



В наибольшей степени эта закономерность проявилась в почве агроценоза озимой ржи, возделываемой по покровным посевам донника с ризоторфином и беспокровным посевам донника и эспарцета с ризоторфином. Превышение в 1,5–2 раза содержания нитратного азота ($HCp_{05} = 2,6$) на этих вариантах опыта отмечено в подпахотном слое, что обусловлено поступлением в почву легкоминерализуемого органического вещества. Слабая нитрификационная способность почв слоя 20–40 см является следствием не только неблагоприятных гидротермических условий, но и недостаточности в нем энергетического материала для процесса нитрификации.

Интенсивный вынос нитратного азота озимой рожью отмечался в июне. В период колошения – созревания культуры некоторое увеличение содержания нитратного азота обусловлено текущей нитрификацией. Потребление растениями минерального азота растениями и его вынос с урожаем определили очень низкую обеспеченность почвы нитратным азотом (2–5 мг/кг).

Оценка среднего содержания нитратного азота в почве показала, что лучшие условия для нитратонакопления складываются в зернопаровом севообороте со средним уровнем обеспеченности чернозема $N-NO_3$ (10–11 мг/кг), см. рисунок.

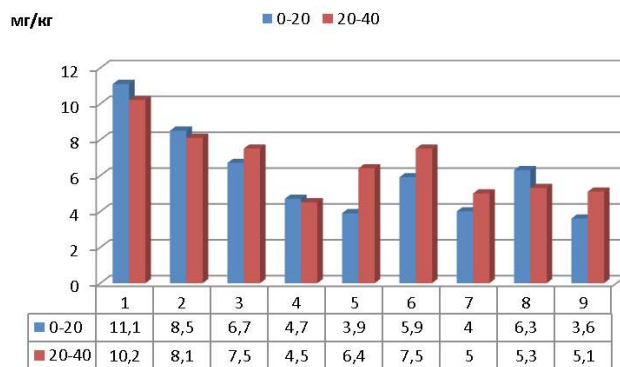
В севооборотах с многолетними травами он оставался низким (<8 мг/кг). Нитратный азот, ранее накопленный и вновь образующийся, интенсивно потреблялся культурами севооборота. Оптимальные условия для накопления нитратного азота за счет текущей нитрификации и пополнения почвы органическим веществом складывались в зерно-травяных севооборотах с бинарными и одновидовыми посевами донника (6–9 мг/кг). Беспокровные посевы донника определяли средний уровень обеспеченности севооборота нитратным азотом в слое чернозема 20–40 см (8 мг/кг).

Заключение. Режимные наблюдения за динамикой нитратного азота в черноземе обыкновенном зернопарового и зерно-травяных севооборотов выявили различный уровень обеспеченности элементом питания при широком размахе сезонной изменчивости ($C_v = 7–100\%$). Высокая обеспеченность чернозема нитратным азотом (19 мг/кг) за счет процессов минерализации органического вещества формировалась в паровом поле зернопарового севооборота.

При возделывании донника и эспарцета в чистых посевах и донника под покровом ячменя в лесостепной зоне Красноярского края создавались условия для пополнения слоя чернозема 0–20 см нитратным азотом до средней обеспеченности элементом питания в поле севооборота (9–10 мг/кг). Установлено, что обработка семян донника и эспарцета инокулянтom ризоторфином определяла более интенсивное поглощение нитратного азота из почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова Е. Е. Роль клевера лугового в экологизации и биологизации земледелия // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 4-4 (16). С. 56–61.
2. Васютина А. С., Филоненко В. А. Биологизация земледелия и улучшение экологического состояния сельскохозяйственных угодий // Защита и карантин растений. 2013. № 9. С. 15–18.
3. Гамзиков Г. П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск, 2013. 790 с.
4. Семенная продуктивность люцерны изменчивой при различных способах выращивания / В. А. Гушина [и др.] // Аграрный научный журнал. 2021. № 9. С. 23–26.
5. Дедов А. В., Несмеянова М. А., Кузнецова Т. А. Бинарные посевы с бобовыми травами // Пермский аграрный вестник. 2014. № 2. С. 10–16.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 315 с.
7. Дудкин И. В., Дудкина Т. А. Биоэнергетическая оценка факторов земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 2. С. 6–10.
8. Оценка эффективности факторов биологизации в земледелии Уральского региона / Н. Н. Зезин [и др.] // Пермский аграрный вестник. 2019. № 1. С. 34–41.
9. Освоение технологии прямого посева на черноземах России / А. Л. Иванов [и др.] // Сельскохозяйственный журнал. 2021. № 2. С. 18–36.
10. Козырева М. Ю. Динамика площади листьев люцерны (*Medicago varia* Mart.) в зависимости от типа азотного питания // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 33–37.
11. Кураченко Н. Л., Колесник А. А. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки почвы // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9. С. 149–157.
12. Рудковский Е. Д., Пальчиков Е. В., Новикова Д. А. Сидераты как биологическое удобрение в биологизации земледелия // Наука и образование. 2020. № 4. С. 164.
13. Саранин Е. К. Биологизация земледелия. Теория и практика. М.: АОЗТ «ИКАР», 1996. 130 с.
14. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе. Красноярск, 2015. 591 с.



