

УДК 578.857.1:633.152(571.63)

ВИРУС ШТРИХОВАТОЙ МОЗАИКИ ЯЧМЕНЯ (*Virgaviridae*, *Hordeivirus*) КАК ЭТИОЛОГИЧЕСКИЙ АГЕНТ ХЛОРОТИЧНОЙ ПОЛОСАТОСТИ КУКУРУЗЫ

А.В. Гапека¹, А.А. Зеликова², С.К. Жмуркина², В.А. Леднева¹,
Ю.Г. Волков¹, Н.Н. Какарека¹, кандидаты биологических наук,
М.Ю. Щелканов^{1,2,3}, доктор биологических наук

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии Дальневосточного отделения
Российской академии наук, 690022, Приморский край, Владивосток
E-mail: schule75@mail.ru.

² Дальневосточный федеральный университет, 690091, Приморский край, Владивосток

³ Национальный научный Центр морской биологии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
690041, Приморский край, Владивосток

*Показано наличие инфекционного фона по вирусу штриховатой мозаики ячменя (ВШМЯ) (*Virgaviridae*, *Hordeivirus*) в посевах кукурузы на территории Приморского края. Данные полевых исследований и модельных экспериментов позволили установить, что ВШМЯ вызывает заболевание, ранее названное нами «хлоротичная полосатость кукурузы», со следующими симптомами: обций хлороз листьев на ранних стадиях развития растения, появление бледно-желтых, почти белых полос вдоль центральной жилки по всей длине листа и гибель инфицированных растений до стадии вытягивания и выхода в трубку (12–25%; среднее значение 17,1%) при отсутствии выраженной гибели на более поздних стадиях. Определен коэффициент вредоносности ВШМЯ для кукурузы, который составляет 37,1%. Сделан вывод о необходимости планового мониторинга посадок кукурузы в отношении этого вируса.*

BARLEY STRIPE MOSAIC VIRUS (*Virgaviridae*, *Hordeivirus*) AS ETIOLOGICAL AGENT OF MAIZE CHLOROTIC STRIPE DISEASE

Гапека А.В., Зеликова А.А., Жмуркина С.К., Леднева В.А., Волков Ю.Г., Какарека Н.Н., Щелканов М.Ю.

*The presence of Barley stripe mosaic virus (BSMV) infection background (*Virgaviridae*, *Hordeivirus*) in the sowing of maize (*Zea mays*) on the territory of Primorsky Krai has been demonstrated. Field data and model experiments has allowed to establish that BSMV causes the disease formerly called “maize chlorotic stripe disease” with the following symptoms: general chlorosis of leaves at the early stages of plant development, the emergence of the pale yellow, nearly white strikes along the midrib throughout the length of the leaf and loss of infected plants to the stage of pulling (12–25 %; the average value of 17.1 %) and elongation in the absence of severe death in the later stages. Harmfulness coefficient of BSMV is 37.1 %. Planned monitoring of planting corn in relation to BSMV is necessary.*

Ключевые слова: фитовирусы, *Virgaviridae*, *Hordeivirus*, злаковые, кукуруза, хлоротичная полосатость кукурузы, урожайность, коэффициент вредоносности, биологическая безопасность

Key words: phytoviruses, *Virgaviridae*, *Hordeivirus*, Gramineae, cereal, maize, *Zea mays*, maize chlorotic stripe disease, crop productivity, harmfulness coefficient, biological safety

Зерновые культуры — основная группа сельскохозяйственных растений, объем мирового производства которых составляет 2,5 трлн тонн/год с устойчивым возрастающим трендом. В структуре мирового производства зерновых преобладает кукуруза, доля которой достигает 40%, в Российской Федерации — более 13% [1]. Повышенный интерес дальневосточных производителей сельскохозяйственной продукции к выращиванию кукурузы на зерно связан с возможностью ее экспорта в страны азиатско-тихоокеанского региона. Так, за последние 10 лет только в Приморском крае количество площадей под посевами этой культуры возросло более чем на порядок — с 3,11 тыс. в 2005 г. до 35,42 тыс. га в 2015 г.; по этому показателю регион за-

нимает 18-е место, а по валовому производству — 16-е место в России [2].

Согласно литературным данным, вирус штриховатой мозаики ячменя (ВШМЯ) (*Barley stripe mosaic virus*) (*Virgaviridae*, *Hordeivirus*) широко распространен во всем мире. Его естественные хозяева — пшеница, ячмень, дикий овес, однако кукуруза до сих пор не была включена в список характерных хозяев этого вируса [3–6]. В США [7] и Канаде [8] ВШМЯ давно классифицирован как карантинный объект, поскольку патоген передается через посевной материал. В 2016 г. Европейская и Средиземноморская организация по защите растений внесла вирус в перечень рекомендованных для карантинного регулирования (Перечень А2) [9]. В

настоящее время ВШМЯ встречается в семенных коллекциях по всему миру, включая Австралию, где он не обнаруживался до 1960 г. [10, 11]. По сообщению «Plant Health Australia» — государственной организации в области защиты растений, впервые вирус был выявлен в 1961 г. в импортном семенном материале, до 80-х годов распространение патогена по континенту удавалось сдерживать. Но вследствие активного перемещения семенного материала из Мексики, Новой Зеландии и США вирус встречается на всей территории Австралии и сейчас регулярно обнаруживается в семенных коллекциях [10].

