибридных потомствах внутривидовых комбинаций возрастала от F_3 к F_{6-9} , у отдельных комбинаций она оставалась высокой до F_{10-12} . У отдаленных гибридов пик частоты трансгрессий приходился на F_7 и F_{12-14} . В селекционном питомнике (СП) изучено 299 тыс. семей внутривидового происхождения, в контрольном питомнике (КП) – 4278 линий. Результативность отбора перспективных кроссов в СП составила 1,4 %, в КП – 15,2 %. У отдаленных потомств эффективность отбора была равна 1,8 и 18,0 %. Процесс рекомбинации у тритикале может длиться до 18 поколения, особенно при отдаленной гибридизации. Его продолжительность зависит от исходных компонентов скрещивания. Комбинации с гетерозисом по продуктивности в первом поколении перспективны и в дальнейшем. Степень доминирования массы зерна с растения может служить показателем селекционной ценности комбинации. В результате проведенных исследований за изучаемый период выведено 10 сортов тритикале (Гектор, Алмаз, Ацтек, Донслав, Капрал, Пилигрим, Азнавур, Арзус, Арюн и др). Высококароотиноидный сорт Рамзес создан с использованием в качестве одного из родителей озимой мягкой пшеницы. Все сорта, за исключением сорта Рамзай, выведены при двух-трехкратных отборах, что ещё раз подтверждает высокую эффективность повторных отборов при селекции тритикале.

FEATURES OF TRANSGRESSIVE VARIABILITY AND MORPHOGENESIS IN THE BREEDING OF TRITICALE FOR PRODUCTIVITY

Krokhmal A.V., Grabovets A.I., Gordinskaya E.A.

Federal Rostov Agricultural Research Center,
 346735, Rostovskaya obl., Aksaiskii r-n, pos. Rassvet, ul. Institutskaya, 1
 E-mail: grabovets_ai@mail.ru

The data of studies carried out in 2010-2020 in the north-western zone of the Rostov region on chernozems on black steam are presented. Hybrids, populations and lines of winter triticale grain crops were studied. A combination of intraspecific and 57 – distant crosses was performed in 3001. The breeding methods are generally accepted-pedigree and balk-method. The breeding nursery is laid with un-threshed ears. The article presents the results of the breeding program carried out on the Don during triticale breeding, the role of determining the degree of productivity dominance in first-generation hybrids, and the assessment of the frequency and degree of transgression in hybrid generations. An increase in the frequency of transgressions in hybrid offspring of intraspecific combinations from F_3 to F_6-9 was found, in some combinations it remains high up to F_{10-12} . In distant hybrids, the peak frequency of transgressions falls on F_7 and F_{12-14} . In the breeding nursery (SP), 299 thousand families of intraspecific origin were studied, in the control nursery (CP) – 4278 lines. The effectiveness of the selection of promising crossovers in the joint venture is 1.4 %, in the KP-15.2 %. In remote off spring, the selection efficiency was 1.8 and 18.0 %. Process degree of dominance of the grain mass from the plant can serve as an indicator of the selection value of the combination. Based on these studies, 10 varieties of triticale (Hector, Diamond, Aztec, Donslave, Capral, Pilgrim, Aznavour, Argus, Arion, etc.) were bred during the study period. The high-carotenoid variety Ramses was obtained using winter soft wheat as one of the parents. All varieties, with the exception of the Ramzai variety, were created using two-three-time selections, which once again confirms the high efficiency of repeated selections in the breeding of triticale.

Ключевые слова: тритикале, селекция, гибрид, отбор, продуктивность, трансгрессивная изменчивость, формообразование

Key words: triticale, hybrid, breeding, productivity, transgressive variability

К сожалению, посевные площади тритикале в Российской Федерации из-за слабо развитого животноводства, отсутствия рекламы и должной цены на мировом рынке за последние 10 лет сократились почти вдвое. Одновременно в связи с глобальным изменением климата селекция этой культуры успешно развивается [1, 2]. Ожидается, что тритикале в будущем займет свое место в посевах. Поэтому селекцио-

неры работают на перспективу. Сортимент тритикале постоянно расширяется. Так, в Госреестре сортов, допущенных к использованию в производстве в 1993 г., было всего 29 сортов, из которых 72 % имели допуск в одном регионе, в 2020 г. число озимых сортов достигло 92 ед., из которых 32 % допущены к использованию в 3...6 регионах РФ. Расширение ареала возделывания сортов тритикале – несомненный

успех селекции на продуктивность и экологическую пластичность.

Немаловажную роль в успешном ведении селекции играет разработка научно обоснованной модели сорта [3, 4]. Новые сорта этой культуры сегодня создают во многих научных учреждениях, в различных почвенно-климатических зонах. Причем в каждом учреждении оптимизируют ведение селекционного процесса с учетом зональных особенностей [4, 5, 6].

Эффективность селекционных программ обеспечивает грамотное использование особенностей трансгрессивной изменчивости, формообразования и стабилизации биотипов тритикале [7, 8].

Цель исследований – выявление особенностей формообразования в популяциях в условиях нарастания аридности климата.

Для ее достижения решали следующие задачи:

установить особенности создания генетической изменчивости, доступной отбору, гарантирующей отбор генотипов нового поколения, адаптированных к широкому диапазону сред;

определить принципы подбора родителей и методологию работы с гибридами и популяциями во всех питомниках.

Методика. Работу выполняли в 2010–2020 гг. в Федеральном Ростовском аграрном научном центре (ФРАНЦ), в северо-западной зоне Ростовской области. Почва опытного участка – среднemoshный южный карбонатный чернозем. Мощность гумусового горизонта – 60...70 см. Содержание гумуса в пахотном слое находилось в пределах 3,6 % (ГОСТ 2613-91), гидролизуемого азота (по Тюрину и Кононовой) – 67 мг/кг, подвижных форм фосфора и калия (по ГОСТ 26204-91) – 25 и 320 мг/кг соответственно. Сумма поглощенных оснований (по ГОСТ 27281-88) – 68 мг-экв./100 г, рН – 7,4 ед. [9].

Полевые питомники сортов и линий озимого тритикале размещали по черному пару. Гибриды F₁ высевали и убирали вручную, обмолачивали на сноповой молотилке. Гибридные популяции F₂ высевали рядовым способом с нормой высева 2,5 млн/га в количестве 150...250 комбинаций по 1000 растений в каждой. После браковки на корню проводили индивидуальную отбор элитных колосьев согласно модели сорта. Селекционный питомник (СП) закладывали необмолоченными колосьями. Константные семьи убирали и обмолачивали на сноповой молотилке.

Контрольный питомник (КП), конкурсные сортоиспытания (КСИ) высевали с нормой 4 млн/га, повторность трехкратная, стандартный сорт во всех питомниках на протяжении всех лет исследований – Каприз. Размещение делянок рендомизированное. Уборку проводили комбайном Сампо 130. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием программы Excel. Частоту и степень трансгрессий определяли по Воскресенской Г.С. и Шпота В.И. [10]. Критерием при отборе трансгрессивных линий был средний урожай в питомнике + НСР + 13 %. Степень доминирования рассчитывали по Гриффингу В. А. [11]:

$$h_p = (F_1 - x_p) / (H_p - x_p),$$

где F₁ – показатель гибрида; x_p – среднее значение родителей, H_p – показатель лучшего родителя.

Климат зоны проведения исследований характеризуется недостаточным и неустойчивым увлажнением с

неравномерным выпадением осадков по сезонам. Сумма осадков в среднем составляет 451 мм в год. Осень обычно теплая, продолжительная, зима короткая, мягкая, с периодами возобновления вегетации. Лето сухое и жаркое.

Из 11 лет проведения исследований (2010–2020 гг.) 4 года были острозасушливыми (316...392 мм), 4 – влажными (530...688 мм), 3 – на уровне среднегодовой нормы (435...496 мм). Период налива зерна (июнь) в 7 случаях из 11 протекал в условиях острой засухи, 2 года – при достаточном увлажнении, 2 года при удовлетворительной влагообеспеченности.

Процесс трансгрессивной изменчивости и длительность формообразования у разных комбинаций в зависимости от исходных компонентов сильно различаются. Для определения особенностей формообразования, а также связи его с характером наследования продуктивности в первом поколении и степенью трансгрессии были выбраны типичные гибридные комбинации (11 внутривидовых и 3 отдаленных). Исследуемые комбинации были получены путем гибридизации местных сортов и линий тритикале (2811/04, 2922/09, 2990/03Б, 3557/66, Кентавр, Бард, Водолей, 2669/15, 3792/10 и др.) с сортами краснодарской (Валентин, Лидер, Сотник) и зарубежной (Magnat, Bogo) селекции. Отдаленные гибридные комбинации получены с использованием озимой мягкой пшеницы 743/00, Танаис и Губернатор Дона.

Результаты и обсуждение. Внутривидовая гибридизация – наиболее простой и распространенный метод получения генетической изменчивости признаков, поддающейся отбору. Отдаленная гибридизация дает возможность обогащать геном тритикале генной плазмой современных сортов пшеницы, не прибегая к трудоемкому синтезу первичных тритикале [8, 11, 12].

За годы исследований была выполнена 3001 внутривидовая (AABBRR × AABBRR) и 57 отдаленных (AABBRR × AABBDD) комбинаций скрещивания, опылено 604992 цветка и получено 259200 семян внутривидовых гибридов, 319859 цветка и 28422 семян отдаленных комбинаций. Завязываемость гибридных семян составила 42,8 и 8,9 % соответственно. Результаты изучения характера наследования гибридами F₁-F₂ массы зерна с растения, содержания в зерне белка, клейковины и крахмала, массы 1000 зерен, длины колоса и др., в сравнении с родительскими формами, были опубликованы ранее [7, 11, 12].

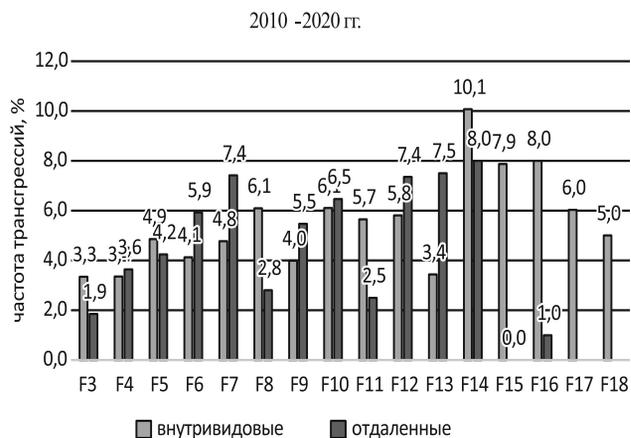


Рис. 1. Частота трансгрессий у внутривидовых и отдаленных гибридов.

Табл. 1. Эффективность отборов в питомниках в зависимости от гибридного поколения внутривидовых гибридов (2010–2020 гг.)

Поколение	СП, число семей			Доля перспективных генотипов, %*	КП, число линий			Доля перспективных генотипов, %*
	изучено	убрано	отобрано		изучено	убрано	отобрано	
F ₃	171081	10265	2070	1,2				
F ₄	14598	847	178	1,2	2050	638	241	11,8
F ₅	48764	4138	787	1,6	156	67	26	16,7
F ₆	17890	1333	296	1,7	773	304	127	16,4
F ₇	13276	1131	262	2,0	306	148	77	25,2
F ₈	10166	1016	218	2,1	314	135	46	14,6
F ₉	8770	632	130	1,5	240	139	62	25,8
F ₁₀	5628	545	126	2,2	148	67	24	16,2
F ₁₁	3260	270	61	1,9	105	46	15	14,3
F ₁₂	2250	243	54	2,4	66	22	7	10,6
F ₁₃	1810	161	30	1,7	61	29	15	24,6
F ₁₄	820	96	19	2,3	36	9	6	16,7
F ₁₅	710	63	16	2,3	23	8	4	17,4
Итого	299023	20740	4247	1,4	4278	1612	650	15,2

*критерий отбора – средний урожай в питомнике + НСР + 13 %.

Объем исследуемого материала в селекционном питомнике (СП) составлял 30...40 тыс. в год. Начиная с третьего поколения изучали трансгрессивную изменчивость в потомствах. Частота выщепления трансгрессивных по продуктивности рекомбинантов у гибридов увеличивалась от F₃ к F₅, оставалась высокой в F_{8...10}, резко возрастала в F₁₄, затем снижалась (рис. 1).

В целом, процесс формообразования у тритикале, как при внутривидовой, так и при отдаленной гибридизации у отдельных популяций может длиться до 16...18 поколения. Процесс стабилизации биотипов и возможность выделения высокопродуктивных константных форм повышается в поздних поколениях.

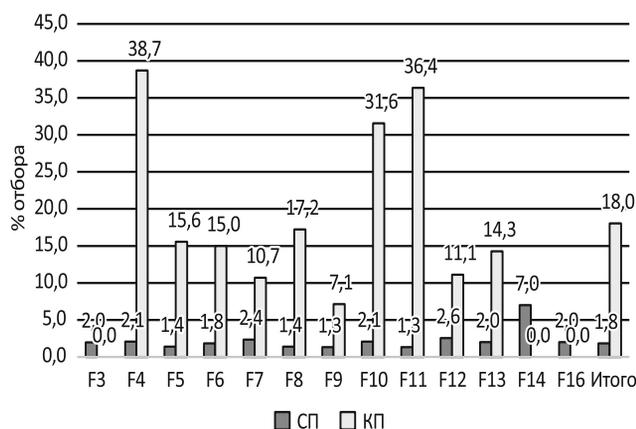


Рис. 2. Эффективность отборов в питомниках в зависимости от гибридного поколения отдаленных гибридов (2010–2020 гг.).

Частота трансгрессий у отдаленных гибридов имела два пика выщепления: F₇ и F_{12...14}. Это объясняется особенностями коадаптации – приспособления взаимодействующих аллелей в генофонде популяции, обусловленного рекомбинацией генов, давлением селекции и среды (разной в конкретные годы).

За годы исследований было изучено 299 тыс. семей в селекционном и 4278 линий в контрольном питомниках потомств внутривидового происхождения (табл. 1). Результативность при отборах перспективных генотипов в СП составила 1,4 %, в КП – 15,2 %. В зависимости от гибридных поколений самую низкую эффективность отбора в СП отмечали в F_{3...4}, более высокую – в F_{7...12}. В контрольном питомнике наибольшую долю отобранных ценных форм отмечали в F₇, F₉ и F₁₃.

На этапе СП изучено 16096 семей отдаленного происхождения, в КП – 338 семей. Доля отбора перспективных форм составила 1,8 % и 18,0 % соответственно. Среди потомств отдаленных скрещиваний в селекционном питомнике максимальная в рамках исследований эффективность отбора трансгрессивных кроссверов отмечена в F₁₄ (рис. 2). Результативность отбора у отдаленных популяций в контрольном питомнике в среднем была выше, чем у внутривидовых. Абсолютные результаты выхода ценных форм у отдаленных потомств также были больше, чем у внутривидовых, превышая 30 % в четвертом, десятом и одиннадцатом поколениях.

В целом, выход перспективных трансгрессивных рекомбинантов в ранних гибридных поколениях (F₃-F₄) невысок как при внутривидовой, так и при отдаленной гибридизации. Поэтому необходимо увеличивать долю более поздних потомств в селекционном питомнике,

Табл. 2. Частота и степень трансгрессий по продуктивности у ряда комбинаций (2010–2020 гг.), %

Комбинация		F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₅	F ₁₆
2811/04 × Корнет	частота	9,0*		0									
	степень	28,6		-39,0									
2922/04 × Трибун	частота	7,0		1,0*									
	степень	26,9		-15,0									
2990/03 × 2735/04	частота	4,0		0,5	5,5*		3,3	11,7		8,7	4,0		
	степень	51,7		-31,0	-19,0		-26,0	72,5		14,0	13,1		
2811/04 × 2812/04	частота	4,5		2,1*			1,0*						
	степень	17,6		-18,0			-19,0						
3557/06 × Magnat	частота	4,6		3,1*									
	степень	16,1		-10,0									
3096/06 × Bogo	частота	2,8		2,5	8,0*								
	степень	-1,5		-16,0	19,0								
Кентавр × Валентин	частота	3,3		5,6		28,0*		6,0		2,0			
	степень	12,8		-0,6		61,1		14,2		2,7			
2669/15 × Бард	частота	2,7			5,5			8,0*		7,0			
	степень	17,0			23,4			23,0		34,1			
3792/10 × Magnat	частота	4,0			5,0*								
	степень	5,0			39,8								
Лидер × Водолей	частота	2,0		4,5	6,3		4,2		5,0	16,2		8,3	4,7
	степень	117,0		-3,0	-14,0		7,1		21,4	58,4		34,3	21,3
Сотник × Водолей	частота	4,5		5,0			17,0		10,5	12,7	19,0		
	степень	10,0		26,7			139,0		22,6	57,0	65,0		
Дон × озимая пшеница 743/00	частота		1,0		8,0*				2,1		1,0		
	степень		56,2		21,9				-5,5		-25,0		
Гармония × озимая пшеница Танаис	частота			1,3	14,0	5,0	11,0	6,0	11,0	0			
	степень			-1,7	50,3	46,4	15,1	39,1	46,2	-9,6			

*выделен сорт

проводя повторные отборы в неконстантных формах из КП и КСИ.

При определении особенностей формообразования, а также его связи с характером наследования продуктивности в первом поколении и степенью трансгрессии, длительный период рекомбинации (до 12...16 поколения) наблюдали у комбинаций Лидер × Водолей, Сотник × Водолей и др. (табл. 2).

У комбинации 2811/04 × Корнет плюстрасгрессии выделены только в третьем поколении, а степень трансгрессии в среднем составила 28,6 % (варьирование от -28 до 79 %). В комбинациях 2922/04 × Трибун, 3557/06 × Magnat формообразование длилось до F₅. Средняя степень трансгрессий в F₃ составила соответственно 26,9 и 16,1 %, в F₅ – 15,2 и 10,3 %

Интерес представляет комбинация Лидер × Водолей. Процесс формообразования у нее прослежен до 16 поколения. Самая высокая частота трансгрессий отмечена в 11 поколении – 16,2 %, наибольшая степень – в третьем (17 %).

У комбинации 2990/03 × 2735/04 пик частоты трансгрессий по продуктивности выявлен в F₉. В этом же поколении была самая высокая степень трансгрессии – 72,5 %.

У комбинации Сотник × Водолей частота оставалась

высокой с 8 по 12 генерацию, с максимумом в F₁₂. Степень трансгрессий во всех поколениях была положительной, наиболее высокая также отмечена в F₁₂ – 139 %.

В гибридных потомствах отдаленных скрещиваний пик частоты трансгрессий приходился на F_{6...7}. Наибольшую их степень у комбинации Дон × пшеница 743/00 наблюдали в F₄, Гармония × пшеница Танаис – в F₆, 2977/05 × пшеница Губернатор Дона – в F₉.

Большинство изученных комбинаций наследовали продуктивность по типу сверхдоминирования (hp>1,0). Однако были и исключения. Так, в F₁ у комбинации 2992/03 × 2735/05 выявлена депрессия (hp = -20,0). В первом поколении популяции 3557/06 × Magnat продуктивность наследовалась промежуточно и обуславливалась доминантным действием генов (табл. 3).

В целом, продолжительность процесса формообразования зависела от характера наследования продуктивности гибридами в первом поколении. Однако у одних комбинаций со сверхдоминированием (гетерозисом) формообразование затухало в F₅ (2811/04 × Корнет; 2922/04 × Трибун), у других продолжалось до F₁₂ (Сотник × Водолей) и F₁₆ (Лидер × Водолей).

В десяти изученных комбинациях были выделены сорта (табл. 3). Их родоначальные семьи отобраны в разных поколениях, большинство из которых имели

Табл. 3. Результативность селекции озимых тритикале в зависимости от поколения отбора

Комбинация	Степень домини-рования в F_1 , hp	Изучено семей	Поколение отбора		Степень трансгрессии, %	Сорт	Внесен в Госреестр
			элитных колосьев	родоначальной семьи			
2811/04 × Корнет	16,0	380	2	F_3	113,5	Рамзай	2017
2922/04 × Трибун	14,7	300	2, 4	F_5	3,7	Атаман Платов	2018
2990/03 × 2735/04	-20,0	1340	2, 4, 5,	F_6	48,4	Гектор	2019
2811/04 × 2812/04	3,1	440	2, 4, 7	F_8	33,0	Приам	2020
3557/06 × Magnat	0,8	460	2, 4	F_5	8,6	Блюз	2021
3096/06 × Vogo	1,6	980	2,4, 5	F_6	50,3	Форте	2021
Кентавр × Валентин	1,7	610	2, 4, 6	F_7	106,4	Азнавур	
2669/15 × Бард	1,4	550	2, 5, 8	F_9	44,7	Аргус	
3792/10 × Magnat	5,5	200	2, 5	F_6	30,2	Арион	
Лидер × Водолей	13,0	1230					
Сотник × Водолей	33,7	1002					
Дон × 743/00*	-	850	3, 5	F_6	53,1	Рамзес	2017
Гармония × Танаис*	-	850					

*озимая мягкая пшеница.

достаточно высокую степень трансгрессии. Один сорт (Рамзай) получен путем однократного индивидуального отбора в популяции F_2 , 4 сорта выделены в результате двукратного, 5 сортов – трехкратного отбора в старших гибридных поколениях. Это свидетельствует о том, что селекционная проработка культуры тритикале имеет свои особенности, процесс рекомбинации в гибридных поколениях может быть длительным. Сорт Рамзес получен путем двукратных отборов из популяции Дон × линия озимой мягкой пшеницы 743/00.

Таким образом, в течение 2010–2020 гг. в условиях Федерального Ростовского АНЦ была выполнена 3001 гибридная комбинация с различными схемами скрещиваний, различной удаленностью генотипов родителей, видов злаков. По каждой комбинации было прослежено формообразование.

Для отбора высоко продуктивных и экологически пластичных сортов требуется создать генетическую изменчивость признаков, поддающихся отбору, купирующих разнообразие погодных факторов во всем их диапазоне. Это достигается путем гибридизации местных форм с большим числом общих генов и географически отдаленных генотипов из разных стран, что дает возможность получать популяции с высокой гетерогенностью.

У комбинаций с наследованием продуктивности в первом поколении по типу гетерозиса высока вероятность получения в популяциях спектра рекомбинантов с возможными трансгрессиями по многим признакам, в том числе и по продуктивности. Высокий показатель степени доминирования ($hp > 1,0$) может служить косвенным признаком перспективности и селекционной ценности комбинации, что необходимо учитывать при браковке.

Процесс рекомбинации у тритикале, как при внутривидовой, так и при отдаленной гибридизации у от-

дельных популяций может в зависимости от исходных компонентов длиться до 9...18 поколения. Комбинации, у которых родители имеют мало общих генов, контролирующих селективируемые признаки, и отдаленные в эколого-географическом отношении, обычно образуют очень гетерогенные популяции с более длительным формообразованием по годам. С участием дивергентных родителей частота трансгрессий повышается с F_3 к $F_{6...9}$, а у отдельных комбинаций остается высокой в $F_{10...12}$. Таким образом, результативность отборов у внутривидовых гибридов в селекционном питомнике повышается в старших поколениях, начиная с шестой генерации. У отдаленных комбинаций высокая эффективность отборов приходится на более поздние поколения, когда завершится коадаптация генов в популяции. Все сорта, за исключением сорта Рамзай, выделены путем двух-трехкратных отборов.

На основе приведенных методологических разработок создано 10 сортов озимого тритикале (Рамзай, Атаман Платов, Гектор, Приам, Блюз, Форте, Азнавур, Аргус и Арион).

Литература.

1. Meale S.J., McAlister T.A. Grain for feed and energy // *Triticale / ed. F.Eudes. Lethbrids: Springer, 2015. P.167–188.*
2. Wos Y.F., Brzezinski W.A. Triticale for food – the quality driver // *Triticale/ ed. F.Eudes. Lethbrids: Springer, 2015. P.189-212.*
3. Grabovets A.I., Krokhmal A.V. Winter triticale cultivar model on the Don // *Russian Agricultural Sciences. 2020. Vol. 47. No. 2. P. 95–105. doi: 10-3103/S1068367421020063*
4. Зенкина К.В., Асеева Т.А. Модель адаптированного сорта ярового тритикале для условий Дальнего Востока // *Российская сельскохозяйственная наука. 2020. №3. С. 3–5.*

5. Соколенко Н.И., Комаров Н.М., Годин Е.А. Селекционно-ориентированное изучение тритикале в условиях Северо-Кавказского региона // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т.32. № 6. С. 42–45. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10610.
6. Гриб С.И., Бушневич В.Н. Приоритетные направления и результаты селекции тритикале в Беларуси // *Тритикале: матер. заседания секции тритикале ОСХН РАН. «Тритикале. Селекция, генетика, агротехника и технологии переработки сырья»*. Ростов-на-Дону: ООО «Издательство «Юг», 2021. С. 19–32. doi: 10.34924/FRARC/2020.35.87.002.
7. Grabovets A.I., Fomenko M.A. Plus-Transgression in Winter Wheat Breeding on Frost Resistance and Productivity// *Russian Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 45. No. 5. P. 407–411. doi: 10-3103/S1068367419050082.
8. Blum A.W. The abiotic stress response and adaptation of triticale (a review) // *Cereal research communications*. 2014. Vol. 42. No. 3. P. 359–375
9. Листопадов И.Н., Шапошникова И.М. Плодородие почвы в интенсивном земледелии. М.: Россельхозиздат, 1988. 203 с.
10. Воскресенская Г.С., Шпота В.И. Трансгрессия признаков у гибридов Brassica и методика количественного учёта этого явления// *Доклады ВАСХНИЛ*. 1967. №7. С. 18–20.
11. Griffing V.A Concert of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // *Austral. J Biol.Sci.* 1956. P. 463–493.
12. Использование спельты (*Triticum spelta* L.) в селекции на качество зерна тритикале (*Triticosecale* Wittmack) / И.П. Диордиева, Я.С. Рябовол, Л.О. Рябовол и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 1. С. 31–37. doi: 10.15389/agrobiol.2019.1.31rus.

Поступила в редакцию 15.03.2021

После доработки 22.04.2021

Принята к публикации 25.05.2021

БИОРЕСУРСЫ ОВСА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЕКЦИИ НА ФИТОИММУНИТЕТ К ГРИБНЫМ БОЛЕЗНЯМ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Жуйкова, кандидат сельскохозяйственных наук,
Т.К. Шешегова, доктор биологических наук,
Г.А. Баталова, академик РАН

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: zhuikova_o@mail.ru

Иммунологический и селекционный анализ биоресурсов овса из коллекции ВИР проводили с целью поиска эффективных источников неспецифической устойчивости для селекции в естественных провокационно-инфекционных условиях развития фитопатогенов. Работу выполняли в условиях Кировской области в 2017–2020 гг. Почва опытных участков дерново-подзолистая среднесуглинистая на элювии пермских глин. Метеорологические условия вегетационных периодов способствовали развитию патогенных грибов. Материалом для исследований служили 300 образцов овса пленчатого и голозерного из России, Беларуси, Украины, Польши, США, Канады, Болгарии, Венгрии, Китая и других стран. Высокой устойчивостью к красно-бурой пятнистости (степень поражения не более 10 %) и медленным её нарастанием (slow rusting) характеризовались 36 образцов, к фузариозу метелки – 27 образцов, симптомы пыльной головни отсутствовали у 100 образцов. Комплексной устойчивостью к пыльной головне, фузариозу метелки и красно-бурой пятнистости характеризовались 13 образцов: Вектор, 363 AC M₃, 351 AC M₃ (РФ), Гоша (Беларусь); MF9521-214, 100433-4, 100433-5, Y201-150-8-19, AJAY (США), OAC PAISLEY, CDC DANCER, AC FRANCIS (Канада), Ozon (Германия). Выделены генотипы, сочетающие устойчивость к биотическим стрессорам с высокими показателями хозяйственно-ценных признаков: 120h2106 (натура зерна 598 г/л, масса 1000 зерен 39,8 г), 351 AC M₃ (натура зерна 600 г/л и масса 1000 зерен 40,4 г), WERVA (масса зерна с растения 1,63 г, масса 1000 зерен 41,2 г, продуктивная кустистость 1,5 шт.), Ozon (натура зерна 628 г/л, озерненность метелки 30...46 зерен), Bohun (урожайность зерна до 1058 г/м²), AC FRANCIS (натура зерна 594 г/л, масса 1000 зерен 39,2 г), AJAY (натура зерна 608 г/л, масса 1000 зерен 40,4 г).

BIORESOURCES OF OATS FOR USE IN SELECTION FOR PHYTOIMMUNITY TO MUSHROOM DISEASES IN KIROV REGION

Zhuikova O.A., Sheshegova T.K., Batalova G.A.

Federal Agricultural Scientific Center of North-East,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166 A
E-mail: zhuikova_o@mail.ru

The research was carried out in the FSBSI FASC of the North-East in 2017-2020. The aim of the research is immunological and selective analysis of oats bioresources from the RIP collection and the search for effective sources of non-specific resistance for breeding in the natural provocative and infectious conditions of phytopathogen development. The soil of the experimental plots is sod-ash medium loamy on the eluvium of Permian clays. The meteorological conditions of the growing seasons had a favorable effect on the development of pathogenic fungi. The research material was 300 samples of filmy and naked oats. The gene pool is represented by samples from Russia, Belarus, Ukraine, Poland, USA, Canada, Bulgaria, Hungary, China and other countries. During the immunological analysis, it was found that 36 samples were characterized by high resistance to red-brown spotting (the degree of damage to the disease did not exceed 10%) and its slow growth (slow rusting), 27 samples - by fusarium panicle, and 100 samples had no symptoms of dusty smut. 13 samples were characterized by complex resistance to dust smut, panicle fusarium and red-brown spotting: Vector, 363 AC M₃, 351 AC M₃ (Russia), Gosha (Belarus); MF9521-214, 100433-4, 100433-5, Y201-150-8-19, AJAY (USA), OAC PAISLEY, CDC DANCER, AC FRANCIS (Canada), Ozon (Germany). Samples combining resistance to biotic stressors with high indicators of economically valuable traits were identified: 120h2106 (grain size 598 g/l, weight of 1000 grains 39,8 g), 351 AC M₃ (grain size 600 g/l and weight of 1000 grains 40,4 g), WERVA (grain weight per plant 1,63 g, weight of 1000 grains 41,2 g, productive bushiness 1,5 pcs.), Ozon (grain size 628 g/l, panicle lake content 30-46 grains), Bohun (grain yield up to 1058 g/m²), AC FRANCIS (grain size 594 g/l, weight of 1000 grains 39,2 g), AJAY (grain size 608 g/l, weight of 1000 grains 40,4 g).

Ключевые слова: овес (*Avena sativa*), красно-бурая пятнистость листьев (*Drechslera avenae* (Eidam) Scharif), корончатая ржавчина (*Puccinia coronata* Cda. f.sp. *avenae* Fraser et Led), фузариоз метелки (*Fusarium* spp.), пыльная головня (*Ustilago avenae* (Jens. Pers.), комплексная устойчивость

Key words: oats (*Avena sativa*), red-brown leaf spotting (*Drechslera avenae* (Eidam) Scharif), crown rust (*Puccinia coronata* Cda. f.sp. *avenae* Fraser et Led), fusariosis of panicle (*Fusarium* spp.), dusty smut (*Ustilago avenae* (Jens. Pers.), complex stability

Возможности современной селекции позволяют создавать все более урожайные сорта сельскохозяйственных культур. Однако их высокий продукционный потенциал часто остается нереализованным из-за воздействия разного рода биотических и абиотических факторов, прежде всего, болезней и вредителей [1]. В посевах овса в агроэкологических условиях европейского северо-востока РФ наибольшее распространение и экономически значимую вредоносность имеют красно-бурая пятнистость грибной этиологии (*Pyrenophora avenae* Ito et Kuribay, анаморфа – *Drechslera avenae* (Eidam) Scharif), корончатая ржавчина (*Puccinia coronata* Cda. f.sp. *avenae* Fraser

et Led), фузариоз метелки и зерна (*Fusarium* spp.) [2]. До сих пор не решена проблема устойчивости к головным болезням, среди которых наиболее опасна пыльная головня (*Ustilago avenae* (Jens. Pers.) [3]. Катализатором повышения природной инфекционной нагрузки часто становятся благоприятные для патогенов средовые факторы [4]. В этом случае высокий естественный инфекционный фон позволяет с большой долей достоверности оценивать устойчивость генотипов к болезням в полевых условиях. В Кировской области в последние десятилетия негативные факторы (нарушение агротехнологий, низкое плодородие почвы, насыщение севооборотов зерно-

выми культурами и др.) аккумулируются и усиливаются.

Создание устойчивых сортов сопряжено с постоянным поиском эффективных источников признаков как основы для синтеза новых доноров [5]. С другой стороны, донорный фонд не статичен вследствие появления новых патотипов (рас, штаммов) в популяциях возбудителей и преодоления генов резистентности. Поэтому возможность длительного использования сорта в производстве основана на включении в селекцию генетически разнообразного материала, у которого устойчивость к стрессовым факторам разумно сочетается с высокими показателями других признаков [6]. Один из наиболее ценных резервов генов фитоиммунитета – образцы овса из мировой коллекции ВИР, характеризующиеся широким полиморфизмом по многим признакам и свойствам [7]. Для обеспечения результативности иммунологических исследований оценку генофонда необходимо проводить в условиях жестких инфекционных фоноов (естественных или искусственных).

Цель исследований – иммунологический и селекционный анализ биоресурсов овса плечатого и голозерного для поиска эффективных источников неспецифической устойчивости.

Методика. Работу проводили в 2017–2020 гг. на базе ФАНЦ Северо-Востока. Почва опытных участков ФАНЦ Северо-Востока дерново-подзолистая средне-суглинистая на элювии пермских глин с содержанием гумуса 2,43...2,51 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора и калия – 334...339 и 200...245 мг/кг почвы (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91), pH – 5,7...6,0 ед. (колориметрический метод, ГОСТ 26212-91). Материалом служили около 300 плечатых и голозерных образцов овса из ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Основная часть генофонда была представлена образцами из России, США, Беларуси и Китая. По видовой структуре они относились к *Avena sativa* L., *A. byzantina* C. Koch, *A. strigosa* Schreb. и к смешанным популяциям – *A. sativa* + *A. byzantina*.

Посев в коллекционном питомнике проводили на делянках площадью 1...5 м² (по наличию семян), повторность 2...3-х кратная. Оценку устойчивости к пыльной головне осуществляли по шкале В.И. Кривченко с соавторами (1977), к корончатой ржавчине – по шкале Петерсона (Э.Э. Гешеле, 1971); к фузариозу – по шкале М.М. Ковалевой и Т.Ю. Гагкаевой (2008), индикаторными сортами были наиболее восприимчивые к болезни (степень поражения до 50 %) GN 09146 и GN 08207 (Норвегия), а также Poseidon (Гермния); к красно-бурой пятнистости – по методике О.С. Петровой и О.С. Афанасенко (2003), индикаторный сорт – наиболее восприимчивый к болезни (степень поражения 44 %) Мутика 4040 (Алтайский край). Учет болезней проводили однократно в период наибольшего их развития. Красно-бурую пятнистость в 2019 г. тестировали в динамике онтогенеза растений каждые 9...12 дней, начиная с фазы 32 и до фазы 75 (по шкале Цадокса). При изучении характера взаимодействия в патокмплесе *Avena sativa* L – *Drechslera avenae* оценивали скорость нарастания инфекции у изучаемых образцов овса и рассчитывали показатель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), разработанный D.F. Johnson и R.D. Wilcoxson (1981). Затем вычисляли относительный показатель – индекс устойчивости (ИУ), как отношение ПКРБ изучаемого образца к ПКРБ наиболее восприимчивого. ИУ позволяет более корректно классифицировать образцы по устойчивости [5].

Экологическую пластичность и отзывчивость кол-

лекционных образцов овса по устойчивости к красно-бурой пятнистости определяли по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell (1966) в изложении В.З. Пакудиной и Л.М. Лопатиной (1984). Рассчитанные параметры b_1 и S^2d_1 позволяют распределить их по группам реакции в лучших или худших иммунологических условиях.

Метеорологические условия в период вегетации растений характеризовались достаточным увлажнением, о чем косвенным образом свидетельствует величина гидротермического коэффициента (ГТК): в 2017 г. – 1,68, в 2018 г. – 1,50, в 2019 г. – 1,20, в 2020 г. – 1,53. Это стимулировало ускоренное развитие патогенной микрофлоры и усиливало степень поражения растений грибными болезнями.

Для обработки результатов исследований применяли пакет селекционно-ориентированных и биометрико-генетических программ AGROS, версия 2.07 и пакет прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Среди диагностируемых болезней наибольшее развитие имела красно-бурая пятнистость листьев. Степень поражения индикаторных сортов в 2017 г. достигала 52,8 %, в 2018 г. – 39,0 %, в 2019 г. – 44,0 %, в 2020 г. – 33,0 %. Ежегодное сильное поражение растений овса этой вредоносной болезнью отмечают и другие авторы [8]. В наших исследованиях иммунных образцов не выявлено. Преобладали неустойчивые и восприимчивые форм, доля высокоустойчивых (степень поражения до 10 %) плечатых генотипов составила 28 %, голозерных – 12 % (см. рисунок). При этом отмечали значительную дифференциацию генофонда по восприимчивости к болезни в зависимости от географического происхождения образцов и видовой принадлежности овса. Крайне узким генетическим разнообразием по устойчивости к красно-бурой пятнистости характеризовались образцы из РФ. В изученном материале преобладали среднеустойчивые формы. Среди плечатых образцов можно выделить такие высокоустойчивые формы с наименьшим развитием болезни (до 10,0 %), как Стиплер, КСИ 432/08 (Ульяновская обл.), Орфей (Алтайский край), 351 АС М₃ (Краснодар), 23h2201 (Московская обл.), среди голозерных – КСИ 36-14 (Московская обл.). Об-



Распределение коллекционных образцов плечатого и голозерного овса различного эколого-географического происхождения по устойчивости к красно-бурой пятнистости (2017–2020 гг.).

разцы североамериканского и восточно-европейского происхождения отличались относительно большей частотой высокоустойчивых генотипов, которая составила в среднем 13,6 %. Среди них наименьшая степень поражения (до 10,0 %) отмечена у плечатых образцов 100433-4 (США), OAC PAISLEY, CDC DANCER (Канада), KREZUS, ROCKY, Symphony (Германия), АЛЬФ (Украина); голозерных – MF9018-117 и MF9016-31 (США), к-15248 местный (Польша); Гоша и BYAS-161 (Беларусь). Стандарты Кречет и Вятский были восприимчивыми к красно-бурой пятнистости.

Больше всего устойчивых форм относилось к культурному диплоидному виду *A. strigosa* Schreb. Среди разновидностей *A. sativa* L. белозерные формы (*var. mutica*, *var. aristata*) были менее восприимчивы к красно-бурой пятнистости при средней степени поражения (15 %), чем желтозерные (*var. aurea*), степень поражения которых составила в среднем 22 %.

В ходе иммунологического мониторинга выявлены образцы с медленной скоростью нарастания (*slow rusting*) инфекции *D. avenae* в онтогенезе растений и высокой неспецифической устойчивостью к красно-бурой пятнистости. Так, у 40 образцов в фазе 31...32 по шкале Цадокса симптомы поражения отсутствовали, тогда как у остальных генотипов его уровень составлял 0,5...6,0 %. При втором учете (фаза 51...55) иммунные образцы отсутствовали, а количество высокоустойчивых составило 98 шт., к фазе 61...65 величина этого показателя снизилась до 78 образцов. В фазе молочной спелости зерна (фаза 75) поражение индикаторного сорта Мутика 4040 (Алтайский край) составило 44,0 %. Величина показателя ПКРБ варьировала от 96 (Стиплер) до 637 (LITOVSIJ NAGIJ), ИУ – от 0,20 до 1,35. С учетом уровня развития болезни, а также значений ПКРБ и ИУ, определенную иммунологическую ценность в селекции на устойчивость к красно-бурой пятнистости листьев имеют 36 образцов (см. табл.).