Среднестатистическое содержание нитратного азота в черноземе обыкновенном полей севооборотов (2017–2019гг.): 1) ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь;

2) ячмень + донник – донник (n/n) + озимая рожь – озимая рожь; 3) ячмень + донник + ризоторфин – донник (n/n) + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь; 4) ячмень + эспарцет – эспарцет (n/n) + озимая рожь – озимая рожь; 5) ячмень + эспарцет + ризоторфин – эспарцет (n/n) + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь; 6) донник – донник + озимая рожь – озимая рожь; 7) донник + ризоторфин – донник + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь; 8) эспарцет – эспарцет + озимая рожь – озимая рожь; 9) эспарцет + ризоторфин – эспарцет + ризоторфин + озимая рожь – озимая рожь

REFERENCES

1. Borisova E. E. The role of meadow clover in the greening and biologization of agriculture. *Symbol of Science: international scientific journal*. 2016;4-4(16):56–61. (In Russ.).
2. Vasyutina A. S., Filonenko V. A. Biologization of agriculture and improvement of the ecological state of agricultural land. *Plant protection and quarantine*. 2013;(9):15–18. (In Russ.).
3. Gamzikov G. P. Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses. Novosibirsk; 2013. 790 p. (In Russ.).
4. Seed productivity of alfalfa variable with different cultivation methods / V. A. Gushchina et al. *Agrarian scientific journal*. 2021;(9):23–26. (In Russ.).
5. Dedov A. V., Nesmeyanova M. A., Kuznetsova T. A. Binary crops with legumes. *Perm Agrarian Bulletin*. 2014;(2):10–16. (In Russ.).
6. Dospekhov B. A. Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results). M.: Alliance; 2014. 315 p. (In Russ.).
7. Dudkin I. V., Dudkina T. A. Bioenergetic assessment of agricultural factors. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2017;(2):6–10. (In Russ.).
8. Evaluation of the effectiveness of biologization factors in agriculture of the Ural region / N. N. Zezin et al. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019;1:34–41. (In Russ.).
9. Mastering the technology of direct sowing on the chernozems of Russia / A. L. Ivanov et al. *Agricultural journal*. 2021;2:18–36. (In Russ.).
10. Kozyreva M. Yu. Dynamics of the leaf area of alfalfa (*Medicago varia* Mart.) Depending on the type of nitrogen nutrition. *Agrarian scientific journal*. 2020;10:33–37. (In Russ.).
11. Kurachenko N. L., Kolesnik A. A. The structure and reserves of humic substances in agrochernozem under conditions of basic soil cultivation. *Bulletin of KrasGAU*. 2017;9:149–157. (In Russ.).
12. Rudkovsky E. D., Palchikov E. V., Novikova D. A. Siderata as a biological fertilizer in the biologization of agriculture. *Science and Education*. 2020;4:164. (In Russ.).
13. Saranin E. K. Biologization of agriculture. Theory and practice. M.: AOZT “IKAR”; 1996. 130 p. (In Russ.).
14. The farming system of the Krasnoyarsk Territory on a landscape basis. Krasnoyarsk; 2015. 591 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 07.12.2021; одобрена после рецензирования 18.07.2022; принята к публикации 21.07.2022.

The article was submitted 07.12.2021; approved after reviewing 18.07.2022; accepted for publication 21.07.2022.



Водный баланс рисового поля как антропогенно-регулируемый фактор формирования урожайности

Марина Васильевна Маканникова, Людмила Анатольевна Лапшакова

Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск, Россия, e-mail: markorschun@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты исследований (2014–2016 гг.) водного баланса рисовых карт-чек. Подробно рассмотрена приходная и расходная части; проведен анализ данных по различным режимам орошения на посевах раннеспелых сортов Каскад, Рассвет и Луговой. Представлены данные по урожайности сортов риса в зависимости от режимов затопления. Выбраны сорта, которые наиболее оптимально адаптировались к изучаемым факторам.

Ключевые слова: мелиорация; рис; водопотребление; ресурсосбережение.

Для цитирования: Маканникова М. В., Лапшакова Л. А. Водный баланс рисового поля как антропогенно-регулируемый фактор формирования урожайности // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 34–37. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp34-37>.

AGRONOMY

Original article

Water balance of rice field as anthropogenically regulated yield shaping factor

Marina V. Makannikova, Lyudmila A. Lapshakova

Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia, e-mail: markorschun@mail.ru

Abstract. The article presents the results of research for 2014–2016 on the water balance of rice paddies, considered in detail the incoming and outgoing parts, analyzed data on various irrigation regimes on crops of early-ripening varieties Kaskad, Rassvet and Lugovoi. The data on the yield of rice varieties depending on the flooding regimes are presented. The results of the selection of varieties that are most optimally adapted to the studied factors are presented.

Keywords: melioration; rice; water consumption; resource saving.

For citation: Makannikova M. V., Lapshakova L. A. Water balance of rice field as anthropogenically regulated yield shaping factor. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(9): 34–37. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp34-37>.

Введение. Пахотные земли РФ располагаются на территории степной и лесостепной зон. В благоприятных климатических условиях около 35 % этих земель обеспечены осадками, а 65 % испытывают дефицит влаги. Поэтому орошение является немаловажным условием получения стабильных урожаев [8, 9]. Дальневосточный федеральный округ – один из немногих регионов РФ, где в широких масштабах возможно выращивание риса.

Если рис выращивать традиционно, затоплением с поддержанием уровня воды на протяжении всего вегетационного периода, то к 2025 г. около 40 млн га мировых площадей будут страдать от нехватки воды. Существует много альтернатив традиционному затоплению риса [1, 6]. Учеными Дальневосточного государственного аграрного университета ведутся исследования различных режимов орошения риса, как при периодических поливах, так и при затоплении рисового чека водой [4, 7]. Сортовой диапазон изучаемых сортов обширен, а результаты исследований подтверждают возможность введения данной культуры в севооборот Амурской области и расширения площадей, занятых рисом.

В формировании будущего урожая риса участвуют такие природные факторы, как температура воздуха, количество осадков, продолжительность дня, почвенные условия, величина фильтрации и др. Кроме того, существует ряд антропогенно-регулируемых факторов, к которым относятся в первую очередь питательный и водный режимы почв [2]. Все это способствует формированию определенного микроклимата, от которого зависит будущий урожай.

Цель исследований – изучение раннеспелых сортов риса при различных режимах орошения в условиях затопления.

Методика исследований. Экспериментальные исследования проводили в двухфакторном полевом опыте с 2014 по 2016 г. с раннеспелыми сортами риса (Каскад, Рассвет и Луговой) по обоснованию режимов орошения при укороченном и прерывистом затоплении. Схема опыта по фактору А включала в себя следующие варианты режимов орошения: А₁ – укороченное затопление; А₂ – прерывистое затопление; по фактору В следующие варианты: В₁ – сорт Каскад; В₂ – Рассвет; В₃ – Луговой [3].