По данным лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН [3, 4, 12, 13], ВШМЯ широко распространен на территории Приморского края. Даже в благополучные в эпидемиологическом отношении годы его встречаемость в рядовых посевах яровой пшеницы и ярового ячменя достигает 3%. В условиях этого региона озимые зерновые культуры более чувствительны к инфекции, чем яровые [13].

Целью настоящей работы было установление этиологии хлоротичной полосатости кукурузы, изучение восприимчивости данной культуры к этому агенту, определение его вредоносности.

Методика. В 2014–2016 гг. сотрудники лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН проводили плановый эколого-вирусологический мониторинг производственных посевов пищевой и кормовой кукурузы в основных сельскохозяйственных районах Приморского края: Михайловском, Октябрьском, Пограничном, Ханкайском, Хорольском, Черниговском, Яковлевском, Чугуевском, Красноармейском, Дальнереченском, а также в Уссурийском и Арсеньевском городских округах. Во время осмотров осуществляли визуальную оценку фитопатологии и детальный учет по общепринятым методикам. Средневзвешенную пораженность вычисляли по формуле:

$$p_{св} = \frac{\sum_i S_i \cdot p_i}{\sum_i S_i}, \quad (1)$$

где S_i — площадь i -го участка, p_i — доля зараженных растений на i -ом участке.

Для идентификации возбудителей в условиях опытно-экспериментального участка отбирали отдельные листья с вирусоподобными симптомами. В качестве растений-индикаторов использовали яровую пшеницу сорта Приморская 50, яровой ячмень сортов Приморский 44, Приморский 89. Идентификацию фитовирусов проводили с помощью твердофазного иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием референс-сывороток из Коллекции вирусов Восточной Азии на базе ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН [12, 14], морфологию вирусных частиц определяли на электронном микроскопе «Libra 200 FE HT» Дальневосточного Центра электронной микроскопии на базе Национального научного Центра морской биологии ДВО РАН.

Для определения восприимчивости кукурузы к ВШМЯ, а также вредоносности вируса растения кукурузы высаживали на делянках опытно-экспериментального участка ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН: по 25 шт. в вариантах неинфицированного контроля и для заражения ВШМЯ в четырех повторностях. Инокуляцию осуществляли на стадии 3–4 листа соком больных растений, разбавленных 0,1 М фосфатным буфером в соотношении 1:1. Индикацию вируса с помощью ИФА проводили на 14-е и 28-е сутки после инокуляции.

Вредоносность ВШМЯ по отношению к кукурузе оценивали по данным биометрического анализа и подсчета урожайности контрольных и опытных образцов. Урожайность рассчитывали по формуле:

$$m = M/S, \quad (2)$$

где m — урожайность, г/м², M — масса собранного зерна, г, S — площадь экспериментального участка, м². Для расчета коэффициента вредоносности K использовали следующую формулу:

$$K = \frac{A - B}{A} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где A, B — урожай соответственно неинфицированных и инфицированных растений.

Статистическую достоверность оценивали с помощью t -теста Стьюдента. Достоверным считали различие при вероятности альтернативной гипотезы, не превосходящей 0,005.

Результаты и обсуждение. В 2014 г. сотрудники лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН идентифицировали заболевание кукурузы, получившее название «хлоротичная полосатость» вследствие характерных симптомов — бледно-желтых или белесых полос на листьях вдоль главной жилки. Была показана инфекционная природа возбудителя заболевания. При дальнейших исследованиях в лабораторных условиях выявлена этиологическая связь заболевания с ВШМЯ.

В научной литературе приведены данные о том, что в естественных условиях этот патоген поражает ячмень, пшеницу, реже — овес [3–6], кукуруза восприимчива к ВШМЯ-инфекции лишь в лабораторных условиях [15]. Таким образом, мы впервые показали, что кукуруза поражается ВШМЯ в естественных условиях и ее можно отнести к растениям-хозяевам.

При обследовании в разных районах Приморского края было отмечено, что встречаемость ВШМЯ в посевах кукурузы не зависит от эколого-климатических условий, поскольку соседствующие агропредприятия могут значительно различаться по средневзвешенной зараженности. Например, эти показатели для ООО «МерсиТрейд» и совхоза «Чкаловский», поля которых находятся на расстоянии 40 км в Спасском районе, составляют соответственно 0 и 6,2%. Аналогич-

ная ситуация отмечена в Пограничном и Хорольском районах. На этом основании мы предположили, что причина большого разброса показателей пораженности вирусом зависит от качества посевного материала. Результаты опросов агрономов и фермеров, занимающихся возделыванием кукурузы, подтвердили наше предположение. В хозяйствах, использующих семенной материал приморских и южнокорейских селекционеров, степень поражения ВШМЯ была сравнительно низкой. Посевы же кукурузы, выращенные из семян голландских и китайских производителей, чаще инфицированы ВШМЯ.