Оценить влияние средовых факторов на восприимчивость к красно-бурой пятнистости возможно с использованием индекса условий среды (I_j), который по годам изменялся от -2,10 до +1,64. Лучшие условия для реализации потенциальных иммуногенетических возможностей генотипов складывались в 2020 г. при

значении $I_j = +1,64$. Отрицательные индексы в другие годы свидетельствуют о снижении адаптивности и устойчивости изучаемого генофонда овса на фоне нестабильности агроклиматических условий.

Среди коллекционных образцов с замедленным развитием (*slow rusting*) красно-бурой пятнистости наибольшей отзывчивостью на изменение средовых факторов характеризовались Мутика 4143, КП 33-14, 353 AC M5, 120h2106 (РФ); Дарунок (Украина); BORYNA, Deresz (Польша); Husky (Германия); SW Tugeborg (Швеция); MF9224-164 (США); CDC Dancer (Канада); URS Corona, URS Guara и URS Estampa (Бразилия). Степень поражения их в среднем за 3 года составила от 7,2 до 16,8 % при относительно высоком показателе линейной регрессии $b_1 = 1,29...4,64$. У среднеустойчивых стандартов Кречет и Вятский его величина составляла 2,05 и 2,38. При выращивании этих сортов с учетом динамики средовых факторов необходимы своевременные мероприятия по защите от болезни. Самую слабую реакцию на изменение условий наблюдали у 24 генотипов: Стиплер, Вектор, Фома, Орфей, Тройка, 351 AC M₃, КСИ-36-14 (РФ); BYAS 160, BYAS 161, Гоша (Беларусь); Бусол (Украина); PZS-LYM 02 (Китай); Gwal (Польша) и др. При степени поражения их от 6,8 до 12,6 % величина показателя линейной регрессии (b_1) варьировала от 0,68 до 0,82. Они характеризуются стабильно высокой устойчивостью к красно-бурой пятнистости, которая при изменении условий среды существенно (при $P \geq 0,95$) не снижается. Отмеченный среди них образец MF9016-31, по данным И.Г. Лоскутова и Е.В. Блиновой [9], проявляет это свойство и в северо-западном регионе РФ.

Ценны генотипы с наименьшей дисперсией отклонения от линии регрессии (S^2_d). Они более устойчивы во времени и пространстве. По вариансе стабильности выделены 9 коллекционных образцов (Вектор, КСИ-36-14, Гоша, GENZINA, KREZUS, Tertuf, CDC Dancer, SW Margaret, URS Corona), у которых значение S^2_d (0,01...0,32) не выходит за пределы единицы. Наибольшей иммунологической нестабильностью в изученном генофонде характеризовались образцы: Deresz ($S^2_d = 93,2$), BYAS 160 ($S^2_d = 66,2$), Крече т ($S^2_d = 50,0$), Вятский ($S^2_d = 46,4$), MF9521-462 ($S^2_d = 31,5$), PZS-LYM 02 ($S^2_d = 24,7$).

Устойчивые и с медленным нарастанием (*slow rusting*) красно-бурой пятнистости коллекционные образцы овса

№ в каталоге ВИР	Название образца	Происхождение	Динамика развития болезни, %				ПКРБ	ИУ
			фаза учета по шкале Цадокса					
			31...32	51...55	61...65	75		
15383	ДАРУНОК	Украина	1,0	5,5	6,0	6,5	184	0,39
15465	Жорга	Казахстан	1,0	3,0	4,0	9,0	147	0,31
15388	Saltaret	Молдова	1,0	5,5	6,0	6,5	184	0,39
15293	BORYNA	Польша	0,5	5,5	5,5	7,7	182	0,38
15426	WERVA	Германия	0,5	6,5	6,5	7,7	206	0,43
15301	CDC DANCER	Канада	0,2	5,5	6,5	9,0	201	0,43
15481	URS Corona	Бразилия	0,2	6,5	6,5	7,8	205	0,44
15380	ОТРАДА	Тюменская обл.	0,3	1,0	6,5	8,0	143	0,30
4171	351 AC M3	Краснодар	1,0	6,5	6,5	8,0	211	0,45
3892	BYAS-161	Беларусь	0	4,5	4,5	5,5	142	0,30
15226	MF9521-462	США	0	5,5	5,5	6,0	168	0,36
	Мутика 4040 (индикаторный сорт)	Алтайский край	6,0	20,0	22,0	44,0	471	

Как отмечают Т.Ю. Гагкаева и О.П. Гаврилова [10], в посевах овса в Нечерноземной зоне РФ все чаще стали встречаться типичные симптомы фузариоза. В наших исследованиях не выявлено достоверных (при $P \geq 0,95$) различий между проявлением болезни у пленчатых и голозерных форм, которые поразились в среднем на 12,5 % и 10 %, соответственно. Поражение индикаторных сортов варьировало от 30 % в 2020 г. до 50 % в 2018 г. Иммуных образцов не выявлено, но стабильно высокой устойчивостью к болезни характеризовались пленчатые формы 322 AC M₁, 353 AC M₂, 351 AC M₃, Стиплер, Орфей, Тройка, Кентер, КСИ 731/01, КСИ 432/08, КСИ 731/01, КСИ 590/05, КСИ 542/05, 120h2106 (РФ); OAC PAISLEY (Канада); KREZUS (Германия); голозерные – КСИ 36-14 (РФ); MF8891-2021 (США); BYAS-159 (Беларусь) и др. Стандарты Кречет и Вятский проявляли среднюю устойчивость к фузариозу метелки.

В 2017 г. поражение пыльной головней не превышало 0,04 %, а в 2018–2020 гг. достигало 0,9 %. Отсутствовало оно у более чем 100 изученных образцов. Среди них уже отмеченные ранее как устойчивые к красно-бурой пятнистости или фузариозу: Вектор, 363 AC M₆, 351 AC M₂, 120h2106 и др. (РФ), Гоша (Беларусь); MF9521-214, 100433-4, 100433-5, Y201-150-8-19, AJAY (США), OAC PAISLEY, CDC DANCER, AC FRANCIS (Канада), Ozon (Германия). Следует отметить очень высокую долю восприимчивых пленчатых форм среди скандинавских и западноевропейских образцов (поражение болезнью достигало 83 и 35 % соответственно); голозерных – среди восточноевропейских, монголо-китайских и западносибирских (82, 100 и 65 % соответственно).

Недостаточная сумма эффективных температур и обильные дожди в июле 2017 г. привели к интенсивному нарастанию ржавчинной инфекции, степень поражения корончатой ржавчиной восприимчивых сортов достигала 70 %. В другие годы исследований развитие болезни было незначительным или экономически незначимым. Высокую устойчивость к корончатой ржавчине проявили пленчатые образцы из США (OAC PAISLEY, CDC DANCER), Канады (AC FRANCIS), Германии (SCORPION, TYPHOON, WERVA), Норвегии (HURDAL, ODAL и др.), Польши (Bohun), Украины (АЛЬФ, СОЛО и др.), России (СИГ, АСТАД, НАРПС, 322 AC M₁, и др.), а также голозерные из США (MF8891-2021, MF9224-164 и др.), Польши (VENTURA), Китая (PZS-LYM-03) и России (Тайдон, ПОМОР, ПРОГРЕСС).

Следует отметить селекционную ценность генотипов, сочетающих комплексную устойчивость с другими признаками. Так, образец WERVA (Германия) имел высокую продуктивную кустистость (1,3...1,5 шт.), массу зерна с растения (1,63 г) и массу 1000 зерен (41,2 г); Bohun (Польша) характеризовался высокой урожайностью (456...1058 г/м²); Ozon (Германия), который сейчас активно вовлекается в программу скрещиваний в ФАНЦ Северо-Востока, – крупным выполненном зерном (натура 596...628 г/л) и озерненной метелкой (30...46 зерен). Выделены крупнозерные образцы с натурной массой от 594 г/л до 608 г/л и массой 1000 зерен от 39,2 г до 40,4 г: AC FRANCIS (Канада), AJAY (США), 120h2106, 351 AC M₃ (Россия).

Таким образом, по результатам исследований среди изученных коллекционных образцов овса пленчатого и голозерного иммуны к красно-бурой пятнистости листьев, фузариозу метелки, пыльной головне и

корончатой ржавчине не выявлены. Выделены высокоустойчивые к одному или двум биотическим стрессорам. Среди них можно отметить следующие: устойчивые к красно-буропятнистости листьев – Дарунок, Бусол (Украина), Жорга (Казахстан), Saltaret (Молдова), Cwal, Deresz (Польша), URS Corona, URS Estampa (Бразилия) и др., к корончатой ржавчине – OAC PAISLEY, CDC DANCER, MF8891-2021, MF9224-164 (США), SCORPION, TYPHOON (Германия), HURDAL (Норвегия), АЛЬФ, СОЛО (Украина), СИГ, АСТАД, НАРПС, 322 AC M₁, Тайдон, ПОМОР, ПРОГРЕСС (Россия) и др., к пыльной головне – Вектор, 363 AC M₆, 351 AC M₂, (Россия), Гоша (Беларусь); MF9521-214, 100433-4, 100433-5, Y201-150-8-19, AJAY (США), OAC PAISLEY, CDC DANCER, AC FRANCIS (Канада), и др. Комплексную устойчивость к красно-бурой пятнистости листьев, корончатой ржавчине и пыльной головне с другими хозяйственно-ценными признаками сочетают такие образцы, как WERVA, Bohun, AC FRANCIS, AJAY, 120h2106, 351 AC M₃, Ozon, которые представляют особую ценность для селекции.

Литература.

1. Санин С.С. Фитосанитарные проблемы интенсивного растениеводства // *Защита и карантин растений*. 2013. № 12. С. 3–8.
2. Источники устойчивости овса и ячменя к болезням и их использование в селекции НИИСХ Северо-Востока / Т.К. Шешегова, Т.П. Градобоева, Г.А. Баталова и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2013. Т. 171. С. 64–69.
3. Градобоева Т. П., Баталова Г. А. Влияние факторов среды на устойчивость овса к пыльной головне // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 3(69). С. 72–76. doi: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-72-76
4. Нешумаева Н.А., Сидоров А.В., Голубев С.С. Селекция яровой пшеницы на устойчивость к пыльной головне // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 6. С. 36–40.
5. Новый подход к структурированию сортового разнообразия голозерных и пленчатых форм культурного овса (*Avena sativa* L.) / И.Г. Лоскутов, Т.В. Шелена, А.В. Конарев и др. // *Экологическая генетика*. 2020. Т. 18. №1. С. 27–41. doi: 10.17816/ecogen12977
6. Создание исходного материала овощных культур / В.Ф. Пивоваров, О.Н. Пышная, Н.А. Шмыкова. // *Сельскохозяйственная биология*. 2012. № 5. С. 39–47.
7. Mapping of the Loci Controlling the Resistance to *Pyrenophora teres f. teres* and *Cochliobolus sativus* in two Double Haploid Barley Populations / O.S. Afanasenko, A.V. Kozjakova, P.E. Hedlayb, et al. // *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2015. Vol. 5. No. 3. pp. 242–253.
8. Варгач Ю.И., Лоскутов И.Г. Особенности хозяйственно ценных признаков культурного овса в Центральном Нечерноземье РФ // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. № 72. С. 67–72. DOI: 10.21515/1999-1703-72-67-72
9. Лоскутов И.Г., Блинова Е.В. Генетические ресурсы овса для перспективных направлений селекции // *Труды по прикладной ботанике, генетике, селекции*. 2013. Т. 171. С. 42–45.
10. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П. Особенности поражения овса фузариозом // *Сельскохозяйственная биология*. 2011. №6. С. 3–10.

Поступила в редакцию 13.05.2021
После доработки 23.06.2021
Принята к публикации 05.07.2021

АДАПТИВНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ ПО РЕОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ СУСПЕНЗИИ ШРОТА

Т.Я. Ермолаева, Н.Н. Нуждина, Д.В. Goverдов, Л.Н. Злобина, кандидаты сельскохозяйственных наук,
О.В. Крупнова, доктор биологических наук,
И.А. Осыка, Т.Б. Кулеватова, кандидаты биологических наук

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока,
410010, Саратов, ул. Тулайкова, 7
E-mail: raiser_saratov@mail.ru

Исследования проводили с целью сравнительной оценки содержания пентозанов в зерне и определения реологических свойств водных суспензий шрота (1:4) 23 районированных сортов озимой ржи отечественной селекции. Работу выполняли в 2017–2019 гг. Определяли показатели вязкости во времени и скорость её нарастания, связь динамики изменения вязкости водной суспензии с показателями крупности зерна, объёма формового хлеба, отношения высоты к диаметру подового хлеба; рассчитывали показатели адаптивности сортов по вязкости суспензии, отражающей содержание пентозанов в зерне. Для улучшения низкопентозановых партий зерна при использовании в хлебопекарном производстве пригодна продукция сортов с высокой вязкостью суспензии ржаного шрота и стабильностью этого признака по показателю экологической регрессии ($S\%(RG) < 5$), в среднем за 3 года такими характеристиками обладали сорта Московская 12 (523,3 единицы вискографа), Тантана (670,0 еВ), Таловская 41 (581,7 еВ), Чулпан 7 (696,7 еВ), Фаленская 4 (790,0 еВ), Рушник (876,7 еВ). Зерно саратовских сортов Марусенька и Саратовская 7 с низкой вязкостью суспензии (330,0 еВ и 358,3 еВ соответственно) и высокой стабильностью этого признака по коэффициенту регрессии ($0,8 \leq b_i < 0,9$) можно использовать для выпечки формовых изделий, при производстве крахмала, кормов, этанола. В условиях повышенного увлажнения (2017 г.) сформировалось зерно с вязкостью суспензии VS_{30} на 30 % ниже, чем в среднем за 3 года.

ADAPTIVITY OF WINTER RYE VARIETIES ON REOLOGICAL PROPERTIES OF AQUEOUS SUSPENSIONS OF MEAL

Ermolaeva T.Ya., Nuzdina N.N., Goverdov D.V., Zlobina L.N.,
Krupnova O.V., Osyka I.A., Kulevatova T.B.

Federal Center of Agriculture Research of South-East Region,
410010, Saratov, ul. Toulaiikov, 7
E-mail: raiser_saratov@mail.ru

The rheological properties of aqueous suspensions of meal (1: 4) of 23 registered winter rye varieties of home selection for the purpose of their comparative assessment by the content of pentosans in the grain have been investigated. The relationship between the dynamics of changes in the viscosity of the water-meal suspension and the following indicators is studied: grain size, volume of molded loaves, the ratio of height to diameter at the bread volume. The calculation of indicators of adaptability of varieties was conducted according to the viscosity of the suspension after 30 minutes of the experiment to determine the rheological properties of aqueous meal suspensions, reflecting the content of pentosans in the grain. The tests were carried out in 2017-2019 with grain from two replicates of the field experiment from plots of 13.2 m². Grain of varieties with high viscosity of rye meal suspension and stability of this indicator under changing conditions (on average over 3 years) Moskovskaya 12 (523.3 Viscograph units), Tantan (679.0 Vu), Talovskaya 41 (581.7 Vu), Chulpan 7 (696.7 Vu), Falenskaya 4 (790.0 Vu), Rushnik (876.7 Vu) – $S\%(RG) < 5$ can be used to improve of low-pentosan grain batches for bakery production. The low viscosity of the suspension, in comparison with other zoned varieties, and the high stability of this trait in terms of the regression coefficient on average over 3 years, are demonstrated by the Saratov varieties Marusenka (330.0 Vu.), Saratovskaya 7 (358.3 Vu) – $0.8 \leq b_i < 0.9$ the grain of which can be used for baking molded products, in the production of starch, feed, ethanol. In conditions of increased moisture (2017), grain is formed with the viscosity of the VS_{30} suspension on 30% lower in comparison with the average for 3 years.

Ключевые слова: озимая рожь, сорт, вязкость суспензии, хлебопекарные показатели качества зерна, экологическая пластичность и стабильность

Key words: winter rye, variety, slurry viscosity, baking qualities of grain, ecological plasticity and stability

Актуальное направление селекции сельскохозяйственных культур – создание сортов целевого назначения. На сегодняшний день выведены и успешно используются сорта озимой ржи, предназначенные для хлебопекарной или комбикормовой промышленности. С учётом применения в пищевой отрасли различных добавок, корректирующих хлебопекарные качества муки, а также разработки и реализации комплекса мероприятий, улучшающих переваримость кормов, необходимо знать предварительные характеристики зерна сортов ржи для его эффективного использования.

Один из важных показателей качества зерна ржи – вязкость шрота, обусловленная содержанием водорастворимых пентозанов. Пентозаны – олигосахариды,

состоящие, главным образом, из арабинозы и ксилозы, которые относятся к классу гемицеллюлоз, растворимых в воде. Содержание пентозанов обусловлено генотипом и может определяться различными методами [1]. Высокая водоудерживающая способность пентозанов ржи способствует поддержанию объёма теста при его подъёме, а также определяет длительность хранения хлеба. Проведёнными ранее исследованиями показано, что при выпечке формового хлеба из зерна низкопентозановых сортов, выращенного в засушливой зоне, с высокими показателями качества (число падения, высота амилограммы) формируется мякиш с оптимальной пористостью [2]. При этом известна нежелательность использования зерна высокопентозановых сортов на

кормовые цели без дополнительной обработки, поскольку именно высокая вязкость вызывает проблемы с перевариванием корма у животных и птиц [3].

Косвенное определение количественного содержания пентозанов возможно путем оценки реологических свойств водных суспензий на вискографе фирмы «Brabender», так как экстрагируемая вязкость зерна ржи непосредственным образом связана с молекулярным весом водорастворимых пентозанов [4]. Возможность фенотипической оценки содержания пентозанов в ржаном шроте методом определения вязкости водного экстракта подтверждают М.Л. Пономарёва и соавт. [5].

Системы ржаной шрот – вода анализируют при температурах от 20 °С до 42 °С (рабочая область ферментов), оптимум действия пентозаназ – ферментов, катализирующих гидролиз пентозанов, находится в пределах от 35 °С до 42 °С. Система ржаной шрот – вода очень сложна по химическому составу и с точки зрения физической коллоидной химии относится к категории дилатантных жидкостей, которым присуще явление реопексии: вязкость системы увеличивается во времени при постоянном напряжении. Связано это с тем, что во время перемешивания при комнатной температуре группы крахмальных зёрен разрушаются, и к каждому из них по действием сил Ван-дер-Ваальса начинают прикрепляться кластеры дистиллированной воды (H₂O)_n, создавая гидрофобную оболочку. При этом разрушения самого крахмального зерна не происходит. Высота начальной точки кривой набухания показывает первоначальную вязкость в зависимости от гидрофильных свойств всех компонентов муки. Реологическое поведение, вернее динамика и кинетика, определяемое через численные значения скорости нарастания вязкости имеет важное значение для выбора режимов работы технологического оборудования при производстве хлебобулочных изделий [6]. Изучение влияния вязкости водного экстракта и выхода муки на динамику признаков качества зерна ржи показало, что они коррелятивно связаны между собой [7].

Цель исследований – оценить реологические свойства водной суспензии ржаного шрота из зерна сортов озимой ржи разного эколого-географического происхождения для определения генотипически обусловленного уровня пентозанов и оптимального направления использования. В задачи исследований входило: определить стабильность и пластичность генотипов по вязкости суспензии, а также динамику изменения реологических свойств; изучить на сортовом уровне взаимосвязь между косвенно оценённым содержанием пентозанов и крупностью зерна, а также между основными хлебопекарными показателями и уровнем вязкости водной суспензии шрота.

Методика. Работу проводили в лаборатории селекции и семеноводства озимой ржи ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» в 2017–2019 гг. Объектом исследования служили 23 сорта озимой ржи отечественной селекции. В 2019 г. сорт Подарок в связи с недостатком оригинальных семян был заменен на новый районированный сорт Саратовская 10. Опытный участок расположен в пристанционном севообороте, г. Саратов. Предшественник – чёрный пар, площадь делянки – 13,2 м², повторность двукратная, норма высева – 4,0 млн. всхожих зёрен на гектар. Тип почвы – южный чернозём, рН – 5,4. Почвы хорошо оструктурены, обладают оптимальным водно-воздушным режимом, содержание гумуса 4,05...4,79 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО), подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 9,5...38,6 и 140,0...150,0 мг/кг почвы, нитратного

азота (потенциметрическим методом на иономере) – 55,8...68,2 мг/кг почвы.

К особенностям метеоусловий активного вегетационного периода 2017 г. относятся пониженный температурный режим мая–июля (на 1° меньше нормы) и повышенное количество осадков, сумма которых за эти месяцы составила 219 мм (158 % нормы), ГТК_{мая-июля} = 1,4. Начало активной вегетации в 2018 г. также сопровождалось пониженным температурным режимом с мая по начало июня (на 4...7° ниже нормы), сумма осадков за июнь составила 8 мм (20 % от нормы), гидротермический коэффициент за май – июль был равен 0,6, что соответствует среднезасушливым условиям. Дожди пошли только в период уборки урожая. Лето 2019 г. характеризовалось высоким температурным режимом и пониженным количеством осадков. В июне температура воздуха превысила норму на 3,4 °С, а сумма осадков составила всего 7 мм (17 % от нормы). Гидротермический коэффициент за май–июль был равен 0,4, что соответствует сильнозасушливым условиям. В июле аномалия среднемесячной температуры воздуха была ниже среднемноголетней на 0,4 °С, сумма осадков составила 48 мм (107 % нормы), гидротермический коэффициент за май–июль – 0,6, что соответствует среднезасушливым условиям.

Реологические свойства водных суспензий шрота (соотношение шрот-вода 1:4) определяли на роторном вискографе фирмы «Brabender» по разработанной в лаборатории качества методике [2]. Вязкость суспензии в единицах вискографа (eВ) фиксировали при достижении температуры 20° (BC₁₀), а также через 10 и 30 минут эксперимента (BC₁₀, BC₃₀). Пониженная температура опыта позволяет замедлить активность ферментов вследствие снижения кинетических свойств молекул субстрата, при непрерывном смешивании вязкость суспензии увеличивается под влиянием реологических свойств алейроновых пентозанов. Кроме того, рассчитывали средние скорости изменения вязкости через 10 минут и 30 минут ($V_{10} = (BC_{10} - BC_0)/10$, $V_{30} = (BC_{30} - BC_0)/30$). Для исследования использовали зерно с двух полевых повторностей. Выпечку пробных хлебцев осуществляли безопарным методом из 300 г сеяной муки (сито № 45) по методике, рекомендованной при Госсортиспытании. У подовых хлебцев определяли отношение высоты (H) к диаметру (D); у формовых – объём (V, см³). Статистическую обработку результатов исследований проводили методами однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа, а также регрессионного анализа с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2,07). Пластичность по коэффициенту регрессии b_i и стабильность по среднему квадрату отклонений от линии регрессии S²d_i (варианса стабильности) оценивали методом Эберхарта–Рассела [8]. Интерпретацию данных по стабильности на основе экологической регрессии проводили согласно методике Н.А. Плохинского [9]: очень малой доле взаимодействия генотипа со средней соответствует S% < 2,5; малой – S% < 5; средней – S% < 7,5; высокой S% < 10; очень высокой S% > 10.

Результаты и обсуждение. В 2017 г. достоверные отличия между сортами по вязкости суспензии наблюдались в течение всего опыта. Наименьшей величиной этого показателя характеризовались сорта Саратовская 7 (стандарт) и Марусенька (табл. 1). Следует отметить, что в засушливых степных условиях они формируют хорошо выполненное зерно с высокими величинами показателей высота амилограммы и число падения,

Табл. 1. Реологические свойства водных суспензий шрота сортов ржи, крупность зерна и показатели качества хлебцев (2017 г.)

Сорт	Показатель реограммы вискографа, еВ			Скорость изменения вязкости, еВ/мин		Масса 1000 зёрен, г	Отношение Н/Д	Объём формового хлебца, см ³
	BC ₀	BC ₁₀	BC ₃₀	V ₁₀	V ₃₀			
Марусенька	140	173	190	3,3	1,7	48,0	0,22	445
Валдай	170	250	280	8,0	4,4	39,0	0,28	420
Альфа	170	280	350	11,0	6,0	37,3	0,32	435
Татьяна	195	315	390	12,0	6,5	35,9	0,27	445
Московская 12	185	290	335	10,5	5,0	37,1	0,25	410
Саратовская 7	130	175	205	4,5	2,5	46,1	0,22	415
Радонь	220	355	445	13,5	7,5	36,7	0,27	410
Эстафета Татарстана	210	380	490	17,0	9,3	36,2	0,25	420
Тантана	235	390	500	15,5	8,9	36,6	0,31	400
Таловская 41	165	270	350	10,5	6,2	38,2	0,26	420
Таловская 33	200	310	405	11,0	6,9	37,1	0,29	420
Безенчукская 110	200	275	335	7,5	4,5	39,4	0,35	380
Безенчукская 87	165	230	270	6,5	3,5	39,7	0,28	395
Роксана	230	385	490	15,5	8,7	33,8	0,30	410
Антарес	160	255	315	9,5	5,3	38,4	0,27	400
Чулпан 7	215	360	465	14,5	8,3	38,4	0,30	390
Саратовская 7	130	185	215	5,5	2,8	44,3	0,25	415
Памяти Кунакбаева	210	370	475	16,0	8,9	39,2	0,35	400
Рушник	305	570	695	26,5	13,0	29,2	0,38	400
Снежана	250	455	565	20,5	10,7	30,6	0,32	395
Фаленская 4	280	475	580	20,5	10,0	26,8	0,30	420
Флора	285	520	650	23,5	12,2	30,2	0,33	370
Презент	245	420	525	17,5	9,3	32,6	0,32	400
F _{факт}	5,8*	14,0*	15,7*	14,3*	12,2*	11,2*		
НСР ₀₅	58,7	83,8	102,9	4,7	2,6	4,3		

* – значимо на 5 %-ном уровне.

что при выпечке позволяет получать хороший формовой хлеб.

При определении высоты амилограммы численные значения отражают реологическое поведение клейстеризованной водно-мучной суспензии, так как испытания проходят при постоянном повышении температуры с 30 °С до 64...85 °С, когда вязкость начинает уменьшаться, поскольку крахмал подвергается гидролизу. Для косвенного определения содержания пентозанов реологические свойства изучают при невысоких температурах. В наших исследованиях наибольшую вязкость наблюдали у сортов «северо-восточной» группы: Рушник, Флора, Фаленская 4, Снежана. При соответственно высоком содержании пентозанов они отличаются наименьшей крупностью зерна. Расчёт коэффициента корреляции показал наличие тесной обратной связи между вязкостью суспензии через 30 минут эксперимента и массой тысячи зёрен ($r = -0,90^{**}$). Аналогичные данные получены канадскими учёными, отметившими от-

рицательную связь вязкости водно-мучного экстракта с массой зерновки ($r = -0,89$) [10], а также в исследованиях под руководством Р. Р. Исмагилова [11], согласно результатам которых при увеличении толщины зерновки сорта Чулпан 7 на 1 мм содержание водорастворимых пентозанов снижалось на 1,01 %.

Скорость нарастания вязкости в течение 10 минут эксперимента варьировала в пределах от 10,0 до 26,5 еВ/мин. На втором этапе она снижалась в среднем на 54 %. Различия между сортами были достоверны. Наибольшей скоростью нарастания вязкости на втором этапе характеризовались выделенные ранее высокопентозановые сорта, а также сорта Памяти Кунакбаева, Чулпан 7, Роксана, Эстафета Татарстана, Тантана. Выпечка подовых хлебцев и последующее определение отношения их высоты к диаметру показали, что форму лучше держит тесто из муки сортов с высокой вязкостью (Флора, Рушник, Снежана, Памяти Кунакбаева, Тантана), а также отдельные образцы из муки сортов

со средней вязкостью шрота (Альфа, Безенчукская 110). Между скоростью нарастания вязкости через 10 минут эксперимента и отношением высоты к диаметру подового хлеба отмечена обратная корреляция средней силы ($r = -0,68^{**}$). Высокий объём формового хлеба и мягкий эластичный мякиш формировался при использовании для выпечки теста из муки сортов с невысокой вязкостью ржаного шрота (Марусенька, Саратовская 7), а также сортов со средней вязкостью через 30 минут эксперимента (Альфа, Татьяна, Валдай, Таловская 41, Таловская 33, Эстафета Татарстана). Расчёт коэффициента корреляции между BC_{30} и объёмом формового хлеба показал наличие слабой обратной связи, превышающей критические значения на 5 %-ном уровне ($r = -0,43^*$).

Вязкость суспензии ржаного шрота из зерна урожая 2018 г. была значительно выше, чем в 2017 г., при одновременном снижении крупности зерна в результате засухи (табл. 2). При среднем по сортам уменьшении массы 1000 зёрен на 21 %, вязкость суспензии BC_{30} возросла на 49 %.

Табл. 2. Реологические свойства водных суспензий шрота сортов ржи и крупность зерна (2018 г.)

Сорт	Показатель реограммы вискографа, еВ			Скорость изменения вязкости, еВ/мин		Масса 1000 зёрен, г
	BC_0	BC_{10}	BC_{30}	V_{10}	V_{30}	
Марусенька	190	275	335	8,5	4,8	34,7
Валдай	270	470	600	20,0	11,0	29,2
Альфа	370	450	740	8,0	12,3	29,6
Татьяна	295	585	685	29,0	13,0	25,7
Московская 12	240	465	565	22,5	10,9	28,1
Саратовская 7	180	290	370	11,0	6,3	34,8
Радонь	225	455	605	23,0	12,7	28,3
Эстафета Татарстана	285	565	695	28,0	13,7	27,4
Тантана	265	535	675	27,0	13,7	27,1
Таловская 41	260	515	635	25,5	12,5	29,4
Таловская 33	270	550	730	28,0	15,4	30,3
Безенчукская 110	265	465	625	20,0	20,0	30,2
Безенчукская 87	220	430	565	21,0	21,0	34,3
Роксана	215	325	425	11,0	11,0	30,7
Антарес	195	385	425	13,5	13,5	29,5
Чулпан 7	235	575	725	34,0	34,0	31,9
Саратовская 7	180	300	375	12,0	12,0	29,6
Памяти Кунакбаева	300	540	670	24,0	24,0	30,0
Рушник	345	755	925	41,0	41,0	21,8
Флора	345	700	825	35,5	35,5	22,6
Презент	245	460	595	21,5	21,5	27,5
Подарок	305	625	770	32,0	32,0	27,9
$F_{факт}$	4,7*	6,7*	9,4*	9,1*	16,9*	4,4*
$НСР_{05}$	68,7	143,2	150,4	8,7	7,0	5,3

* – значимо на 5 %-ном уровне.

Увеличилась и скорость нарастания вязкости, пределы вариационного ряда V_{10} составили 16,5...46,0 еВ/мин. Это имеет большое значение при использовании зерна, как на корм, так и в хлебопечении. Между BC_{30} и массой тысячи зёрен установлено наличие обратной корреляции ($r = -0,69^{**}$). По максимальному проявлению показателя BC_{30} выделены сорта Рушник, Флора, Подарок, Чулпан 7, Таловская 33, Альфа. Различия между перечисленными и низкопентозановыми достоверны сортами. Наименьшие в опыте 2018 г. величины показателя вязкости отмечены у саратовских сортов.

Вязкость суспензии ржаного шрота из зерна урожая 2019 г. через 30 минут повышалась в среднем на 76 %, при снижении крупности зерна, по сравнению с 2017 г., в результате влияния острозасушливых метеорологических условий в период формирования зерна в среднем на 19 % (табл. 3).

Размах варьирования скорости увеличения вязкости суспензии через 10 минут эксперимента составил 38 еВ/мин. При этом саратовские сорта сформировали зерно, реологические свойства суспензии которого соответствовали параметрам средней вязкости и были самыми низкими, относительно инорайонных сортов. Показатели вязкости суспензии шрота сортов Чулпан 7 и Саратовская 7 согласуются с данными других исследователей [12]. Саратовские сорта вполне пригодны для выпечки формового хлеба, а при выпечке подового хлеба необходима добавка пшеничной муки или муки из зерна ржи высокопентозановых сортов. Высокие вязкость суспензии и скорость её нарастания были характерны для сортов НИИСХ Северо-Востока и Башкирского НИИСХ. У сортов Таловская 41, Чулпан 7, Рушник, Фаленская 4, Презент отмечено наиболее высокое соотношение высоты к диаметру подовых хлебцев. Установлены достоверные положительные коэффициенты корреляции между величинами показателей $V_{10} - Н/Д$ ($r = 71^{**}$) и $BC_{30} - Н/Д$ ($r = 69^{**}$).

У всех сортов отмечена общая тенденция: по мере снижения крупности зерна в результате влияния абиотических факторов, соответствующих засухе, происходит ускорение динамики нарастания вязкости суспензии в течение времени опыта и повышение выраженности показателей вязкости как на начальном этапе при достижении температуры 10 °С, так и на заключительном (BC_{30}) этапе. Отмечена сортовая специфика содержания пентозанов, косвенно оцениваемого по вязкости. Генотипически обусловленные межсортовые различия отмечают и другие исследователи [13].

Ранее, в исследованиях на широком наборе сортов из коллекции ВИР при близких к оптимальным условиям для вегетации озимой ржи с учётом важности каждого показателя качества зерна были выделены и охарактеризованы 4 класса генотипов по вязкости суспензии через 30 минут опыта: 1 – менее 385 еВ; 2 – 385...570 еВ; 3 – 570...755 еВ; 4 – более 755 еВ [14]. Сорта первой группы, в связи с наименьшей вязкостью суспензии, наилучшим образом подходят для производства комбикормов. Формовой хлеб с хорошим мякишем из них можно выпекать при высоких величинах показателей «число падения» и «высота амиллограммы». Продукция генотипов второй группы более пригодна для хлебопечения, а также для приготовления кормов. Зерно сортов, относящихся к 3 и 4 группам, отличается высоким общим содержанием пентозанов, поэтому его использование в качестве компонентов кормов возможно только при дополнительной обработке. Они представляют наибольший интерес при выпечке подового хлеба, который имеет красивую форму и наилучшее соотношение высоты к диаметру [14].

Табл. 3. Реологические свойства водных суспензий шрота сортов ржи, крупность зерна и показатели качества хлебцев (2019 г.)

Сорт	Показатель реограммы вискографа, еВ			Скорость изменения вязкости, еВ/мин		Масса 1000 зёрен, г	Отношение Н/Д	Объём формового хлебца, см ³
	BC ₀	BC ₁₀	BC ₃₀	V ₁₀	V ₃₀			
Марусенька	170	335	465	16,5	9,9	39,9	0,24	430
Валдай	200	430	570	23,0	12,3	29,3	0,27	370
Альфа	215	490	625	27,5	13,7	27,5	0,28	405
Татьяна	230	520	655	29,0	14,2	29,6	0,28	400
Московская 12	250	525	670	27,5	14,0	27,6	0,28	430
Саратовская 7	185	370	500	18,5	10,5	37,4	0,28	410
Радонь	290	630	815	27,0	17,5	29,2	0,32	430
Тантана	290	660	835	37,0	18,2	28,8	0,31	440
Таловская 41	265	595	760	33,0	16,5	27,3	0,35	430
Таловская 33	295	640	810	34,5	17,2	27,0	0,32	420
Безенчукская 110	230	500	650	27,0	14,0	32,6	0,30	380
Безенчукская 87	180	380	540	20,0	12,0	35,1	0,27	400
Роксана	280	640	810	36,0	19,4	27,6	0,33	385
Антарес	190	380	520	19,0	12,4	34,2	0,30	400
Чулпан 7	290	700	900	41,0	20,4	33,8	0,37	390
Саратовская 7	200	380	505	18,0	10,2	35,0	0,26	370
Памяти Кунакбаева	290	750	950	46,0	22,0	32,5	0,32	390
Рушник	325	860	1010	53,5	22,0	20,8	0,43	410
Снежана	350	790	940	44,0	19,7	22,4	0,28	435
Фаленская 4	345	800	970	45,5	20,9	21,4	0,36	430
Флора	330	852	1015	46,3	22,8	21,4	0,31	415
Презент	250	570	750	32,0	16,7	28,6	0,37	400
Саратовская 10	170	340	460	17,0	9,7	36,9	0,29	400
F _{факт}	9,3*	27,0*	43,0*	10,1*	28,2*	5,2*		
НСР ₀₅	51,7	89,9	74,2	9,1	2,1	6,3		

* – значимо на 5 %-ном уровне.

В связи с значительным влиянием эдафических и метеорологических условий выращивания сортов на реологические свойства суспензии, для полноценного представления о возможности использования зерна различных сортов важно знать стабильность формирования генотипически обусловленного содержания водорастворимых пентозанов. В наших исследованиях (табл. 4) низкой стабильностью показателя вязкости по коэффициенту регрессии на индекс среды ($1,2 < b_1 \leq 1,4$) и высокой его выраженностью в среднем за 3 года характеризовались сорта Памяти Кунакбаева (698,3 еВ), Таловская 33 (648,3 еВ), Таловская 41 (581,7 еВ). Более стабильные ($0,9 < b_1 \leq 1,2$) и высокие величины вязкости шрота в среднем за 3 года отмечены у сортов Флора (830,0 еВ), Фаленская 4 (790,0 еВ), Снежана (753,3 еВ), Рушник (876,7 еВ), Радонь (621,7 еВ), Тантана (670,0 еВ). Сорта Валдай, Альфа, Татьяна, Московская 12 характеризовались достаточно высокой фенотипической стабильностью ($0,9 < b_1 \leq 1,2$) при оптимальном содержании пентозанов в среднем за 3 года – соответственно 483,3;

571,7; 576,7; 523,3. Сорта Марусенька (330,0 еВ), Саратовская 7 (358,3 еВ) относятся к стабильным низкопентозановым, при этом у Саратовской 7 отклонения от линии регрессии меньше, чем у Марусеньки.

Если рассматривать стабильность содержания пентозанов, косвенно оцениваемого по вязкости шрота, на основе экологической регрессии, то следует отметить, что у сортов ржи Безенчукская 87 и Роксана оно сильно и очень сильно зависит от складывающихся метеорологических условий. Их зерно в условиях повышенного увлажнения пригодно для приготовления комбикормов. То же самое можно сказать и о таких сортах, как Валдай, Альфа, Татьяна.

Таким образом, высокой вязкостью суспензии ржаного шрота и стабильностью величины этого показателя характеризуются сорта Московская 12, Тантана, Таловская 41, Чулпан 7, Фаленская 4, Рушник. Их продукцию можно использовать для подсортировки низкопентозанового зерна с целью выпечки улучшенных подовых изделий. Большинство изученных сортов

Табл. 4. Адаптивные свойства сортов озимой ржи по вязкости водных суспензий ржаного шрота через 30 минут эксперимента (2017–2019 гг.)

Сорт	Пластичность (b _i)	Стабильность (S ² d _i)	Экологическая регрессия (S % (RG))
Марусенька	0,83	767*	5,93
Валдай	0,98	11057*	15,38
Альфа	0,98	28667*	20,94
Татьяна	0,9	9637*	12,04
Московская 12	1,04	84*	1,24
Саратовская 7	0,9	489*	4,36
Радонь	1,1	4288*	7,45
Эстафета Татарстана	0,68	3281*	6,46
Тантана	1,01	1229*	3,7
Таловская 41	1,28**	197*	1,71
Таловская 33	1,29	2384*	5,33
Безенчукская 110	1,03	4612*	8,95
Безенчукская 87	0,91	9129*	14,74
Роксана	0,82	48477*	27,08
Антарес	0,62**	365*	3,22
Чулпан 7	1,33	368*	1,95
Саратовская 7	0,84*	244*	3,07
Памяти Кунакбаева	1,4	8544*	9,36
Рушник	0,99	387*	1,59
Снежана	1,13	1934*	4,13
Фаленская 4	1,2	136*	1,04
Флора	1,09	2580*	4,33
Презент	0,65	3816*	7,01

* – отклонение от линии регрессии значимо на 5 %-ном уровне (по F критерию); ** – отклонения от 1 значимы на 5 %-ном уровне (по t критерию).