Разница между режимами затопления заключается в сроках затопления и уровнях поддержания воды на рисовом поле. При укороченном режиме затопления на рисовом поле создается слой воды 0,10–0,12 м сразу после посева один раз для увлажнения почвы. После появления всходов на поле вновь создается слой 0,10–0,12 м и поддерживается до фазы кущения с целью борьбы с сорной растительностью, а также создания условий, позволяющих минимизировать воздействие внешних факторов, исключить негативное влияние возможных заморозков, которые могут задерживать рост и развитие растений. С наступлением фазы кущения слой воды на поле снижается до 5 см и поддерживается до наступления фазы трубкования. С ее наступлением на рисовом поле вновь создается слой воды 0,15 м и поддерживается до конца молочной спелости. По затратам оросительной воды укороченный режим на 45–50 % экономичнее, чем постоянное затопление.

Выбор укороченного режима связан с тем, что он является наиболее распространенным в Приморском крае при возделывании данных сортов. При прерывистом режиме затопления на рисовом поле также создается слой воды 0,10 м,



но в отличие от укороченного затопления поддерживается в течение 10 дней. Затем идет естественное снижение слоя воды. После появления всходов на 2–3 дня создается слой воды 0,07 м, при появлении 2–3-го листа создается слой воды 0,12 м и поддерживается до наступления фазы кущения. После наступления фазы кущения слой воды снижается до 0,05 м и поддерживается 10 дней. Далее слой воды вновь увеличивается до 0,15 м и поддерживается до конца молочной спелости. Прерывистый режим считается наиболее эффективным в борьбе с сорной растительностью.

Почвенный покров участка представлен лугово-бурыми почвами. Состав почв тяжелосуглинистый, почвы переувлажняются. Для почв характерно низкое содержание гумуса 3,5 %, повышенное содержание поглощенных оснований, низкая обеспеченность доступными формами азота и фосфора, высокая – обменным калием. Лугово-бурые почвы являются наиболее подходящими для возделывания риса, так как образованы на глинистых отложениях, имеют низкую фильтрацию и тем самым способствуют удержанию слоя воды.

Результаты исследований. По гидротермическому показателю (ГТК) 2014 и 2015 гг. были сильнозасушливыми, а 2016 г. – слабозасушливым. Сумма температур за вегетационный период варьировала в пределах 1919–2169 °С, что характерно для Среднего Приамурья. Данные ГТК могут оказывать влияние на продолжительность роста и развития суходольных сортов риса, либо при возделывании его другими способами (дождевание, капельное орошение). В связи с этим на рисовом поле создается определенный слой воды, влажность воздуха в приземном слое немного выше, тем самым микроклимат рисового поля становится более благоприятным для растений.

При составлении водного баланса карты-чека учитывается приход и расход воды. В приходную часть входят осадки и оросительная норма, в данном случае оросительная норма – то количество воды, которое нужно подать на рисовое поле для создания и поддержания определенного уровня.

При проведении исследований было установлено, что доля участия оросительной воды в приходной части водного баланса составляет в среднем около 75 %, остальные 25 % – осадки. При сравнении режимов затопления выявлено, что оросительная норма была больше на режиме прерывистого затопления, что связано со схемой подачи воды, созданием уровней воды, сроками поддержания и т.д. Минимальные оросительные нормы составили на посевах сорта Каскад (10 382,8 м³/га), максимальные – на посевах сорта Луговой» (12 945,3 м³/га).

Расходная статья баланса складывается из нескольких составляющих (рис. 1–3), зависящих как от способа затопления, так и от сортовых особенностей растений. Основные расходы воды идут на поддержание слоя воды (от 2400 до 2900 м³/га), фильтрацию (2000–2500 м³/га), транспирацию и испарение (3500–4500 м³/га), а также на технологические сбросы (3500–4000 м³/га). Запасы почвенной влаги меняются по годам и могут попадать в приходную и расходную части баланса. В среднем за годы исследований запасы почвенной влаги вошли в расходную часть баланса и составили 1–2 % расходной части (190–282 м³/га в среднем).

Анализ рис. 1 показал, что на посевах сорта Каскад максимальные затраты приходились на технологические сбросы – 29 % от всей расходной части (3400 м³/га), минимальная статья расходов – изменение запасов почвенной влаги 1 % (191,4 м³/га).

2% Укороченное затопление, сорт Каскад



Прерывистое затопление, сорт Каскад



Рис. 1. Расходная часть водного баланса риса на посевах сорта Каскад (2014–2016 гг.).





На посевах сорта Рассвет ситуация складывалась немного иначе (см. рис. 2).

Сравнивая режимы орошения, можно отметить, что максимальная статья расходов приходится на транспирацию и испарение на укороченном режиме – 30 % всей расходной части (3900 м³/га), минимальная статья расходов – без изменений.

На посевах сорта Луговой на укороченном режиме статья расхода воды на транспирацию и испарение составила 32 % (3697,4 м³/га), что является наибольшим значением среди изучаемых сортов (см. рис. 3).

Максимальные значения при поддержании слоя воды отмечали на режиме прерывистого затопления, 20 % от всей расходной части, что на 3 % больше, чем на укороченном режиме. Неизбежные статьи расхода воды – потери на ут е ч -

2% Укороченное затопление, сорт Рассвет



Прерывистое затопление, сорт Рассвет



Рис. 2. Расходная часть водного баланса риса на посевах сорта Рассвет (2014–2016 гг.)

Укороченное затопление, сорт Луговой



Прерывистое затопление, сорт Луговой



Рис. 3. Расходная часть водного баланса риса на посевах сорта Луговой (2014–2016 гг.)

ки, которые зависят от технического состояния водовыпусков, они составляют 4–5 % расходной части водного баланса на всех режимах орошения, в среднем от 500 до 700 м³/га.

Чтобы избежать высокой минерализации, а также для регулирования температуры воды организуется проточность чеков, которая составляет 4–5 % расходной части (500–600 м³/га).