относится к средне- и высокопентозановым, поэтому для изготовления из их зерна комбикормов необходимы дополнительные операции (например, смешивание с пшеницей, добавление ферментных препаратов и др.). Кроме того, для высокопентозановых сортов ржи характерна высокая скорость нарастания вязкости ржаного шрота, что также оказывает отрицательное воздействие при кормлении животных. Пониженное содержание пентозанов и высокая стабильность проявления этого признака характерны, прежде всего, для саратовских сортов. Относительно невысокую вязкость суспензии шрота в отдельные годы отмечали у сортов Безенчукская 87, Антарес, Роксана, Валдай. Они более пригодны для производства комбикормов. При формировании зерна в более влагообеспеченные годы (2017 г.) происходит снижение скорости нарастания вязкости и

выраженности показателя ВС₃₀. На генотипически различающемся материале в разные годы исследований отмечена устойчивая, значимая на 1 %-ном уровне, обратная связь между массой 1000 зёрен и реологическими свойствами (от -0,69** до -0,90**) и прямая – между скоростью нарастания вязкости ржаного шрота и соотношением высоты к диаметру у подового хлеба (от 0,68** до 0,71**). Качественный формовой ржаной хлеб может быть выпечен из зерна всех представленных образцов, что подтверждает в основном зерновое направление использования изученных сортов.

Литература.

1. Изучение содержания пентозанов в зерне популяционных сортов озимой ржи различными методами / М.Л. Пономарёва, С.Н. Пономарёв, Л.Ф. Гильмуллина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 12. С. 10–13.
2. Урожайность и качество зерна современных сортов озимой ржи. / Н.Н. Нуждина, Т.Я. Ермолаева, Д.В. Кайргалиев и др. // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2018. №3 (51). С. 165–172.
3. Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. С. 234.
4. Scoles G.J., Campbell G.L., McLeod J.G. Variability for grain extract viscosity in inbred lines and an F₂ population of rye (*Secale cereale* L.) // *Can. J. Plant Sci.* 1993. № 73. P. 3–6.
5. Фенотипическая оценка содержания пентозанов в ржаном шроте методом определения вязкости водного экстракта / М.Л. Пономарёва, С.Н. Пономарёв, Л.Ф. Гильмуллина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. № 11. С. 32–35.
6. Черных В.Я., Иванов В.С. Регулирование сахарообразующей способности хлебопекарной муки. М.: ООО «Буки Веди», 2019. С. 85.
7. Динамика признаков качества зерна озимой ржи в зависимости от выхода муки и вязкости водного экстракта / А.А. Гончаренко, А.В. Осипова, С.А. Ермаков и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017. №4. С. 3–9.
8. Eberhart S.P., Rassel W.A. Stability parameters for comparing varieties. // *Crop. Sci.* 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40.
9. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 367с.
10. McLeod J.G., Gan Y., Scoles G.J. Extract viscosity and feeding quality of rye // *Vortr. Pflanzenzucht*. 1996. № 35. P. 97–108.
11. Исмагилов Р.Р., Гайсина А.Ф. Содержание водорастворимых пентозанов в зерне ржи разной фракции // *Пиво и напитки*. 2015. № 3. С. 44–46.
12. Исмагилов Р.Р. Изменчивость содержания водорастворимых пентозанов в зерне озимой ржи // *Достижения науки и техники АПК*. 2012. № 6. С. 35–36.
13. Генотипическая изменчивость содержания пентозанов в зерне озимой ржи / М.Л. Пономарёва, С.Н. Пономарёв, М.Ш. Тагиров и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 5. С. 1041–1048.
14. Результаты изучения качества зерна озимой ржи / Н.Н. Нуждина, Т.Я. Ермолаева, Т.Б. Кулеватова и др. // *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2016. №1-2 (14-15). С. 35–37.

Поступила в редакцию 13.04.2021
 После доработки 20.05.2021
 Принята к публикации 23.06.2021

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ МУССОННОГО КЛИМАТА

И.В. Ким, кандидат сельскохозяйственных наук, **Д.И. Волков**, аспирант
А.Г. Клыкков, член-корреспондент РАН

Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
692539, Уссурийск, п. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30
E-mail: kimira-80@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки и выделения раннеспелых и высокопродуктивных генотипов картофеля в условиях муссонного климата Приморского края. В опытах определяли влияние метеорологических условий (ГТК) на продуктивность сортов картофеля различного происхождения (Россия, Германия, Республика Беларусь, Украина). Работу выполняли в 2015–2020 гг. За период исследований наиболее близкие к оптимальным условия для роста и развития растений картофеля (ГТК 1,52...1,65), а также образования ранней продукции сложились в 2015, 2019 и 2020 гг. В период накопления урожая (июль–август) в Приморском крае характерны циклоны, тайфуны и сильное переувлажнение (ГТК=2,86...4,89). Выделены сорта, которые характеризуются высокой адаптивной способностью к стрессовым условиям среды (b_i в пределах 0,52...1,0 и K_a – 1,26...1,65) – Брянский деликатес, Жуковский ранний, Ломоносовский, Повинь, Бете.

FEATURES OF THE FORMATION OF PRODUCTIVITY OF POTATO VARIETIES IN THE MONSOON CLIMATE

Kim I.V., Volkov D.I., Klykov A.G.

Federal scientific center of agricultural biotechnology
of the Far East named after A.K. Chaika,
692539, Ussuriysk, pos. Timiryazevsky, ul. Volozhenina, 30
E-mail: kimira-80@mail.ru

The data on the influence of meteorological conditions (HTC) on the productivity of early-maturing varieties of potatoes of various origins (Russia, Germany, the Republic of Belarus, Ukraine) are presented in the article. The studies were carried out in 2015–2020 at the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika». The purpose of the work is to evaluate and identify potato varieties for early ripeness and productivity in the monsoon climate of Primorsky Krai. Over the years of the research, 2015, 2019 and 2020 were the most efficient periods for the growth and development of potato plants (HTC 1.52–1.65), as well as the formation of early production. It is noted that cyclones, typhoons and severe waterlogging are typical in the Primorsky Krai during the tuber accumulation period in July–August (HTC=2.86–4.89). The varieties that have a high adaptive capacity to stressful environmental conditions (b_i in the range of 0.52–1.0 and K_a – 1.26–1.65) are identified – Bryansky delikates, Zhukovsky ranny, Lomonosovsky, Povin, Bete.

Ключевые слова: картофель, сорт, селекция, ГТК, раннеспелость, урожайность

Key words: potato, variety, selection, HTC, early ripeness, productivity

Картофелеводство – важная составляющая часть агропромышленного комплекса Российской Федерации. Картофель возделывают во всех регионах страны, включая Дальний Восток [1, 2].

Согласно доктрине продовольственной безопасности РФ обеспеченность картофелем собственного производства должна составлять не менее 95 %. В 2016 г. была разработана Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., в которой в качестве одной из приоритетных выделена подпрограмма «Картофелеводство» [3].

Дальневосточный регион отличается сложными природными условиями. Под влиянием муссонного климата, который характеризуется крайне неравномерным распределением основных агроклиматических факторов в течение года, находится около 1 млн км² территории. Наибольшие сложности вызывает чрезмерное выпадение осадков (более 200...300 мм) во время второй половины вегетации картофеля, что способствует значительному переувлажнению почвы и снижает урожай до 50...70 % [3, 4, 5]. При временном избыточном увлажнении почвы наблюдается почти полное прекращение поглощения воды растениями, происходит общее ослабление их физиологической деятельности, приостанавливается рост. У растений, подвергшихся

временному переувлажнению, внешние изменения проявляются в виде падения тургора листьев и стеблей, что сопровождается увяданием. При видимом завядании наблюдается снижение интенсивности фотосинтеза из-за сильного водного дефицита в ассимилирующих клетках [6]. Ботва и клубни по-разному реагируют на избыточное увлажнение почвы. Так, через 5...10 мин. после увлажнения почвы до 70...100 % полной влагоемкости рост клубней останавливается на 1...4 ч и более, тогда как скорость роста ботвы не меняется. При превышении этого уровня происходит резкое торможение темпов роста ботвы на 5...7 ч и более, однако полностью ее рост не прекращается и в таких условиях [7].

В условиях Дальнего Востока посадки картофеля часто подвергаются кратковременному переувлажнению, особенно на тяжелой почве с не выровненным рельефом. Это приводит к снижению аэрации почвы, активизации анаэробных процессов, которые сопровождаются накоплением органических кислот, спиртов, CO₂, H₂, этилена и других соединений, влияющих на метаболизм растений. Однако аналогии в функциональных и анатомо-морфологических изменениях растительной ткани при затоплении и атмосферной аноксии позволяют считать главным фактором, снижающим метаболические процессы, в условиях пере-

увлажнения именно дефицит кислорода. Уменьшение содержания кислорода в почве ведет к изреживанию посевов, ухудшению продуктивности растений, существенным потерям урожая [7].

С учетом специфики природно-климатических условий Дальнего Востока, в том числе Приморского края необходимо создавать сорта картофеля устойчивые к стрессовым факторам, особенно к переувлажнению почвы. Крайне важно изучать и выращивать сорта с ранним накоплением продуктивности и способностью формировать урожайность до наступления периода циклонов и тайфунов. Кроме того, ранний картофель пользуется большим спросом у населения. Важнейшее звено технологии выращивания раннего картофеля – правильный подбор сортов [8, 9]. При этом использование сортов, созданных в местных почвенно-климатических условиях и отвечающих современным требованиям, способствует значительному увеличению объемов производства растениеводческой продукции [10, 11].

В Приморском крае в ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки селекция картофеля ведется более 60 лет, создано 10 сортов. В последние годы в учреждении усилена работа по созданию конкурентоспособных сортов нового поколения, пригодных для промышленной переработки и диетического использования [12, 13]. В 2017 г. создан Центр коллективного пользования по формированию, сохранению и изучению биоресурсной коллекции. В рамках реализации комплексного плана научных исследований «Оригинальное семеноводство новых и перспективных сортов картофеля» ведется работа с целью создания источников и доноров ценных признаков для использования их в селекции и семеноводстве [3].

Цель исследований – оценить и выделить лучшие сортообразцы картофеля по скороспелости и высокой урожайности в условиях муссонного климата Приморского края.

Методика. В биоресурсной коллекции ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки ежегодно испытывается около 300 сортов картофеля российской и иностранной селекции по основным показателям, в том числе продуктивность, скороспелость и устойчивость к абиотическим факторам среды. В том числе за период с 2015 по 2020 гг. выделены 14 ранне-спелых (80...90 дней от массовых всходов до увядания ботвы) сортов картофеля: Брянский деликатес, Жуковский ранний, Кабо, Ломоносовский, Ольский, Рябинушка, Танай (Россия), Беллароза, Vete (Германия), Бриз, Зорачка (Беларусь), Повинь (Украина), в том числе стандарты российского происхождения, допущенные для возделывания по Дальневосточному региону – Дачный и Юбиляр. Исходный материал (по 3...50 клубней каждого образца) был получен из мировой коллекции ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова – ВИР (г. Санкт-Петербург) и коллекции ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха (Московская обл.). Уход за посадками проводили согласно общепринятой для Приморского края технологии с внесением минеральных удобрений (аммиачная селитра, 130 кг/га + диаммофоска, 285 кг/га). Сортообразцы располагали на двух-пятирядковых (в зависимости от количества клубней, имеющихся в наличии при посадке) делянках, по 10 растений в ряду. Схема посадки 90 x 30 см. Посадку (I декада мая) и уборку (I декада сентября) проводили вручную. Для определения скороспелости сорта учитывали накопление урожая в динамике (на 60-й, 70-й и 80-й дни после посадки).

Почва опытных участков аллювиальная, легко-суглинистая с содержанием гумуса – 2,1...2,9 % (ГОСТ 26213-91); P₂O₅ – 18,1...19,1 и K₂O – 10,2...11,8 мг/100 г почвы (ГОСТ 54650-2011); pH солевой вытяжки – 5,4...5,8 ед. (ГОСТ 26483-85).

При проведении исследований использовали методики Всероссийского НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова [14] и Всероссийского НИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха [15]. Характеристику метеорологических условий в годы проведения исследований осуществляли на основе гидротермического коэффициента (ГТК) Г.Т. Селянинова [16]. Коэффициент регрессии b_i рассчитывали по S.A. Eberhart, W.A. Russel [17], коэффициент адаптивности Ka – по Животкову Л.А. и соавт. [18]. Проверку достоверности полученных результатов осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа с последующим множественным сравнением средних с использованием критерия Фишера (LSD-метод) с применением статистических программ MS Excel 2007 и Statistica 10 («StatSoft, Inc.», США), рассчитывали средние (M) и t_{0,05} ½SEM.

Температурный режим во время вегетации картофеля был благоприятным во все годы исследований, различия между среднегодовой нормой и фактическими показателями были незначительными. Наиболее близкие к оптимальным для роста и развития растений картофеля условия сложились в 2015, 2019 и 2020 гг., которые характеризовались равномерным выпадением осадков в сочетании с благоприятными температурами (ГТК 1,52...1,65).

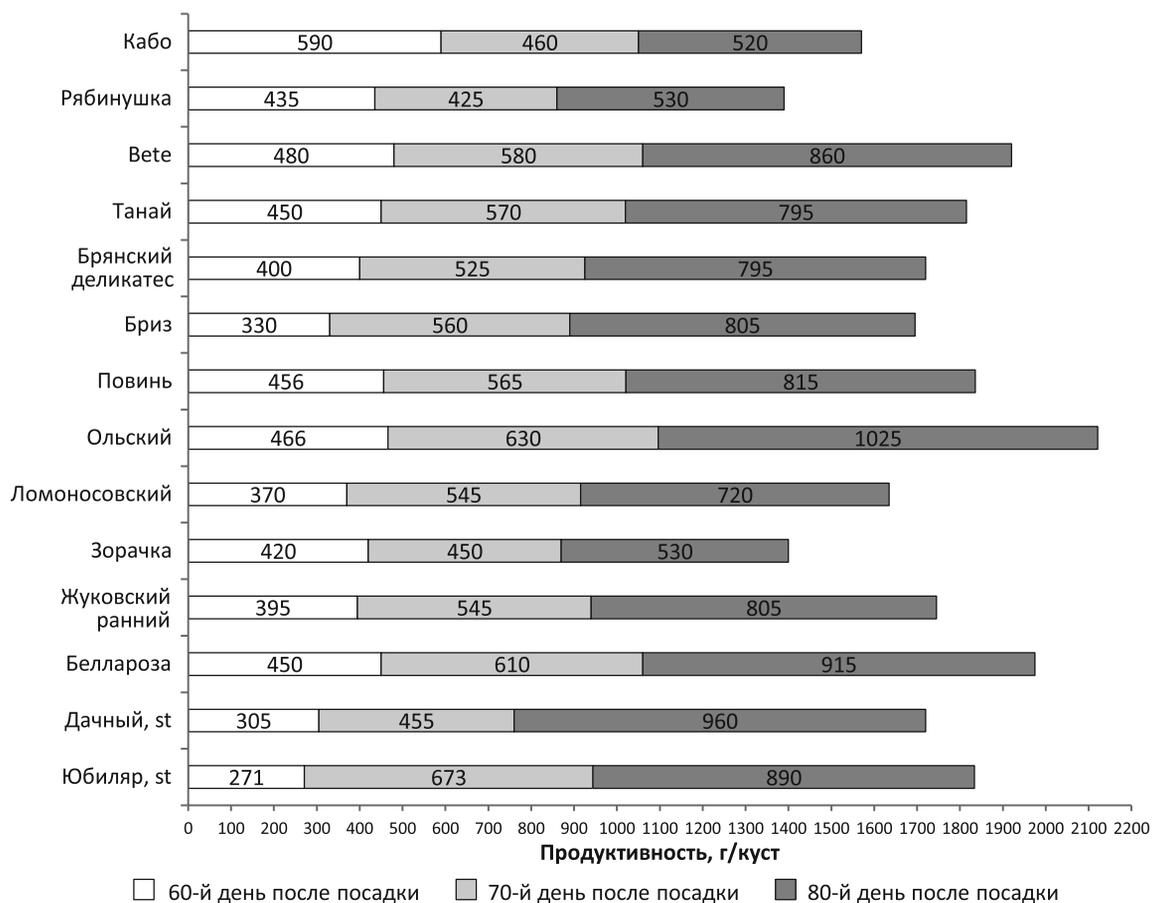
Оптимальные для вегетации картофеля значения гидротермического коэффициента находятся в пределах от 1,0 до 2,0 [19]. При проведении исследований в условиях Приморского края наиболее благоприятными для роста и развития растений, а также образования ранней продукции (ГТК 1,50...1,70) были II...III декады июня, I декада июля 2015 г., а также III декада июня и июль 2019–2020 гг. (табл. 1).

Табл. 1. Гидротермический коэффициент по данным АМС «Тимирязевский» 2015–2020 гг.

Месяц, декада	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	
май	I	1,06	1,82	0,43	3,89	1,65	1,34
	II	1,50	3,15	1,12	3,02	2,43	1,26
	III	0,89	2,84	0,91	3,45	2,99	1,02
июнь	I	1,89	1,99	1,78	1,52	1,59	3,21
	II	1,56	2,27	1,74	1,62	2,21	2,01
	III	0,42	3,20	2,35	1,32	1,42	3,25
июль	I	0,23	2,89	2,89	2,89	0,98	2,41
	II	1,56	1,83	3,96	3,28	1,02	2,56
	III	1,00	4,61	4,53	2,14	1,65	1,24
август	I	1,65	1,95	4,86	5,23	2,98	2,01
	II	0,78	1,34	2,36	4,56	3,58	1,04
	III	3,00	3,14	1,59	5,98	3,01	2,14
сентябрь	I	0,59	3,05	1,09	4,01	2,1	2,98
	II	0,02	2,01	1,53	2,89	1,56	3,02
	III	0,01	1,45	1,26	1,53	1,02	2,54

Табл. 2. Формирование продуктивности сортов картофеля (среднее за 2015–2020 гг.)

Сорт	Продуктивность, г/куст								Урожайность, т/га		V, %	Гниль, %	
	на 60-й день после посадки		V, %	на 70-й день после посадки		V, %	на 80-й день после посадки		V, %	min			max
	min	max		min	max		min	max					
Юбиляр, st	105	350	25,2	250	805	45,9	450	1205	28,3	15,6	49,8	48,1	10
Дачный, st	80	455	45,3	100	590	29,3	200	1410	52,9	13,3	57,0	42,1	12
Беллароза	70	500	34,7	150	710	58,6	250	1200	25,0	11,6	64,1	39,4	15
Жуковский ранний	100	610	36,5	210	820	45,9	200	1500	57,1	7,9	64,6	52,3	5
Зорачка	120	750	52,3	150	610	49,3	180	1300	54,9	9,5	53,2	47,2	20
Ломоносовский	90	810	60,2	90	1410	54,2	310	1605	26,3	7,9	62,6	48,6	2
Ольский	150	1105	59,1	80	1400	31,0	205	2400	51,8	15,6	64,1	51,3	25
Повишь	50	1050	34,3	130	1410	52,0	205	1710	45,7	9,5	62,7	28,9	3
Бриз	95	840	49,1	200	850	47,6	350	1200	39,7	12,9	66,5	29,1	10
Брянский деликатес	130	610	57,2	250	1300	41,3	340	1900	42,6	15,6	52,2	30,4	1
Танай	90	700	24,6	140	1200	43,2	130	1800	58,1	4,6	55,1	32,7	30
Bete	120	630	32,0	210	1310	32,1	210	1910	62,0	11,8	59,8	33,8	1
Рябинушка	230	800	32,1	300	1100	34,6	130	1100	54,1	9,1	45,6	34,5	27
Кабо	310	1200	45,9	210	1200	40,0	210	1250	26,1	4,9	49,4	36,7	30



Продуктивность сортов картофеля на 60, 70, 80 дни после посадки, среднее за 2015–2020 гг. (при ГТК в июне – 2,04, июле – 2,47, августе – 3,38).

Табл. 3. Адаптивные свойства сортов картофеля в условиях муссонного климата Приморского края

Сорт	Урожайность, т/га	Коэффициент		Среднее квадратическое отклонение (S)
		регрессии (b_i)	адаптивности (Ka)	
Юбиляр, st	31,5	1,23	0,65	1,36
Дачный, st	32,3	1,62	0,47	1,89
Беллароза	25,8	1,52	0,84	1,69
Жуковский ранний	31,9	0,91	1,65	2,01
Зорачка	24,3	1,24	0,65	2,11
Ломоносовский	30,4	1,0	1,26	1,78
Ольский	30,6	1,89	0,85	1,54
Повинь	31,5	1,0	1,23	1,69
Бриз	35,5	1,34	0,64	2,89
Брянский деликатес	38,4	0,52	1,59	2,64
Танай	23,2	1,52	0,74	1,79
Vete	35,3	0,86	1,45	2,47
Рябинушка	18,8	1,32	0,85	1,49
Кабо	21,5	1,47	0,47	2,54
НСР ₀₅	2,8			

В 2016–2018 гг. наблюдали выпадение значительного количества осадков в периоды активного нарастания массы клубней. Так, в 2016 г. обильные дожди (в 2 раза выше нормы) прошли в конце июня и начале июля (ГТК соответственно – 2,85 и 3,65). В 2017 г. сильные осадки зафиксированы в конце июня и во II...III декадах июля (209,9 мм, по сравнению со среднегодовыми значениями 93,0 мм, ГТК 2,35...4,53).

В августе происходит рост массы клубней, а также образование и формирование плотной кожуры клубня, растения заканчивают вегетацию. В этом месяце формируется окончательная урожайность, на основе которой осуществляется оценка продуктивности сорта. В этот период крайне важен баланс между количеством осадков и поглощением влаги растением. Избыток влаги в почве в период уборки картофеля вызывает повышение восприимчивости клубней к механическим повреждениям и увеличение вероятности возникновения гнилей во время хранения [7, 20]. Выпадение осадков в августе и сентябре в последние шесть лет превышало норму в среднем на 83,0 мм, что негативно сказывалось на общем состоянии растений и затрудняло уборку.

Результаты и обсуждение. Один из наиболее важных признаков сорта картофеля – срок созревания, с учетом которого определяют направление его использования. Ценное потребительское качество – скороспелость, то есть раннее образование клубней товарной величины (более 40 г). Хозяйственной скороспелостью могут обладать не только раннеспелые сорта, но и сорта, созревающие в более поздние сроки [21].

При изучении биоресурсной коллекции картофеля по скороспелости выделен ряд сортов раннего срока созревания (80...90 дней от массовых всходов до увядания ботвы). Изменчивость признака продуктивности

в разные периоды вегетации была достаточно высокой, коэффициент вариации составлял 24,6...62,0 % (табл. 2, см. рисунок). По результатам исследований выделены сорта, продуктивность которых на 60-й день превышала 450 г/куст: Беллароза, Кабо, Ольский, Повинь, Танай, Vete. Они превосходили стандарты по величине этого показателя в среднем на 20...60 %. Их можно рекомендовать для использования в селекции в качестве источников ранней продуктивности.

Более 600 г/куст в условиях Приморского края на 70-й день способны накапливать сорта Беллароза, Ольский, Юбиляр; более 900 г/куст на 80-й день – Дачный, Беллароза, Ольский. Превышение над стандартными сортами составляло 30...50 %. Наибольшей урожайностью среди изученных образцов характеризовался сорт Ольский – 43,5 т/га в среднем. Он включен в схему гибридизации как источник высокой продуктивности. Выделены сорта способные формировать в стрессовых условиях среды высокую конечную продуктивность (в среднем 33,9...36,3 т/га) с наименьшим процентом гнили (до 5 %) – Брянский деликатес, Жуковский ранний, Ломоносовский, Повинь, Vete.

Оценка экологической пластичности сортов и гибридов представляет интерес, как для теоретических исследований, так и для практической селекции. Особую ценность имеют генотипы с высокой стабильностью урожая в различных климатических условиях. В связи с этим важно знать потенциал адаптивности и пластичности сортов в экстремальных условиях сильного переувлажнения.

Максимальной в опыте окончательной урожайностью (более 35 т/га) за годы исследований характеризовались сорта Бриз, Брянский деликатес, Vete. Среди стандартных сортов наибольшей величиной этого показателя (32,3 т/га) отличался сортообразец приморской селекции – Дачный. Однако она была ниже, чем у выделенных образцов на 3,0...6,1 т/га (НСР₀₅ = 2,8 т/га).

В наших исследованиях стабильной урожайностью и адаптивной способностью к муссонным условиям среды (b_i в пределах 0,52...1,0 и Ka – 1,26...1,65) характеризовались сорта Брянский деликатес, Жуковский ранний, Ломоносовский, Повинь, Vete. Более высокий коэффициент регрессии и меньший коэффициент адаптивности у стандартных сортов Юбиляр и Дачный ($b_i = 1,23$ и $1,62$ и Ka – $0,65$ и $0,47$ соответственно) свидетельствуют о их пониженной пластичности и адаптивности.

Таким образом, в результате исследований выделены сорта Беллароза, Кабо, Ольский, Повинь, Танай, Vete, способные на 60-й день после посадки формировать товарную урожайность более 450 г/куст, которые превосходят стандарты по величине этого показателя в среднем на 20...60 %. Высокими показателями адаптивности характеризуются сорта Брянский деликатес, Жуковский ранний, Ломоносовский, Повинь, Vete ($b_i = 0,52...1,0$ и Ka = $1,26...1,65$). Выделенные генотипы можно рекомендовать к использованию в селекции на раннеспелость и адаптивность в качестве источников этих признаков.

Литература.

1. Потенциал продуктивности раннеспелых сортов картофеля из коллекции ВИР в условиях Мурманской области / С.Д. Киру, Т.Э. Жигадло, Л.Ю. Новикова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т.30. №10. С. 27–31.
2. Киселев Е.П., Новоселов А.К. Селекция и семено-

- водство картофеля на Дальнем Востоке: в 2-х ч. Хабаровск: ДВНМЦ, ГНУ ДальНИИСХ, ГНУ ПримНИИСХ, 2001. 326 с.
3. Ким И.В., Клыков А.Г. Результаты и направления исследований по картофелеводству на Дальнем Востоке России // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 10. С. 36–39.
 4. Киселев Е.П. Селекция и семеноводство картофеля на Дальнем Востоке: изд. 2-е, перераб. Хабаровск: ДВНМЦ, ГНУ ДальНИИСХ, 2014. 320 с.
 5. Чайка А.К., Клыков А.Г. Приоритетные направления в развитии агропромышленного комплекса Дальнего Востока России // Вестник ДВО РАН. 2016. № 2. С. 24–30.
 6. Чиркова Т.В. О путях приспособления растений к гипоксии и аноксии // Физиология растений. 1988. Т. 35. Вып. 2. С. 393–398.
 7. Шевелуха В.С. Рост растений – его регуляция и урожай // Вестник РАСХН. 1992. № 4. С. 15–17.
 8. Черемисин А.И., Дергачева Н.В. Характеристика коллекции сортов по раннеспелости в условиях лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т.30. №10. С. 35–37.
 9. Амелюшкина Т.А. Новые раннеспелые сорта картофеля и их урожайность в динамике // Картофелеводство: Материалы науч.-практич. конф. «Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства картофеля». М.: ФГБНУ ВНИИКСХ, 2018. С. 105–109.
 10. Результаты агроэкологического испытания сортов картофеля в условиях Приморского края / И.В. Ким, А.К. Новоселов, Л.А. Новоселова и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 3 (43). С. 44–49.
 11. Сафонова А.Д., Полухин Н.И., Артемова Г.В. Направления и результаты селекционных исследований по картофелю в лесостепи Приобья // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т.30. №10. С. 32–34.
 12. Генетические источники для селекции картофеля / И.В. Ким, А.К. Новоселов, Л.А. Новоселова и др. // Картофель и овощи. 2016. № 3. С. 33–34.
 13. Вознюк В.П., Ким И.В., Волков Д.И. Сорт картофеля Смак // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 2 (50). С. 6–13.
 14. Киру С.Д., Костина Л.И., Трускинов Э.В. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. СПб.: ВИР, 2010. 30 с.
 15. Методика исследований по культуре картофеля / Н.А. Андрияшина, Н.С. Бацанов, Л.В. Будина и др. М.: НИИКСХ, 1967. 263 с.
 16. Чирков Ю.И. Агрометеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 296 с.
 17. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop. Sci. 1966. № 6. P. 36–40.
 18. Животков Л.А., Морозова З.А., Секутаева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности // Селекция и семеноводство. 1994. №2. С. 3–6.
 19. Лапишинов Н.А. Изменчивость урожайности картофеля и ее взаимосвязь с фактором среды // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 5. С. 35–37.
 20. Экологические приемы защиты картофеля от болезней и вредителей / В.Н. Зейрук, С.В. Васильева, М.К. Деревягина и др. // Сборник тезисов докладов IV Всероссийского съезда по защите растений с международным участием «Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России». СПб.: ФГБНУ ВИЗР, 2019. С. 120.
 21. Костина Л.И., Косарева О.С. Коллекция селекционных сортов картофеля для селекции на продуктивность, скороспелость, устойчивость к фитофторозу, вирусным болезням и *Globodera rostochiensis* Woll. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179. № 4. С. 74–81.

Поступила в редакцию 02.02.2021

После доработки 01.03.2021

Принята к публикации 10.04.2021

ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО РЕЖИМА ЗЕЛЕННЫХ ЧЕРЕНКОВ ОБЛЕПИХИ

Ю.А. Зубарев, А.В. Гунин, кандидаты сельскохозяйственных наук
А.В. Воробьева, младший научный сотрудник

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий,
 656910, Барнаул, Научный городок, 35
 E-mail: niilisavenko@yandex.ru

Исследование водоудерживающей способности зеленых черенков облепихи, а также их способности к восстановлению оводненности проводили с целью совершенствования технологических приемов в цикле питомниководческих работ по культуре. Для определения сортовой специфики в эксперименте использовали сорта, сильно различающиеся не только по способности к ризогенезу, но и по комплексу хозяйственно-ценных признаков. Максимальным в опыте уровнем водоудерживающей способности отличался сорт Эссель (потеря воды в процессе увядания через 24 ч составляла 20,6 %), минимальным – сорт Августина с потерей воды в среднем за годы исследований 26,4 %. Восстановление оводненности черенков находится в тесной взаимосвязи с водоудерживающей способностью. Наибольшей тургор-восстановительной способностью, достигавшей в среднем за годы исследований 98,3 % после 48 ч насыщения, характеризовался сорт Эссель. У сорта Августина величина этого показателя была самой низкой – 74,3 %. В комплексе изучаемых факторов, к которым отнесены стимулятор корнеобразования, сортовые особенности и условия года, максимальное в опыте влияние на особенности водного режима оказывали особенности сорта и условия года. По водоудерживающей способности доля влияния фактора сорта составляла 40,9 %, год – 31,0 %, по способности к восстановлению оводненности после 48 ч – 40,5 и 28,8 % соответственно. Прямого влияния особенностей водного режима на процессы ризогенеза не выявлено, однако исследуемые показатели следует учитывать в комплексе критериев, обеспечивающих успешное окоренение сортов облепихи, в частности, сорта Августина. Закономерных связей между изучаемыми показателями водного режима и отдельными хозяйственно-биологическими особенностями не установлено.

THE WATER MODE PECULIARITIES OF SEABUCKTHORN GREEN CUTTINGS

Zubarev Y.A., Gunin A.V., Vorobjeva A.V.

Federal Altay Scientific Center for Agrobiotechnology,
 656910, Barnaul, Nauchnyj gorodok, 35
 E-mail: niilisavenko@yandex.ru

The investigation results of seabuckthorn green cuttings water-holding capacity, as well as their ability to restore water content in connection with nursery technological methods improvement are represented in the article. In order to establish possible variety specifics, ones which significantly differ not only in their ability to rhizogenesis, but also in a range of biological features have been used at the experiment. It has been found that Essel variety has the maximum level of water-holding capacity (the water loss after 24 hours drying is 20.6 %), while the minimum level was on Augustina variety with an average water loss of 26.4 %. A high dependence of water content restoring on water-holding capacity of green cuttings was revealed. In this regard Essel variety was characterized by maximum water restore ability, reaching after 48 hours of saturation in average of 98.3 %, while Augustina variety had minimal values – is about 74.3 %. The variety specifics and year particularities have the maximum level of influence on green cuttings water mode characteristics within the range of investigated factors (rhizogenesis stimulator, varieties and year conditions). For water-holding capacity the level of variety factor influence noted at 40.9 %, while the year factor influence – at 31.0 %, for water restore ability after 48 hours of saturation is 40.5 and 28.8 % respectively. Direct influence of water mode peculiarities on rhizogenesis processes have not been revealed, however it has been shown that in the range of criteria which provide successful rooting of several seabuckthorn varieties, Augustina in particular, the estimated features should be taken into account. No correlations between investigated water mode features and biological characteristics of investigated varieties have been found.

Ключевые слова: зеленый черенок, облепиха (*Hippophae rhamnoides* L.), сорта, водоудерживающая способность, тургор-восстановительная способность, окореняемость

Key words: green cutting, seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.), varieties, water-holding capacity, turgor-restore ability, rhizogenesis

Облепиха – одна из наиболее популярных ягодных культур в промышленном садоводстве сибирского региона. Она отличается высоким адаптационным потенциалом, выражающимся в морозостойкости и способности произрастать на разных типах почв в различных условиях водообеспеченности. Показывая существенный отклик на оптимальный уровень влажности почвы, облепиха, вместе с тем, вполне комфортно чувствует себя в условиях дефицита влаги. Вероятно, из-за высокой приспособляемости каких-то значительных исследований водного режима облепихи, обуславливающих возможность возделывания различных сортов в определенных почвенно-климатических условиях, до сих пор не проводили. Частично эти вопросы изучали во ВНИИ селекции плодовых культур (г. Орел) с интерполяцией полученных данных на засухоустойчивость [1] и морозостойкость [2]. При этом,

в первую очередь, исследование вопросов водного режима растений, в том числе садовых культур, связано с определением их уровня засухоустойчивости. Такие работы главным образом обоснованно приурочены к регионам с неустойчивым увлажнением (Киргизия [3], юг России [4, 5], Крым [6, 7]). Крайне редко исследования в этом направлении проводят в других регионах, в частности на Дальнем Востоке России [8].

Анализ известных авторам результатов не дает исчерпывающего представления о реальном уровне засухоустойчивости, так как сама по себе ее физиология очень сложна и не ограничивается лишь особенностями водного режима листьев либо ветвей. Важную роль играет корневая система, которая оказывает большее влияние на устойчивость растений к засухе, нежели листовой аппарат.

Более важное значение для понимания физиологии

ческой приспособленности к недостатку влаги имеет изучение водного режима растительного материала, у которого отсутствуют корни. К объектам такого типа относятся зеленые черенки, используемые для размножения садовых культур. Отсутствие корней предопределяет более высокие требования, как к условиям окружающей среды в культивационных сооружениях, так и к водоудерживающей способности черенков.

Современные технологии производства посадочного материала способом зеленого черенкования предполагают наличие специальных культивационных сооружений, в которых можно обеспечить близкую к 100 % относительную влажность воздуха и субстрата в первые дни после высадки черенков на окоренение с целью нивелировать недостаток осмотического тургора, вызванного отсутствием корней. Однако ряд узких мест, связанных, в первую очередь, с высокой опасностью распространения патогенных микроорганизмов в условиях жаркого и очень влажного фона, формирующегося в теплицах, предопределил переход в размножении облепихи от полностью закрытых культивационных сооружений к полукрытым конструкциям, что сопровождается резким снижением относительной влажности воздуха в приземном слое. В результате исследований, проведенных сотрудниками НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко, установлена высокая эффективность таких технологических решений, обеспечивающих, помимо высокой активности ризогенеза, еще и улучшение общего физиологического состояния растений [9, 10]. Однако у ряда сортов в условиях полукрытых культивационных сооружений отмечается неудовлетворительный уровень приживаемости, что может быть связано с недостаточной водообеспеченностью. Предположительно, изучение водного режима их черенков может способствовать раскрытию причин низкой приживаемости. Работу в этом направлении начали в 2019 г. [11]. Представленные результаты исследований расширяют знания о водном режиме зеленых черенков облепихи и открывают возможности для поиска взаимосвязей между его особенностями и способностью к ризогенезу сортов облепихи, размножаемых способом зеленого черенкования в культивационных сооружениях полукрытого типа.

Цель исследований – изучить показатели водного режима зеленых черенков сортов облепихи для совершенствования технологических приемов размножения способом зеленого черенкования.

Методика. Работу проводили в 2019–2020 гг. в отделе НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко Федерального Алтайского научного центра агроботехнологий (НИИСС ФГБНУ ФАНЦА). Объект исследований – зеленые черенки шести сортов облепихи, различающихся особенностями ризогенеза и хозяйственно-ценными признаками. К группе плохо окореняющихся относились раннеспелый среднерослый сорт Августина и среднеспелый среднерослый – Эссель; хорошо окореняющихся – сильнорослые сорта Этна, Елизавета, Огниво и среднерослый – Алтайская. Сорт Этна – раннеспелый, Огниво – позднеспелый, Елизавета и Алтайская – среднеспелые.

Нарезку зеленых черенков облепихи осуществляли в первой декаде июля на участке сортоизучения, расположенном на территории отдела НИИСС ФГБНУ ФАНЦА в пригороде г. Барнаул, в подзоне черноземов обыкновенных умеренно засушливой и колючной степи. Почва участка представлена черноземом выщелоченным среднеспелым среднегумусным среднесуг-

линистым [12], с мощностью гумусного горизонта 45 см, пахотный слой, которого характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 4,9...5,2 %, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – 133...160 мг/кг и 226...315 мг/кг соответственно, рН_{сол} – 5,6 ед.

Метеоусловия в годы проведения исследований отличались нестабильностью температурных параметров и количеством осадков. Весной 2019 г. наблюдали выпадение снега (15 и 26 апреля) и пониженные температуры в мае. Сумма осадков в мае составила 8,2 мм (19,5 % от нормы), в июне – 44,3 мм (94,2 %), в июле – 58 мм (90,6 %). Погода в начале периода вегетации в 2020 г. была нетипичной для района проведения исследований, что выразилось в очень теплой весне и низком количестве осадков в апреле, мае и июне – соответственно 12, 31 и 26 мм.

Особенность эксперимента заключалась в оценке водоудерживающей способности черенков до определенного физиологического порога, обеспечивающего восстановление их тургора. В связи с этим не изучали такие показатели, как оводненность тканей и водный дефицит, исследование которых в соответствии с методикой привело бы к полной гибели черенков без возможности восстановления жизнеспособности. В связи с отсутствием указанных постановочных задач, часть показателей, комплексно характеризующих засухоустойчивость и жаростойкость, при проведении эксперимента не учитывали.

В работе использовали метод искусственного завядания в течение 24 ч в 3-кратной повторности по 3 черенка в каждой. Длина черенков составляла 35 см. В нижней их части удаляли 30...35 % листьев. В связи с тем, что исследования проводили с целью определения показателей водного режима зеленых черенков облепихи для совершенствования технологических приемов ее размножения способом зеленого черенкования (чего ранее другие авторы не делали), мы внесли некоторые корректировки в существующие методические рекомендации [13, 14] по изучению водного режима. В частности, в одном из вариантов черенки после заготовки выдерживали в растворе ИМК (индолил-3-масляная кислота) в концентрации 50 мг/л в течение 16 ч, затем вынимали из раствора, обсушивали фильтровальной бумагой, взвешивали и размещали на фильтровальной бумаге в комнатных условиях при температуре 22...24 °С без доступа прямых солнечных лучей. Повторные взвешивания проводили через 2, 4, 8, 12 и 24 ч. Альтернативным вариантом было замачивание черенков на 16 ч в обычной воде. Оценка облиственности, как самостоятельного элемента, потенциально влияющего на особенности водного режима, не входила в задачи нашего эксперимента. Этот показатель можно считать частью сортовой специфики и приводить данные по ее особенностям отдельно, на наш взгляд, не целесообразно.

Для определения тургор-восстановительной способности использовали те же черенки, что и в опытах по водоудерживающей способности, помещая их после 24 ч завядания в резервуары с водой. После 24 и 48 ч насыщения черенки слегка обсушивали фильтровальной бумагой, взвешивали и проводили сравнительную оценку массы после насыщения, относительно исходных значений, установленных на первом этапе эксперимента.

Результаты и обсуждение. Из трех изучаемых факторов (стимулятор, сорт и год) существенные различия по водоудерживающей способности зеленых

Табл. 1. Водоудерживающая способность зеленых черенков сортов облепихи (2019–2020 гг.)

Сорт (фактор В)	Стимулятор (фактор А)	Год (фактор С)	Потеря воды черенками в процессе подвядания (%) через				
			2 ч	4 ч	8 ч	12 ч	24 ч
Августина	ИМК	2019	4,1	8,0	13,1	17,2	28,8
		2020	4,5	7,6	11,8	15,7	23,6
	вода	2019	5,4	9,6	14,6	18,4	29,0
		2020	4,5	8,3	12,7	16,4	24,1
Огниво	ИМК	2019	3,8	7,1	11,4	15,0	24,5
		2020	3,0	6,3	11,3	16,1	24,4
	вода	2019	3,6	6,9	11,5	14,4	22,9
		2020	3,4	6,4	10,8	15,2	22,9
Эссель	ИМК	2019	3,0	5,7	10,0	13,5	22,1
		2020	3,0	5,0	8,2	11,8	19,5
	вода	2019	3,8	6,5	10,3	13,3	22,2
		2020	2,6	4,8	8,4	11,7	18,7
Алтайская	ИМК	2019	3,5	6,4	10,9	14,7	25,7
		2020	2,1	4,1	7,3	10,7	18,1
	вода	2019	3,6	6,8	11,2	14,4	24,3
		2020	2,2	4,3	7,6	11,3	18,7
Елизавета	ИМК	2019	4,1	7,5	13,2	17,7	29,0
		2020	2,9	5,7	10,2	14,8	24,7
	вода	2019	4,2	7,9	13,2	17,5	28,3
		2020	2,3	4,8	8,8	13,1	21,6
Этна	ИМК	2019	4,0	7,2	12,5	16,3	25,5
		2020	2,6	5,4	9,3	14,5	24,0
	вода	2019	4,3	7,6	11,9	15,8	25,1
		2020	2,5	5,5	10,1	14,9	23,5
Среднее по фактору А	ИМК		3,4	6,3	10,8	14,8	24,1
	вода		3,5	6,6	10,9	14,7	23,4
Среднее по фактору В	Августина		4,6	8,4	13,1	16,9	26,4
	Огниво		3,4	6,7	11,2	15,2	23,7
	Эссель		3,1	5,4	9,2	12,6	20,6
	Алтайская		2,9	5,4	9,3	12,8	21,7
	Елизавета		3,4	6,5	11,3	15,8	25,9
	Этна		3,3	6,4	10,9	15,4	24,5
Среднее по фактору С	2019		3,9	7,3	12,0	15,7	25,6
	2020		3,0	5,7	9,7	13,9	22,0
НСР ₀₅	А	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	0,6
	В		0,4	0,5	0,7	0,7	1,1
	С		0,2	0,3	0,4	0,4	0,6
	АВ	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft
	АС		0,4	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft
	ВС		0,6	0,7	1,0	1,0	1,5
	АВС	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft	Ff<Ft

Табл. 2. Доля влияния факторов и их взаимодействий (2019–2020 гг.), %

Показатель	Фактор и взаимодействие							
	А	В	С	АВ	АС	ВС	АВС	
Потеря воды черенками по мере подвядания через	2 ч	0,6	35,4	26,5	1,9	1,8	8,9	2,8
	4 ч	0,9	45,6	29,7	2,2	1,0	5,9	0,8
	8 ч	0,1	43,5	32,3	2,1	0,1	8,2	1,1
	12 ч	0,1	53,8	17,9	2,1	0	12,7	1,1
	24 ч	1,2	40,9	31,0	1,4	0	12,7	1,1
Изменения после подвядания	после подвядания	1,2	40,9	31,0	1,4	0	12,7	1,1
	после насыщения	1,7	43,8	15,5	4,2	4,1	17,5	5,2
массы черенков в эксперименте	через 24 ч	2,1	40,5	28,8	0,5	4,5	7,6	2,0
	через 48 ч							

черенков облепихи отмечены лишь для двух – сорт и год (табл. 1). В среднем за период исследований после 24 ч подвядания максимальную в опыте потерю воды (26,4 %) отмечали на сорте Августина, минимальную (20,6 %) – Эссель. Высокой водоудерживающей способностью также отличался сорт Алтайская (21,7 %), низкой – Елизавета (25,9 %).

Результаты анализа влияния условий года на величину изучаемого показателя свидетельствуют, что по всем сортам и периодам наблюдения (за исключением варианта «Августина ИМК») водоотдача в 2020 г. была существенно ниже, чем в 2019 г. Это подтверждает необходимость учитывать фактор года при интерпретации данных. Так, в 2020 г. в среднем по сортам через 24 ч подвядания потеря воды составила 22,0 %, а в 2019 г. – 25,6 % (см. табл. 1).

Доля влияния фактора сорт на водоудерживающую способность после 24 ч подвядания составила 40,9 %, год – 31,0 %, ИМК – 1,2 % (табл. 2). Это указывает на ее определенную сортоспецифичность. Низкое влияние ИМК вполне закономерно и связано с незначительным количеством препарата в растворе, не способным существенным образом изменить физиологический статус зеленых черенков облепихи в период проведения эксперимента.

По всем сортам отмечали прямолинейную динамику потери воды. Наибольшей с первого (2 ч) до последнего (24 ч) учета она была на сорте Августина. Самую низкую потерю влаги в течение первых двух измерений (2 и 4 ч) наблюдали на сорте Алтайская, что опосредованно может свидетельствовать о его большей устойчивости к условиям полукрытых культивационных сооружений в самый уязвимый первый период после высадки на окоренение. Дальнейшая динамика водоотдачи сорта Алтайская сравнялась с таковой на сорте Эссель. К последнему учету (24 ч) у этих сортов в среднем за два года отмечали наименьшие потери воды (21,7 и 20,6 % соответственно). Интерпретация результатов определения водоудерживающей способности в связи со способностью к окоренению в условиях полукрытых культивационных сооружений не показала очевидных закономерностей. С одной стороны, наиболее проблемный при окоренении сорт Августина отличался самой высокой потерей воды, а у лучше всего окореняющегося сорта Алтайская она одна из самых низких, что подталкивает к выводам о взаимосвязи этих показателей. С другой, водоудерживающая спо-

Табл. 3. Способность зеленых черенков облепихи к восстановлению оводненности (2019–2020 гг.), %

Сорт (фактор В)	Стимулятор (фактор А)	Год (фактор С)	Масса черенка в эксперименте		
			после подвядания	после насыщения, через	
				24 ч	48 ч
Августина	ИМК	2019	71,2	61,7	53,7
		2020	76,4	94,6	90,7
	вода	2019	71,0	82,5	69,7
		2020	75,9	92,3	83,3
Огниво	ИМК	2019	75,5	95,3	89,5
		2020	75,6	96,3	96,9
	вода	2019	77,1	97,8	96,1
		2020	77,1	97,1	99,3
Эссель	ИМК	2019	77,9	98,3	95,6
		2020	80,5	100,6	101,2
	вода	2019	77,8	98,5	95,7
		2020	81,3	99,9	100,8
Алтайская	ИМК	2019	74,3	94,6	83,8
		2020	81,9	101,7	103,4
	вода	2019	75,7	97,4	94,4
		2020	81,3	100,4	102,3
Елизавета	ИМК	2019	71,0	87,5	72,2
		2020	75,3	99,7	95,7
	вода	2019	71,7	94,7	83,2
		2020	78,4	98,9	95,4
Этна	ИМК	2019	74,5	95,2	77,9
		2020	76,0	99,9	98,8
	вода	2019	74,9	95,4	88,1
		2020	76,5	97,1	95,6
Среднее по фактору А	ИМК		75,9	93,8	88,3
	вода		76,6	96,0	92,0
Среднее по фактору В	Августина		73,6	82,8	74,3
	Огниво		76,3	96,6	95,5
	Эссель		79,4	99,3	98,3
	Алтайская		78,3	98,5	96,0
	Елизавета		74,1	95,2	86,6
	Этна		75,5	96,9	90,1
Среднее по фактору С		2019	74,4	91,6	83,3
		2020	78,0	98,2	97,0
НСР ₀₅	А		0,6	1,3	2,7
	В		1,1	2,3	4,6
	С		0,6	1,3	2,7
	АВ		Fф<Fт	3,3	Fф<Fт
	АС		Fф<Fт	1,9	3,8
	ВС		1,5	3,3	6,5
	АВС		Fф<Fт	4,6	Fф<Fт

способность трудно окореняемого сорта Эссель находится на одном уровне с хорошо окореняемым сортом Алтайская, а хорошо окореняемого сорта Елизавета – с плохо окореняющимся сортом Августаина.

Следует отметить, что результаты 2020 г. подтверждают сделанное ранее предположение [5] об отсутствии зависимости особенностей ризогенеза в полукрытых культивационных сооружениях от водоудерживающей способности черенков облепихи. Тем не менее, для сорта Августаина низкая величина этого показателя – дополнительный неблагоприятный фактор, влияющий на окоренение, что не позволяет рекомендовать его для условий полукрытых культивационных сооружений.

Второй важнейший критерий водного режима зеленых черенков – способность к восстановлению оводненности. Как и в случае с водоудерживающей способностью, наибольшее воздействие на его варьирование оказали факторы сорт и год. Так, доля влияния сорта на восстановление оводненности после 24 и 48 ч насыщения составила 43,8 и 40,5 % соответственно, года – 15,5 и 28,8 %, ИМК – всего 1,7...2,1 % (см. табл. 2).

Способность к восстановлению оводненности существенно различалась по годам исследований. Так, в 2019 г. в среднем по сортам после 24 и 48 ч насыщения масса черенков находилась в пределах 91,6 и 83,3 % от исходной, а в 2020 г. – 98,2 и 97,0 % соответственно. Примечательно, что в 2020 г. на сортах Эссель и Алтайская она была даже выше исходных показателей и в варианте «Алтайская ИМК» достигала 103,4 % (табл. 3).

В среднем за годы исследований минимальное в опыте насыщение (74,3 %) отмечали на сорте Августаина, максимальное (98,3 %) – Эссель. Таким образом, генотип с наибольшей водоотдачей характеризовался наименьшим водонасыщением и, наоборот, сорт с максимальной водоудерживающей способностью демонстрировал лучшее восстановление оводненности. Подобная тенденция просматривается по всем изучаемым сортам.

В связи с высокой взаимосвязью двух изучаемых показателей нам не удалось выявить влияния способности к восстановлению оводненности на окоренение, однако исключать долю его влияния в общем комплексе факторов, в частности для сорта Августаина, нельзя.

Параллельно были проанализированы взаимосвязи водоудерживающей способности и степени восстановления оводненности с такими хозяйственно-биологическими особенностями сортов, как сроки созревания и сила роста. Однако и здесь не удалось установить статистически значимых зависимостей. Так, у ранне-спелого сорта Августаина после 48 ч насыщения тургор-восстановительная способность находилась на уровне 74,3 %, а у генотипа с таким же сроком созревания Этна – 90,1 %. Подобную картину наблюдали и для сортов схожих по силе роста. Например, у сильно-рослых сортов Огниво и Елизавета способность к восстановлению оводненности была равна 95,5 и 86,6 % соответственно, в то время как у среднерослого сорта Алтайская она находилась на уровне сильнорослого сорта Огниво.

Таким образом, в результате исследований установлены сортовые особенности водного режима зеленых черенков облепихи. Показана высокая зависимость восстановления оводненности от водоудерживающей способности различных сортов. Максимальными в опыте величинами изучаемых показателей характеризовался сорт Эссель, демонстрировавший водоудержи-

вающую способность на уровне 79,4 % (потеря воды в процессе подвядания через 24 ч составляла 20,6 %) и тургор-восстановительную способность в пределах 98,3 %. Наименьшие величины этих показателей отмечены у сорта Августина – 73,6 и 74,3 % соответственно.

Среди изученных факторов (стимулятор корнеобразования, сортовые особенности и условия года) наибольшее влияние в эксперименте на показатели водного режима оказывали особенности сорта и условия года: по вододерживающей способности 40,9 и 31,0 % соответственно, по способности к восстановлению оводненности после 48 ч – 40,5 и 28,8 %.

Поиск взаимосвязи процессов ризогенеза с особенностями водного режима не привел к желаемым результатам. Также не выявлено корреляций между особенностями водного режима и хозяйственно-биологическими признаками. Вместе с тем установлено, что для сорта Августина специфика водного режима в комплексе условий, влияющих на образование корней, может оказывать существенное воздействие. Поэтому размножать этот сорт в полуоткрытых культивационных сооружениях с низким уровнем влажности воздуха не рекомендуется.

Литература.

1. Ожерельева З.Е., Богомоллова Н.И. Засухоустойчивость сортов облепихи крушиновидной (*Hipporhae rhamnoides*) в условиях Орловской области // *Сорто-вивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2011. № 1 (13). С. 12–14.
2. Богомоллова Н.И., Ожерельева З.Е., Резвякова С.В. Фракционный состав воды в тканях однолетних побегов облепихи крушиновидной, как критерий адаптивности к зимним условиям // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 9. С. 94–101.
3. Усупова Д.С. Диапазоны изменений вододерживающей способности листьев древесно-кустарниковых пород Прииссыккуля // *Наука и новые технологии*. 2008. № 5-6. С. 209–211.
4. Ахматов М.К. Особенности водообмена древесных растений, интродуцированных в Чуйской долине // *Наука и образование сегодня*. 2016. № 5 (6). С. 8–10.
5. Ожерельева З.Е., Красова Н.Г., Галашева А.М. Изучение засухоустойчивости летних сортов яблони // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 2. С. 31–33.
6. Пилькевич Р.А., Комар-Темная Л.Д. Динамика вододерживающей способности листьев гибридов *Prunus brigantia* Vill. × *Armeniaca vulgaris* Lam. в условиях дефицита влаги // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2012. Вып. 105. С. 91–98.
7. Литченко Н.А. Засухоустойчивость яблони // *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 2007. Вып. 94. С. 52–55.
8. Зарицкий А.В., Саяпина А.Г. Использование вододерживающей способности листьев для оценки засухоустойчивости черной смородины // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012. № 7 (93). С. 39–42.
9. Зубарев Ю.А., Шматова Т.М. Особенности роста зеленых черенков облепихи при различных условиях культивирования // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. №7. С. 42–44.
10. Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В. Сортовые особенности окоренения зеленых черенков облепихи в условиях полужакрытых культивационных сооружений // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019. № 1 (171). С. 27–31.
11. Вододерживающая и тургор-восстановительная способность зеленых черенков облепихи и их взаимосвязь с процессами окоренения / Ю.А. Зубарев, А.В. Гунин, Е.И. Пантелеева и др. // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (186). С. 17–25.
12. Хабаров С.Н. Средообразующая роль культур сада на юге Западной Сибири. Новосибирск: СО РАСХН, 2009. 260 с.
13. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов (методические рекомендации) / В.Г. Леонченко, Р.П. Евсеева, Е.В. Жбанова и др. Мичуринск: ГНУ ВНИИ генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина РАСХН, 2007. 72 с.
14. Еремин Г.В., Гасанова Т.А. Изучение жаростойкости и засухоустойчивости сортов // *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур*. Орел: ВНИИСПК, 1999. С. 80–85.

Поступила в редакцию 31.05.2021

После доработки 22.06.2021

Принята к публикации 08.07.2021

ВЛИЯНИЕ СОРТОСМЕШАННЫХ ПОСЕВОВ ПШЕНИЦЫ НА СНИЖЕНИЕ ПОРАЖЕННОСТИ СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНОЙ (ВОЗБУДИТЕЛЬ *Puccinia graminis* PERS. F.SP. *TRITICI* ERIKS. ET HENN.)*

Г.В. Волкова, доктор биологических наук,
Е.В. Гладкова, кандидат сельскохозяйственных наук,
О.О. Мирошниченко, аспирант

Федеральный научный центр биологической защиты растений,
350039, Краснодар, п/о 39
E-mail: galvol.bpp@yandex.ru

Стеблевая ржавчина, вызываемая Puccinia graminis f. sp. tritici, – вредоносное заболевание пшеницы. Потери урожая в условиях сильной эпифитотии могут достигать от 50 до 100 %. Исследования проводили с целью изучения влияния двухкомпонентной смеси сортов озимой пшеницы с разной устойчивостью к P. graminis Батко (устойчивый, R) и Сварог (восприимчивый, S) в соотношениях 1R:1S и 4R:1S на снижение развития патогена. Контролем служили чистые посевы этих же сортов. Опыты выполняли в г. Краснодар в 2018–2020 гг. Условия вегетационных сезонов в годы исследований были в целом благоприятными для развития стеблевой ржавчины пшеницы. Во все годы исследований, несмотря на высокий инфекционный фон развития болезни на восприимчивом сорте (от 75,5 % до 85,0 %), на сорте Батко величина этого показателя не превышала 10 %. При соотношении сортов 1R:1S развитие болезни уменьшилось, по сравнению с восприимчивым контролем, в 1,4...3,3 раза и варьировало от 25,5 % до 55,5 %. В варианте 4R:1S наблюдали дальнейшее снижение развития болезни в 12,4...16,0 раз до 5,0...6,1 %. Биологическая эффективность изучаемого технологического приема при соотношении сортов 1R:1S составляла от 30,6 % до 70,0 %, 4R:1S – от 91,9 % до 93,7 %. Прибавка урожая зерна к восприимчивому контролю (сорт Сварог) при соотношении 1R:1S варьировала от 3,3 ц/га (5,6 %) до 7,0 ц/га (11,4 %), 4R:1S – от 11,9 ц/га (19,4 %) до 17,8 ц/га (28,9 %). Посев смесью устойчивых и восприимчивых сортов Батко и Сварог в соотношении 1R:1S и 4R:1S рекомендован для снижения развития стеблевой ржавчины пшеницы.

INFLUENCE OF MULTI-SPECIES CROPS OF WHEAT ON THE REDUCTION OF STEM RUST INFESTATION (*Puccinia graminis* PERS.F.SP. *TRITICI* ERIKS. ET HENN.)

Volkova G.V., Gladkova E.V., Miroshnichenko O.O.

All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection,
350039, Krasnodar, p/o 39
E-mail: galvol.bpp@yandex.ru

Stem rust caused by Puccinia graminis f. sp. tritici, a harmful wheat disease. Yield losses under conditions of strong epiphytotic range from 50 to 100 %. The aim of the research was to study the effect of a two-component mixture of winter wheat varieties Batko - resistant (R) and Svarog - susceptible (S) to P. graminis in various ratios 1R:1S and 4R:1S on reducing the development of the pathogen. The experiments were carried out in the city of Krasnodar on the basis of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center for the Development of Water Resources in 2018–2020. The growing seasons during the study years were generally favorable for the development of wheat stem rust. Served as control clean crops of the same varieties of winter wheat. All the years of research, despite the high infectious background of the development of the disease on the susceptible variety (from 75.5 % to 85.0 %), the Batko variety continued to restrain the development of the disease, which remained at a level of no more than 10 %. With the ratio of varieties 1R: 1S, the development of the disease decreased by 1.4-3.3 times and varied in the years of research from 25.5 % to 55.5 %. With the ratio of varieties 4R: 1S, a decrease in the development of the disease was observed by 12.4-16.0 times, which ranged from 5.0 % to 6.1 %. Biological efficiency with the ratio of varieties 1R: 1S ranged from 30.6 % to 70.0 %, 4R:1S - 91.9 % - 93.7 %. The increase in grain yield, in comparison with the control, with the ratio of varieties 1R: 1S, varied from year to year and ranged from 3.3 c/ha (5.6 %) to 7.0 c/ha (11.4 %). With the ratio of varieties 4R:1S, the increase was significantly higher (from 11.9 c/ha (19.4 %) to 17.8 c/ha (28.9 %)). A mixture of resistant and susceptible varieties (such as Batko and Svarog) in a ratio of 1R:1S and 4R:1S is recommended for agricultural production to reduce the development of wheat stem rust.

Ключевые слова: стеблевая ржавчина, *Puccinia graminis*, пшеница озимая, сортосмешанные посевы, биологическая и хозяйственная эффективность

Key words: stem rust, *Puccinia graminis*, winter wheat, mixed varieties, biological and economic efficiency

В разных странах на всех континентах, где выращивают пшеницу, самым эпифитотийноопасным заболеванием считают стеблевую ржавчину, вызываемую возбудителем *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* [1]. Споры стеблевой ржавчины могут переноситься на большие расстояния. Согласно Саари и Прескотту, эта болезнь представляет собой давнюю проблему на всём африканском континенте, Среднем Востоке, в Азии, Ав-

стралии, Новой Зеландии, Европе и Америке (Северной и Южной), за исключением Центральной Азии [2].

Появившаяся в Уганде раса Ug99 оказалась высоко-вирулентной, она поражает большую часть коммерческих сортов пшеницы. В сравнении с другими видами ржавчин (желтой и бурой), наносящими меньший урон, стеблевая ржавчина может привести к полной потере урожая восприимчивых сортов [3, 4]. На сегодняшний

*Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме 0686-2019-0008.

день во всем мире под угрозой эпифитотии ржавчины находится 65 млн га сельскохозяйственных земель. По данным исследователей, раса Ug99 может привести к потере двух третей урожая пшеницы в США и 80 % – в странах Азии и Африки [5, 6]. В связи с расширением ее ареала возникает угроза продовольственной безопасности населения всей планеты [7, 8].

Обработка фунгицидами – эффективный метод контроля болезней, но в связи с тенденцией к экологизации сельского хозяйства в последние годы особое внимание уделяют биобезопасным методам контроля фитопатогенов [9, 10, 11]. Доказано, что основное и наиболее эффективное средство защиты посевов зерновых от фитопатогенов – селекция и использование устойчивых сортов. Однако в популяциях патогенов часто возникают новые типы вирулентности, что делает уязвимыми даже устойчивые сорта.

По мнению А.А. Жученко, для успешного контроля взаимоотношений «хозяин-патоген» в агроэкосистемах, необходимо поддерживать разнообразие по признаку устойчивости во времени и пространстве [12].

Возделывание сортосмешанных посевов обеспечивает не только экологическую безопасность, но и экономическую эффективность контроля над болезнями. При выращивании пшеницы это помогает справиться не только с биотическими, но и с абиотическими стрессами [13, 14, 15]. Принцип метода заключается в смешивании семян сортов, различающихся по устойчивости, но сходных по биометрическим показателям и срокам созревания. Такой подход увеличивает генетическое разнообразие посевов монокультуры и снижает вредоносность заболевания. Происходит это благодаря пространственной изоляции восприимчивых растений, а также барьерному эффекту, обеспечиваемому устойчивыми растениями, заполняющими промежутки между восприимчивыми [16, 17, 18]. Тем не менее, для предотвращения отбора сложной расы патогена и поддержания потенциальной урожайности, рекомендуется регулярно менять состав смеси с использованием новых устойчивых и высокоурожайных сортов [19].

Первые исследования с сортосмесями в Краснодарском крае были проведены в 1989–1990 гг. [20]. Для опыта выбрали сорт Леда, высокоустойчивый к бурой ржавчине, слабо поражаемый желтой ржавчиной и мучнистой росой. Второй компонент смеси сорт Скифянка относился к высокоурожайным генотипам интенсивного типа, был не устойчив к бурой ржавчине, септориозу, мучнистой росе. Пораженность ржавчиной его посевов в чистом виде в среднем за три года составляла 36 %, септориозом – 16 %, у сорта Леда величины этих показателей были равны соответственно 3 % и 3 %. При соотношении сортов 1:1 развитие ржавчины не превышало 10...12 %, септориоза – 4...6 %, урожайность сортосмеси составила 65,9 ц/га.

При изучении в 2012–2015 гг. сортосмешанных посевов сортов Иришка (устойчивый, R) и Краснодарская 99 (восприимчивый, S) в соотношении 1R:1S отмечено снижение развития бурой ржавчины в 2,3...2,6 раза, биологическая эффективность варьировала от 55,5 % до 72,3 %. При соотношении 4R:1S пораженность уменьшилась в 4,2...7,9 раза, биологическая эффективность составляла от 76,3 до 87,3 % [21]. В 2017–2019 гг. смесь формировали из сортов озимой пшеницы Лауреат (устойчивый, R) и Краснодарская 99 (восприимчивый, S). Биологическая эффективность во всех вариантах сортосмесей составляла от 56,8 до 94,0 %. Прибавка урожая, по сравнению с восприимчивым контролем, в варианте 1R:1S менялась по годам

от 2,2 до 18,0 %, 4R:1S – от 22,9 до 30,8 % [22]. В опыте Ставропольского ГАУ высокая биологическая и хозяйственная эффективность была отмечена в сортосмешанных посевах Дон 95 и Донская Юбилейная, Дон 95 и Скифянка [23].

Цель исследований – изучение влияния двухкомпонентной смеси сортов озимой пшеницы Батько (устойчивый, R) и Сварог (восприимчивый, S) на развитие стеблевой ржавчины.

Методика. Работу проводили в 2018–2020 гг. на опытном поле ФГБНУ ФНЦБЗР. Сорт Батько – короткостебельный, 87...98 см, скороспелый. Масса 1000 зерен – 34...46 г. Средняя урожайность в регионе – 50,5 ц/га. Рекомендуется для возделывания в центральной зоне Краснодарского края, Республике Адыгея, Ставропольском крае, приазовской и южной зонах Ростовской области. Сорт Сварог – среднерослый, 87...108 см, среднеспелый. Масса 1000 зерен – 37...46 г. Средняя урожайность в регионе – 55,4 ц/га. Рекомендован для возделывания в северной и южно-предгорной зонах Краснодарского края, приазовской и южной зонах Ростовской области [24]. Для посева использовали элитные семена, соответствующие по сортовым и посевным качествам ГОСТ Р 52325–2005.

Площадь делянок составлял 6 м², повторность трехкратная. Норма высева семян – 20 г/м². Сорта высевали в чистом виде, а также в смеси с соотношением 1R:1S, 4R:1S. Контролем по восприимчивости служил сорт Сварог.

Почва опытного участка типичная для центральной зоны Северо-Кавказского региона – чернозем выщелоченный. Глубина гумусового горизонта – 80...150 см. Содержание гумуса в пахотном 0...20 см слое почвы (по ГОСТ 2613–94) составляло 3,39 %, подвижного фосфора (по ГОСТ 26204–91) – 18,2 мг/100 г почвы, подвижных калия (по ГОСТ 26205–91) – 30,6 мг/100 г, реакция почвы слабощелочная – 5,5...6,5 ед. рН. Обменная кислотность отсутствует, гидролитическая кислотность варьирует от 2 до 4 мг-экв./100 г почвы. Степень насыщения почвы основаниями 85...95 %.

Инокуляцию растений смесью урениниоспор гриба с тальком проводили в мае в фазе колошения при температуре воздуха не менее 16 °С вечером после выпадения росы, нагрузка – 5 мг/м² (в соотношении 1:100) [25]. После обнаружения признаков заражения в динамике (через каждые 7...10 суток) учитывали интенсивность поражения и тип реакции сорта, просматривая по 20 растений в трёх точках делянки. Степень поражения определяли по шкале Петерсона и др. [26], тип реакции растений в баллах – по шкале Стэкмана и др. [27]. Достоверность различий между вариантами оценивали методом дисперсионного анализа [28].

При проведении исследований использовали материально-техническую базу УНУ «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (https://ckp-rf.ru/usu/671925/?sphrase_id=3644277) и объекты БРК «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» ФГБНУ ФНЦБЗР.

В 2018 г. осень выдалась тёплой и продолжительной, засушливой в первой половине и с осадками во второй половине октября. Влагообеспеченность до середины октября была недостаточной для прорастания зерна и формирования всходов. Озимые культуры вегетировали большую часть ноября. После кратковременного прекращения в конце этого месяца вегетация продолжалась и в декабре.

В 2019 г. метеоусловия сложились благоприятно

Табл. 1. Динамика развития стеблевой ржавчины пшеницы (опытное поле ФГБНУ ФНЦБЗР, фаза молочно-восковой спелости зерна, 2018–2020 гг.), %

Вариант	2018 г.			2019 г.			2020 г.		
	01.06	08.06	15.06	31.05	07.06	14.06	02.06	09.06	16.06
Сварог (S контроль восприимчивости)	10,0	25,0	75,5	15,5	35,0	85,0	9,5	20,5	80,0
Батько (R)	0,1	2,0	10,0	0,5	1,5	8,0	0,1	2,5	5,0
Смесь 1R:1S	2,5	10,0	30,0	1,5	10,0	25,5	3,5	15,0	55,5
Смесь 4R:1S	0,5	2,5	6,1	0,1	1,0	5,5	0,1	2,0	5,0

для развития фитопатогенов на пшенице, с начала февраля до конца мая влажность воздуха была высокой (в пределах 65...90 %), а температуры продолжительный период держались в пределах оптимума для возбудителя болезней. К концу мая, с повышением температуры и снижением влажности отмечали сильное развитие стеблевой ржавчины.

Метеоусловия 2020 г. складывались неблагоприятно для развития патогена на озимой пшенице: наблюдался значительный недобор влаги в зимний и весенний период, возвратные заморозки весной, атмосферная и почвенная засуха.

Результаты и обсуждение. С учетом благоприятных погодных условий к концу вегетации культуры развитие болезни на восприимчивом сорте Сварог в 2018 г. достигало 75,5 %, в 2019 г. – 85,0 %, в 2020 г. – 80,0 %. Развитие стеблевой ржавчины в сортосмешанном посеве 1R:1S было ниже, чем на восприимчивом сорте Сварог, соответственно в 2,5, 3,3 и 1,4 раза, составляя 30,0 %, 25,5 %, 55,5 %. В смеси 4R:1S развитие болезни находилось на уровне 6,1 %, 5,5 % и 5,0 %, что в 12,4, 15,5 и 16,0 раз ниже, чем на восприимчивом сорте. На устойчивом сорте Батько развитие *P. graminis* за три года исследований не превышало 10,0 % (табл. 1).

Биологическая эффективность изучаемого технологического приема при соотношении сортов 1R:1S составляла от 30,6 % (в 2020 г.) до 70,0 % (2019 г.), 4R:1S – от 91,9 % (2018 г.) до 93,7 % (2020 г.). В результате за три года изучения наибольшая прибавка урожая зерна к уровню восприимчивого контроля зафиксирована при соотношении сортов 4R:1S (от 8,4 % до 28,9 %), а самой высокой она была в 2020 г. (табл. 2).

Наибольшую прибавку урожая зерна смеси сортов в соотношениях 1R:1S к восприимчивому контролю отмечали в 2019 и 2020 гг. (11,4 % и 10,4 % соответственно), в 2018 г. она составила 5,7 %. Максимальную в опыте урожайность во все годы исследований форми-

ровали посева устойчивого сорта. Так, в 2018 и 2019 гг. сбор зерна в этом варианте был выше, чем в контроле, на 14,6 % и 37,5 %, что на 8,9 % и 26,1 % больше, по сравнению со смесью сортов в равных частях, и на 6,2 % и 18,1 %, с вариантом 4R:1S.

Таким образом, возделывание смеси сортов, различающихся по устойчивости к *P. graminis* Батько и Сварог в соотношении 4R:1S позволяет снизить развитие болезни в 12,4...16,0 раз и обеспечивает наибольшую биологическую эффективность против стеблевой ржавчины (на уровне 91,9...93,7 %), что дает возможность сформировать прибавку урожая зерна на уровне 8,4...28,9 %. Выращивание смеси устойчивых и восприимчивых сортов (типа Батько и Сварог) можно рекомендовать для сельскохозяйственного производства с целью уменьшения степени развития *P. graminis* в посевах пшеницы озимой.

Литература.

1. Синяк Е.В., Волкова Г.В., Митрофанова О.П. Источники устойчивости пшеницы и эгилопса к стеблевой ржавчине (возбудитель *Puccinia graminis* Pers. f. sp. tritici Erikss. Et Henn.) // Научный журнал КубГАУ. 2011. №67 (03). С. 2.
2. Источники устойчивости к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины из образцов мягкой пшеницы коллекции ВИР / Г.В. Волкова, О.О. Мирошниченко, Е.В. Гладкова и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 50–53. doi: 10.30850/vrsn/2020/4/50-53.
3. Detection of virulence to resistance gene Sr36 within the TTKS race lineage of *Puccinia graminis* f. sp. tritici / Y. Jin, L.J. Szabo, et al. // Plant Dis. 2009. № 93. P. 367–370.
4. Seedling resistance of selected Ethiopian bread and durum wheat lines against dominant stem rust races / A. Mekonnen, S. Fitsum, B. Netsanet, et al. // Journal of Plant Pathology. № 101 (5). 2018. P. 115–120. doi:10.1007/s42161-018-0157-0.
5. Detection of virulence to Sr24 within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. tritici / Y. Jin, J. Szabo, Z. A. Pretorius, et al. // Plant Dis. 2008a. Vol. 92. P. 923–926.
6. Источники устойчивости яровой мягкой пшеницы к видам ржавчины и септориоза в северном Казахстане / М. Койшыбаев, Б.К. Канафин, Е.Н. Федоренко, et al. // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №12 (66). С. 117–122. doi: 10.23670/IRJ.2017.66.098.
7. Emmaculate A.O., Miriam K.Ch., Peter N.N. Evaluation of Stem Rust (*Puccinia graminis* f.sp tritici) Seedling Resistance in Kenyan Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Mutant Lines // World Journal of Agricultural Research. 2017. Vol. 5, № 5. PP. 279–283. doi: 10.12691/wjar-5-5-5.

Табл. 2. Хозяйственная эффективность применения сортосмешанных посевов против возбудителя стеблевой ржавчины (опытное поле ФГБНУ ФНЦБЗР, 2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Сварог (S) контроль	58,2	61,4	61,5
Батько (R)	66,7	84,4	86,4
Смесь 1R:1S	61,5	68,4	67,9
Смесь 4R:1S	63,1	73,3	79,3
НСР ₀₅	1,3	2,1	3,9

8. Tesfaye L. Seedling Resistance to Stem Rust (*Puccinia graminis f.sp.tritici*) and Molecular Marker Analysis of Resistance Genes in Some Wheat Cultivars // *Plant*. 2018. № 1. Vol. 6. P. 16–23. doi: 10.11648/j.plant.20180601.13.
9. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ваганова О.Ф. Скрининг Lr-генов пшеницы на устойчивость к *Puccinia triticina* в условиях Северо-Кавказского региона // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. № 5. С. 54–56. doi: 10.30850/vrsn/2019/5/54-56.
10. Гришечкина Л.Д., Волкова Г.В., Долженко В.И. Исследование эффективности фунгицидов для защиты зерновых культур от фузариоза колоса // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. № 4. С. 13–16.
11. Кремнева О.Ю., Асатурова А.М., Волкова Г.В. Отбор штаммов бактерий, проявляющих антагонизм в отношении возбудителя желтой пятнистости листьев пшеницы // *Биотехнология*. 2013. Т. 29. № 5. С. 54–59.
12. Zhuchenko A.A. Adaptive plant selection system (ecology-genetic basis): monograph. M.: «Agrorus», 2001. Vol. 2. 785 p.
13. Kiær L.P., Skovgaard I.M., Ostergard H. Effects of intervarietal diversity, biotic stresses and environmental productivity on grain yield of spring barley variety mixtures // *Euphytica*. 2012. Vol. 185. P. 123–138. doi: 10.1007/s10681-012-0640-1.
14. Does a mixture of old and modern winter wheat cultivars increase yield and water use efficiency in water-limited environments / Y. Fang, B. Xu, L. Liu, et al. // *Field Crop Res.* 2014. Vol. 156. P. 12–21. doi: 10.1016/j.fcr.2013.10.013.
15. Adu-Gyamfi P., Mahmood T., Trethowan R. Can wheat varietal mixtures buffer the impacts of water deficit // *Crop Pasture Sci.* 2015. Vol. 66. P. 757–769. doi: 10.1071/CP14177.
16. Wolfe M. S. The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance // *Annu. Rev. Phytopathol.* 1985. Vol. 23. P. 251–73. doi: org/10.1146/annurev.py.23.090185.001343. 6.
17. Mundt C.C., Brophy L.S., Kolars C. Effect of genotype unit number and spatial arrangement on severity of yellow rust in wheat cultivar mixtures // *Plant Pathol.* 1996. Vol. 45. № 2. P. 215–222. doi: 10.1046/j.1365-3059.1996.d01-127.x.
18. Finckh M.R. Integration of breeding and technology into diversification strategies for disease control in modern agriculture // *European Journal of Plant Pathology*. 2008. Vol. 121. № 3. P. 399–409. doi: 10.1007/978-1-4020-8780-6_19.
19. Роль смешанных посевов в снижении поражения болезнями озимой мягкой пшеницы / М. И. Зазимко, Ф.А. Колесников, А.К. Лоза и др. // *Защита и карантин растений*. 1996. № 1. С. 11–14.
20. Волкова Г.В., Добрянская М.В., Колачева Н.Я. Развитие бурой ржавчины в сортосмешанных посевах // *Защита и карантин растений*. 2001. № 10. С. 31–33.
21. Волкова Г.В., Ваганова О.Ф., Кудинова О.А. Эффективность сортосмешанных посевов озимой пшеницы против возбудителя бурой ржавчины // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 7. С. 14–16. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10703.
22. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Ваганова О.Ф. Использование сортосмешанных посевов в защите озимой пшеницы от бурой ржавчины // *Земледелие*. 2020. № 5. С. 38–40. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10510.
23. Осипова А.Г. Влияние сортосмешанных посевов озимой пшеницы на урожайность и качество зерна // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. ст. по материалам IX Всероссийской конф. молодых учёных*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2016. С. 225–226.
24. Сорты пшеницы и тритикале Краснодарского НИИ-ИСХ им. П.П. Лукьяненко / Л.А. Беспалова, Ю.М. Пучков, Ф.А. Колесникова и др. Краснодар: ЭДВИ, 2004. 80 с.
25. Анпилогова Л. К., Волкова Г.В. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредным болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе) // Краснодар: РАСХН ВНИИБЗР, 2000. 28 с.
26. Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A. Diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals // *Canad. J. Rev.* 1948. № 26. P. 495–500.
27. Stakman E.C., Stewart D.M., Loegering W.Q. Identification of physiologic races of *Puccinia graminis* var. *tritici* // *U.S. Agric. Res. Serv.* 1962. P. 1–53.
28. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию. 2012. 352 с.