Создание благоприятных условий на рисовом поле способствует формированию урожая [5]. Урожайность менялась в зависимости от режима орошения, сортовых особенностей культуры (рис. 4).

Наибольшая урожайность была получена на сорте Каскад при укороченном затоплении – 5,0 т/га. На сорте Рассвет также наибольшую урожайность получили при укороченном режиме – 4,5 т/га. Сорт Луговой лучше показал себя при прерывистом затоплении, его урожайность составила 3,7 т/га.

Заключение. В формировании стабильных урожаев риса необходимо гармоничное сочетание природных и антропогенно-регулируемых факторов. Подбор сортов поможет выбрать наиболее подходящие и адаптированные для возделывания в условиях Среднего Приамурья.

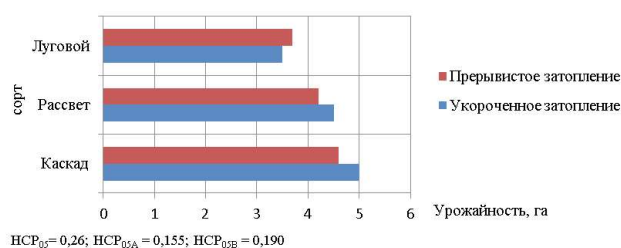


Рис. 4. Влияние изучаемых факторов на урожайность зерна риса (среднее за 2014–2016 гг.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возделывание периодически поливаемого риса при разных способах полива / И. П. Кружилин [и др.] // Развитие АПК на основе принципов рационального природопользования и применения конвергентных технологий: материалы Междунар. науч.-практ. конф., проведенной в рамках Междунар. науч.-практ. форума, посвящ. 75-летию образования Волгоградского государственного аграрного университета; Волгогр. гос. с.-х. акад. Волгоград, 2019. С. 32–36.
2. Куприянова С. В., Мелихова Е. В. Влияние вариативности почвенно-климатических условий на устойчивость продуктивности сельскохозяйственных земель // Известия НВ АУК. 2021. № 2(62). С. 231–240.
3. Маканникова М. В., Лапшакова Л. А., Бельмач Н. В. Возделывание сельскохозяйственных культур при орошении в условиях Амурской области // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Вып. № 25(2). С. 337–344.
4. Маканникова М. В., Лапшакова Л. А., Донцов П. А. Особенности возделывания риса как перспективной культуры для Амурской области // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (25). С. 22–28.
5. Маканникова М. В., Лапшакова Л. А. Оценка урожайности растений риса при различных режимах орошения в условиях южной сельскохозяйственной зоны Амурской области // Вестник КрасГАУ. 2016. № 5 (116). С. 165–172.
6. Оценка способов орошения риса на оросительных системах общего назначения / И. П. Кружилин [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 3 (43). С. 6–11.
7. Система земледелия Амурской области / Дальневосточный ГАУ. Благовещенск, 2016. 570 с.
8. Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. В 2 ч. Новочеркасск: Геликон, 2013. Ч. 1. 283 с.
9. Щедрин В. Н. Мелиорация в России: Проблемы и перспективы // Мелиорация и водное хозяйство. Спецвыпуск. 2018. С. 30–36.

REFERENCE

1. Cultivation of periodically irrigated rice with different irrigation methods / I. P. Kruzhilin et al. Development of the agro-industrial complex based on the principles of rational environmental management and the use of convergent technologies: materials of the Intern. scientific-practical. conf., held in the framework of the International. scientific-practical. forum dedicated to 75th anniversary of the Volgograd State Agrarian University; Volgograd state agricultural acad. Volgograd; 2019. P. 32–36. (In Russ.).
2. Kupriyanova S. V., Melikhova E. V. Influence of variability of soil and climatic conditions on the sustainability of agricultural land productivity. *Izvestiya NV AUK*. 2021;2(62):231–240. (In Russ.).
3. Makannikova M. V., Lapshakova L. A., Belmach N. V. Cultivation of crops under irrigation in the conditions of the Amur Region. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019;25(2):337–344. (In Russ.).
4. Makannikova M. V., Lapshakova L. A., Dontsov P. A. Features of rice cultivation as a promising crop for the Amur Region. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2017;1(25): 22–28. (In Russ.).
5. Makannikova M. V., Lapshakova L. A. Estimation of productivity of rice plants under different irrigation regimes in the conditions of the southern agricultural zone of the Amur Region. *Bulletin of KrasGAU*. 2016;5(116):165–172. (In Russ.).
6. Evaluation of rice irrigation methods on general-purpose irrigation systems / I. P. Kruzhilin et al. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: science and higher professional education*. 2016;3(43):6–11. (In Russ.).
7. Farming system of the Amur region / Far East State Agrarian University. Blagoveshchensk; 2016. 570 p. (In Russ.).
8. Irrigation systems of Russia: from generation to generation: monograph / V. N. Shchedrin et al. At 2:00 Novocherkassk: Helikon; 2013. Part 1. 283 p. (In Russ.).
9. Shchedrin V. N. Land reclamation in Russia: Problems and prospects. *Land reclamation and water management*. Special issue. 2018. P. 30–36. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 14.02.2022; одобрена после рецензирования 21.02.2022; принята к публикации 25.02.2022.

The article was submitted 14.02.2022; approved after reviewing 21.02.2022; accepted for publication 25.02.2022.



Селекция озимой мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине

Ирина Рафиковна Манукян, Нино Нодаровна Догузова

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», г. Владикавказ, Россия
e-mail: doguzovanino@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты фитопатологического теста и маркерного анализа селекционного материала озимой мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* f. sp. *triticina* Eriks Desm). Исследовали 10 сортов различного эколого-географического происхождения. С использованием ДНК-маркеров у сортов пшеницы не выявлено эффективных в России генов *Lr9*, *Lr19*, *Lr24/Sr24*, *Lr41* и *Lr47* и малоэффективного гена *Lr20*. Сочетание гена *Lr34* с малоэффективными генами может обеспечивать повышение уровня полевой устойчивости сортов пшеницы. У сорта Лист 25 предполагается ген возрастной устойчивости *Lr37*, частично эффективный в России. По результатам комплексной оценки сортов пшеницы к бурой ржавчине устойчивый тип реакции (R) показали сорта: Жива (*Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34*) и Лист 25 (*Lr1*, *Lr3*, *Lr37*); восприимчивый тип реакции (S) у сорта Malvina (*Lr1*, *Lr26*), Solara (*Lr1*, *Lr34*), Этюд (*Lr3*). Большинство сортов были средневосприимчивы к заболеванию.