Поступила в редакцию 09.04.2021
 После доработки 11.05.2021
 Принята к публикации 28.06.2021

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ ФИТОПАТОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ ОГУРЦА

Н.Н. Лой, кандидат биологических наук, **Н.И. Санжарова**, член-корреспондент РАН,
С.Н. Гулина, О.В. Суслова

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
249032, Калужская обл., Обнинск, Киевское шоссе, 109 км
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

В лабораторных опытах исследовано влияние разных доз и режимов низкоэнергетического электронного облучения семян огурца сортов Нежинские и Изящные, отличающихся по скороспелости и устойчивости к болезням, на жизнеспособность фитопатогенной микрофлоры. Облучение проводили в диапазоне доз от 1 до 5 кГр с шагом 1 кГр при двух ускоряющих напряжениях – 100 кВ (режим I) и 130 кВ (режим II) и одной мощности дозы – 100 Гр/имп. Семена огурца сорта Нежинские закладывали на проращивание через 6 и 30 суток, сорта Изящные – через 6 и 7 суток после облучения. При пострadiaционном периоде (ПП) 6 суток пораженность проростков сорта Нежинские антракнозом снижалась при дозах 1, 3 и 4 кГр в режим I и дозе 3 кГр в режим II и, напротив, возрастала при дозе 5 кГр в режиме II. При ПП=30 суток облучение подавляло развитие фузариоза на проростках огурцов сорта Нежинские при дозе 1 кГр независимо от режима облучения и вызывало увеличение их пораженности болезнью при дозах 2...4 кГр в режиме II. У огурцов сорта Изящные при ПП=6 суток облучение вызвало снижение степени поражения проростков фузариозом при всех дозах кроме 5 кГр в режиме II. В целом при облучении в режиме I наблюдали более значимое снижение пораженности, чем в режиме II. При ПП=7 суток степень поражения проростков огурцов сорта Изящные фузариозом, как и распространенность болезни, увеличилась при дозе 2 кГр в режим I и дозах 1, 2 и 4 кГр в режиме II.

INFLUENCE OF ELECTRONIC RADIATION ON RADIO RESISTANCE OF PHYTOPATHOGENIC MICROFLORA OF CUCUMBER

Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N., Suslova O.V.

*Russian Institute of Radiology and Agroecology,
249032, Kaluzhskaya obl., Obninsk, Kievskoe shosse, 109 km
E-mail: loy.nad@yandex.ru*

In laboratory experiments in 2020, the effect of different doses and modes of low-energy electron irradiation of seeds of cucumber varieties Nezhinskie and Grace, differing in early maturity and resistance to diseases, on the viability of phytopathogenic microflora was investigated. The seeds were irradiated in the dose range from 1 to 5 kGy in increments of 1 kGy at two accelerating voltages-100 kV (mode I) and 130 kV (mode II) and one dose rate – 100 Gy/imp. It was shown that the pre-sowing irradiation of cucumber seeds at the same radiation dose rate of 100 Gy / pulse and different accelerating voltages of 100 kV (mode I) and 130 kV (mode II) and the setting of seeds for germination during the post-radiation period (PP) of 6 days had an inhibitory effect on the infestation of seedlings of cucumbers variety Nezhinskie with anthracnose at doses of 1, 3, and 4 kGy (mode I) and a dose of 3 kGy (mode II) and, on the contrary, stimulated the development of anthracnose at a dose of 5 kGy under mode II. At PP = 30 days, irradiation suppressed the development of fusarium on seedlings of cucumbers of the Nezhinskii variety at a dose of 1 kGy, regardless of the irradiation regime and caused an increase in the incidence of fusarium on seedlings at doses of 2–4 kGy (mode II). In cucumbers of cultivar Graceful, the results of phytoexamination of 7-day-old seedlings revealed that at PP = 6 days, irradiation caused a decrease in the degree of damage to seedlings by Fusarium at all irradiation doses except for a dose of 5 kGy (mode II). It was noted that with irradiation in mode I, a more significant decrease in the incidence was observed than in mode II. At PP = 7 days, the degree of damage to the seedlings of cucumbers of the Graceful Fusarium variety by Fusarium, as well as the prevalence of the disease, increased at a dose of 2 kGy (mode I) and doses of 1, 2, and 4 kGy (mode II).

Ключевые слова: электронное излучение, радиорезистентность, фитопатогенная микрофлора, семена огурца, степень поражения проростков, распространенность болезни

Key words: electronic radiation, radioresistance, phytopathogenic microflora, cucumber seeds, the degree of damage to seedlings, the prevalence of the disease

В последние годы вопросы защиты сельскохозяйственных растений в системе возделывания культур выдвигаются на передний план и становятся особенно актуальными, так как развитие патогенной микрофлоры в почве и на семенном материале достигло критического уровня. Известно, что через семена передается более половины всех болезней растений. Именно они служат источником опасных и вредоносных заболеваний, наносящих значительный вред товарному производству. Поэтому во многих странах предпосевная обработка семян средствами защиты растений не только необходимая, но и законодательно обязательная технологический прием.

Большинство возделываемых овощных культур повреждаются многочисленными болезнями. Нередко их вредоносность столь велика, что наносимый урон составля-

ет значительную долю урожая (до 50 %). В отдельных регионах, особенно там, где возникают благоприятные для патогенов климатические условия (высокая влажность воздуха, повышенные или умеренные температуры), в годы эпифитотий большинство средств защиты оказывается малоэффективным и иногда гибнет почти весь урожай. [1].

Установлено, что 80 % болезней овощных культур передаются через семена и только 20 % – через почву. Поэтому для выращивания крепкой и здоровой рассады необходимо проведение предпосевной обработки – протравливание химическими препаратами, тепловая обработка и др. [2, 3].

В то же время для защиты биоразнообразия, которое поддерживает здоровье и функции почвы, способствуя продовольственной безопасности, необходимо

сокращение загрязнения пестицидами. Глобальная карта сельскохозяйственных земель, составленная учеными Сиднейского университета, показала, что риску загрязнения пестицидами подвержены 64 % площади, используемой под сельское хозяйство и выращивание продовольственных культур, в том числе высокому риску почти 30 % [2, 3, 4].

Во второй половине XX столетия получил развитие принципиально новый метод предпосевной подготовки семян, основанный на использовании энергии электромагнитных излучений. Его стали использовать, наряду с таким традиционными методами, как, например, воздушно-тепловой обогрев, характеризующийся высокой энерго-трудоемкостью. Это открывает возможности для решения важных агроэкологических и социально-экономических проблем, направленных на дальнейшее увеличение производства продукции растениеводства, снижение энергозатрат, предотвращение загрязнения окружающей среды [5, 6, 7, 8].

Цель исследования – изучение влияния электронного излучения на радиорезистентность фитопатогенной микрофлоры семян огурца различных сортов для снижения пораженности проростков болезнями.

Методика. Объект исследований – семена огурца обыкновенного (*Cucumis sativus*) сортов Нежинские и Изыщные. Работу проводили в 2020 г. на естественном инфекционном фоне, поэтому для исследований целенаправленно были выбраны сорта, которые не обладают устойчивостью к поражению корневыми гнилями.

Облучение осуществляли в ИСЭ СО РАН (г. Томск) на широкоапертурном электронном ускорителе «Дуэт» с сетчатым плазменным катодом и выводом генерируемого пучка большого сечения в атмосферу [9]. Эксперименты проводили при единой длительности и амплитуде тока пучка с разным ускоряющим напряжением (U): 100 кВ – I режим и 130 кВ – II режим. Суммарная введенная доза набиралась путем многократного воздействия на зерно электронным пучком (то есть зерно, расположенное на транспортере, несколько раз проходило под выводным окном ускорителя) и варьировалась в диапазоне 1,0...5,0 кГр с шагом 1 кГр. Мощность дозы излучения составляла 100 Гр/имп.

Семена изучаемых сортов огурца в количестве 160 шт. на один вариант (дозу) приклеивали между двух полосок скотча толщиной 50 мкм, что позволяло уложить их в один слой на расстоянии 20 мм от выводного окна ускорителя. При наборе дозы образец обязательно переворачивали на другую сторону с целью ее выравнивания в каждом семени.

После облучения семена проращивали в рулонах фильтровальной бумаги в течение 7 суток в термостате при температуре +20 °С по ГОСТ 12038-84. Семена огурца сорта Нежинские закладывали на проращивание через 6 и 30 суток, сорта Изыщные – через 6 и 7 суток после облучения, чтобы определить период, наиболее благоприятный для подавления микрофлоры семян огурца. Учет пораженности (степень поражения и распространенность) 7-исуточных проростков болезнями проводили по общепринятым методикам [10, 11].

Результаты и обсуждение. Фитоэкспертиза 7-исуточных проростков огурца сорта Нежинские, взятых на проращивание через 6 суток после облучения (постредиационный период (ПП) – 6 суток) выявила, что они были поражены тремя видами грибных болезней – гельминтоспориозом (возбудитель *Helminthosporium* sp.), фузариозом (возбудитель *Fusarium oxysporum*) и антракнозом (возбудитель *Colletotrichum lagenarium*). Электронное облучение оказало ингибирующее влия-

ние (снижение в 5,8 раза) на пораженность проростков антракнозом при обработке в режиме I дозами 1, 3 и 4 кГр, в режиме II – в дозе 3 кГр и, напротив, стимулировало развитие антракноза при дозе 5 кГр при обработке в режиме I и II в 1,5 и 1,2 раза соответственно при $p < 0,95$ (рис. 1).

Пораженность проростков фузариозом при облучении дозой 1 кГр в режиме I увеличилась в 11 раз, в дозах 3 и 4 кГр в режиме II – соответственно в 9,8 и 6,8 раза (см. рис. 1а). Распространенность болезней снижалась или повышалась в той же зависимости от дозы облучения, как и пораженность (см. рис. 1б). Так, распространенность антракноза при облучении в дозах 1, 3 и 4 кГр (режим I) уменьшилась в 4 раза, а при дозе 5 кГр в режиме I и II – возросла в 2,2 и 1,5 раза соответственно. Распространенность фузариоза при дозе 1 кГр в режиме I увеличилась в 8 раз, 3 и 4 кГр в режиме II – в 5 раз.

При проращивании семян огурцов сорта Нежинские через 30 суток после облучения проростки были поражены в основном фузариозом, развитие которого снижалось в 2,1...4,3 раза при облучении дозой 1 кГр независимо от режима и повышалось в 1,7...3,1 раза ($p < 0,95$) при облучении дозами 2...4 кГр в режиме II (рис. 2а). Незначительное (менее 1 %) развитие гельминтоспориоза отмечено при дозах 1 и 5 кГр (режим I) и 1 кГр (режим II), а облучение дозой 5 кГр вызвало рост пораженности проростков этим заболеванием выше 6 % (рис. 2а).

Увеличение степени поражения проростков огурца фузариозом при облучении дозами 2...4 кГр в режи-

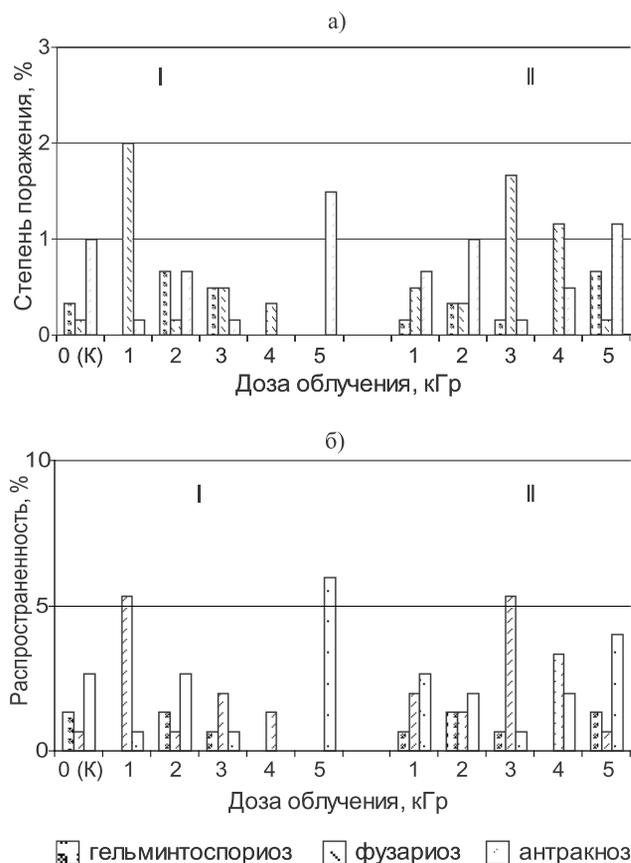


Рис. 1. Влияние облучения семян огурца сорта Нежинские на пораженность (а) проростков болезнями и их распространенность (б) при ПП=6 суток (здесь и далее I и II – режимы облучения).

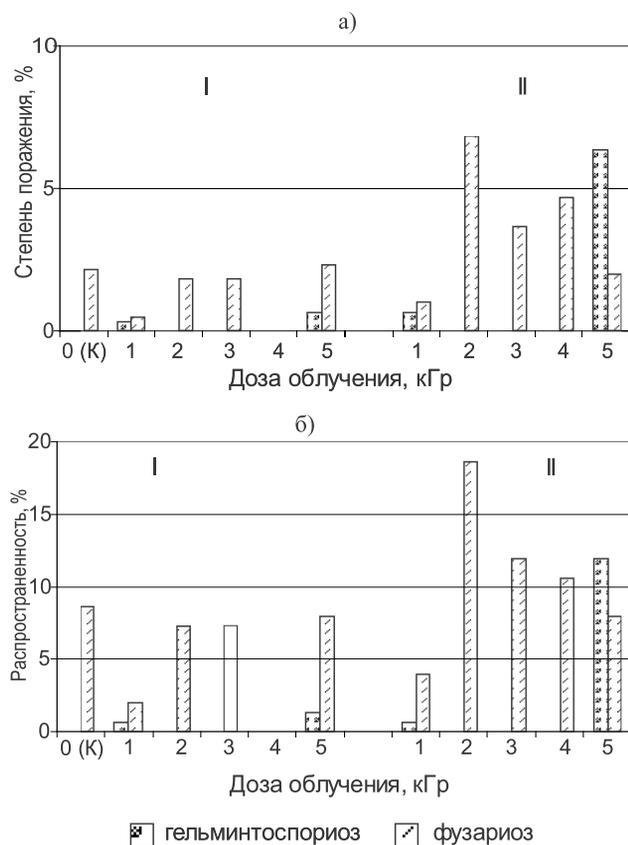


Рис. 2. Влияние облучения семян огурца сорта Нежинские болезнями на пораженность (а) проростков огурца и распространенность (б) при ПП=30 суток.

ме II и гелиминтоспориозом при дозе 5 кГр в режиме II, вероятно, можно объяснить более длительным временем (ПП=30 суток), прошедшим после облучения, вследствие чего его эффективность снизилась.

Распространенность болезни при ПП=30 суток имела те же зависимости от дозы облучения, что и степень поражения (рис. 2б). Для фузариоза она снижалась в 2,2...4,3 раза при облучении дозой 1 кГр независимо от режима и повышалась в 1,2...2,2 раза (при $p < 0,95$) в вариантах с дозами 2...4 кГр и режиме II.

Известно, что биологическая эффективность действия ионизирующих излучений на растения зависит не только от культуры, но и от сортовых особенностей. Результаты фитозэкспертизы 7-исуточных проростков огурцов сорта Изящные свидетельствуют, что при ПП=6 суток облучение вызвало снижение степени их поражения фузариозом при всех дозах облучения кроме 5 кГр в режиме II (рис. 3а). Одновременно при режиме I снижение пораженности было более значительным (в 1,9...2,7 раза), чем при режиме II (в 1,7...2,4 раза).

Наличие проростков огурца сорта Изящный, пораженных антракнозом, было отмечено только после облучения дозой 3 кГр в режиме II, тогда как в других вариантах возбудителей этой болезни на семенах не отмечали, поэтому провести сравнительный анализ не представлялось возможным.

Распространенность фузариоза при пострadiационном периоде 6 суток также сильнее снижалась при режиме I. При облучении дозами 1...5 кГр в этом режиме уменьшение составляло в 1,5...1,95 раза, тогда как

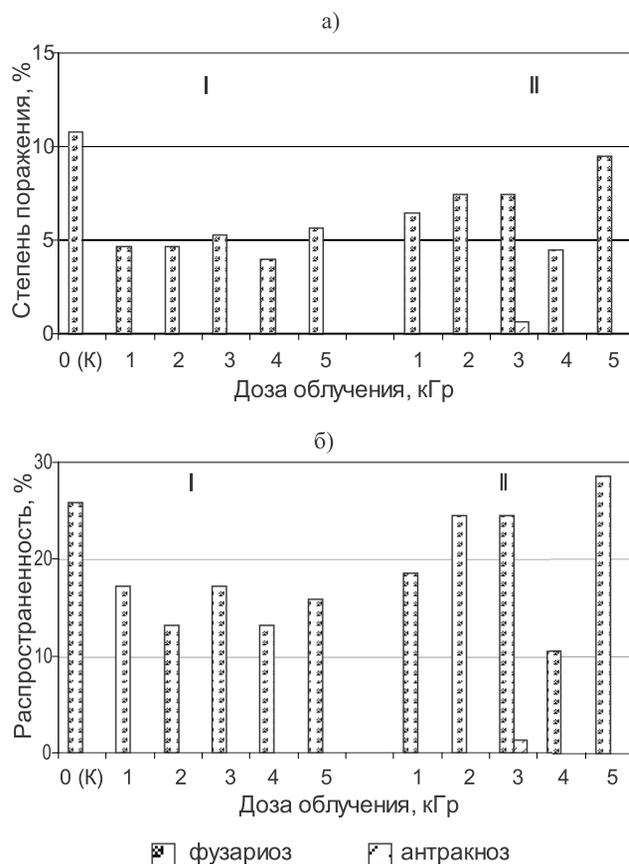


Рис. 3. Влияние облучения семян огурца сорта Изящные на пораженность (а) проростков болезнями и распространенность (б) при ПП=6 суток.

при режиме II снижение наблюдали только в вариантах с дозами 1 и 4 кГр – в 1,4 и 2,4 раза соответственно (рис. 3б).

При увеличении пострadiационного периода до 7 суток степень поражения проростков огурцов сорта Изящные фузариозом, как и распространенность болезни, увеличивалась, по сравнению с контролем, при дозе 2 кГр в I режиме в 1,9 раза, дозах 1, 2 и 4 кГр во II режиме – в 1,7...2,5 раза (рис. 4).

Результаты нашего исследования согласуются с данными, приведенными в работе [12], где предпосевное низкоэнергетическое электронное облучение

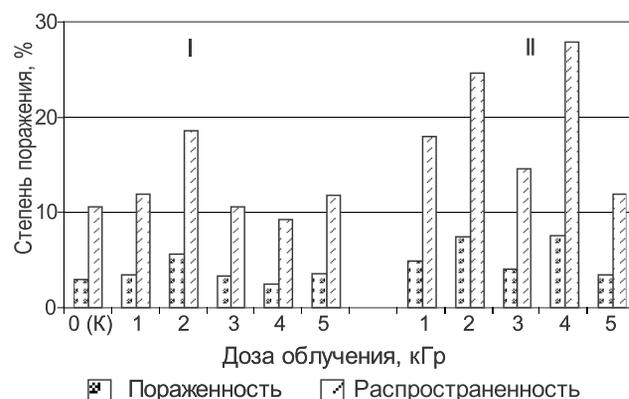


Рис. 4. Степень поражения и распространенность фузариоза на проростках огурца сорта Изящные при ПП=7 суток.

семян ячменя сорта Нур в диапазоне 1...5 кГр статистически значимо ($p < 0,05$) снижало степень поражения проростков *Drechslera teres* в зависимости от дозы и ее мощности (100 и 500 Гр/имп.) в 2...3 раза, *Penicillium* sp. – в 3,5...13,7 раза и не влияло на поражение проростков *Fusarium* sp. Уменьшение распространенности *Drechslera teres* варьировало от 1,5 до 3,2 раза, *Penicillium* sp – от 4 до 8 раз. При увеличении пострadiaционного периода до 28 суток подавление развития (в 2...3 раза) отмечено только у возбудителя гельминтоспориоза *Drechslera teres* в основном при дозе 1,0 кГр.

В работе [13] было показано, что влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Владимир низкоэнергетическим электронным пучком мощностью 500 Гр/имп. на развитие гельминтоспориоза зависит как от дозы (в диапазоне от 1 до 8 кГр), так и от продолжительности пострadiaционного периода. Наиболее эффективное воздействие на *Drechslera teres* отмечено при ПП 4 суток: степень поражения болезнью при дозах 4...8 кГр снижалась на 33...48 %, распространенность – на 29...46 %. При ПП 7 и 11 суток облучение семян дозами 3...5 кГр уменьшало степень поражения проростков *Drechslera teres* на 30...37 % и 28...41 % соответственно. С увеличением пострadiaционного периода до 14 суток и более эффективность облучения снижалась или отсутствовала вовсе.

Таким образом, проращивание обработанных низкоэнергетическим электронным облучением семян огурца через 6 суток после воздействия снижало пораженность проростков сорта Нежинские антракнозом при дозах 1, 3 и 4 кГр в режиме I (ускоряющее напряжение 100 кВ) и дозе 3 кГр в режиме II (ускоряющее напряжение 130 кВ), сорта Изыщные – фузариозом при всех дозах облучения кроме дозы 5 кГр в режиме II. Обработка в режиме I снижала пораженность сильнее, чем в режиме II. Увеличение времени от облучения до закладки семян на проращивания более 6 суток также уменьшало эффективность исследуемого технологического приема.

Литература.

1. Бексеев Ш.Г. Большая энциклопедия огородничества. СПб.: Диля, 1999. 783 с.
2. Способы предпосевной подготовки семян и методика их моделирования / И.И. Бартнев, О.А. Подвигина, Д.С. Гаврин и др. // Лесотехнический журнал. 2018. № 4. С. 199–207.
3. Эффективность защитностимулирующих композиций для обработки семян зерновых, зернобобовых и крупяных культур в условиях Орловской области / Е.В. Кирсанова, Г.А. Борзенкова, Л.А. Тинякова и др. // Вестник ОрелГАУ. 2012. № 4(12). С. 39–45.
4. 64% сельхозземель в мире подвержены риску загрязнения пестицидами // Агробизнес. 30 марта 2021. URL: <https://agbz.ru/news/64-selkhozemel-v-mire-podverzheny-risku-zagryazneniya-pestitsidami> (дата обращения: 02.04.2021)
5. Лавринова В.А., Чекмарев В.В., Гусев И.В. Общие принципы развития исследований по защите зерновых культур от болезней в Тамбовской области // Земледелие. 2018. № 1. С. 27–31.
6. Соболева О.М. Динамика численности микроорганизмов на поверхности зерновок ржи и ячменя после электромагнитной обработки // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 21–23.
7. Исследование и разработка установок для предпосадочной обработки клубней картофеля воздействием электрофизических факторов / А.И. Котин, Г.В. Новикова, П.В. Зайцев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 89–93.
8. Беспалько В.В., Бурак Ю.И. Влияние предпосевной обработки семян микроволновым полем в сочетании с регулятором роста и биопрепаратом на посевные качества и урожайные свойства ячменя ярового // Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры». 2014. № 4 (12). С. 133–138.
9. Vorobyov M.S., Koval N.N., Sulakshin S.A. An electron source with a multiaperture plasma emitter and beam extraction into the atmosphere // Instrum. Exp. Tech. 2015. 58. No. 5. P. 687–695.
10. Войтова Л.П. 1980 Анализ семян ячменя на зараженность корневой гнилью // Защита растений. 1980. № 2. С. 48–49.
11. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения качества. Часть 2. Государственные стандарты Союза ССР. ГОСТ 12044-81. Методы определения зараженности болезнями. Москва, 1991. С. 250–251.
12. Application of ionizing radiation for the protection of grain from pests and diseases / Chizh T.V., Loy N.N., Pavlov A.N., et al. // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1115. No. 2. 022025. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1115/2/022025> (дата обращения: 20.03.2021). doi: 10.1088/1742-6596/1115/2/022025.
13. Influence of electronic irradiation on the affection of barley by root rot / Loy N.N., Sanzharova N.I., Gulina S.N., et al. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1393. 012107. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1393/1/012107> (дата обращения: 18.03.2021). doi: 10.1088/1742-6596/1393/1/012107.

Поступила в редакцию 06.04.2021

После доработки 18.05.2021

Принята к публикации 25.06.2021

Агрочвоведение и агроэкология

УДК 576.851.13: 631.411: 635.13

DOI: 10.31857/S2500262721040116

**ОТЗЫВЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ НА ПРИМЕНЕНИЕ
АЗОТФИКСРУЮЩЕЙ БАКТЕРИИ В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЯХ*****В.П. Шабаяев**, доктор биологических наук*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
142290, Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 2
E-mail: VPSH@rambler.ru*

*Изучено влияние стимулирующей рост растений азотфиксирующей бактерии *Pseudomonas putida* 23 на урожай свеклы столовой в двухлетних микрополевых опытах (в сосудах без дна в естественных условиях) на почвах и специально приготовленных почвенных смесях с различной азотфиксирующей активностью. Исследования проводили при внесении NPK-удобрений. Активность азотфиксации определяли ацетиленовым методом. В вегетационном опыте изучена приживаемость устойчивого к антибиотикам штамма бактерии в ризоплане и ризосфере растений. Внесение бактерии увеличило урожай в почвенных условиях с минимальными в опыте значениями активности азотфиксации при высокой приживаемости бактерии. Применение бактерии было неэффективным на почвах и смесях с максимальными в опыте значениями азотфиксации при низкой приживаемости бактерии. Максимальные в опыте урожаи отмечены на почвах и смесях с максимальными значениями азотфиксирующей активности, на которых внесение бактерии не приводило к их увеличению. Применение бактерии на почвах и смесях с минимальными значениями активности азотфиксации, несмотря на рост величины этого показателя, не приводило к повышению урожая до максимального уровня. Вероятно, лимитирующими факторами в этом случае выступали другие показатели почвенного плодородия. Для прогноза эффективности внесения азотфиксирующих бактерий и стимуляции роста растений в различных почвенных условиях предложен почвенный тест – активность азотфиксации.*

**RESPONSIVENESS OF PLANTS TO APPLICATION OF N₂-FIXING
BACTERIUM IN VARIOUS SOIL CONDITIONS****Shabayev V.P.***Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences,
142290, Pushchino, Moskovskaya obl., ul. Institutskaya, 2
E-mail: VPSH@rambler.ru*

*The effect of N₂-fixing bacterium *Pseudomonas putida* 23 promoting growth of red beet plants on the yield in 2-year microfield experiments (in pots without bottom in a natural conditions) on soils and specially prepared soil mixtures with various N₂-fixing activity was examined. Plants were grown with NPK fertilization. N₂-fixing activity was determined by acetylene reduction assay. In pot experiment, the survival of bacterium in the rhizoplane and rhizosphere of plants were studied under using an antibiotics-resistant strain of bacterium. Application of bacterium increased yield in soil conditions with minimum values of N₂-fixing activity and with a high survival rate of bacterium. Application of bacterium was ineffective on soil and mixtures with the maximum values of N₂ fixation at a low bacterial survival rate. Maximum yields were obtained when plants were grown on soils and mixtures with maximum values of N₂ fixation, where application of bacterium did not lead to increase in the yield. Application of bacterium on soils and mixtures with minimum values of N₂-fixing activity, despite the increase in this index, did not lead to increase in yield to maximum level. Probably, herewith other indices of soil fertility were the limiting factors in increasing yield. A soil test is proposed – the activity of N₂ fixation to predict the effectiveness of application of N₂-fixing bacteria and plant growth promotion in various soil conditions.*

Ключевые слова: *Pseudomonas*, почвы и почвенные смеси, свекла столовая (*Beta vulgaris* L.), ацетиленовый метод

Key words: *Pseudomonas*, soils and soil mixtures, red beet (*Beta vulgaris*, L.), acetylene reduction assay

В последние годы проведены многочисленные исследования по применению стимулирующих рост растений ризосферных бактерий (plant growth-promoting rhizobacteria), в том числе принадлежащих к флуоресцирующим бактериям рода *Pseudomonas* [1, 2, 3], с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. В ряде работ установлена высокая эффективность их использования, которая обусловлена высокой конкурентоспособностью таких бактерий с аборигенной почвенной микрофлорой, а также их приживаемостью в ризоплане и ризосфере растений [4]. Среди представителей бактерий рода *Pseudomonas*, выделенных из ризосферы различных растений [1, 5] и эндосферы риса [5], выявлены штам-

мы, обладающие способностью фиксировать атмосферный азот. Установлено, что ростстимулирующая активность и отзывчивость (увеличение массы) растений при использовании бактерий рода *Pseudomonas* значительно различались на разных почвах [4]. При этом в некоторых публикациях, наряду со значительной стимуляцией роста растений и увеличением урожая сельскохозяйственных культур, отмечается отсутствие или даже негативный эффект от применения различных полезных (beneficial) микроорганизмов. Во многом это обусловлено тем, что бактериальные препараты применяли без учета свойств почв [6]. Существенным фактором различной отзывчивости растений была колонизация ростстимулирующими

*Работа выполнена в рамках Госзадания «Физико-химические и биогеохимические процессы в антропогенно измененных почвах» (ААА-А-18-118013190180-9 от 31.01.2018 г.).

ризосферными бактериями рода *Pseudomonas* ризоплана и ризосферы [4]. Определяющими и оказывающими значительное влияние на колонизацию интродуцированными ростстимулирующими бактериями *P. fluorescens* и *P. putida* ризоплана и ризосферы, а также на отзывчивость растений на бактеризацию факторами выступали влажность и тип почвы, вид и сорт растений, корневые экссудаты и др. [4]. Так, при установлении на корнях растений популяции флуоресцирующих псевдомонад большее влияние оказывали свойства почвы, а не вид растений [7]. Для успешного применения микроорганизмов-стимуляторов роста, сопровождающегося увеличением урожая, необходимо исследовать эффективность их использования на различных почвах. На сегодняшний день информации о влиянии ростстимулирующих ризосферных бактерий рода *Pseudomonas*, обладающих способностью фиксировать атмосферный азот, на урожай сельскохозяйственных культур и о колонизации внесенными бактериями ризоплана и ризосферы растений, выращиваемых на различных почвах, недостаточно.

Цель работы – изучение влияния стимулирующей рост растений свеклы столовой ризосферной бактерии *P. putida* 23, фиксирующей атмосферный азот, на приживаемость в ризоплане и ризосфере растений, а также урожай на различных почвах и специально приготовленных почвенных смесях, отличающихся активностью азотфиксации.

Методика. Исследования проводили при выращивании свеклы столовой (*Beta vulgaris*, L.) сорта Бордо на различных почвах и почвенных смесях в двухлетних микрополевых и в вегетационном опыте. В экспериментах использовали 0...20 см слой агродерново-подзолистой и агросерой почв, аллювиальной агротемно-гумусовой почвы центральной части поймы р. Ока (юг Московской обл.), смесь агросерой почвы и речного песка (1:1) и аллювиальную агротемно-гумусовую почву с внесением перепревшего навоза (200 г/сосуд). Отличительная особенность заключалась в том, что почвы аналогичных типов для обоих опытов были отобраны в разные годы с участков с различным местоположением. Перед посевом растений определяли активность азотфиксации почв и смесей ацетиленовым методом при внесении глюкозы из расчета 2 % от массы почвы и ее инкубации при 60 % ПВ и 28 °С в течение 24 ч [8]. В опытах использовали культуру бактерии *P. putida* 23, обладающую азотфиксирующей активностью – 8 нМ С₂Н₄/мг белка/мин. Бактерия в чистой и смешанных культурах стимулировала рост и увеличивала массу зерновых, бобовых и корнеплодных культур, том числе свеклы столовой [9].

Исследования проводили в сетчатом вегетационном павильоне Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН.

Микрополевые опыты 1 и 2 выполняли в течение двух вегетационных периодов на почвах и специально приготовленных для каждого опыта почвенных смесях. В сосуды без дна размерами 0,33 м × 0,33 м × 0,33 м, вкопанные в верхний слой почвы и содержащие по 36 кг почв или почвенных смесей помещали по 4 растения. В обоих опытах в верхний 0...15 см слой вносили азотное удобрение в виде азотнокислого аммония в дозе 1,2 г N/сосуд (12 г N/м²) на фоне фосфорного и калийного удобрений соответственно в виде двухзамещенного фосфорнокислого калия и сернокислого калия в дозах по 1,2 г действующего вещества/сосуд (12 г д.в./м²). Кроме того, в обоих опытах

аллювиальную агротемно-гумусовую почву вносили перепревший навоз в дозе 200 г/сосуд (2 кг/м²). Пророщенные и стерилизованные 10 %-ным раствором гипохлорита натрия семена при посеве инокулировали суспензией клеток бактерии из расчета 10⁸ колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 растение. Аналогичным образом в вариантах без инокуляции применяли адекватные количества суспензии автоклавированных бактериальных клеток. Растения находились под открытым небом при естественном увлажнении, поддерживая влажность почвы в сосудах на уровне не ниже 60 % ПВ дополнительными поливами. Повторность опытов 5-кратная. После уборки корнеплоды и надземную массу (ботву) высушивали и взвешивали.

Вегетационный опыт проводили в сосудах, содержащих по 1 кг почв и почвенных смесей, использованных в микрополевым опыте 2. Выращивали по 2 растения свеклы столовой в течение 8 недель. Для определения колонизации бактерией *P. putida* 23 корней растений и выживания бактерии в ризосфере семена инокулировали мутантным штаммом, устойчивым к антибиотикам рифампицину и канамицину (минимальная ингибирующая концентрация > 200 мкг/мл). Повторность опыта 15-кратная. В динамике через 4, 6 и 8 недель в 5-и повторностях опыта определяли численность интродуцированной бактерии в ризоплане и ризосфере растений [8] с применением среды Кинга Б для флуоресцирующих псевдомонад с добавлением рифампицина и канамицина по 200 мкг/мл среды.

Результаты и обсуждение. Почвы и почвенные смеси резко отличались по активности азотфиксации – ацетиленредукции (табл. 1). Минимальной в опыте активностью азотфиксации среди почв и смесей обоих микрополевых опытов отличалась агросерая почва, в том числе разбавленная песком – 11...35 мг С₂Н₄ × 10⁻²/кг почвы/ч. Агродерново-подзолистая и аллювиальная агротемно-гумусовая почва с внесением навоза в опыте 1 характеризовались наибольшей активностью азотфиксации – 292 и 374 мг С₂Н₄ × 10⁻²/кг почвы/ч соответственно. Азотфиксирующая активность аллювиальной агротемно-гумусовой почвы в опыте 1 была

Табл. 1. Активность азотфиксации* почв и почвенных смесей

Опыт	Почва, почвенная смесь	мг С ₂ Н ₄ /кг почвы/ч × 10 ⁻²
Микрополевой 1	Агродерново-подзолистая почва	292 ± 33
	Агросерая почва + песок	11 ± 2
	Агросерая почва	14 ± 3
	Аллювиальная агротемно-гумусовая почва	51 ± 9
	Аллювиальная агротемно-гумусовая почва + навоз	374 ± 53
Микрополевой 2, вегетационный	Агродерново-подзолистая почва	43 ± 8
	Агросерая почва + песок	21 ± 4
	Агросерая почва	35 ± 4
	Аллювиальная агротемно-гумусовая почва	260 ± 52
	Аллювиальная агротемно-гумусовая почва + навоз	338 ± 61

*среднее из пяти определений ±ошибка средней.

Табл. 2. Численность бактерий* *P. putida* 23 в ризоплане (числитель) и ризосфере (знаменатель) в вегетационном опыте, КОЕ/г корней/почвы × 10⁵

Почва, почвенная смесь	Срок измерения, сут		
	28	41	51
Агродерново- подзолистая	82,3 ± 12,5	7,0 ± 1,5	3,5 ± 0,9
	21,1 ± 5,2	11,1 ± 1,8	7,5 ± 2,5
Агросерая + песок	53,2 ± 9,4	6,0 ± 1,3	2,4 ± 0,7
	5,9 ± 1,1	8,8 ± 0,9	1,7 ± 0,5
Агросерая	12,1 ± 2,1	18,0 ± 3,1	1,0 ± 0,2
	6,1 ± 0,9	0,8 ± 0,3	1,2 ± 0,4
Аллювиальная агроотемно-гумусовая	32,2 ± 6,3	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1
	0,5 ± 0,2	0,1 ± 0,1	0,4 ± 0,2
Аллювиальная агроотемно-гумусовая + навоз	8,1 ± 1,1	5,1 ± 1,2	0,8 ± 0,2
	3,4 ± 1,2	6,4 ± 1,3	1,4 ± 0,4

*среднее из пяти определений ± ошибка средней.

примерно в 4 раза больше, чем у агросерой, в том числе модифицированной песком. Внесение навоза увеличивало активность азотфиксации аллювиальной агроотемно-гумусовой почвы в этом опыте почти на порядок, доводя ее до уровня агродерново-подзолистой почвы. Активность азотфиксации аллювиальной агроотемно-гумусовой почвы в микрополевым опыте 2 была максимальной, более чем в 5 раз превышала величину этого показателя у аналогичной почвы микрополевого опыта 1 и практически не изменялась при внесении навоза. Минимальные величины этого показателя во втором опыте были зафиксированы для агросерой почвы, в том числе разбавленной песком, и агродерново-подзолистой почвы, азотфиксирующая активность которой в опыте 2, была почти в 7 раз меньше, чем в опыте 1.

Численность меченной по устойчивости к антибиотикам бактерии *P. putida* 23 в ризоплане и ризосфере растений в динамике в процессе их роста в вегетационном опыте зависела от почвенных условий и продолжительности роста свеклы (табл. 2). В среднем за вегетационный период бактерия в наибольшей степени колонизировала корневую систему растений в агродерново-подзолистой и агросерой почвах, в наименьшей – в аллювиальной агроотемно-гумусовой почве, удобренной навозом. Максимальная в опыте численность интродуцированной бактерии в ризоплане для большинства почвенных разновидностей отмечена в первый срок определения, через 28 суток роста растений. Наибольшее количество бактерий на корнях в этот срок было зафиксировано на агродерново-подзолистой и агросерой почвах – 82 × 10⁵ и 53 × 10⁵ КОЕ/г корней соответственно и несколько меньше – 32 × 10⁵ КОЕ на аллювиальной агроотемно-гумусовой почве. На аллювиальной агроотемно-гумусовой почве с внесением навоза и агросерой почве величина этого показателя была минимальной в опыте. После 41 и 57 суток роста количество бактериальных клеток в ризоплане заметно уменьшилось, за исключением аллювиальной агроотемно-гумусовой почвы, и находилось в пределах 0,2...3,5 × 10⁵ КОЕ в конце опыта. В среднем за период наблюдений численность бактерий в ризосфере растений на агродерново-подзолистой почве была на самом высоком в эксперименте уровне, на аллювиальной агроотемно-гумусовой почве – на минимальном в опыте. Максимальное в условиях эксперимента количество бактериальных клеток в ризосфере, как и в ризоплане, для большинства поч-

венных разновидностей отмечено в первый (после 28 суток роста) срок определений и составляло на агродерново-подзолистой почве 21,1 × 10⁵ КОЕ почвы. На агросерой почве без внесения и с внесением песка и аллювиальной агроотемно-гумусовой почве с внесением навоза величина этого показателя варьировала в пределах 3,4...6,1 × 10⁵, а минимальной в опыте она была на аллювиальной агроотемно-гумусовой почве без внесения навоза. После 41 и 57 сут опыта (во второй и третий срок определений соответственно) установлено значительное уменьшение числа бактериальных клеток в ризосфере растений для большинства почвенных разновидностей, кроме агросерой почвы и аллювиальной агроотемно-гумусовой почвы с навозом. Аналогичные закономерности по динамике численности генетически модифицированного и исходного штамма бактерии *P. fluorescens* в ризоплане и ризосфере выявлены при выращивании кукурузы на песчаной и глинистой почвах [10].