Ключевые слова: бурая ржавчина; озимая мягкая пшеница; устойчивость; гены устойчивости.

Для цитирования: Манукян И. Р., Догузова Н. Н. Селекция озимой мягкой пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 38–42. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp38-42>.

AGRONOMY

Original article

Selection of winter soft wheat for resistance to brown rust

Irina R. Manukyan, Nino N. Doguzova

The North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – a branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Scientific Center "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Vladikavkaz, Russia
e-mail: doguzovanino@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of the phytopathological test and marker analysis of the selection material of winter wheat for resistance to the pathogen of brown rust (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm f. sp. *triticina*). The object of research was 10 cultivars of various ecological and geographical origin. Using molecular markers, the studied wheat varieties did not reveal the highly and partially effective genes *Lr9*, *Lr19/Sr25*, *Lr24/Sr24*, *Lr41* and *Lr47* in Russia, and the ineffective gene *Lr20/Sr1*. The combination of the *Lr34* gene with ineffective genes can provide an increase in the level of field resistance of wheat varieties. In the variety type Leaf 25, the age-related resistance gene *Lr37* is assumed to be partially effective in Russia. This type of stability is characterized by a longer latent period, a decrease in the number of pustules per unit leaf surface, their size and the number of spores in the pustule. According to the results of a comprehensive assessment of winter wheat cultivars to brown rust, the following cultivars showed a stable reaction type (R): Zhiva (*Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34*) and Leaf 25 (*Lr1*, *Lr3*, *Lr37*); a susceptible reaction type (S) in Malvina cultivars (*Lr1*, *Lr26*), Solara (*Lr1*, *Lr34*), Etude - *Lr3*. Genes in various combinations can provide field resistance of winter wheat to brown rust. Most cultivars were moderately susceptible to the disease.

Keywords: brown rust; winter wheat; resistance; resistance genes.

For citation: Manukyan I. R., Doguzova N. N. Selection of winter soft wheat for resistance to brown rust. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(9): 38–42. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp38-42>.

Введение. Создание сортов с длительной устойчивостью – одно из основных направлений в селекции зерновых культур на устойчивость к болезням. Во всех зерносеющих регионах России и других странах мира существует проблема быстрой потери сортовой устойчивости к болезням из-за появления новых вирулентных рас патогенов. Популяции возбудителей болезней формируются под влиянием климатических условий региона и возделываемых сортов [8,11].

Бурая ржавчина зерновых вызывается облигатным паразитом *P. triticina* Eriks., широко распространена в зерносеющих регионах Российской Федерации и мире. Заболевание имеет высокую вредоносность, которая проявляется в изреживании посевов озимых зерновых, снижении урожайности до 40 % и более, количестве и качестве зерна. Селекционные программы на устойчивость включают в себя следующие этапы:

изучение расового и генетического состава популяций возбудителя, контроль над появлением новых рас; создание и отбор исходного материала для селекции устойчивых сортов.

На сегодняшний день известен ряд генов, принимающих участие в расоспецифической резистентности к возбудителю бурой ржавчины (Lr-гены), которые по действию в различные фазы роста мягкой пшеницы бывают ювенильными и возрастными. Наличие генов возрастной устойчивости способствует более медленному нарастанию инфекции, длительному латентному периоду [8].

В условиях интенсификации зернового производства особенно важно иметь эффективную стратегию селекции на устойчивость к особо вредоносным болезням [4].

К высокоэффективным генам устойчивости к бурой ржавчине относятся *Lr9*, *Lr19/Sr25*, *Lr24/Sr24*, *Lr41* и *Lr47*. Эти гены и их сочетание с другими генами могут обеспечивать полевую устойчивость сортов к бурой ржавчине [1].





Скрининг сортов озимой пшеницы на устойчивость – один из необходимых этапов селекции устойчивых сортов и биологической защиты от бурой ржавчины [3, 4].

Цель данных исследований – изучить генетическое разнообразие селекционного материала, провести оценку сортов озимой мягкой пшеницы на наличие эффективных генов устойчивости к бурой ржавчине в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа.

Методика исследований. Исследования проводили в СКНИИГПСХ ВНЦ РАН. Объектом исследования были 20 сортообразцов озимой мягкой пшеницы. Проведена полевая оценка образцов на пораженность бурой ржавчиной, а также ДНК-анализ на наличие/отсутствие генов устойчивости к *Puccinia triticina* f. sp. *trititica* Eriks. Идентификацию генов устойчивости проводили с использованием маркеров следующих генов: *Lr1* (маркер WR003), *Lr3* (Xmwwg798), *Lr9* (SCS5), *Lr10* (Fi.2245/Lr10-6/r2, *Lr19/Sr25* (SCS265), *Lr24/Sr24* (Sr24#12), *Lr34/Sr57* (csLV34), *Lr41* (GDM35), *Lr47* (PS10). Амплификацию ДНК проводили в реакционной смеси по предложенным в литературе протоколам [4, 5, 13].

Полученные фрагменты ДНК разделяли с помощью электрофореза в агарозных гелях в 1×TBE-буфере [4]. Учеты по оценке развития возбудителя бурой ржавчины проводили на естественном инфекционном фоне. Критериями оценки являлись тип реакции в баллах, согласно международной шкале CIMMYT [6, 7, 14].

Результаты исследований. Возделывание в 1989–1992 гг. в Северо-Кавказском регионе сортов озимой пшеницы, не защищенных эффективными генами, стало причиной широкого распространения бурой ржавчины. Постепенное увеличение за последние десятилетия генетического разнообразия сортов и их мозаичное распределение значительно снизило частоту и силу эпифитотий ржавчины в этом регионе.