В микрополевым опыте 1 максимальный урожай свеклы столовой, включая корнеплоды, без внесения бактерии *P. putida* 23 зафиксирован на агродерново-подзолистой почве и аллювиальной агроотемно-гумусовой почве, удобренной навозом (табл. 3), которые характеризовались наибольшей азотфиксирующей активностью (см. табл. 2). Наименьший урожай без бактерий в этом опыте отмечен на агросерой почве, модифицированной песком, имевшей минимальную азотфиксирующую активность. Повышение урожая растений до максимального уровня в опыте 1 при вне-

Табл. 3. Урожай свеклы столовой в микрополевых опытах

Опыт	Почва, почвенная смесь	Вариант	Сухая масса, г/сосуд	
			корне-плоды	целое растение
1	Агродерново-подзолистая	Без инокуляции	170	229
		<i>P. putida</i> 23	162	236
	Агросерая + песок	Без инокуляции	91	137
		<i>P. putida</i> 23	107	172
	Агросерая	Без инокуляции	109	152
		<i>P. putida</i> 23	138	198
Аллювиальная агроотемно-гумусовая	Без инокуляции	114	158	
	<i>P. putida</i> 23	150	215	
Аллювиальная агроотемно-гумусовая + навоз	Без инокуляции	153	208	
	<i>P. putida</i> 23	163	228	
		<i>HCP</i> ₀₅	15	30
2.	Агродерново-подзолистая	Без инокуляции	59	94
		<i>P. putida</i> 23	85	126
	Агросерая + песок	Без инокуляции	83	112
		<i>P. putida</i> 23	81	126
	Агросерая	Без инокуляции	87	124
		<i>P. putida</i> 23	98	145
	Аллювиальная агроотемно-гумусовая	Без инокуляции	129	167
		<i>P. putida</i> 23	118	176
	Аллювиальная агроотемно-гумусовая + навоз	Без инокуляции	128	173
<i>P. putida</i> 23		127	189	
		<i>HCP</i> ₀₅	11	13

сении навоза в аллювиальную агротемно-гумусовую почву, имевшую невысокую азотфиксирующую активность, было обусловлено ростом величины этого показателя более чем в 7 раз (см. табл. 1). В микрополевым опыте 2 без инокуляции бактерией максимальный урожай свеклы столовой также был сформирован на имеющей максимальную азотфиксирующую активность аллювиальной агротемно-гумусовой почве, в том числе с внесением навоза. Минимальные урожаи неинокулированных растений в этом опыте установлены на агродерново-подзолистой почве и агросерой почве, в том числе модифицированной песком, с самой низкой активностью азотфиксации. Таким образом, азотфиксирующая активность почвы выступала определяющим фактором в формировании максимального урожая.

Отзывчивость растений на внесение азотфиксирующей бактерии *P. putida* 23 также зависела от почвенных условий и имела место на агросерой почве, в том числе модифицированной песком, в обоих микрополевых опытах, а также на агродерново-подзолистой почве в микрополевым опыте 2 (см. табл. 3), имевших низкую азотфиксирующую активность (см. табл. 1). Прибавки урожая при использовании бактерии были установлены только на этих почвах и смесях, которые к тому же характеризовались максимальной в опытах приживаемостью бактерии в ризоплане и ризосфере (см. табл. 2). Внесение бактерии было неэффективным и не приводило к увеличению урожаев в почвенных условиях с высокими (максимальными в опыте) величинами азотфиксации. В этих вариантах бактерия отличалась низкой (минимальной в опыте) приживаемостью в ризоплане и ризосфере, что, вероятно, связано с конкуренцией с аборигенной микрофлорой почвы. Кроме того, использование бактерии на почвах и почвенных смесях, характеризующихся низкой азотфиксирующей активностью, не обеспечивало увеличение урожая до максимального уровня, несмотря на значительное усиление активности азотфиксации. Вероятно, лимитирующим фактором в повышении массы растений до максимального уровня выступал уровень других показателей плодородия этих почв и почвенных смесей. Использование бактерии на аллювиальной агротемно-гумусовой почве в микрополевым опыте 1, усиливая азотфиксирующую активность, увеличило урожай, в том числе корнеплодов, до максимального уровня, как и внесение навоза на аллювиальной агротемно-гумусовой почве без бактерии.

Таким образом, урожайность свеклы столовой и эффективность применения стимулирующей рост растений азотфиксирующей бактерии *P. putida* 23 на фоне внесения НРК-удобрений зависели от почвенных условий. Максимальные в опытах урожаи без применения бактерии отмечены на почвах и почвенных смесях с наибольшей азотфиксирующей активностью. Внесение бактерии на почвах и почвенных смесях с минимальными величинами активности азотфиксации и высокой приживаемостью бактерии в ризоплане и ризосфере, повышало урожай растений в этих почвенных условиях. Внесение бактерии не оказывало влияния на урожай на почвах и почвенных смесях с максималь-

ной в опытах азотфиксирующей активностью и низкой приживаемостью бактерии в ризоплане и ризосфере. Прибавки урожая, полученные при использовании бактерии на почвах и почвенных смесях с минимальной азотфиксирующей активностью, не увеличивали урожай до максимального уровня.

Определение активности азотфиксации ацетиленовым методом может быть рекомендовано для прогноза эффективности применения испытанной бактерии для стимуляции роста растений при их выращивании на различных почвах.

Литература.

1. *Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture* / G. Gupta, S.S. Parihar, N.K. Ahirwar, et al. // *Journal of Microbial and Biochemical Technology*. 2015. Vol. 7 (2). P. 96–102. doi: 10.4172/1948-5948.1000188.
2. Dorjey S., Dolkar D., Sharma R. *Plant growth promoting rhizobacteria Pseudomonas: A review* // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6 (7). P. 1335–1344. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.160>.
3. *Ризосферные бактерии рода Pseudomonas в современных агробиотехнологиях* / Т.О. Анохина, Т.В. Сиунова, О.И. Сузова и др. // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 54–66. doi: 10.1134/S0002188118100034.
4. Kloepper J.W., Schroth M.N., Miller T.D. *Effects of rhizosphere colonization by plant growth-promoting rhizobacteria on potato plant development and yield* // *Phytopathology*. 1980. Vol. 70. P. 1078–1082. doi: 10.1094/Phyto-70-1078.
5. *The plant growth-promoting effect of the nitrogen-fixing endophyte Pseudomonas stutzeri A15* / T.K. Van Pham, H. Rediers, M.G.K. Ghequire, et al. // *Archives of Microbiology*. 2017. Vol. 199 (3). P. 513–517. doi: 10.1007/s00203-016-1332-3.
6. *Beneficial microbes for sustainable agriculture* / A.K. Chandel, H. Chen, H.Ch. Sharma, et al. // *Microbes for sustainable development and bioremediation. Chapter 15* / Eds Chandra R., Solti R.C. Boca Raton: CRC Press, 2019. 386 pp. <https://doi.org/10.1201/9780429275876>
7. *The composition of fluorescent pseudomonad populations associated with roots is influenced by plant and soil type* / X. Latour, T. Corberand, G. Laguerre, et al. // *Applied and Environmental Microbiology*. 1996. Vol. 62 (7). P. 2449–2456. doi: 10.1128/AEM.62.7.2449-2456.1996.
8. *Методы почвенной микробиологии и биохимии* / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
9. Шабаев В.П. *Микробиологическая азотфиксация и рост растений при внесении ризосферных микроорганизмов и минеральных удобрений* // *Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв*. М.: Наука, 2006. С. 195–211.
10. *Survival of genetically modified Pseudomonas fluorescens introduced into subtropical soil microcosms* / M.A.V. Araujo, L.C. Mendonça-Hagier, A. Hagier, et al. // *FEMS Microbiology Ecology*. 1994. Vol. 13 (3). P. 205–216. doi: 10.1111/j.1574-6941.1994.tb00067.x.

Поступила в редакцию 24.03.2021

После доработки 19.04.2021

Принята к публикации 27.06.2021

Зоотехния и ветеринария

УДК 577.19:636.034

DOI:10.31857/S2500262721040128

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОГО ФИТОБИОТИКА
НА ТЕЧЕНИЕ ВАКЦИНАЛЬНОГО СТРЕСС-СИНДРОМА У ТЕЛЯТО.Б. Филиппова^{1,2}, доктор биологических наук, А.И. Фролов¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
Е.С. Красникова², доктор ветеринарных наук¹Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
392022, Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28²Мичуринский государственный аграрный университет,
393760, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Интернациональная, 101
E-mail: filippova175@yandex.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния вакцинального стресс-синдрома на морфологические и биохимические характеристики крови телят на фоне применения кормовой фитодобавки адаптогенного действия. В состав добавки включены компоненты растительного происхождения (соцветия ромашки лекарственной, люцерна синяя, живица еловая), фруктоза, аскорбиновая кислота, препарат из сухих бактерий *Bacillus subtilis*, селен в органической форме. В Тамбовской области в условиях племенного завода в соответствии с требованиями по подбору аналогов были сформированы 2 группы (контрольная и опытная) 3-суточных телят. Животные опытной группы получали кормовую добавку индивидуально один раз в сутки по 10 г/голову с молоком в течение месяца. Через двое суток после вакцинации содержание иммуноглобулинов в крови телят опытной группы было больше на 1,3 г/л; уровень глюкозы – оставался в пределах физиологической нормы, а в контрольной группе – был выше на 29 мг/дл. Количество условно-патогенных бактерий *Klebsiella pneumoniae* в составе кишечной микрофлоры животных, получавших добавку, уменьшилось, по сравнению с образцами кала телят контрольной группы, в 10 раз. Использование кормового фитобиотика оказало положительное влияние на адаптацию телят-молочников к стрессовому воздействию вакцинации. На усиление резистентности их организма указывает увеличение числа нейтрофилов в крови на 64,3 %, активности ферментов переаминирования (АЛТ, АСТ) – на 26,4 и 18,1 % соответственно, лактатдегидрогеназы (ЛДГ) – на 11,3 %.

INFLUENCE OF FEED PHYTOBIOTICS
ON VACCINAL STRESS SYNDROME IN CALVESFilippova O.B.^{1,2}, Frolov A.I.¹, Krasnikova E.S.²¹All-russian scientific research institute of use of machinery and oil products in agriculture,
392022, Tambov, per. Novo-Rubezhnyi, 28²Michurinsk State Agrarian University,
393760, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. International'naya, 101
E-mail: filippova1968@mail.ru

The studies were carried out with the view to analyze the influence of the vaccination stress syndrome on the morphological and biochemical blood indicators in calves, against the background of the adaptogenic fodder phyto-additive application. The additive contains components of plant origin (chamomile inflorescences, blue alfalfa, spruce resin), fructose, cevitamic acid, lyophilized *Bacillus subtilis*, organic selenium. The two groups of 3-day-old calves (control and experimental) were formed in accordance with the analog principle in a stud farm the Tambov region. The animals of the experimental group were fed the additive individually once a day, 10 g / head with milk for a month. Two days after vaccination, immunoglobulins content in the calves' blood was 1.3 g / l higher; glucose level remained within the physiological norm, and in the control group it was higher by 29 mg / dl. The quantity of conditionally pathogenic bacteria *Klebsiella pneumoniae* in intestinal microbiota of the experimental group animals decreased by 10 times compared to the samples of the control group calves. The use of fodder phytobiotics had a positive effect on the adaptation of dairy calves to the immunization stress-related response. An increase in blood neutrophils quantity by 64.3%, the transaminases (ALT & AST) activity - by 26.4 and 18.1%, respectively, and lactate dehydrogenase (LDH) strength - by 11.3% are markers of the animals' organism increased resistance.

Ключевые слова: кормовая добавка, телята, вакцинальный стресс, резистентность

Key words: feed supplement, calves, vaccine stress, resistance

Вакцинация играет важную роль в поддержании здоровья продуктивных животных и служит одним из инструментов сокращения использования терапевтических антибиотиков. Вакцина обеспечивает профилактику заболевания путем стимулирования иммунной системы организма к выработке антител, которые, в свою очередь, действуют против патогенов, защищая организм от конкретных возбудителей. При этом в промышленном животноводстве одна из сопутствующих проблем, связанных с вакцинацией, – стресс-синдром, обуславливающий снижение интенсивности роста и продуктивности животных, а также повышающий чувствительность к другим стресс-факторам [1].

Состояние стресса связано с повышением адаптационных механизмов организма. Его характерная особенность – формирование специфического иммунитета, которое начинается на 3...5-й день и заканчивается на 12...18-й день после вакцинации. Развитие адаптивных реакций в организме происходит через гипоталамо-гипофизарно-адреналовую и гипоталамо-симпатно-адреналовую системы [2]. В ответ на раздражение вырабатывается кортикотропин-релизинг-гормон, действующий на переднюю долю гипофиза и вызывающий там секрецию адренортикотропного гормона, который, в свою очередь, стимулирует выработку в надпочечниках кортикостероидов и катехоламинов

– основных факторов развития стресса. Реакция организма при стрессе, выраженная усиленной секрецией гормонов, – необходимая предпосылка для дальнейшего включения специализированных механизмов иммунологической защиты. Гиперпродукция глюкокортикоидных гормонов вызывает усиление глюконеогенеза, обеспечивающего организм источником энергии для реакций адаптации, одновременно вызывая ускоренную утилизацию аминокислот и, благодаря этому, подавление синтеза белка [3].

Адаптивная реакция животного при стрессе проходит три стадии развития – мобилизации, резистентности и истощения, сопровождающихся биохимическими и морфологическими изменениями в организме [4]. Продолжительность мобилизации составляет от 6 до 48 ч. В этой стадии в крови животных наблюдается лимфопения, эозинопения и полиморфноядерный лейкоцитоз, усиливаются процессы распада органических веществ в тканях, что приводит к снижению продуктивности. В ряде случаев происходит сгущение крови и повышение проницаемости стенок кровеносных сосудов [5, 6]. В стадии резистентности усиливается функциональная деятельность надпочечников, выравниваются сдвиги, наступившие в начале воздействия стрессора, нормализуется обмен веществ, восстанавливается масса тела и продуктивность животных. Ее продолжительность составляет от нескольких часов до нескольких дней. Если стресс-фактор прекратил свое воздействие и организм справился с неблагоприятными последствиями, то развитие стресса заканчивается на этой стадии [7]. При длительном воздействии стрессового фактора наступает истощение организма [8].

Для задержки развития дистрофических процессов в организме стрессированных животных используют ветеринарные фармакологические препараты адаптогенного действия [9, 10]. Однако некоторые из них, особенно при длительном применении, могут вызывать индивидуальную непереносимость, задержку транзита содержимого кишечника, снижение его перистальтики [11, 12]. Скопление не полностью переваренной пищи в толстом отделе приводит к угнетению роста бифидо- и лактобактерий, усилению размножения энтеробактерий и других условно-патогенных микроорганизмов, которые вызывают функциональные расстройства в кишечнике.

Для коррекции микробиоценоза, повышения резистентности, стимуляции роста и развития животных применяют комплексные кормовые добавки – синбиотики, включающие в себя полезные микроорганизмы – пробиотики и питательную среду для их нормальной жизнедеятельности – пребиотики. Пребиотическим эффектом обладает большое количество химических соединений различных типов и сочетаний, синтезируемых растениями. Кроме того, растения служат источниками биологически активных веществ, способствующих лучшему усвоению корма, обладающих адаптогенным и иммуностимулирующим действием.

Вакцинация, как мощный стресс-фактор, оказывает значительное влияние на систему крови животных. Оценку характера течения стресс-реакции и прогнозирование ее исхода проводят комплексно с определением содержания в крови эозинофилов, глюкозы, ряда ферментов, соотношения количества нейтрофилов к лимфоцитам и других показателей.

Конструирование комплексных кормовых добавок адаптогенного свойства – актуальное направление сельскохозяйственной науки. Их применение долж-

но не только повышать устойчивость организма животных к заболеваниям и ограничивать чрезмерную стресс-реакцию на вакцинацию, но и быть безопасным при длительном использовании. Особая роль при этом отводится природным источникам биологически активных веществ иммуностимулирующего действия [13, 14, 15].

Цель работы – исследовать влияние вакцинального стресс-синдрома на морфологические и биохимические характеристики крови телят при использовании кормовой адаптогенной фитодобавки.

Методика. Научно-производственный опыт на телятах черно-пестрой породы молочного периода выращивания проведен в условиях одного из племенных заводов Тамбовской области. В соответствии с требованиями по подбору аналогов были сформированы 2 группы 3-суточных телят (контрольная и опытная) по 6 голов в каждой. Животные опытной группы получали адаптогенную добавку индивидуально один раз в сутки по 10 г/голову с молоком в течение месяца. При кормлении особей контрольной группы добавку не использовали.

В состав добавки входят соцветия ромашки лекарственной (*Matricaria recutita* L.) – 38 %, люцерна синяя (*Medicago sativa* L.) – 25 %, живица еловая – 5 %, фруктоза – 15 %, аскорбиновая кислота – 10 %, препарат из сухих бактерий *Bacillus subtilis* («Ветом 1») – 5 %, селен в органической форме («Сел-плекс») – 2 %. Разработана она на основе ранее апробированного рецепта [16].

В течение двух месяцев за телятами вели клинические наблюдения, регистрировали желудочно-кишечные болезни. Через 4 недели после рождения животным обеих групп ввели вакцину против сальмонеллеза. Кровь для анализа брали через 2-е суток после вакцинации. Исследования проводили на гематологических анализаторах Mindray BA-88A и Mindray BC-2800 Vet. Видовой состав микрофлоры толстого кишечника телят изучали в соответствии с рекомендациями по технике микробиологических исследований. Достоверность различий показателей определяли с использованием *t*-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Телята рождаются с несовершенной иммунной системой, поэтому у них часто возникают желудочно-кишечные заболевания различной этиологии, которые клинически проявляются дисбактериозом и диареей [17]. В контрольной группе у двух особей в течение четырех суток отмечали признаки нарушения функции желудочно-кишечного тракта. Заболевание проявлялось потерей аппетита, учащением дефекации и жидкой консистенцией каловых масс. Для лечения диареи использовали препарат «Энронит» согласно инструкции по применению. У животных опытной группы случаев заболеваний в период эксперимента не установлено.

Биохимические показатели крови после вакцинации свидетельствовали о развитии адаптационного синдрома у телят обеих групп (табл. 1). Следует отметить, что величины большей части исследованных показателей находились в пределах физиологического референсного интервала, однако уровень ряда из них был повышен. Например, активность гамма-глутамилтрансферазы (ГГТ) в крови была повышенной в обеих группах, при этом в контрольной она была больше, чем в опытной, на 13,2 % ($p > 0,05$). Этот фермент, участвующий в обмене аминокислот, сильнее других изучаемых показателей реагирует на нарушения де-

Табл. 1. Биохимические показатели, М ± м

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Общий белок, г/л	52,17 ± 0,97	52,78 ± 0,87
Альбумины, %	37,26 ± 1,15	35,00 ± 0,61
Глобулины, % (сумма)	62,74 ± 1,15	65,00 ± 0,61
α-Глобулины, %	18,25 ± 0,44	18,07 ± 0,35
β-Глобулины, %	15,63 ± 0,21	15,53 ± 0,33
γ-Глобулины, %	29,52 ± 0,66	31,38 ± 0,18*
Иммуноглобулины, г/л	20,48 ± 0,68	21,78 ± 0,90
Глюкоза, мг/дл	131,11 ± 4,14	102,12 ± 4,50***
Мочевина, мг/дл	21,44 ± 1,14	22,94 ± 1,98
Общий кальций, мг/дл	11,99 ± 0,26	11,63 ± 0,20
Неорганический фосфор, мг/дл	6,01 ± 0,31	5,20 ± 0,22
АЛТ, Ед/л	5,67 ± 0,35	7,17 ± 0,62
АСТ, Ед/л	33,7 ± 1,3	39,8 ± 2,0*
ЛДГ, Ед/л	1411,3 ± 93,0	1570,2 ± 75,9
ГГТ, Ед/л	26,50 ± 1,49	23,00 ± 1,34
ЩФ, Ед/л	213,5 ± 27,6	214,0 ± 11,9
Амилаза, Ед/л	31,17 ± 2,92	28,00 ± 2,68
Креатинин, мг/дл	1,00 ± 0,02	1,01 ± 0,01
Билирубин общий, мг/дл	0,87 ± 0,02	0,89 ± 0,02
Билирубин связанный, мг/дл	0,17 ± 0,01	0,34 ± 0,15**
Билирубин свободный, мг/дл	0,70 ± 0,02	0,56 ± 0,07

*p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001

ятельности клеток печени, в том числе связанных с вакцинальным стрессом, стимулирующим выработку кортикостероидных гормонов.

Кроме того, был отмечен повышенный уровень сахара, что указывает на гиперпродукцию корой надпочечников глюкокортикоидных гормонов, которые, в свою очередь, стимулировали глюконеогенез, обеспечивая организм легкодоступным источником энергии для реакций адаптации. При этом содержание глюкозы в крови телят контрольной группы в 1,4 раза превышало физиологическую норму, а по отношению к величине соответствующего показателя в опытной группе, было больше на 29 мг/дл (p ≤ 0,001). Очевидно, что при взятии крови для анализа адаптационные процессы в организме телят контрольной группы находились еще в стадии мобилизации, тогда как у телят опытной группы уже развивалась вторая стадия реакции – повышение резистентности. Происходила нормализация сдвигов в обмене веществ, наступивших в начале воздействия стрессора.

Известно, что в 30-суточном возрасте содержание γ-глобулинов в сыворотке крови телят понижено, так как синтез иммуноглобулинов в организме в этот период только начинает развиваться, достигая максимума к

6...7 неделе жизни [18]. У животных опытной группы уровень γ-глобулинов был выше, чем в контроле, на 6,3 % (p ≤ 0,05), а специфических белков – иммуноглобулинов – на 1,3 г/л (p > 0,05).

На более короткий период адаптации организма телят опытной группы к вакцинальному стрессу указывал также уровень активности ферментов переаминирования – ключевых участников регуляции белково-углеводного обмена. Так, у аспаратаминотрансферазы (АСТ) он был выше величины соответствующего показателя в контроле на 18,1 % (p ≤ 0,05), аланинаминотрансферазы (АЛТ) – на 26,4 % (p > 0,05).

Активность лактатдегидрогеназы (ЛДГ) у животных, получавших добавку, также была выше, чем в контроле, на 11,3 % (p > 0,05). Высокая величина этого показателя у телят в раннем постнатальном онтогенезе связана, главным образом, с процессами роста массы тела и активной работой мышечной системы, когда биосинтетические и биоэнергетические процессы протекают наиболее интенсивно, что обуславливает образование дополнительного количества АТФ для активации биосинтеза белков и липидов мышечной ткани. Один из путей образования АТФ – гликолиз, что закономерно ведет к повышению активности ЛДГ.

Состояние гепатобилиарной системы у животных характеризуется, в том числе, показателем содержания билирубина (свободного и связанного), Свободный билирубин – токсичный продукт распада гемоглобина. Пройдя через печень и связавшись с глюкуроновой кислотой он теряет токсичность. В крови телят опытной группы содержание свободного билирубина было меньше, чем в контроле, на 20 % (p > 0,05), связанного – больше в 2 раза (p ≤ 0,01).

Биологический смысл стадии мобилизации заключается в том, что при воздействии сильного стрессора необходимо любой ценой получить энергию в короткие сроки, чтобы обеспечить условия для выживания. Мгновенный ее выброс происходит в результате распада жиров, белков, углеводов посредством стимуляции выработки корой надпочечников адреналина и глюкокортикоидов. Однако избыток глюкокортикоидных гормонов подавляет тимус и иммунные реакции в организме, снижает уровень лимфоцитов. Результаты многочисленных исследований подтверждают, что воздействие на организм различных экстремальных факторов вызывает большие энергетические траты, что в результате приводит к преобладанию энергетического обмена веществ над пластическим [19, 20, 21].

В крови животных обеих групп отмечен пониженный уровень гемоглобина (65...69 г/л) и гематокрита (18...20 %) при достаточно высоком содержании эритроцитов (6,9×10¹²/л). Показатели насыщенности красных кровяных клеток гемоглобином и другие эритроцитарные индексы не имели значимых различий между группами. Тромбоциты принимают активное участие не только в свертывании крови, но и в реакциях неспецифической защиты организма. В крови животных опытной группы их количество было выше на статистически значимую величину – 232×10⁹/л, что составляет 32,3 % (p ≤ 0,05), по отношению к контролю (табл. 2).

Согласно данным лейкограммы (см. табл. 2), количество нейтрофилов в общем числе лейкоцитов крови у телят опытной группы было больше на 3,14×10⁹/л (p ≤ 0,01), что составило 64,3 %, по отношению к величине аналогичного показателя в контроле. При этом нейтрофилы – самый мощный фактор неспецифической клеточной защитной системы. Количество

Табл. 2. Гематологические показатели, М ± m

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Гемоглобин, г/л	69,20 ± 4,0	64,7 ± 3,0
Эритроциты, ×10 ¹² /л	6,96 ± 0,34	6,88 ± 0,26
Гемоглобин в 1 эритроците (MCH), пг	9,85 ± 0,16	9,33 ± 0,19
Средний объём эритроцитов (MCV), fl	28,5 ± 0,5	26,7 ± 0,7
Гематокрит (HCT), %	19,8 ± 1,2	18,4 ± 0,9
Тромбоциты (PLT), ×10 ⁹ /л	718,5 ± 79,7	950,5 ± 67,9*
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	9,02 ± 0,82	10,20 ± 0,85
Лимфоциты, ×10 ⁹ /л	3,27 ± 0,34	2,22 ± 0,22*
Нейтрофилы, ×10 ⁹ /л	4,88 ± 0,57	8,02 ± 0,63**
Моноциты, ×10 ⁹ /л	0,87 ± 0,11	1,00 ± 0,06
*p ≤ 0,05; **p ≤ 0,01; ***p ≤ 0,001		

лимфоцитов у животных, получавших добавку, напротив, было меньше на 1,05×10⁹/л, что составило 32 % (p ≤ 0,05), по отношению к контролю. Различия между группами по содержанию моноцитов не установлены. Количество эозинофилов и базофилов в исследуемых образцах крови было ниже предела чувствительности анализатора.

По содержанию отдельных фракций лейкоцитов можно косвенно оценивать функциональное состояние желез внутренней секреции. Так, уменьшение числа базофилов указывает на снижение активности щитовидной железы, а эозинофилов – на усиление деятельности коры надпочечников. Такие изменения (эозинофилопения и базофилопения) в условиях стресса наблюдаются, как правило, в фазе мобилизации. Нейтрофилия в комплексе с умеренной лимфоцитопенией – признаки второй фазы адаптационного синдрома. Исследователи, изучавшие влияние стресса (адаптационного синдрома) на морфологический состав крови животных, также отмечали резкое снижение количества эозинофилов, повышение общего уровня нейтрофилов, значительное снижение количества лимфоцитов [6, 22].

Макроскопический анализ кала животных обеих групп показал, что консистенция, цвет и запах были практически одинаковыми, pH – слабокислая (5,2 ед.), кишечные паразиты отсутствовали, что свидетельствует о нормальной секреторной и всасывающей функции желудочно-кишечного тракта телят.

Результаты микробиологических исследований показали присутствие в кишечнике особей обеих групп достаточного количества бифидо- и лактобактерий, которые играют ведущую роль в поддержании неспецифической резистентности организма, синтезе витаминов и других биологически активных веществ (табл. 3).

В образцах кала телят обеих групп отсутствовали представители клостридий, стафилококков, стрептококков, дрожжеподобных и плесневых грибов, лактозонегативные и гемолитические *Escherichia coli*, неферментирующие бактерии, патогенные микроорганизмы (сальмонеллы и др.). Численность условно-патогенных бактерий *Klebsiella pneumoniae* в образцах опытной группы была меньше, чем в контрольной, в 10

Табл. 3. Микробный пейзаж кишечника телят

Виды микроорганизмов, КОЕ/г	Норма	Группа	
		контрольная	опытная
Бифидобактерии	10 ⁹ ...10 ¹⁰	10 ⁹	10 ⁹
Лактобактерии	10 ⁵ ...10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷
Энтерококки	10 ⁵ ...10 ⁸	10 ⁷	10 ⁷
<i>E.coli</i> типичные лактозопозитивные	10 ⁷ ...10 ⁸	10 ⁷	10 ⁷
Энтеробактерии <i>Klebsiella pneumoniae</i>	<10 ⁴	10 ⁵	10 ⁴

раз, что указывало на положительное влияние добавки на состав микробиоты кишечника телят.

Таким образом, вакцинальный стресс-фактор мог стать причиной повышения уровня глюкозы и активности ферментов, увеличения числа эритроцитов и тромбоцитов, появления сдвигов в лейкоцитарной формуле, что рассматривается как проявление стресс-реакций. Использование кормового фитобиотика оказало положительное влияние на адаптацию телят-молочников к стрессовому воздействию вакцинации и усилило резистентность их организма. Более быструю адаптивную реакцию организма телят опытной группы подтверждает увеличение в их крови числа нейтрофилов на 64,3 %, активности ферментов переаминирования АЛТ и АСТ – на 26,4 и 18,1 % соответственно и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) – на 11,3 %. Скармливание фитодобавки способствовало нормализации кишечного микробиоценоза и позволило полностью исключить возникновение заболеваний животных в первый месяц выращивания.

Литература

1. Протасов Б.И., Комиссаров И.И. Стратегия применения адаптогенов для стимуляции продуктивности у сельскохозяйственных животных // *Сельскохозяйственная биология*. 2012. № 6. С. 12–23.
2. Крыжановский Г.И. *Общая патофизиология нервной системы*. М.: Медицина, 1997. 450 с.
3. Виноградов В.В. *Стресс. Морфобиология коры надпочечников*. Минск: «Беларуская навука», 1998. 317 с.
4. Волкова С.В., Мелешикина С.Р. *Стресс сельскохозяйственных животных, как ответная реакция на неблагоприятные условия окружающей среды // Современные наукоемкие технологии*. 2008. № 4. С. 55–56.
5. Ковальчикова М.В. *Адаптация и стресс при содержании и разведении сельскохозяйственных животных*. М.: Колос, 1986. 270 с.
6. Кузьмин А.И. *Влияние стресс-фактора на морфологические и цитохимические характеристики крови телят // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: материалы Сибирской международной научно-практической конференции. Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2004. С. 462.*
7. Гуськов А.Н. *Влияние стресс-фактора на состояние сельскохозяйственных животных*. М.: Агропромиздат, 1994. С. 38–41.
8. Кавтарашивили А.Ш., Колокольникова Т.Н. *Физиология и продуктивность птицы при стрессе // Сельскохозяйственная биология*. 2010. № 4. С. 25–37.
9. *Effects of ND vaccination combined LPS on growth performance, antioxidant performance and lipid metabolism of broiler / X. Li, S. Liu, J. Wang, et al.*

- // *Research in Veterinary Science*. 2021. Vol. 135. P. 317–323. doi: 10.1016/j.rvsc.2020.10.007.
10. Immune response and onset of protection from Bovine viral diarrhoea virus 2 infection induced by modified-live virus vaccination concurrent with injectable trace minerals administration in newly received beef calves / J. H. J. Bittar, R. A. Palomares, D. J. Hurley, et al. // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2020. Vol. 225. Art.110055. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2020.110055>
 11. Набиев Ф.Г., Ахмадеев Р.Н. Лекарственные препараты для ветеринарии: Справочник. Казань, 2000. Ч. I. 592 с.
 12. Данилевская Н.В. Фармакологические аспекты применения пробиотиков в ветеринарии // *Ветеринария*. 2005. С. 6–10.
 13. Филиппова О.Б., Саранчина Е.Ф., Краснослободцева А.С. Лекарственные растения для новотельных коров // *Ветеринария*. 2019. № 8. С. 34–38.
 14. Филиппова О.Б., Кийко Е.И., Маслова Н.И. Сорбция металлов на глауконите в условиях желудочно-кишечного тракта телят // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 5. С. 44–48. doi:10.31857/S2500-26272019544-48.
 15. Фролов А.И., Филиппова О.Б. Способ повышения резистентности телят // *Ветеринария, Зоотехния и Биотехнология*. 2018. № 9. С. 99–104.
 16. Фитосинбиотическая кормовая добавка для телят: пат. 2739401 РФ № 2020123464/10(040539); заявл. 27.06.2020; опубл. 23.12.2020. Бюл. № 36.
 17. Субботин В.В., Сидоров М.А. Основные элементы профилактики желудочно-кишечной патологии новорожденных животных // *Ветеринария*. 2004. № 4. С. 3–6.
 18. Физиологическое состояние, становление неспецифической резистентности и иммунологического статуса телят раннего постнатального периода онтогенеза после применения Тимогена, Полиоксидония, Ронколейкина и Синэстрола 2 % коровам матерям перед отелом: коллективная монография / В.И. Великанов, А.В. Кляпнев, Л.В. Харитонов и др. Н. Новгород: ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА, 2020. 224 с.
 19. Selye H. A Syndrome Produced by Diverse Noxious Agents // *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*. 1998. Vol. 10. No. 2. P. 230a–231. doi: 176/jnp.10.2.230a.
 20. Yang E.V., Glaser R. Stress-induced immunomodulation and the implications for health // *Int. Immunopharmacol*. 2002. Vol. 2. No 2–3. P. 315–324.
 21. Авылов Ч. Влияние стресс-факторов на резистентность организма свиней // *Ветеринария с.-х. животных*. 2006. № 3. С. 46–47.
 22. Сотникова Е.Д. Изменения в системе крови при стрессе // *Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство*. 2009. № 1. С. 50–55.

Поступила в редакцию 27.05.2021
После доработки 22.06.2021
Принята к публикации 04.07.2021

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТИСТРЕССОВЫХ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА СЕРОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС ПРИ ПРОФИЛАКТИКЕ ТЕНОСЕНОВИТА КУР

А.В. Мифтахутдинов, доктор биологических наук, **Н.А. Журавель**, кандидат ветеринарных наук, **В.В. Пономаренко**, кандидат ветеринарных наук

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

Работу выполняли с целью определения влияния антистрессовых фармакологических средств – препарата СПАО-комплекс и кормовой добавки СПАО-КД на иммунный статус кур при профилактике теносеновита. Для проведения исследований сформировали три группы птицы родительского поголовья в количестве 32000 голов каждая. Куры первой группы были контролем, особям второй опытной группы в составе комбикорма давали добавку СПАО-КД, третьей – фармакологическую композицию СПАО-комплекс с водой. Профилактические средства добавляли в дозах 185 мг/кг массы тела на фоне вакцинации живой вакциной в течение 5 дней (3 дня до вакцинации, в день вакцинации и один день после вакцинации). Иммунизацию птицы против реовирусного теносеновита осуществляли согласно технологии вакцинации поголовья: в возрасте одной и четырех недель применяли вакцину против реовирусного теносеновита птиц живую сухую, изготовленную из аттенуированного штамма 1133 реовирусного теносеновита птиц. Оценивали уровень количественной и качественной сероконверсии на фоне использования изучаемых средств через 7 и 14 дней после первой вакцинации, через 14 и 21 день – после второй вакцинации. Применение кормовой добавки СПАО-КД в составе комбикорма и фармакологической композиции СПАО-комплекс с водой увеличивало уровень поствакцинальных антител в 1,6 и 2,6 раза, индекс вакцинации – в 1,6 и 3,5 раза соответственно. СПАО-комплекс способствовал снижению коэффициента вариабельности поствакцинальных антител на 25,7 %. Проведение антистрессовой терапии во время иммунологической нагрузки увеличило сохранность птицы на 0,79...3,50 %, выход суточных цыплят – на 0,55...4,22 %, живую массу птицы – на 0,88...6,44 %.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ANTI-STRESS PHARMACOLOGICAL AGENTS ON THE SEROLOGICAL STATUS IN THE PREVENTION OF CHICKEN TENOSENOSITIS

Miftakhutdinov A.V., Zhuravel N.A., Ponomarenko V.V.

*South Ural State Agrarian University,
Russian Federation, 457100, Chelyabinskaya obl., Troitsk, ul. Gagarina, 13
E-mail: nirugavm@mail.ru*

To determine the effectiveness of the effect of anti-stress pharmacological agents developed for the prevention of stress - the drug SPAO-complex and the feed additive SPAO-CD on the serological status of chickens in the prevention of tenosynovitis, a study of the immune status indicators of three groups of poultry of the parent population in the amount of 32000 heads each was conducted. The chickens of the first group were the control, the poultry of the second experimental group were used the feed additive SPAO-CD as part of the compound feed, the third-the pharmacological composition SPAO-complex with water. Poultry were immunized against reovirus tenosynovitis according to the technology of vaccination of livestock against viral diseases: and at the age of one and four weeks, a live dry vaccine against avian reovirus tenosynovitis was used, made from the attenuated strain 1133 of avian reovirus tenosynovitis. The level of quantitative and qualitative seroconversion was assessed against the background of the use of the feed additive SPAO-CD as part of the compound feed and the pharmacological composition SPAO-complex with water 7 and 14 days after the first vaccination, 14 and 21 days after the second vaccination. The use of these drugs in doses of 185 mg / kg of body weight against the background of vaccination with a live vaccine for 5 days (3 days before vaccination, on the day of vaccination and one day after vaccination) increased the level of quantitative seroconversion – the level of post-vaccination antibodies by 1.6 and 2.6 times, the vaccination index-by 1.6 and 3.5 times, respectively. The use of the SPAO complex contributed to a 25.7% reduction in the postvaccinal antibody variability coefficient. The implementation of anti-stress therapy during the immunological load had a positive impact on the safety of poultry by 0.79-3.5 %, the yield of daily chickens-by 0.55-4.22 %, the live weight of poultry-by 0.88 and 6.44 %.

Ключевые слова: птицеводство, реовирусный теносеновит, серологический статус, сероконверсия, титры антител, индекс вакцинации, коэффициент вариабельности, титрогруппы, экономическая эффективность

Key words: poultry breeding, reovirus tenosynovitis, serological status, seroconversion, antibody titers, vaccination index, coefficient of variability, titrogroups, economic efficiency

Реовирусная инфекция кур широко распространена во многих странах мира [1]. На территории Российской Федерации она не зарегистрирована, но угроза заноса возбудителя остается актуальной [2].

Для профилактики реовирусной инфекции птицы разработаны схемы иммунизации, включающие применение цыплятам раннего возраста инактивированных вакцин [3, 4]. Однако самый эффективный способ профилактики предусматривает использование живых вакцин, так как они обладают высокой иммуногенностью и создают раннюю защиту, в том числе неспеци-

фическую, благодаря явлению гомологичной интерференции [5].

Несмотря на очевидную необходимость вакцинации для профилактики вирусных болезней [6], в промышленном птицеводстве она вызывает стрессовое состояние у птиц [7]. Это приводит к уменьшению активности процессов эффектроной (продуктивной) фазы формирования гуморального ответа, проявляющейся в замедлении процесса выработки антител и уменьшении его однородности [8]. Установлена отрицательная корреляция между стрессами и реакцией антител [9].

Поэтому изыскание методов и средств, способствующих усилению активности процессов эффектроной (продуктивной) фазы формирования гуморального ответа при иммунизации, сопровождающихся повышением уровня сероконверсии к возбудителям вирусных болезней птиц [7, 10, 11], имеет большое значение. Отдельными исследованиями установлен положительный эффект от антистрессовой терапии при проведении иммунизации птицы [8]. Профилактика стрессов в процессе вакцинации – новое научное направление, которое может обеспечить повышение эффективности промышленного птицеводства. [12, 13]. Помимо иммунологической эффективности, важное значение имеет хозяйственный результат от проведения мероприятий, включающих вакцинацию птицы. На сегодняшний день таких исследований недостаточно.

С учетом изложенного, цель исследований заключалась в определении эффективности влияния антистрессовых фармакологических средств – препарата и кормовой добавки на серологический статус кур при профилактике теносеновита.

Методика. Работу проводили в условиях крупного птицекомплекса промышленного типа, расположенного в Белгородской области. Для исследований при комплектовании родительского стада было сформировано три группы кур с поголовьем по 32000 голов в каждой группе. Вакцинацию птицы осуществляли согласно программе обработки поголовья против вирусных болезней. В возрасте одной и четырех недель применяли вакцину против реовирусного теносиневита птиц живую сухую, изготовленную из аттенуированного штамма I133 реовирусного теносиневита птиц. Ревакцинацию проводили в возрасте 9...11 недель. Птице второй опытной группы применяли кормовую добавку СПАО-КД в составе комбикорма, третьей – фармакологическую композицию СПАО-комплекс с водой. Птица первой опытной группы служила контролем, в её основной рацион ничего не вводили. СПАО-КД и СПАО-комплекс использовали в дозе 185 мг/кг массы тела в течение 5 дней: 3 дня до прививки, в день прививки и один день после прививки. Эффективность влияния антистрессовых фармакологических средств на серологический статус организма оценивали по интенсивности формирования антител, однородности титров и распределению титрогрупп антител, которые устанавливали через одну и две недели после первой вакцинации, а также через две и три недели после второй. Наличие и величину экономического результата от проведения антистрессовой терапии во время иммунологической нагрузки определяли по уровню целевых производственных показателей. Экономическую оценку проводили по общепринятой методике с учётом рекомендаций В.И. Фисинина, Н.А. Журавель, А.В. Мифтахутдинова [14].

Результаты и обсуждение. Напряженность поствакцинального иммунитета и степень охвата поголовья свидетельствуют о серологическом статусе вакцинированного поголовья [15]. На интенсивность отклика указывает значение среднего титра.

Ожидаемый уровень антител в сыворотке крови кур соответствовал их титрам от 2000 до 5000. На начальном этапе формирования иммунного ответа – через 7 дней после первой вакцинации он был явно ниже не только базисного, или ожидаемого, но и защитного (1700) уровня (рис. 1). При этом следует отметить, что величина этого показателя у птиц, получавших СПАО-КД и СПАО-комплекс, практически не различалась (1,61 %) и была почти в 2 раза выше, чем в контроле.

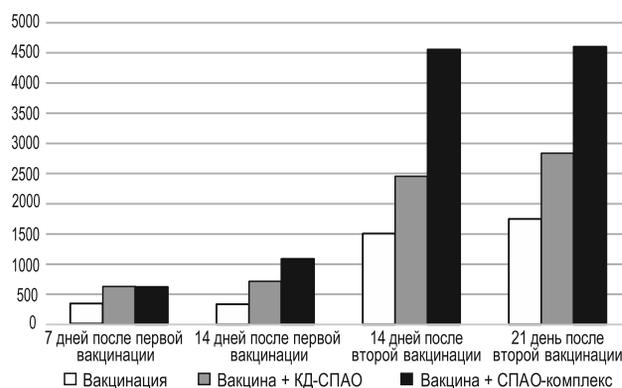


Рис. 1. Уровень количественной сероконверсии на фоне антистрессовой терапии.

Такой результат может указывать на усиление праймирующего действия благодаря изучаемым препаратам.

Через 14 дней после первой вакцинации, серологический статус птицы первой группы практически не изменился, уровень антител в сыворотке крови увеличился незначительно – на 1,81 % и также оставался ниже ожидаемого (базисного) и защитного уровня. Во второй и третьей опытных группах он был выше, чем в контроле, в 2,12 и 3,23 раза, а в сравнении с результатами предыдущего измерения – на 13,47 % и 75,2 % соответственно. То есть введение в основной рацион изучаемых препаратов предотвращает угнетение иммунитета (снижает уровень иммуносупрессии). Тем не менее уровень антител, соответствующий защитному, после первой вакцинации не достигается.

Величина этого показателя изменилась после второй вакцинации. Через две недели после её проведения в сыворотке крови птицы контрольной группы средний титр антител был хоть и ниже ожидаемых значений, но увеличился в 4,47 раза, в сравнении с величиной этого показателя на 14 день после первой вакцинации, а через три недели – еще на 1,16 % и достиг уровня, соответствующего защитному, оставаясь ниже ожидаемого. Это можно объяснить тем, что при проведении вакцинации в результате активации стресс-реализующих механизмов наступает состояние иммуносупрессии [13].

Введение кормовой добавки и фармакологического комплекса с целью предупреждения стресса, содействовало большей выработке антител. Через две недели после второй вакцинации в сыворотке крови птиц второй опытной группы титр антител увеличился, в сравнении с предыдущим исследованием, в 3,42 раза и превысил защитный на 44,29 %, а ожидаемый – на 22,65 %. В это же время титр антител в сыворотке крови птиц третьей опытной группы увеличился в 4,19 раза и был больше нижней границы ожидаемого уровня в 2,2 раза, защитного уровня – в 2,6 раза. Через три недели после второй вакцинации (срок контроля напряженности иммунитета) процесс формирования гуморального ответа продолжался, на что указывает увеличение уровня антител в сыворотке крови птицы второй опытной группы на 15,61 %, третьей – на 1,08 % в сравнении с данными первой опытной группы.

На фоне применения кормовой добавки СПАО-КД через две недели после второй вакцинации уровень количественной сероконверсии был на 62,99 % выше, чем в крови кур первой группы, достиг ожидаемого уровня (чуть выше минимального значения) и стал выше защитного. Через три недели после второй вак-

цинации он увеличился еще на 16,7 % и был выше величины аналогичного показателя в контрольной группе на 62,15 %. Можно предположить, что действие СПАО-КД на выработку антител через три недели после второй вакцинации выражено несколько слабее, чем через две недели после второй вакцинации.

Применение СПАО-комплекса способствовало повышению активности процессов эффекторной (продуктивной) фазы формирования гуморального ответа. Через две недели после второй вакцинации уровень количественной сероконверсии в этом варианте был приближен к максимальному ожидаемому и превышал величину этого показателя в сыворотке крови кур первой и второй опытных групп в 3,06 и 1,86 раза соответственно. Через три недели после второй вакцинации он увеличился незначительно и оставался выше, чем в сравниваемых группах, в 2,6 и 1,6 раза. Следовательно, СПАО-комплекс ускоряет выработку антител.

Кукленкова И.В. с соавторами [6] указывают на то, что уровень напряженности иммунитета, защищающую птицу от заражения полевым штаммом, следует считать достаточным при титре антител более 1:800. Введение в основной рацион СПАО-комплекса позволило достичь такого состояния через 2 недели после первой вакцинации живой вакциной. На ответную иммунологическую реакцию на введение вакцинного штамма также указывает И.С. Радюш с соавторами [2]. Согласно его результатам, уровень антител при опытном исследовании живых вакцин, содержащих штаммы вируса, в той или иной степени соответствовал показателям, полученным в наших исследованиях во второй и третьей опытных группах.

О степени однородности вакцинации свидетельствует коэффициент вариации, который позволяет судить о ее качестве по партии птицы. В наших исследованиях через неделю после первой прививки коэффициент вариации в контрольной группе был на 15 % выше верхней границы ожидаемого уровня – 40...80 [16, 17]. В группе с применением кормовой добавки уровень однородности вакцинации был более высоким: коэффициент вариации – на 34,78 % ниже, чем в контроле (рис. 2). Применение фармакологического комплекса оказало более заметное влияние на уровень качественной сероконверсии: коэффициент вариации был ниже, чем в первой группе, на 48,91 %, по сравнению со второй – на 21,67 %. Другими словами, введение СПАО-КД и СПАО-комплекса в рацион птицы в определенный период программы вакцинации оказывает положительное воздействие на качество сероконверсии, так как коэффициент вариации

находится в пределах ожидаемых значений и значительно превышает величину этого показателя в контроле.

В процессе формирования гуморального ответа наблюдали снижение величины коэффициента вариации в каждой группе. Так, через две недели после первой вакцинации у птицы в контроле он уменьшился на 10 % и на 1,5 % превышал максимальное ожидаемое значение, во второй – также снизился на 10 %, но находился в пределах ожидаемых значений, в третьей группе – уменьшился на 17,02 % и соответствовал не только ожидаемым значениям, но и защитному уровню (менее 45 %). В целом, на фоне применения СПАО-КД коэффициент вариации был ниже, чем в контроле, в 1,5 раза, при использовании СПАО-комплекса – в 2,08 раза. При этом необходимая однородность вакцинации была достигнута только в варианте с использованием фармакологического комплекса.

Через две недели после второй иммунизации снижение величины коэффициента вариации в каждой группе продолжалось, тем не менее, в первой группе она оставалась на 4,44 % выше уровня, соответствующего необходимой однородности. В группе птиц, получавших кормовую добавку, коэффициент вариации снизился на 16,67 % и стал соответствовать защитному уровню. Более заметное воздействие на однородность вакцинации оказало использование СПАО-комплекса. При его использовании коэффициент вариации уменьшился, в сравнении с предыдущим периодом исследования, на 28,20 %. На фоне применения СПАО-КД коэффициент вариации совпадал с необходимой величиной показателя однородности, СПАО-комплекса – был ниже, в сравнении с первой опытной группы, в 1,68 раз, со второй опытной группой – в 1,61 раза.

Через три недели после иммунизации во всех группах была достигнута однородность вакцинации (значение коэффициента вариации – 26...35 %), при этом в группе, в которой птица получала СПАО-КД, величина этого показателя находилась на уровне контроля – 35 %, а при использовании СПАО-комплекса – была на 7,14 % меньше.

Распределение антител по титрогруппам наглядно демонстрирует этапы формирования однородного иммунитета к реовирусу (см. табл.). Так, через одну и две недели после первой вакцинации пробы сыворотки крови кур первой опытной группы по количеству антител преимущественно относились к нулевой титрогруппе (95 и 90 %). При использовании СПАО-КД и СПАО-комплекса, формирование иммунитета происходило чуть интенсивнее, но более ярко выражено в варианте со СПАО-комплексом. Через неделю после первой вакцинации к 1 титрогруппе относились 10 % и 15 % проб второй и третьей опытных групп соответственно, через две недели к 1 титрогруппе – 20 % и 45 %, к 2 титрогруппе – 5 % и 10 %.

После второй вакцинации антитела распределялись по пяти (0...4) титрогруппам. Так, через две недели после ее проведения к 1 титрогруппе относилось 50 % проб сыворотки крови кур первой опытной группы, 55 % – второй группы (проб в 0 титрогруппе не было). У кур третьей опытной группы 40 % проб сыворотки крови соответствовало 2 титрогруппе.

Через три недели после ревакцинации, в точке контроля напряженности иммунитета, 75 % проб сыворотки крови птиц первой опытной группы по распределению антител относились к 1 титрогруппе. Во второй и третьей опытных группах проб 0 и 1 титрогрупп, не

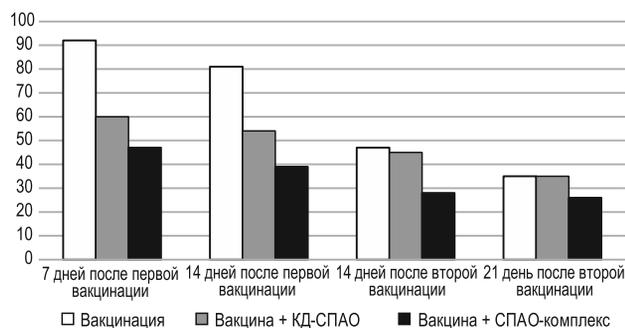


Рис. 2. Динамика изменения коэффициента вариации при вакцинации птицы против реовирусного теносиновита на фоне антистрессовой терапии.

Распределение титров антител по титрогруппам при вакцинации птицы против реовирусного теносиновита на фоне антистрессовой терапии

Возраст птицы, дней	Период после вакцинации	Титро-группы	Распределение по пробам, ед.		
			основной рацион	СПАО-КД	СПАО-комплекс
14	7 ₁	0	19	18	17
		1	1	2	3
		0	18	15	9
21	14 ₁	1	2	4	9
		2	-	1	2
		0	6	0	0
		1	10	11	5
		2	3	3	8
42	14 ₂	3	3	5	4
		4	1	1	3
		0	1	-	-
		1	15	-	-
		2	3	2	-
		3	1	6	5
49	21 ₂	4	-	5	6
		5	-	5	5
		6	-	2	4

было, 30 % проб сыворотки крови кур второй опытной группы находилось в 3 титрогруппе, 30 % проб сыворотки крови кур третьей опытной группы – в 4 титрогруппе. То есть наблюдалось не только увеличение титрогруппы, что подтверждает напряженность иммунитета, но и количество проб, относящихся к определенной титрогруппе. На фоне СПАО-комплекса эти изменения выражены более отчетливо.

Усиление иммуногенности – основы успешной вакцинации, демонстрирует индекс вакцинации (рис. 3), отражающий отношение уровня антител к коэффициенту вариабельности. В ходе наших исследований уровень специфической невосприимчивости организма в отношении реовирусного теносиновита увеличивался. Так, при использовании СПАО-КД и СПАО-комплекса индекс вакцинации через одну неделю после первой прививки соответственно в 2,92 и 3,67 раза превышал величину этого показателя в контроле. Через две недели после первой иммунизации индекс вакцинации в первой опытной группе увеличился на 15,56 %, во второй – на 26,04 %, третьей – в 2,11 раза. При этом во второй и третьей опытных группах он был в 3,19 и 4,71 раза выше, чем в контроле.

Аналогичную картину наблюдали через две недели после второй вакцинации. Несмотря на то, что в первой опытной группе индекс увеличился, в сравнении с предыдущим периодом, в 7,69 раза, наибольшую величину этого показателя отмечали в третьей опытной группе, где она была в 5,08 раза выше, чем в первой. Во второй опытной группе индекс вакцинации был больше, чем в контроле, в 1,7 раза.

В контрольной точке оценки формирования иммунного ответа – через три недели после второй вакцинации в сыворотке крови птицы всех групп был достигнут максимум индекса вакцинации. При этом более качественная сероконверсия отмечена на фоне

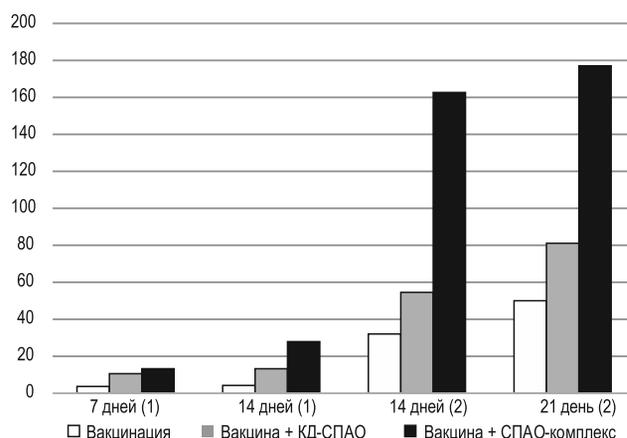


Рис. 3. Динамика индекса вакцинации при профилактике реовирусного теносиновита.

применения СПАО-комплекса, индекс вакцинации в крови кур третьей опытной группы был выше, чем в контроле, в 3,5 раза, во второй опытной – в 2,18 раза.

На фоне профилактики стрессов были отмечены более высокие показатели производства продукции. Так, за период выращивания сохранность партии кур на фоне применения кормовой добавки и фармакологического комплекса была выше на 0,79 % и 3,5 % соответственно, производство инкубационных яиц в расчёте на одну несушку – на 0,22 и 3,24 %, суточных цыплят – на 0,55 % и 4,22 %. Применение СПАО-КД и СПАО-комплекса позволило увеличить предубойную массу птиц на 0,88 и 6,44 %.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено положительное влияние кормовой добавки СПАО-КД в составе комбикорма и фармакологической композиции СПАО-комплекса с водой на серологический статус кур при профилактике теносиновита кур.

Применение СПАО-КД и СПАО-комплекс в дозе 185 мг/кг массы тела на фоне вакцинации живой вакциной в течение 5 дней (3 дня до вакцинации, в день вакцинации и один день после вакцинации) способствует повышению уровня сероконверсии: соответственно в 1,6 и 2,6 раза увеличивает титры антител, в 1,6 и 3,5 раза повышает индекс вакцинации, применение СПАО-комплекса способствует снижению коэффициента вариации на 25,7 %. Применение изучаемых препаратов обеспечивает увеличение сохранности птицы, выход суточных цыплят и живую массу птицы.

Литература.

1. Хлып Д.Н. Реовирусный теносиновит и синдром плохого усвоения кормов // *БИО. 2020. № 9 (240). С. 8–15.*
2. Радюш И.С. Адаптация штамма реовируса птиц «S1133» к перевиваемой культуре клеток vero и разработка на его основе технологии изготовления высокоиммуногенных убитых вакцин // *Эпизоотология, иммунология, фармакология и санитария. 2019. № 1. С. 25–32*
3. Трефилов Б.Б., Никитина Н.В., Бочкарев В.С. Реовирусная инфекция птиц // *Эффективное животноводство. 2016. № 9 (130). С. 54–55.*
4. Радюш И.С., Насонов И.В. Сравнительное испытание иммуногенности вакцин против реовирусного теносиновита птиц отечественного и зарубежного

- производства [испытаны вакцина из штамма КМII-ЭВ-V118 И вакцина Aviproteo из штамма I133] // *Ветеринария. Реферативный журнал*. 2015. №3. С. 732.
5. Отработка (оптимизация) схемы иммунизации птиц родительских стад против вирусных болезней / И.В. Кукленкова, Т.С. Жаворонкова, А.В. Пашикин и др. // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2018. №4. С. 51–55.
 6. Anosov D. Ponomarenko V., Miftakhutdinov A. Stress protective properties of the pharmacological complex SPAO in the period of transfer, vaccination and spiking of hens // *Advances in Agricultural and Biological Sciences*. 2015. № 1. P. 23–29.
 7. Аминова Э.М., Мифтахутдинов А.В. Изучение активности специфического звена иммунной системы кур на фоне применения литийсодержащего фармакологического средства «СПАО-комплекс» // *Актуальные вопросы биотехнологии и ветеринарных наук: теория и практика: материалы национальной научной конференции Института ветеринарной медицины Троицк: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2019. С. 7–13.*
 8. Varying antibody responses of laying hens housed in an aviary system and in furnished cages / M.I. Auerbach, G. Glunder, M. Beyerbach, et al. // *Berliner Und Munchener Tierarztliche Wochenschrift*. 2014. Vol. 127. P. 267–273.
 9. Comparative immune response and pathogenicity of the H9N2 avian influenza virus after administration of Immulant®, based on Echinacea and Nigella sativa, in stressed chickens / A.H. Eladl, N. Arafat, R.A. El-Shafei, et al. // *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis*. 2019. 65. 65–175.
 10. Enhanced replication of swine influenza viruses in dexamethasone treated juvenile and layer turkeys / A. Ali, M. Ibrahim, A.E. Eladl, et al. // *Vet. Microbiol*. 2019. 162. 353–359.
 11. Awadin W.F., Eladl A.H., El-Shafei R.A., El-Adl M.A., Aziza A.E., Ali H.S., Saif M.A. Effect of omega-3 rich diet on the response of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) infected with Newcastle disease virus or avian influenza virus H9N2 // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C*. 2020. Vol. 228. № art. 108668 (9 p.).
 12. Фисинин В.И., Журавель Н.А., Мифтахутдинов А.В. Методология определения эффективности внедрения новых ветеринарных методов и средств в птицеводстве // *Ветеринария*. 2018. № 6. С. 14–20.
 13. Zhuravel N.A., Miftakhutdinov A.V., Zhuravel V.V. Economic analysis of factors causing the efficiency of introducing innovative methods and means in industrial poultry // *Ecological Agriculture and Sustainable Development*. – [Belgrade], 2019. P. 117-124.
 14. Журавель Н.А. Мифтахутдинов А.В. Особенности расчёта экономической эффективности профилактики стресса у родительского стада кур // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. № 11. С. 25–27.
 15. Яшин Р.В., Ирза В.Н. Изучение напряженности и продолжительности иммунитета у кур после прививки вакциной, ассоциированной против ньюкаслской болезни, реовирусного теносиновита и метапневмовирусной инфекции птиц // *Ветеринария сегодня*. 2012. № 3 (3). С. 47–54.
 16. Инструкция по применению набора для выявления антител к вирусам энцефаломиелита птиц (ЭП), инфекционного бронхита кур (ИБК), инфекционной бурсальной болезни птиц (ИББ), ньюкаслской болезни (НБ) и реовирусу птиц (РВП) методом иммуноферментного анализа (ИФА): утв. 22.06.2008 г. // П.И. Барышников, В.В. Разумовская. *Лабораторная диагностика вирусных болезней животных: учебное пособие*. Санкт-Петербург: Лань, 2015. С. 436-443.
 17. Седов С.А. Серологический мониторинг в птицеводстве, интерпретация результатов иммуноферментного анализа тест-системы ELISA компании Биочек. *Аграрная Наука*. 2020. С. 13-17.

Поступила в редакцию 05.03.2021

После доработки 27.04.2021

Принята к публикации 15.05.2021

СОСТОЯНИЕ КЛЕТЧНОГО ИММУНИТЕТА У ПОРОСЯТ ПРИ РЕПРОДУКТИВНО-РЕСПИРАТОРНОМ СИНДРОМЕ СВИНЕЙ

С. В. Шабунин, академик РАН, Л. Ю. Сашнина, доктор ветеринарных наук, А.Г. Шахов, член-корреспондент РАН, Ю.Ю. Владимирова, Т.И. Ермакова, кандидат биологических наук, К.В. Тараканова

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

В статье представлены результаты изучения состояния клеточного иммунитета у поросят при репродуктивно-респираторном синдроме свиней (РРСС) в условиях промышленного свиноводческого комплекса. Для опыта было подобрано 2 группы животных (клинически здоровые и с признаками респираторной патологии) в возрасте 92 дней. Этиологию болезни устанавливали на основании результатов бактериологических и молекулярно-биологических исследований. В крови определяли содержание лейкоцитов, лейкоцитарную формулу, показатели фагоцитоза, содержание Т- и В-лимфоцитов, интерлейкина 1 β , фактора некроза опухоли, γ -интерферона и интерлейкина 10. У животных при РРСС, проявляющемся респираторной патологией, происходило снижение количества сегментоядерных нейтрофилов на 21,3 %, эозинофилов – на 27,1 %, моноцитов – на 21,3 %. Установлено повышение содержания палочкоядерных нейтрофилов на 12,8 % и интегральных лейкоцитарных индексов иммунореактивности: соотношения лимфоцитов и эозинофилов к моноцитам – на 43,5 %, лимфоцитов к эозинофилам – на 53,4 %, лимфоцитов к нейтрофилам – на 33,6 %, лимфоцитов к моноцитам – на 45,7 %, нейтрофилов к моноцитам – на 11,1 %. Увеличение абсолютного и относительного содержания Т-лимфоцитов (CD8+) на 50,0 и 27,7 % и в большей степени Т-клеток (CD4+) в 2 и 1,4 раза сочеталось с повышением иммунорегуляторного индекса на 23,5 %. Отмеченные изменения свидетельствуют об активации клеточного звена неспецифической резистентности и формировании адаптивного иммунитета. Выявленное повышение IL-1 β на 3,9 % и особенно IFN- γ на 34,8 % при отсутствии выраженных изменений в концентрациях TFN- α и IL-10 у больных поросят сопровождалось увеличением показателей погложительной и метаболической активности нейтрофилов, что указывало на высокую активность клеточного звена неспецифического иммунитета, направленного на инактивацию и элиминацию патогена.

STATE OF CELLULAR IMMUNITY IN PIGLETS WITH PORCINE REPRODUCTIVE AND RESPIRATORY SYNDROME

Shabunin S.V., Sashnina L.Yu., Shakhov A.G., Vladimirova Yu.Yu., Ermakova T.I., Tarakanova K.V.

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

The article presents the results of studying the state of cellular immunity in piglets with porcine reproductive and respiratory syndrome in the conditions of an industrial pig breeding complex. For the experiment, 2 groups of animals were formed: clinically healthy and with signs of respiratory pathology at the age of 92 days. The etiology of the disease was established on the basis of the results of bacteriological and molecular biological studies. Leukocytes, leukogram, phagocytosis indicators, the content of T- and B-lymphocytes, interleukin 1 β , tumor necrosis factor, interferon- γ and interleukin 10 were determined in the blood. In the animals with PRRS, manifested as a respiratory pathology, there was a decrease in the number of segmented neutrophils by 21.3 %, eosinophils - by 27.1 % and monocytes - by 21.3 %. There was detected an increase in the content of stab neutrophils by 12.8 % and integral leukocyte indices of immunoreactivity: the ratio of lymphocytes and eosinophils to monocytes - by 43.5 %, lymphocytes to eosinophils - by 53.4 %, lymphocytes to neutrophils - by 33.6 %, lymphocytes to monocytes - by 45.7 % and neutrophils to monocytes - by 11.1 %. An increase in the absolute and relative content of T-lymphocytes (CD8 +) by 50.0 and 27.7 % and, to a greater extent, T-cells (CD4 +) - by 2 and 1.4 times was combined with an increase in the immunoregulatory index by 23.5 %. The registered changes indicate the activation of the cellular link of nonspecific resistance and the formation of adaptive immunity. The revealed increase in IL-1 β by 3.9 % and especially IFN- γ - by 34.8 % in the absence of pronounced changes in the concentrations of TFN- α and IL-10 in sick piglets was accompanied by an increase in the absorption and metabolic activity of neutrophils that indicated high activity of the cellular link of nonspecific immunity aimed at inactivation and elimination of the pathogen.

Ключевые слова: поросята, репродуктивно-респираторный синдром свиней, Т-лимфоциты, В-лимфоциты, цитокины, фагоцитоз

Key words: piglets, porcine reproductive respiratory syndrome, T-lymphocytes, B-lymphocytes, cytokines, phagocytosis

Одно из наиболее распространённых инфекционных заболеваний в большинстве стран с развитым свиноводством – репродуктивно-респираторный синдром свиней (РРСС), вызываемый РНК-содержащим вирусом семейства Arteriviridae, который проявляется нарушением репродуктивной функции у свиноматок, а также поражением органов дыхания у животных всех возрастов, особенно поросят на дорацивании и откорме [1].

Клинические проявления РРСС варьируют от субклинической формы до тяжелого нарушения репро-

дуктивных функций и/или респираторного/системного заболевания в зависимости от вирулентности вируса, наличия сопутствующих болезней, генетически обусловленной предрасположенности животных, факторов окружающей среды и условий содержания, состояния иммунного статуса [2, 3, 4].

Развитие и исход любого патологического процесса во многом определяет состояние врожденного и приобретенного иммунитета [5]. Активация реакций врожденного иммунитета происходит благодаря клеточным и гуморальным факторам и связана с первич-

ным распознаванием клетками миеломоноцитарного ряда сходных структурных компонентов различных патогенов (патоген-ассоциированные молекулярные паттерны), что опосредует развитие антибактериального или противовирусного ответа. Связывание паттерн-распознающих рецепторов с различными молекулярными компонентами патогена запускает внутриклеточные пути, индуцирующие систему цитокинов [6]. Иницирование приобретенного иммунитета опосредовано активностью врожденного иммунного ответа, ответственного за дифференцировку и активацию дендритных клеток с целью эффективного распознавания антигенов специфическими иммунными клетками (лимфоциты) и элиминации патогенов в начальной фазе инфекционного процесса [6, 7].

Цитокины, участвующие в формировании иммунного ответа, контролируют пролиферацию и дифференциацию лимфоцитов, а также активируют мононуклеарные фагоциты, нейтрофилы и эозинофилы для устранения антигенов при эффекторной фазе иммунного ответа [6].

Среди клеток иммунной системы ключевую роль в формировании противовирусного иммунитета играют Т-лимфоциты. Субпопуляция Т-хелперов выполняет ведущую роль в запуске и регуляции иммунного ответа, участвуя в созревании цитотоксических Т-лимфоцитов, пролиферации и дифференциации В-лимфоцитов, активации макрофагов посредством секреции цитокинов [7]. При формировании специфического иммунитета включается защитный механизм, обусловленный дифференциацией Т-хелперов под воздействием цитокинов, секретируемых антиген-презентирующими клетками (АПК), или непосредственно самими Т-лимфоцитами [6, 7].

Значительный интерес представляет изучение влияния Т-лимфоцитов на функциональную активность такого важного компонента противинфекционной защиты, как нейтрофилы. Известно, что активируют их миграцию и повышают фагоцитарную активность Т-хелперы 1 и 2 типа [8]. В то же время нейтрофилы могут оказывать как активирующее, так и ингибирующее влияние на разные субпопуляции иммунокомпетентных клеток (макрофаги, дендритные клетки, Т- и В-лимфоциты) [9].

Поглотительная активность нейтрофилов, наблюдаемая в общей фагоцитарной реакции, и статус внутреннего метаболизма нейтрофилов, определяемый в реакции восстановления нитросинего тетразолия (НСТ-тест), играют решающую роль в уничтожении внеклеточно размножающихся инфекционных агентов. НСТ-тест позволяет определить готовность лейкоцитов к фагоцитозу, выявить энзиматические дефекты клеточного иммунитета, ведущие к дисфагоцитозу, интенсивность «кислородного взрыва», который происходит внутри фагоцитирующих клеток. Степень НСТ-восстановительной способности лейкоцитов напрямую зависит от периода заболевания и тяжести патологического процесса [10].

Несмотря на ряд исследований, посвященных РРСС, некоторые вопросы, в том числе связанные с нарушением регуляции или отсроченным началом защитных иммунных реакций в ответ на вирусную инвазию, остаются недостаточно изученными.

Цель исследования – изучение состояния клеточного иммунитета у поросят при РРСС, проявляющемся респираторной патологией, в условиях промышленно-свиноводческого комплекса.

Методика Работу проводили на базе лабораторий ФГБНУ «ВНИВИПФиТ» и в промышленном свиноводческом хозяйстве АО «9-ая Пятилетка» Лискинско-го района Воронежской области, неблагополучном по репродуктивно-респираторному синдрому свиней. Для опыта было подобрано 2 группы животных в возрасте 92 дня: клинически здоровые (n=15) и с признаками респираторной патологии (n=16).

Этиологию респираторных инфекций устанавливали на основании результатов бактериологических и молекулярно-биологических (ПЦР) исследований патологического материала (поражённые лёгкие n=10, кровь – n=50).

В крови определяли лейкоциты, лейкоцитарную формулу, абсолютное и относительное содержание Т- и В-лимфоцитов, Т-теофилинчувствительных (CD8+) и Т-теофилинрезистентных (CD4+) лимфоцитов, иммунорегуляторный индекс (ИРИ) – соотношение CD4+/CD8+; лейкоцитарно-Т-лимфоцитарный индекс (ЛТИ); показатели фагоцитоза полиморфноядерных нейтрофилов – фагоцитарную активность нейтрофилов (ФАН), фагоцитарный индекс (ФИ) и фагоцитарное число (ФЧ), спонтанный (сп) и стимулированный (ст) НСТ-тест, показатель резерва (ПР) фагоцитарных нейтрофилов и коэффициент метаболической активности нейтрофилов (КМА) в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке и коррекции иммунного статуса животных» [11].

Для оценки иммунореактивности организма рассчитывали интегральные индексы: иммунореактивности (ИИР) – соотношение лимфоцитов и эозинофилов к моноцитам, лимфоцитарный (ЛИ) – соотношение лимфоцитов и нейтрофилов, соотношения лимфоцитов и эозинофилов (ИСЛЭ), соотношения нейтрофилов и моноцитов (ИСНМ), соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ) [12].

Содержание интерлейкина 1 β (IL-1 β), интерлейкина 10 (IL-10), фактора некроза опухоли α (TFN- α), γ -интерферона (IFN- γ) в сыворотке крови поросят определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) с последующим учётом результатов на спектрофотометре «Униплан-ТМ» в соответствии с утвержденными наставлениями к диагностическим наборам «Вектор-Бест» (Россия).

Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерных статистических программ «Statistica 6.0» (Stat Soft Inc., США) и Microsoft Excel, оценку достоверности – с применением t критерия Стьюдента при уровне значимости p=0,01-0,0001.

Результаты и обсуждение. При изучении этиологии респираторных болезней поросят молекулярно-биологическим (ПЦР) методом в пораженных лёгких и 50,0 % пробах крови был обнаружен геном вируса РРСС, бактериологическими исследованиями патогенной микрофлоры не выделено.

При изучении морфологических показателей установлено, что количество лейкоцитов у больных и клинически здоровых поросят существенно не различалось. При этом содержание абсолютного и относительного количества лимфоцитов у больных животных было достоверно выше на 16,1 и 11,9 % (табл. 1).

У поросят с респираторной патологией выявлено достоверное повышение количества палочкоядерных нейтрофилов на 12,8 %, что свидетельствует об остром воспалительном процессе и обусловлено усилением генерации в костном мозгу с последующей миграцией нейтрофильных лейкоцитов в систему циркуляции

Табл. 1. Морфологические показатели крови у поросят

Показатель	Поросята	
	клинически здоровые	больные
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	21,8 ± 1,02	22,6 ± 0,72
Нейтрофилы: юные, %	-	-
палочкоядерные, %	7,8 ± 0,4	8,8 ± 0,3*
сегментоядерные, %	32,0 ± 1,08	25,2 ± 1,05**
Эозинофилы, %	2,40 ± 0,15	1,75 ± 0,12*
Базофилы, %	-	-
Моноциты, %	1,3 ± 0,08	1,0 ± 0,07*
Лимфоциты, %	57,0 ± 0,7	63,8 ± 0,9***
абс., 10 ⁹ /л	12,4 ± 0,2	14,4 ± 0,1***
Индексы неспецифической реактивности, у.е.		
ИИР	45,7 ± 1,34	65,6 ± 1,24***
ИСЛЭ	23,8 ± 0,73	36,5 ± 0,84***
ЛИ	1,43 ± 0,04	1,88 ± 0,09**
ИСНМ	30,6 ± 1,18	34,0 ± 1,03*
ИСЛМ	43,8 ± 1,24	63,8 ± 1,32***

*p<0,01, **p<0,001, ***p<0,0001, относительно показателей клинически здоровых животных.

крови и ткани слизистых оболочек для реализации фагоцитарной функции. Вместе с тем у больных животных количество сегментоядерных нейтрофилов было ниже на 21,3 %, что связано с их интенсивным расходом, моноцитов, которые служат предшественниками тканевых макрофагов и осуществляют фагоцитарную, антигенпредставляющую и репаративную функции, меньше на 23,1 %, эозинофилов – на 27,1 %, что указывает на острую фазу заболевания и недостаток антимедиаторов воспаления и дезинтоксикационного компонента в спектре медиаторов [12].

Дисрегуляция иммунных клеток, вызванная вирусом РРСС, способствует выработке эозинофилами цитокинов: IL-1, IL-3, IL-5, IL-6, IL-8, колониестимулирующих факторов и тромбоцитарного фактора роста под влиянием интерлейкинов IL-5 и IL-13, продуцируемых Th-2-лимфоцитами, что приводит к изменениям общего цитокинового профиля и спектра вторичных медиаторов воспаления [12].

При анализе лейкоцитарных индексов, отражающих степень реактивности организма, у больных поросят выявлены характерные изменения. Так, индекс иммунореактивности, характеризующий соотношение лимфоцитов и эозинофилов к моноцитам – продуцентам цитокинов, у больных особей был на 43,5 % больше, чем у здоровых, что обусловлено развитием вирусной инфекции. Увеличение индекса соотношения содержания лимфоцитов и нейтрофилов на 33,6 %, по сравнению со здоровыми животными, указывает на высокую степень реактивности организма. Установленное у больных поросят превышение индексов ИСЛЭ (на 53,4 %), ИСНМ (на 11,1 %) и ИСЛМ (на 45,7 %) свидетельствует об активации клеточного звена неспецифического иммунитета (см. табл. 1).

Абсолютное и относительное содержание Т-лимфоцитов у животных с респираторной патологией было достоверно выше, чем у здоровых, соответствен-

Табл. 2. Показатели клеточного звена неспецифического иммунитета у поросят

Показатель	Поросята	
	клинически здоровые	больные
Т-лимфоциты, %	42,3 ± 0,85	54,0 ± 0,95***
абс., 10 ⁹ /л	5,2 ± 0,32	7,8 ± 0,37***
Ттфч (CD8+), %	15,8 ± 0,42	17,3 ± 0,51*
абс., 10 ⁹ /л	0,8 ± 0,07	1,3 ± 0,09**
Ттфр (CD4+), %	26,5 ± 1,2	36,7 ± 1,08***
абс., 10 ⁹ /л	1,4 ± 0,18	2,8 ± 0,28**
ИРИ (CD4+/CD8+)	1,7:1 ± 0,08	2,1:1 ± 0,1**
В-лимфоциты, %	20,5 ± 0,65	20,8 ± 1,03
абс., 10 ⁹ /л	2,5 ± 0,15	3,0 ± 0,17*
Т/В	2,08:1 ± 0,12	2,6:1 ± 0,09**
ЛТИ	4,1 ± 0,15	2,9 ± 0,1***

*p<0,01, **p<0,001, ***p<0,0001 относительно показателей клинически здоровых животных.

но на 50,0 и 27,7 % (табл. 2), что отражает активацию клеточного иммунитета и способствует повышению неспецифической резистентности, в первую очередь к вирусным инфекциям [13].

Абсолютное и относительное содержание теофиллинчувствительных Т-лимфоцитов (CD8+), подавляющих иммунный ответ и отвечающих за иммуносупрессию, обусловленную патогенными агентами, у больных животных было достоверно выше, чем у здоровых, на 62,5 и 9,5 % соответственно. Реакция Т-лимфоцитов на чужеродные антигены имеет важное значение для формирования популяций вирус-специфических CD8+ эффекторных Т-клеток и Т-клеток памяти, которые из региональных лимфоузлов мигрируют к месту репликации вируса в соматические ткани [14].

Абсолютное и относительное количество теофиллинрезистентных Т-клеток (CD4+), обеспечивающих формирование антител и активацию макрофагов, у больных поросят было выше в 2 раза и на 38,5 % соответственно, вследствие чего ИРИ увеличился на 23,5 %. Повышение иммунорегуляторного индекса из-за большего относительного содержания Т-CD4+ в острой фазе инфекционного процесса – благоприятный признак, указывающий на адекватную иммунную реакцию организма [15].

При этом лейкоцитарно-Т-лимфоцитарный индекс, отражающий соотношение общего количества лейкоцитов к Т-лимфоцитарному клеточному звену, у поросят с респираторной патологией был достоверно ниже на 29,3 % из-за увеличения Th-клеток, что свидетельствует об активации клеточного иммунного ответа, характерной для большинства вирусных инфекций [15].

Абсолютное содержание В-лимфоцитов, которые служат основой гуморального ответа, у больных особей было выше на 20,0 %, а относительное не отличалось от величины этого показателя у здоровых животных. Соотношение между количеством Т- и В-лимфоцитов у больных поросят было шире на 25,0 %, что свидетельствует о превалировании механизмов специфической клеточной защиты при вирусной инфекции.

Увеличение общего количества Т-клеток популяций Т-теофиллинчувствительных и Т-теофиллинрезистентных и их соотношения отражает активацию лимфопоэза, а также изменение регуляторного потенциала лимфоидных тканей в ответ на развитие вирус-

ной инфекции. Изменение количества и соотношения Т-лимфоцитов обусловлено также действием цитокинов, влияющих на функциональную активность клеток и принимающих участие в реакциях приобретенного иммунитета. Воздействуя на Т- и В-лимфоциты, цитокины способны стимулировать антигензависимые процессы в иммунной системе [6]. Так, у поросят с респираторной патологией отмечали повышенное на 3,9 % содержание цитокина IL-1 β , который определяет ответную защитную реакцию организма при действии патогенных факторов и служит важнейшим медиатором воспаления, инициирующим развитие и регуляцию неспецифических и специфических механизмов иммунитета [16, 17]. Уровень TNF- α , способствующего развитию иммунного ответа, у них был на 2,6 % ниже, чем у здоровых животных (табл. 3).