Во всех зерносеющих регионах эффективными генами защиты от бурой ржавчины являются *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr38*, *Lr41*, *Lr47* [9]. При развитии эпифитотий высокую устойчивость показывают гены *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr25*, *Lr29*, *Lr38*, среднюю устойчивость – *Lr28*, *Lr37*, умеренную чувствительность – *Lr21*, *Lr23*, *Lr32*, *Lr44* [2].

Развитие бурой ржавчины на сортообразцах озимой мягкой пшеницы в полевых условиях изучали с момента появления пустул до молочно-восковой спелости. Учеты проводили в динамике. Первичное проявление признаков болезни наблюдалось в конце апреля – в первой декаде мая. По степени развития заболевания сорта распределили на следующие группы:

устойчивые: Жива, Sumai aut (10,0 % от числа изученных);

среднеустойчивые: Адель, Алексеич, Markola, Миф, Творец, Eltan, Verita, Прима, Evklid, Areal, Lebika odes'ka, Прасковья (60,0 % от числа изученных);

восприимчивые: Malvina, Malyska, Solara, Этюд (контроль) (20,0 % от числа изученных), см. таблицу.

Молекулярно-генетический анализ присутствия *Lr*-генов устойчивости в исследуемых образцах представлен на электрофореграммах. С использованием ДНК-маркеров был проведен скрининг генов устойчивости к бурой ржавчине (*Lr*-гены). Электрофоретический метод определения концентрации ДНК показал, что все выделенные пробы имели оптимальную для проведения ПЦП концентрацию (рис. 1).

С использованием маркера WR003 ген *Lr1* выявлен у 45 % сортов Лист 25 (1), Eltan (4), Markova (6), Malvina (9), Творец (10), Адель (13), Sumai aut (14), Solara (18) и Этюд (20). У сорта Адель интенсивность продукта амплификации была ниже (рис. 2).

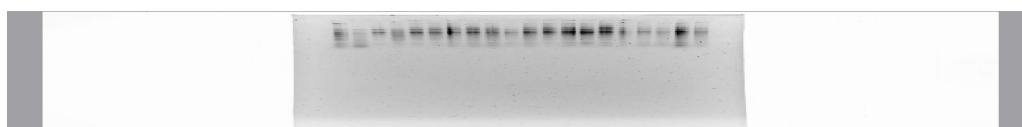
С использованием маркера Xmwwg798 ген *Lr3* идентифицирован у 60 % сортов, а именно Лист 25 (1), Миф (3), Алексеич (5), Markova (6), Verita (7), Malyska (8), Творец (10), Sumai aut (14), Lebika odes'ka (16), Прасковья (17), Жива (19) и Этюд (20), рис. 3.

С использованием маркера Fi.2245/Lr10-6/r2 ген *Lr10* идентифицирован у 40 % сортов: Лист 25 (1), Миф (3), Eltan (4), Творец (10), Прима (11), Жива (19) и Этюд (20), рис. 4.

С использованием маркера SCM9 ржаная транслокация 1BL.1RS с генами *Lr26/Sr31/Yr9/Pm8* выявлена у 40 %

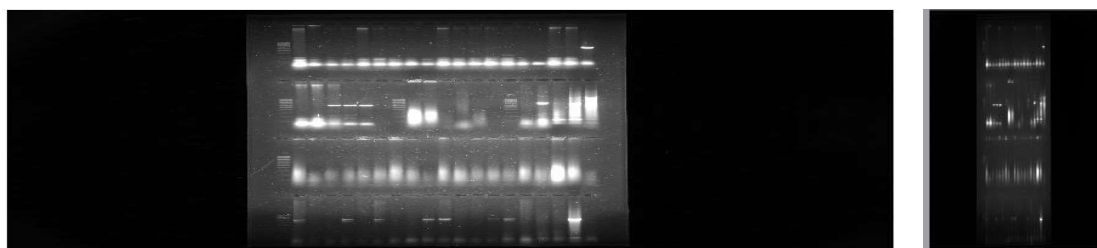
Иммунологическая характеристика сортообразцов озимой мягкой пшеницы на устойчивость к региональной популяции возбудителя бурой ржавчины (2021 г.)

Сорт		Степень поражения, %, по датам учета		
		10.05	20.05	10.06.
1	Лист 25	10MR	15MS	20MS
2	Battum	5R	10R	15R
3	Миф	10MR	15MR	20MR
4	Eltan	5R	10R	15R
5	Алексеич	5R	10R	15R
6	Markola	10MR	10MR	15MR
7	Verita	5R	10R	15R
8	Malyska	20MR	40MS	50S
9	Malvina	20MR	40MS	50MS
10	Творец	5MR	10MR	15MR
11	Прима	5MR	10MR	15MR
12	Evklid	5R	10R	15R
13	Адель	15MR	15MR	20MR
14	Sumai aut	1R	5R	10R
15	Areal	5MR	10MR	15MR
16	Lebika odes'ka	15MR	15MR	20MR
17	Прасковья	15MR	20MR	20MR
18	Solara	20MR	40MS	40MS
19	Жива	1R	1R	5R
20	Этюд	10MR	20MR	40MS



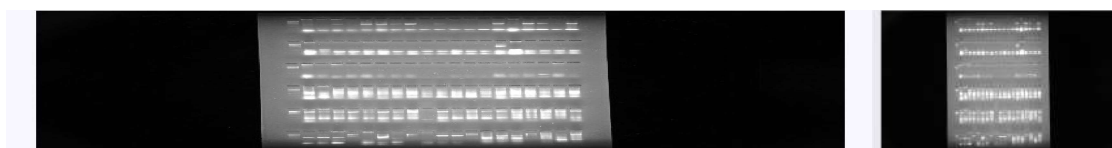
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Рис. 1. Концентрация ДНК у 20 изучаемых сортов образцов пшеницы



М 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 М 20 Lr1 Lr1

Рис. 2. Электрофореграмма ПЦР с маркерами гена *Lr1*. Маркер молекулярной массы (М) образцы № 1-18 М19-20 Жива, Этюд контроль *TcLr1*



М 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 М 20 Lr3 Lr3

Рис. 3. Электрофореграмма ПЦР с маркерами гена *Lr3*

сорт: Алексеич (5), Verita (7), Malvina (9), Evklid (12), Адель (13), Areal (15), Жива (19), Этюд (20), а транслокация 1AL.1RS с генами, устойчивыми и высокоэффективными против бурой и стеблевой ржавчины, не идентичными известным каталогизированным и переданным от ржи, у сорта Evklid (рис. 5). Маркер SCM9 позволяет дифференцировать различия между генотипами, несущими 1BL.1RS и 1AL.1RS-транслокации. Ампликон размером 207 п.о. указывает на наличие 1BL.1RS-транслокации, а 228 п.о. – на 1AL.1RS-транслокацию.

Высоко и частично эффективных генов *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr41*, *Lr47* у изученных сортов образцов не было выявлено.

Для идентификации гена возрастной устойчивости *Lr34* был использован маркер *csLV34*. Этот ген выявлен у сортов образцов Sumai aut (14), Lebika odes'ka (16), Solara (18) и Жива (19). *Lr34* относится к группе генов, обеспечивающих как расоспецифическую устойчивость, так и нерасоспецифическую, обеспечивая более медленное развитие заболевания (длительный латентный период). Данный тип устойчивости характеризуется не только более длительным латентным периодом, но и уменьшает количество пустул на единицу поверхности листа, их размер и количество спор в пустуле. В селекционных программах СИММИТ и других стран ген *Lr34* используется в комбинации с 3–4 генами возрастной и ювенильной устойчивости, суммирующий эффект которых обеспечивает длительную устойчивость сортов (рис. 6).

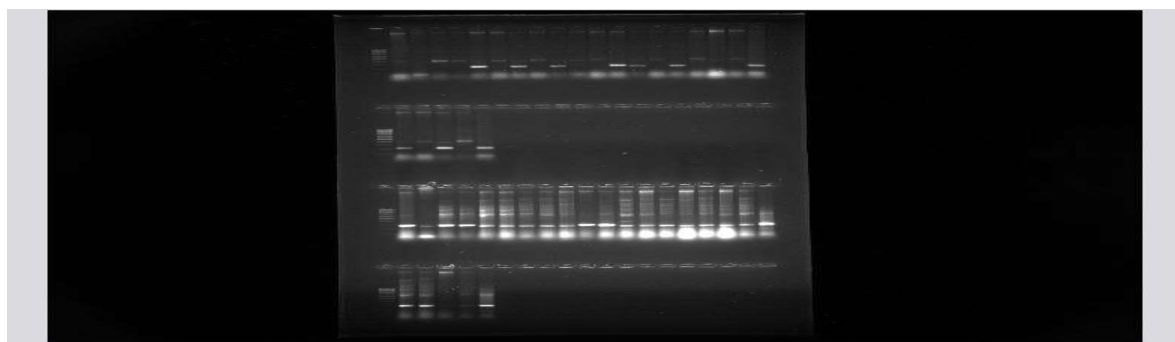
В целом у изучаемых образцов представлены *Lr*-гены, которые частично утратили свою эффективность (*Lr1* (45 %), *Lr3* (60 %), *Lr10* (40 %), *Lr26* (30 %)), и ген *Lr34* (25 %). Сорта озимой пшеницы с комбинацией этих генов могут обеспечить высокую полевую устойчивость к бурой ржавчине. Сорта образцы, несущие ген *Lr34* в сочетании с другими генами, проявляют высокую устойчивость в полевых условиях или устойчивость по типу замедленного развития [12]. У сорта образцы Лист 25 предполагается ген возрастной устойчивости *Lr37*, частично эффективный в России [10].

Заключение. По результатам комплексной оценки сортов образцов озимой пшеницы к бурой ржавчине устойчивый тип реакции (R) показали сорта образцы Жива (*Lr1*, *Lr3*, *Lr10*, *Lr26*, *Lr34*) и Sumai aut (*Lr1*, *Lr3*, *Lr34*); восприимчивый тип реакции (S) у сортов образцов Malvina (*Lr1*, *Lr26*), Solara (*Lr1*, *Lr34*), Malyska, Этюд (*Lr3*). Большинство сортов образцов были средневосприимчивы к заболеванию.

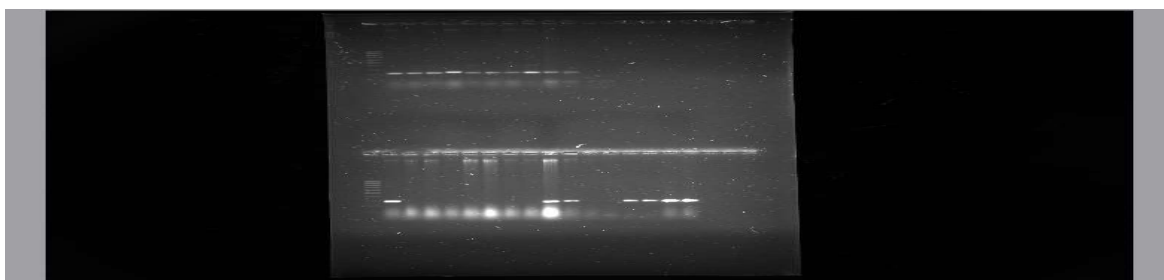


М 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Ж Э Lr10 М 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 Ж Э Lr10

Рис. 4. Электрофореграмма ПЦР с маркерами гена *Lr10*



1 дорожка М, 1- 18 Lr26
2 дорожка М 19, 20, Lr26



М 5 7 9 12 13 15 19 20 Lr26 Lr26
Рис. 5. Электрофореграмма ПЦР с маркерами пшенично-ржаных транслокаций 1BL.1RS и 1AL.1RS. Стрелкой показана транслокация 1AL.1RS у сорта Evklid



М 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 Lr34 М 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 Lr34 Lr34
Рис. 6. Электрофореграмма с маркерами гена Lr34