Табл. 3. Цитокиновый профиль, пг/мл

Показатель	Поросята	
	клинически здоровые	больные
IL-1 β	15,5 \pm 0,10	16,1 \pm 0,14**
IL-10	20,5 \pm 0,17	21,0 \pm 0,15
IL-1 β / IL-10	0,75 \pm 0,04	0,76 \pm 0,03
TFN- α	3,91 \pm 0,04	3,81 \pm 0,05
IFN- γ	88,3 \pm 5,2	119,0 \pm 3,5***
p<0,005, *p<0,001 по отношению к показателям клинически здоровым животным.		

Незначительные изменения уровня провоспалительных цитокинов IL-1 β и TFN- α обусловлены ингибирующим действием субъединиц неструктурного белка 1 (PRRSV NSP1 α и β) вируса PPCC на макрофаги и моноциты при инфицировании [18].

Незначимые различия по концентрации противовоспалительного цитокина IL-10, продуцируемого Т-хелперами 1-го и 2-го типа, моноцитами, макрофагами, цитотоксическими клетками, и имеющего широкий спектр действия с выраженным иммуносупрессивным эффектом [19], в крови животных подопытных групп свидетельствуют о слабом гуморальном ответе при развитии патологии и сочетаются с отсутствием выраженных изменений в относительном количестве В-лимфоцитов и пониженным содержанием эозинофилов и моноцитов.

Цитокиновый индекс – соотношение антагонистов IL-1 β /IL-10, отражающий направленность иммунной реакции и степень течения воспалительного процесса [6, 16], у больных и здоровых поросят различался незначительно, что указывает на легкую форму течения болезни.

По данным ряда исследователей [3, 20, 21], вирус PPCC, ослабляя защитные механизмы дыхательных путей, может негативно модулировать иммунные реакции макроорганизма путём снижения индукции провоспалительных интерферонов I типа – IFN- α / β , что приводит к замедленному формированию адаптивного иммунитета и возникновению в результате персистирующей инфекции, а также развитию вторичного иммунодефицита.

Усиление секреции IFN- γ у поросят с респираторной патологией на 34,8 % отражает высокую активность естественных киллеров (НК) и естественных Т-киллеров (НКТ-клеток), а также преобладание

Th1-хелперного клеточного ответа. IFN- γ активирует моноциты, макрофаги, естественные киллеры: их дифференцировку и функции, индуцирует экспрессию МНС I и II классов, усиливает презентацию антигенов, регулирует активность факторов врожденного иммунного ответа, координирует лимфоцит-эндотелиальные взаимодействия и служит одним из факторов дифференцировки В-клеток, обладая большим спектром противовирусного, противопаразитарного и противоопухолевого действия [22]. При вирусной инфекции IFN- γ усиливает в клетке синтез фермента олигонуклеотидсинтетазы и протеинкиназы, что приводит к нарушению внутриклеточного синтеза вирусных белков [23]. В связи с этим, несущественное повышение IL-1 β и значительное увеличение IFN- γ при отсутствии выраженных изменений в концентрациях TFN- α и IL-10 указывает на легкую степень течения заболевания и высокую активность клеточного звена врожденного иммунитета.

Повышение концентрации провоспалительных цитокинов у больных поросят сопровождалось увеличением показателей поглотительной и метаболической активности нейтрофилов, обеспечивающих один из основных эффекторных механизмов неспецифической резистентности [24].

Исследованиями клеточного звена неспецифической резистентности (табл. 4) установлено, что у больных поросят фагоцитарная активность нейтрофилов достоверно выше, чем у здоровых, на 8,1 %, фагоцитарный индекс – на 30,6 %, фагоцитарное число – на 33,2 %, что свидетельствует об усилении поглотительной активности нейтрофилов и может быть связано с накоплением в организме поросят эндотоксинов, активирующих систему полинуклеарных нейтрофилов и стимулирующих фагоцитоз [25].

При остром воспалительном процессе важную роль играет функциональное состояние нейтрофилов [7], которые двунаправленно взаимодействуют с природными киллерами, дендритными и мезенхимальными стволовыми клетками, Т- и В-лимфоцитами, повышают активность Th1- и Th2-клеток и участвуют в регуляции клеточного и гуморального иммунного ответа [9]. Выявленные изменения метаболической (функциональной) активности нейтрофилов у больных поросят обусловлены влиянием вируса на кислородзависимый метаболизм нейтрофилов, лежащий в основе их бактерицидного потенциала. Количество формазан-положительных нейтрофилов в спонтанном НСТ-тесте у больных животных было выше на 17,6 %, что свиде-

Табл. 4. Показатели поглотительной и метаболической активности нейтрофилов

Показатель	Поросята	
	клинически здоровые	больные
ФАН, %	91,0 \pm 0,58	98,3 \pm 0,67***
ФИ	6,2 \pm 0,23	8,1 \pm 0,34**
ФЧ	5,7 \pm 0,18	7,5 \pm 0,25***
сп-НСТ, %	25,8 \pm 1,25	30,3 \pm 1,6*
ст-НСТ, %	46,5 \pm 2,02	55,6 \pm 2,6*
ПР (СТ/СП)	1,8 \pm 0,03	1,9 \pm 0,09
КМА (СТ-СП)/СТ	0,45 \pm 0,03	0,46 \pm 0,02
*p<0,01, **p<0,001, ***p<0,0001 относительно показателей клинически здоровых животных		

тельствует об усилении цитотоксичности из-за активации внутриклеточной НАДФ-Н-оксидазной системы и повышении количества палочкоядерных нейтрофилов вследствие компенсаторной мобилизации костного мозга [9, 12]. Уровень активированных нейтрофилов (ст-НСТ), характеризующий степень готовности клеток к завершённому фагоцитозу, у больных поросят на 19,7 % превышал величину аналогичного показателя у здоровых животных, что свидетельствует о сохранённой внутриклеточной активности фагоцитов. Продукты стимулированных макрофагов влияют на активность макрофагов, лимфоцитов и тромбоцитов, вызывают дегрануляцию тучных клеток и активируют систему комплемента [10, 24].

Степень функционального резерва и коэффициент метаболической активности нейтрофилов у больных поросят находились на одном уровне с величинами аналогичных показателей у здоровых животных, что свидетельствует об адекватном состоянии клеточного звена неспецифической резистентности, направленного на инактивацию и элиминацию патогена.

Таким образом, у поросят при репродуктивно-респираторном синдроме свиней, проявляющемся респираторной патологией, происходит снижение количества сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов и моноцитов, увеличение содержания палочкоядерных нейтрофилов, абсолютного и относительного содержания теофиллинчувствительных Т-лимфоцитов (CD8+) и теофиллинрезистентных Т-клеток (CD4+), а также иммунорегуляторного индекса.

Изменения в цитокиновом профиле у больных поросят характеризуются повышенным содержанием в сыворотке крови IFN- γ , незначительным увеличением уровня интерлейкина-1 β , при отсутствии существенных изменений в количестве IL-10 и TFN- α , что сопровождается ростом величин показателей поглотительной и метаболической активности нейтрофилов – фагоцитарной активности нейтрофилов, фагоцитарного числа и фагоцитарного индекса, показателей спонтанного и индуцированного НСТ-теста. Отмеченные изменения у заболевших РРСС поросят характеризуют адекватный иммунный ответ и указывают на лёгкое течение инфекционного процесса.

Литература.

1. Evaluation of immune responses to porcine reproductive and respiratory syndrome virus in pigs during early stage of infection under farm conditions / V. Dwivedi, C. Manickam, B. Binjawadagi, et al. // *Virology Journal*. 2012. Vol. 9. P.45. doi: 10.1186/1743-422X-9-45
2. Кукушкин С.А., Байбиков Т.З., Фомин А.Е. Атипичный (высокопатогенный) репродуктивно-респираторный синдром свиней (обзор литературы) // *Ветеринарная патология*. 2008. № 4 (27). С. 38–41.
3. Martelli P., Segalis H. *Respiratory diseases of pigs*. Saragosa: SERVET, 2019. 130 с.
4. Шахов А. Г. Влияние состояния иммунного статуса на возникновение и развитие респираторных болезней свиней // *Доклады РАСХН*. 2009. № 4. С. 55–57.
5. Цитокиновый профиль у поросят в норме и при респираторной вирусной инфекции / А.Г. Шахов, Л.Ю. Сашина, Ю.Ю. Владимирова и др. // *Ветеринарный фармакологический вестник*. 2021. №1(14). С.88–95. doi: 10.17238/issn2541-8203.2021.1.88.
6. Кетлинский С.А., Симбирцев А.С. *Цитокины*. СПб: ООО «Издательство Фолиант», 2008. 552 с.
7. Дисбаланс иммунорегуляторных Th1- и Th2-цитокинов при персистентных вирусных инфекциях / И.О. Наследникова, Н.В. Рязанцева, В.В. Новицкий и др. // *Медицинская иммунология*. 2007. Т. 9. № 1. С. 53–60.
8. Neutrophil extracellular traps exacerbate Th1-mediated autoimmune responses in rheumatism by promoting Dc maturation / G. Papadaki, K. Kambas, C. Choulaki, et al. // *Eur. Immunol.* 2016. Vol. 46. No. 11. P. 2542–2554
9. Долгушин И.И. Нейтрофильные гранулоциты: новые лица старых знакомых // *Бюллетень сибирской медицины*. 2019. №18 (1). С. 30–37. doi: 10.20538/1682-0363-2019-1-30-37.
10. Ляпина С.А., Федотова Г.Г. Реактивные изменения нейтрофилов при бронхолегочных заболеваниях // *Современные проблемы науки и образования*. 2018. № 6. С. 66–72.
11. Методические рекомендации по оценке и коррекции иммунного статуса животных / Шахов А.Г., Масьянов Ю.Н., Рецкий М.И. и др. // *Новые методы исследований по проблемам ветеринарной медицины*. Ч. III. «Методы исследований по проблемам незаразной патологии у продуктивных животных». М.: РАСХН. 2007. С.216–292.
12. Жуков А. П., Шарафутдинова Е.Б., Датский А. П. Информативность лейкоцитарных индексов в лабораторном скрининге лёгочной патологии у телят // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. №3(59). С.101–104
13. Состояние гуморальной и клеточной систем иммунитета у свиней с репродуктивно-респираторным синдромом свиней / А.Г. Ключников, Л.П. Миронова, С.Н. Карташов и др. // *Вет. патология*. 2011. № 1–2. С. 38–41.
14. Graded Levels of IRF4 Regulate CD8+ T Cell Differentiation and Expansion, but Not Attrition, in Response to Acute Virus Infection / R. Nayar, E. Schutten, B. Bautista, et al. // *J. Immunol.* 2014. Vol. 192. No. 12. P. 5881–5893. DOI:10.4049/jimmunol.1303187
15. Ярец Ю.И. *Интерпретация результатов иммунограммы*. Гомель: ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2020. 38 с.
16. Цитокины в диагностике воспалительных заболеваний верхних дыхательных путей (обзор литературы) / И.В. Стагниева, Н. В. Бойко, Е. Л. Гукасян и др. // *Российская ринология*. 2017. Т. 25. №4. С. 43–47.
17. Взаимосвязь про- и антиоксидантного статуса и цитокинового профиля у поросят при технологическом стрессе / С.В. Шабунин, А.Г. Шахов, Л.Ю. Сашина и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. №5. С.63–66. doi: 10.31857/S2500262720050154
18. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus nonstructural protein 1beta modulates host innate immune response by antagonizing IRF3 activation / L. K. Beura, S. N. Sarkar, B. Kwon, et al. // *J. Virol.* 2009. No84. P. 1574–84. doi: 10.1128/JVI.01326-09
19. Исследование экспрессии генов цитокинов в процессе культивирования лейкоцитов здоровых доноров / Л. В. Ковальчук, Л.В. Ганковская, М.В. Мезенцева и др. // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2012. № 2. С. 60–63.
20. Induction of inducible CD4+CD25+Foxp3+ regulatory T lymphocytes by porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) / P. Wongyanin,

- S. Buranapraditkun, K. Chokeshai-Usaha, et al. // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2010. Vol. 133. P. 170–182. doi: 10.1016/j.vetimm.2009.07.012
21. Porcine reproductive and respiratory syndrome virus activates the transcription of interferon alpha/beta (IFN- α / β) in monocyte-derived dendritic cells (Mo-DC) / H. Zhang, X. Guo, E. Nelson, et al. // *Veterinary Microbiology*. 2012. Vol. 159. P. 494–498. doi: 10.1016/j.vetmic.2012.04.025
22. Levy D.E., Marié J., Durbin J.E, Induction and function of type I and III interferon in response to viral infection // *Current Opinion in Virology*. 2011. №1 (6). P. 476–486. doi: 10.1016/j.coviro.2011.11.001.
23. Сологуб Т.В., Цветков В.В., Деева Э.Г. Интерферон гамма-цитокин с противовирусной, иммуномодулирующей и противоопухолевой активностью // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2014. Т. 22. № 3. С. 56–60.
24. Хаитов Р.М., Пинегин Б.В., Ярилин А.А. Руководство по клинической иммунологии. Диагностика заболеваний иммунной системы: руководство для врачей. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 352 с.
25. Антимикробные стратегии нейтрофилов при инфекционной патологии / Б.Г. Андрюков, Л.М. Сомова, Е.И. Дробот и др. // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2016. №61(12). С. 825–833. doi: 10.18821/0869-2084-2016-61-12-825-833.

Поступила в редакцию 25.05.2021

После доработки 23.06.2021

Принята к публикации 05.07.2021

Переработка

УДК 57.084.1:576.08:576.356.3

DOI:10.31857/S2500262721040153

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ТОКСИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПИЩЕВЫХ КОНСЕРВАНТОВ МЕТОДОМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

А.В. Самойлов, кандидат биологических наук,
Н.М. Сураева, доктор биологических наук, **М.В. Зайцева**, аспирант,
А.Н. Петров, академик РАН

*Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, 142703, Московская обл., Видное, ул. Школьная, 78
E-mail: molgen@vniitek.ru*

*Наиболее распространенные пищевые консерванты – бензойная и сорбиновая кислоты – могут представлять риск для здоровья человека при продолжительном и чрезмерном их употреблении и стать причиной проявления мутагенных и канцерогенных эффектов. Для анализа характера побочных эффектов воздействия этих кислот, а именно, их обратимости использовали растительный биотест (*Allium cepa*). Методика эксперимента заключалась в обработке корней лука водными растворами бензойной и сорбиновой кислот концентрацией 50 и 100 мг/л с последующим восстановительным проращиванием в воде. Сравнительную оценку осуществляли с использованием следующих показателей: прирост массы и активность ферментов перекисного окисления липидов в тканях корней, митотический индекс и хромосомные aberrации в клетках меристемы. Зафиксирован обратимый эффект токсичного действия изучаемых консервантов на прирост массы корней, так как в условиях восстановительного проращивания его скорость в опытных образцах не отличалась или даже превышала (при 100 мг/л) контрольные значения. Обработка корней сорбиновой и бензойной кислотами приводила к многократному снижению митотоксического индекса в клетках меристемы, однако при дальнейшей инкубации в отсутствие консервантов уровень пролиферации в опытных образцах не отличался от такового в контроле. Аналогичные результаты получены при оценке оксидативного стресса в тканях корней, обусловленного воздействием сорбиновой кислоты. Только при анализе хромосомных aberrаций после обработки корней бензойной кислотой в концентрации 100 мг/л зафиксирован достоверный необратимый генотоксичный эффект. В этих образцах уровень хромосомных aberrаций был выше, чем в контроле, кроме того, отличался и их спектр.*

ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF TOXIC EFFECTS OF FOOD PRESERVATIVES WITH BOASSAY

Samoylov A.V., Suraeva N.M., Zaytseva M.V., Petrov A.N.

*Russian Research Institute of Canning Technology –
Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems for RAS,
142703, Moskovskaya obl., Vidnoe, ul. Shkol'naya, 78
E-mail: molgen@vniitek.ru*

*The most common food preservatives, benzoic and sorbic acids, can pose a risk to human health with prolonged and excessive use and cause mutagenic and carcinogenic effects. A plant bioassay (with *Allium cepa*) was used to analyze the nature of the side effects of these acids and its reversibility. The experimental technique consisted in the treatment of onion roots with 50 and 100 mg / L of aqueous solutions of benzoic and sorbic acids, followed by reductive germination in water. A comparative assessment of experimental samples with control was carried out on the basis of the following indicators: weight gain and activity of lipid peroxidation enzymes in root tissues, mitotic index and chromosomal aberrations in meristem cells. A reversible toxic effect of these preservatives on the growth of root weight was recorded, since under conditions of regenerative germination. Rate of growth in the experimental samples did not differ or even exceeded (at 100 mg / l) the control values. The treatment of roots with sorbic and benzoic acids led to a multiple decrease in the mitotic index in the cells of the meristem; however, upon further incubation in the absence of preservatives, the level of proliferation in the experimental samples did not differ from that in the control samples. Similar results were obtained when evaluating oxidative stress in root tissues caused by exposure to sorbic acid. Irreversible reliable genotoxic effect was recorded only in the analysis of chromosomal aberrations after treatment of roots with benzoic acid at a concentration of 100 mg/l. The level of chromosomal aberrations was higher and their spectrum was different in these samples, in comparison with the control.*

Ключевые слова: пищевые консерванты, биотестирование, токсичность, необратимость побочных эффектов

Key words: food preservatives, bioassay, toxicity, irreversibility of side effects

В пищевой промышленности используют сотни наименований добавок, среди которых одна из ведущих позиций занимают консерванты. Потребность в таких добавках со временем будет только увеличиваться в связи с ростом мирового населения и необходимостью сохранения продуктов питания. Бензойная и сорбиновая кислоты, а также их соли относятся к наиболее употребляемым пищевым консервантам. Их добавляют в кондитерские и кулинарные изделия, безалкогольные напитки и готовые блюда, продукты переработки фруктов и овощей, продукцию из рыбы и морепродук-

тов и др. Однако известно, что сорбиновая и бензойная кислоты могут оказывать неблагоприятное влияние на здоровье человека, поэтому в законодательном порядке на основании результатов токсикологических тестов были приняты гигиенические нормативы их применения в продуктах питания (от 100 до 2000 мг/кг) и допустимые нормы суточного потребления (0...11 и 0...5 мг/кг массы тела соответственно). Несмотря на то, что эти консерванты были отнесены к категории безопасных добавок, в последние несколько лет они стали привлекать внимание научного сообщества в качестве

потенциальных факторов развития различных заболеваний человека, в том числе по причине чрезмерного потребления в составе продуктов питания. Известно несколько эпидемиологических исследований [1, 2, 3], в которых были зафиксированы аллергические реакции на бензойную кислоту и ее соли (крапивница, ринит и зуд). Опубликованы научные данные, демонстрирующие взаимосвязь между чрезмерным потреблением бензоата натрия и симптомами дефицита внимания и гиперактивности у маленьких детей [4, 5].

Кроме того, установлено, что пищевые добавки обладают генотоксичными и мутагенными свойствами при воздействии на разные тестовые организмы, включая растения, бактерии, линии человеческих клеток и лабораторных животных [6]. С использованием метода анализа ДНК-комет отмечено значительное увеличение повреждений генетического материала в лимфоцитах человека после часовой обработки *in vitro* бензойной кислотой [7]. В аналогичных исследованиях на сперматозоидах человека, повреждающее воздействие этого консерванта на ДНК было зафиксировано при концентрации 500 мкг/мл [8]. Кроме того, сорбат калия проявлял себя в качестве генотоксичного, но не мутагенного агента в отношении лимфоцитов периферической крови человека *in vitro* [9]. Сорбат калия, аскорбиновая кислота и соли трехвалентного железа широко используют в качестве пищевых добавок в продуктах питания. Однако при хранении таких продуктов эти соединения могут образовывать токсичные вещества. Оценка смеси сорбата калия, аскорбиновой кислоты и соли железа на генотоксичность и мутагенность с использованием теста Эймса [10] показала, что указанные нарушения проявлялись только при условии присутствия в модельной системе всех трех соединений. Было также обнаружено, что сорбиновая кислота вызывала снижение активности холинэстеразы в сыворотке крови человека, что может приводить к холинергической гиперстимуляции из-за накопления ацетилхолина в нервных окончаниях и нервно-мышечных соединениях [11].

Негативные биохимические и физиологические эффекты обсуждаемых консервантов подтверждены в экспериментах на лабораторных животных. Так, через 60 дней ежедневного перорального введения крысам 10-кратных допустимых суточных доз бензойной кислоты и сорбата калия было обнаружено значительное увеличение количества тромбоцитов у животных всех обработанных групп. Также значительно возросли уровни сывороточных ферментов трансаминаз, щелочной фосфатазы и креатинина. Результаты гистопатологических исследований печени и почек подтвердили наличие деструктивных и дегенеративных изменений [12]. В другом эксперименте пероральная доза бензоата натрия (примерно 130...550 мг/кг/сут) в течении 4 недель значительно ухудшала память и координацию движений мышцей [13]. Более того, консервант снижал уровень восстановленного глутатиона и значительно повышал уровень МДА (малонного диальдегида) в головном мозге. При этом изменение активности ацетилхолинэстеразы было незначительным. На основании представленных данных в научной литературе активно обсуждались предложения о необходимости дальнейших исследований в этом направлении с целью постоянного контроля и возможной повторной оценки норм потребления [14]. В 2015 г., на основании выявленной группой экспертов Европейского агентства по безопасности продуктов питания (EFSA, European Food Safety

Authority) репродуктивной токсичности сорбиновой кислоты и ее солей, допустимая суточная доза потребления (ADI) была снижена 25 мг/кг до 3 мг/кг массы тела [15]. Однако в 2019 г. по результатам еще одной ревизии новое значение ADI этих консервантов было установлено на уровне 11 мг/кг в сутки [16]. По данным мониторинга употребления бензойной кислоты в продуктах питания предлагалось также пересмотреть ее максимальные суточные пределы в таких продуктах, как безалкогольных напитки и заправки к салатам [17].

Известно, что при воздействии различных ксенобиотиков на организм развитие побочных эффектов связано с такой их характеристикой, как степень обратимости. Обратимые эффекты нивелируются после прекращения употребления того или иного вещества благодаря включению процессов детоксикации, тогда как необратимые продолжают присутствовать, а также могут прогрессировать. Этот показатель широко используют в медицине для оценки побочных эффектов лекарственных препаратов, однако он может быть также полезен и при оценке безопасности пищевых добавок в условиях биотестирования [18]. На наш взгляд, эффективным методом оценки характера проявления побочного воздействия сорбиновой и бензойной кислот может быть растительное биотестирование на корнях лука репчатого *Allium cepa* – Allium-тест. Он рекомендовал себя более чувствительным при оценке токсичности различных химических соединений [19], чем другие методы с использованием лабораторных животных.

Цель исследования – оценка характера воздействия (обратимое или необратимое) сорбиновой и бензойной кислот в отношении прироста массы, активности ферментов перекисного окисления липидов, цитологических и цитогенетических показателей корней *Allium cepa*.

Методика. В работе использовали консерванты – сорбиновую и бензойную кислоты («Thegmo Fisher Scientific», США) и луковицы лука-севка репчатого *Allium cepa* L., сорта Штутгартен одинакового размера (2,5...3,0 см в диаметре) и массы (5...7 г). Перед инкубацией с луковиц удаляли сухую чешую и прикорневое донце. Предварительное проращивание корней осуществляли в пробирках объемом 15 мл в бутилированной воде в течение 2-х суток в темноте при 25 °С. Для дальнейших исследований отбирали луковицы с длиной отдельных корней не менее 0,5 см. Затем их помещали в пробирки с бутилированной питьевой водой – контроль или в растворы консервантов концентрацией 50 и 100 мг/л – экспериментальные варианты. После проращивания в течение суток у половины луковиц корни срезали, удаляли с них остатки жидкости фильтровальной бумагой, взвешивали и далее использовали для проведения цитогенетического и биохимического анализов. Остальные образцы помещали в бутилированную воду и инкубировали еще в течение суток (восстановительное проращивание), после чего их корни также анализировали. При подсчете прироста массы корней, как в контрольных, так и в опытных образцах, вычисляли среднюю массу корней до их обработки растворами консервантами. Окрашивание препаратов проводили ацетоорсеином (1 г красителя орсеин разводили в 50 мл 45 %-ной CH_3COOH). Для длительного хранения корни помещали в 70 %-ный раствор этилового спирта. Далее готовили моментальные давленные препараты, анализ которых осуществляли с использованием светового микроскопа Axioskop 40, Zeiss. В

ходе цитогенетических исследований под микроскопом просматривали около 17000 клеток.

Уровень липидного окисления определяли по концентрации малонового диальдегида (МДА) в корнях лука [20]. Метод основан на количественном спектрофотометрическом определении триметинового комплекса, образующегося при реакции молекул МДА с избытком тиобарбитуратовой кислоты.

Влияние растворов кислот на показатели биотеста оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа ($p \leq 0,05$). Предварительно по критерию Колмогорова-Смирнова была проверена гипотеза о соответствии полученных данных закону нормального распределения, однородность дисперсий оценивали с использованием критерия Левана. При статистически значимой величине критерия Фишера для сравнения контрольных и опытных групп применяли апостериорный критерий множественного сравнения Тьюки при $p \leq 0,05$. Всего было проанализировано четыре дисперсионных комплекса: для сорбиновой и бензойной кислот в двух вариантах опыта: без и с инкубацией в бутилированной воде после обработки растворами консервантов. Для анализа и представления данных использовали программа STATISTICA 12.0 и пакет Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение. Прирост массы корней после обработки растворами сорбиновой и бензойной кислот в течение 24 ч снижался, по сравнению с контролем (см. табл.). При этом достоверные различия, связанные с почти двукратным уменьшением величины этого показателя, были зафиксированы только в условиях восстановительного суточного проращивания. Однако скорость прироста массы в экспериментальных образцах в течение периода восстановительного проращивания не отличалась или даже превышала (при 100 мг/л) контрольные значения. Полученные результаты продемонстрировали обратимый характер токсичного воздействия консервантов на прирост массы корней. Важно отметить, что изучаемые концентрации консервантов вызывали эффекты субхронической токсичности в клетках корней лука [21]. Такие условия

позволяли в полной мере реализоваться механизмам детоксикации ксенобиотиков в условиях растительного биотестирования.

При анализе цитологических препаратов был зафиксирован достоверный митотоксический эффект после обработки как сорбиновой, так и бензойной кислотами. Однако при дальнейшей инкубации опытных образцов в отсутствии консервантов митотический индекс восстанавливался до уровней, сопоставимых с контролем. Это также подтверждает обратимый характер цитотоксичного воздействия изучаемых пищевых добавок.

При анализе хромосомных aberrаций представлялось логичным принимать во внимание данные только тех вариантов, в которых значения митотического индекса были не ниже 2. Так как в ином случае падение уровня хромосомных aberrаций могло быть связано не с воздействием консервантов, а с отсутствием достаточного количества делящихся клеток в меристеме корней. Оказалось, что необратимый достоверный генотоксичный эффект проявился только при обработке бензойной кислотой в концентрации 100 мг/л. В этой группе не только повысился уровень хромосомных aberrаций, но и изменился их спектр. Так, в контрольных и опытных (50 г/л) образцах основная доля нарушений приходилась на слипание хромосом в метафазе и забегание хромосом в анафазе, а после обработки корней раствором бензойной кислотой в концентрации 100 мг/л наибольший вклад в спектр нарушений вносила дезорганизация хромосом в метафазе. При этом следует обратить внимание на то, что изучаемая концентрация была более чем в 10 раз ниже отечественных регламентированных норм содержания бензойной кислотой в продуктах питания (ТР ТС 029/2012).

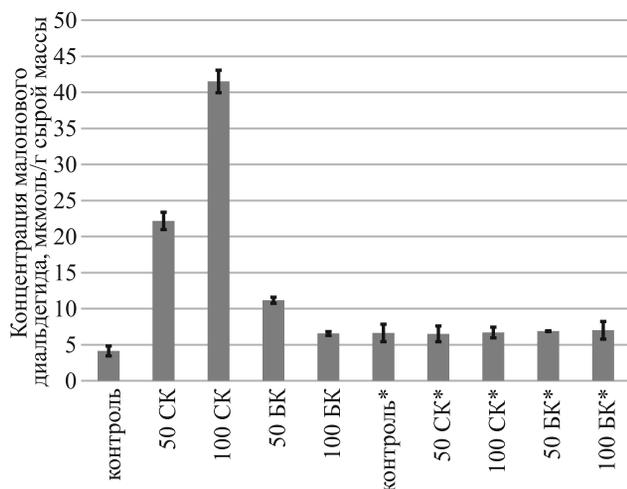
В одной из работ по оценке влияния бензоата натрия в концентрации 3,6 и 0,36 г/л в течение 3 ч на ряд показателей клеток корней *Allium cepa* после восстановительного суточного проращивания [22] было установлено, что при воздействии 3,6 г/л соли митотический индекс снижался необратимо, а в варианте с 0,36 г/л он не отличался от контроля. При этом уровни хро-

Оценка воздействия сорбиновой и бензойной кислот на показатели корней лука (среднее \pm SE*, n=9)

Вариант	Прирост массы корней, г/луковицу	Митотический индекс, %	Хромосомные aberrации, %	
			в расчете на клетки в митозе	в расчете на общее число клеток
После инкубации в растворах консервантов				
Контроль	0,105 \pm 0,029	8,86 \pm 0,32 ^a	1,77 \pm 0,51 ^a	0,16 \pm 0,05 ^a
Сорбиновая кислота, 50 мг/л	0,074 \pm 0,035	3,16 \pm 0,17 ^b	12,93 \pm 1,80 ^a	0,41 \pm 0,06 ^a
Сорбиновая кислота, 100 мг/л	0,035 \pm 0,016	1,03 \pm 0,10 ^b	2,80 \pm 1,59 ^a	0,03 \pm 0,02 ^b
Бензойная кислота, 50 мг/л	0,044 \pm 0,027	1,28 \pm 0,12 ^c	5,45 \pm 2,16 ^a	0,07 \pm 0,03 ^a
Бензойная кислота, 100 мг/л	0,025 \pm 0,020	1,31 \pm 0,13 ^c	0,00 \pm 0,00 ^b	0,00 \pm 0,00 ^c
После восстановительного проращивания				
Контроль	0,207 \pm 0,047 ^a	7,71 \pm 0,29 ^a	1,38 \pm 0,46	0,11 \pm 0,04 ^a
Сорбиновая кислота, 50 мг/л	0,120 \pm 0,038 ^b	9,51 \pm 0,30 ^a	1,19 \pm 0,36	0,11 \pm 0,03 ^a
Сорбиновая кислота, 100 мг/л	0,100 \pm 0,022 ^b	9,96 \pm 0,29 ^a	2,55 \pm 0,48	0,25 \pm 0,05 ^a
Бензойная кислота, 50 мг/л	0,100 \pm 0,022 ^c	4,92 \pm 0,24 ^a	3,82 \pm 0,97	0,19 \pm 0,05 ^a
Бензойная кислота, 100 мг/л	0,122 \pm 0,031 ^c	9,62 \pm 0,40 ^b	6,95 \pm 1,10	0,67 \pm 0,11 ^b

*SE (standard error) – стандартная ошибка;

^{a,b,c} – одинаковыми буквенными индексами показаны гомогенные по критерию Тьюки значения.



Уровень МДА в корнях при обработке водными растворами сорбиновой (СК) и бензойной (БК) кислот (n=2) в течение суток (планки погрешностей обозначают среднее значение ± стандартная ошибка; * – варианты опыта с инкубацией в растворах кислот и последующим проращиванием в бутилированной воде).

мсомных aberrаций после воздействия обеих доз консерванта не различались. Возможно, это обусловлено тем, что выбранные авторами условия проведения эксперимента, а именно, высокие концентрации бензоата натрия и короткий период его экспозиции, в течение которого еще не завершился полный цикл клеточного деления, скорее отражали эффекты острой, а не субхронической токсичности.

Ранее было показано дозозависимое многократное повышение уровня МДА в корнях лука в ответ на увеличение концентрации сорбиновой кислоты, по сравнению с контролем [21]. В наших исследованиях при анализе величины этого показателя в условиях восстановительного проращивания установлено, что последствия оксидативного стресса обратимы, уровень МДА во всех экспериментальных вариантах не отличался от контроля (см. рисунок). Насколько нам известно, это первые эксперименты, в которых был изучен характер последствий окислительных повреждений в условиях Allium-теста после воздействия бензойной и сорбиновой кислот.

Таким образом, представленная методика биотестирования токсичных субхронических эффектов бензойной и сорбиновой кислот позволила осуществить моделирование процессов детоксикации этих соединений на органном, клеточном, генетическом и биохимических уровнях растительного объекта. После воздействия консервантов все выявленные нарушения были обратимыми в течение 24 ч, за исключением уровня хромосомных aberrаций после обработки раствором 100 мг/л бензойной кислоты. Полагаем, что такой генотоксичный эффект бензойной кислоты требует более пристального внимания при проведении исследований по безопасности этого консерванта на животных с целью постоянного контроля и возможной переоценки норм его потребления.

Литература.

1. *Sodium benzoate-induced repeated episodes of acute urticaria/angio-oedema: randomized controlled trial* / E. Nettis, M. Colanardi, A. Ferrannini, et al. // *Br J Dermatol.* 2004. Vol. 151. No. 4. P. 898–902.

2. *Asero R. Sodium benzoate-induced pruritus* // *Allergy.* 2006. Vol. 61. No. 10. P. 1240–1241.

3. *Monosodium benzoate hypersensitivity in subjects with persistent rhinitis* / M. Pacor, G. Di Lorenzo, N. Martinelli, et al. // *Allergy.* 2004. Vol. 59. No. 2. P. 192–197.

4. *Beezhold B. L., Johnston C. S., Nochtka K. A. Sodium benzoate-rich beverage consumption is associated with increased reporting of ADHD symptoms in college students: a pilot investigation* // *J. Atten. Disord.* 2014. Vol. 18. No. 3. P. 236–241.

5. *Comparison of the effectiveness and side-effects of tolterodine and oxybutynin in children with detrusor instability* / N. Kilic, E. Balkan, S. Akgoz, et al. // *Int. J. Urol.* 2006. Vol. 13. No. 2. P. 105–108.

6. *Dosay-Akbulut M. Determination of DNA Damage caused by food additives using comet assay method* // *Progr. Nutr.: электрон. журнал.* Vol. 22. No. 4. e2020071. 2021. URL: <https://mattioli1885journals.com/index.php/progressinnutrition/article/view/9095> (дата обращения: 12.05.2021).

7. *DNA damage in human lymphocytes exposed to four food additives in vitro* / S. Yilmaz, F. Unal, D. Yüzbaşıoğlu, et al. // *Toxicology and Industrial Health.* 2014. Vol. 30. No. 10. P. 926–937.

8. *Pandir D. DNA damage in human germ cell exposed to the some food additives in vitro* // *Cytotechnology.* 2016. Vol. 68. No. 4. P. 725–733.

9. *Does potassium sorbate induce genotoxic or mutagenic effects in lymphocytes?* / S. Mamur, D. Yüzbaşıoğlu, F. Unal, et al. // *Toxicol. in vitro.* 2010. Vol. 24. No. 3. P. 790–794.

10. *Mutagenicity and DNA-damaging activity caused by decomposed products of potassium sorbate reacting with ascorbic acid in the presence of Fe salt* / K. Kitano, T. Fukukawa, Y. Ohtsuji, et al. // *Food Chem. Toxicol.* 2002. Vol. 40. No. 11. P.1589–1594.

11. *Effect of sorbic acid and some other food preservatives on human serum cholinesterase activity* / M. Shad, Z. Zafar, H. Nawaz, et al. // *African Journal of Biotechnology.* 2012. Vol. 11. No. 51. P. 11280–11286.

12. *Assessment of hepato-renal damage and genotoxicity induced by long-term exposure to five permitted food additives in rats* / K. Abo-El-Sooud, M.M. Hashem, Y.A. Badr, et al. // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018. Vol. 25. No. 26. P. 26341–26350.

13. *Effects of sodium benzoate, a commonly used food preservative, on learning, memory, and oxidative stress in brain of mice* / M. Khoshnoud, A. Siavashpour, M.Bakhshizadeh, et al. // *Journal of biochemical and molecular toxicology: электрон. журнал.* Vol. 32. No. 2. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321855885>. (дата обращения: 12.05.2021).

14. *Deep P., Riddhi R. A review on in vitro genotoxic effects of food preservatives on human lymphocytes* // *Int. Res. J. Biological Sci.* 2017. Vol. 6. No. 7. P. 15–18.

15. *Scientific Opinion on the re-evaluation of sorbic acid (E 200), potassium sorbate (E 202) and calcium sorbate (E 203) as food additives* / F. Aguilar, R. Crebelli, A. Di Domenico, et al. // *EFSA Journal.* 2015. Vol. 13. No. 6: 4144. URL: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2015.4144> (дата обращения: 12.05.2021)

16. *Scientific Opinion on the follow-up of the re-evaluation of sorbic acid (E200) and potassium sorbate (E202) as food additives* / M. Younes, G. Aquilina, L. Castle, et al. // *EFSA Journal.* 2019. Vol. 17. No. 3:5625. URL:

- <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efs.2019.5625> (дата обращения: 12.05.2021)
17. Leth T., Christensen T., Larsen I.K. Estimated intake of benzoic and sorbic acids in Denmark // *Food Addit. Contam. Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2010. Vol. 27. No. 6. P. 783–792.
 18. Developing the methods of food preservatives extraction from complex matrices for bioassay purpose / A. V. Samoilov, N. M. Suraeva, S. V. Koptsev, et al. // *Food systems.* 2019. Vol. 2. No. 4. P. 31–33.
 19. Fiskesjo G. The Allium Test as a standard in environmental monitoring // *Hereditas.* 1985. Vol. 102. No. 1. P. 99–112.
 20. Cadmium accumulation and oxidative burst in garlic (*Allium sativum*) / H. Zhang, Y. Jiang, Z. He, et al. // *Journal of Plant Physiology.* 2005. Vol. 162. No. 9. P. 977–984.
 21. Comparative assessment of sorbic and benzoic acid via express biotest / A. Samoylov, N. Suraeva, M. Zaytseva, et al. // *Foods and raw materials.* 2020. Vol. 8. No. 1. P. 125–133.
 22. Onyemaobi O.I., Williams G.O., Adekoya K.O. Cytogenetic effects of two food preservatives, sodium metabisulphite and sodium benzoate on the root tips of Allium // *Ife Journal of Science.* 2012. Vol. 14. No. 1. P. 155–165.

Поступила в редакцию 14.05.2021
После доработки 12.06.2021
Принята к публикации 29.06.2021

Правила для авторов

1. Редакция помещает не более двух статей одного автора в год. Это правило не распространяется на академиков и членов-корреспондентов РАН и других академий.
2. Объем статьи не должен превышать **12 стр.**, включая таблицы (не более 4), рисунки (не более 4), библиографию (до 25 названий). Статья, набранная **крупным шрифтом через 1,5 интервала, пересылается по E-mail: nsm2308@yandex.ru**. В ней должны быть указаны **УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, степени, полное название учреждения с адресом, E-mail, реферат** объемом не менее 500 знаков (не менее 17 строк с указанием цели опытов, объекта исследований, анализа полученных данных), **ключевые слова и все продублировано на английском языке. Таблицы и рисунки в одном файле с текстом. В тексте выделить "Методика" и "Результаты и обсуждение"**. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах, графиках недопустимо. В конце статьи указать номер телефона (служебный, домашний, мобильный) каждого соавтора.
3. Рисунки (графический материал) должны быть выполнены **четко, представлены на отдельном листе в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, и/или на электронном носителе** (программы "Adobe PhotoShop", "Adobe Illustrator"). Подписи к рисункам должны быть напечатаны в конце статьи.
4. **Статья с большим количеством формул (не более 10) представляется на электронном носителе** – (программа "MS Equation" или подобная).
5. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью, при элементном анализе приводить только усредненные данные.
6. Исползованная 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.