Авторы выражают благодарность за оказанную помощь в проведении фитопатологического анализа и определения генов устойчивости к листовой ржавчине с использованием ДНК-маркеров ведущему научному сотруднику лаборатории микологии и фитопатологии Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений Елене Ивановне Гулятьевой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анпилогова Л. К., Волкова Г. В., Ваганова О. Ф. Идентификация генов ювенильной устойчивости к возбудителю бурой ржавчины у новых отечественных сортов озимой пшеницы // Вестник защиты растений. 2011. № 3. С. 38–40.
2. Научно обоснованные этапы иммунологических исследований, необходимые для создания ржавчиноустойчивых сортов пшеницы / Л. К. Анпилогова [и др.] // Агро XXI. 2009. № 10-12. С. 6.
3. Волкова Г. В. Структура и изменчивость популяций возбудителей бурой и желтой ржавчины пшеницы на Северном Кавказе и обоснование приемов управления внутривидовыми процессами: дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2006.
4. Гулятьева Е. И. Методы идентификации генов устойчивости пшеницы к бурой ржавчине с использованием ДНК-маркеров и характеристика эффективности Lr-генов. СПб.: Россельхозакадемия: ВИЗР. 2012. 72 с.
5. Гулятьева Е. И., Шайдаюк Е. Л., Рсалиев А. С. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов яровой мягкой пшеницы российской и казахской селекции // Вестник защиты растений. 2019. № 3(101). С. 41–49.
6. Койшибаев М., Мумиджанов Ф. Методические указания по мониторингу болезней вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. Анкара, 2016. 27 с.
7. Лебедев В. Б., Васильев А. Н., Якубова Е. В. Расчет возможных потерь яровой пшеницы от бурой ржавчины // Доклады ВАСХНИЛ. 1994. № 1. С. 14–16.
8. Манукян И. Р., Абиев В. Б. Пути создания рациональных агроценозов озимой пшеницы для условий предгорной зоны Центрального Кавказа // Нива Поволжья. 2019. № 1(50). С. 8–13.
9. Вирулентность природной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы в Омской области / Л. В. Мешкова [и др.] // Успехи современного естествознания. 2018. № 11-2. С. 279–283.
10. Методические подходы к идентификации эффективных генов, определяющих устойчивость пшеницы к комплексу грибных заболеваний / Е. С. Сколотнева [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Вып. 21. № 7. С. 862–869.
11. Manukyan I. R., Abiev V. B. Ways of creating rational agroecocenosis of winter wheat for the foothill area conditions of the Central Caucasus // Volga Region Farmland. 2019. No.1(1). P. 2–5.
12. Wheat leaf rust caused by Puccinia triticina / D. Melvin et al. // Molecular Plant Pathology. 2008. V. 9. No. 5. P. 563–575.
13. Chelkowski J., Golka L., Stepien L. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher // Journal of Applied Genetics. 2003. V. 44. P. 323–338.
14. Roelfs A. P., Singh R. P., Saari E. E. Rust diseases of wheat: concepts and methods management. Mexico, 1992. P. 81.



REFERENCES

1. Anpilogova L. K., Volkova G. V., Vaganova O. F. Identification of juvenile resistance genes to the leaf rust pathogen in new domestic varieties of winter wheat. *Bulletin of plant protection*. 2011;(3):38–40. (In Russ.).
2. Scientifically substantiated stages of immunological studies necessary for the creation of rust-resistant wheat varieties / L. K. Anpilogova et al. *Agro XXI*. 2009;(10-12):6. (In Russ.).
3. Volkova G. V. Structure and variability of populations of pathogens of brown and yellow rust of wheat in the North Caucasus and the rationale for methods management of intrapopulation processes: dis. ... Dr. Biol. Sciences. SPb.; 2006. (In Russ.).
4. Gulyaeva E. I. Methods for identifying wheat resistance genes to leaf rust using DNA markers and characterizing the effectiveness of Lr genes. St. Petersburg: Russian Agricultural Academy: VIZR; 2012. 72 p. (In Russ.).
5. Gulyaeva E. I., Shaydayuk E. L., Rsaliev A. S. Identification of leaf rust resistance genes in samples of spring common wheat of Russian and Kazakh breeding // *Bulletin of Plant Protection*. 2019;3(101):41–49. (In Russ.).
6. Koishibaev M., Mumidzhanov F. Guidelines for monitoring diseases of pests and weeds on grain crops // Food and Agriculture Organization of the United Nations. Ankara; 2016. 27 p. (In Russ.).
7. Lebedev V. B., Vasiliev A. N., Yakubova E. V. Calculation of possible losses of spring wheat from leaf rust. *Doklady VASKhNIL*. 1994;(1):14–16. (In Russ.).
8. Manukyan I. R., Abiev V. B. Ways to create rational agrocenoses of winter wheat for the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Niva Povolzhya*. 2019;1(50):8–13. (In Russ.).
9. Virulence of the natural population of wheat leaf rust pathogen in the Omsk region / L. V. Meshkova et al. *Successes of modern natural sciences*. 2018;(11-2): 279–283. (In Russ.).
10. Methodological approaches to the identification of effective genes that determine the resistance of wheat to a complex of fungal diseases / E. S. Skolotneva et al. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(7):862–869. (In Russ.).
11. Manukyan I. R., Abiev V. B. Ways of creating rational agrochenosis of winter wheat for the foothill area conditions of the Central Caucasus. *Volga Region Farmland*. 2019;1(1): 2–5.
12. Wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina* / D. Melvin et al. *Molecular Plant Pathology*. 2008;9(5):563–575.
13. Chelkowski J., Golka L., Stepien L. Application of STS markers for leaf rust resistance genes in near-isogenic lines of spring wheat cv. Thatcher. *Journal of Applied Genetics*. 2003;44:323–338.
14. Roelfs A. P., Singh R. P., Saari E. E. Rust diseases of wheat: concepts and methods management. Mexico; 1992. R. 81.

Статья поступила в редакцию 26.02.2022; одобрена после рецензирования 25.03.2022; принята к публикации 07.04.2022.

The article was submitted 26.02.2022; approved after reviewing 25.03.2022; accepted for publication 07.04.2022.