Принимая во внимание различия в симптоматике ВШМЯ-инфекции на кукурузе и основных хозяевах (хлоротичная или желтая штриховатость, способная переходить в некрозы), мы изучили динамику заболевания и определили влияние вируса на рост и развитие кукурузы в лабораторных условиях. В процессе развития инфекции наблюдали следующие симптомы: общий хлороз листьев на ранних стадиях развития растения, позже вдоль центральной жилки появляются бледные желтоватые или почти белые полосы по всей длине листа. До стадии вытягивания и трубкования стебля в инфицированных посевах отмечена гибель 17,1% растений, на последующих этапах развития их гибели не было, несмотря на возрастание инфекционного фона. В то же время ни одно контрольное растение в течение эксперимента не погибло.

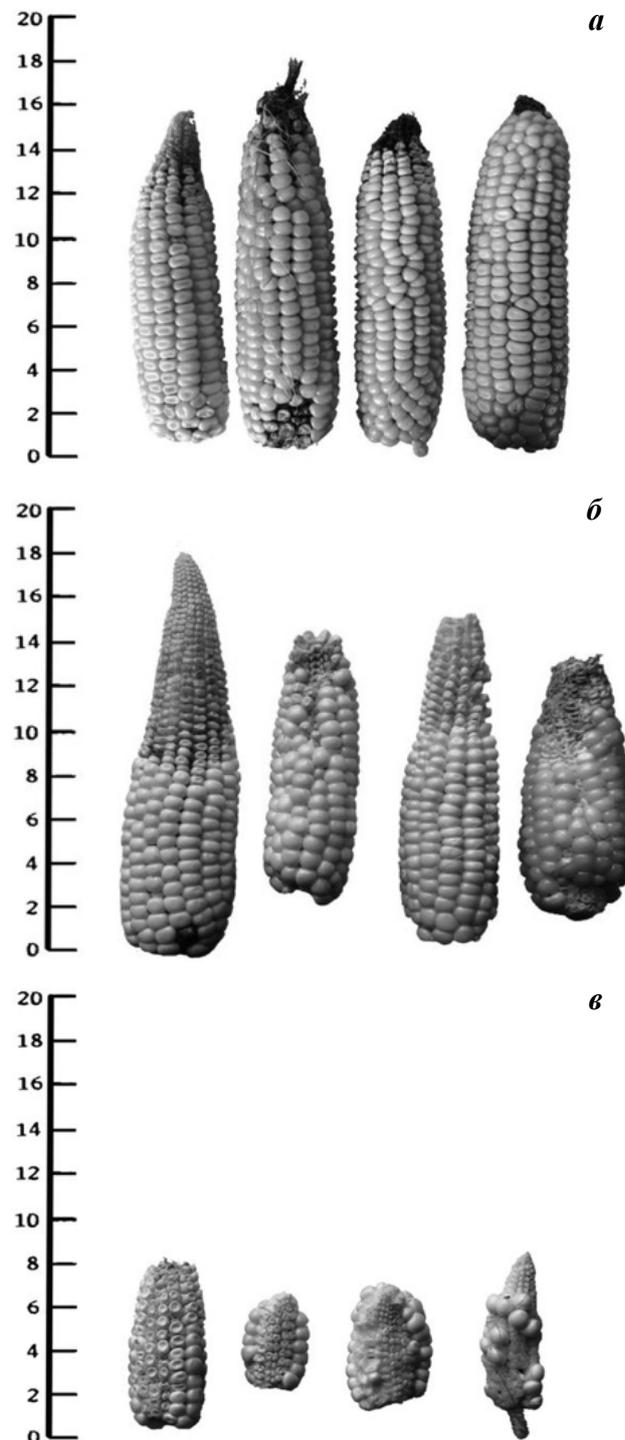
Основные биометрические показатели растений и элементы структуры урожая приведены в таблице. Уве-

Сравнительные биометрические показатели растений кукурузы, неинфицированных и инфицированных вирусом штриховатой мозаики ячменя (*Virgaviridae, Hordeivirus*).

Показатель	Неинокулированные (контрольные) растения	Инокулированные растения	Достоверность * (по Стьюденту)
Количество экспериментальных растений перед инокуляцией, шт.	84	82	—
Количество растений с подтвержденной инфекцией, шт.	0 (0%)	82 (100%)	—
Количество выживших растений на стадии трубкования, шт.	84 (100%)	68 (82,9%)	p < 0.005 *
Количество продуктивных растений, шт.	81 (96,4%)	57 (83,8%)	p < 0.02
Высота растений на стадии трубкования, см	35,1±0,8	42,3±0,5	p < 0.005 *
Длина початков, см	10,2±0,4	7,9±0,3	p < 0.005 *
Количество зерен в початке, шт.	149,9±2,1	109,9±6,8	p < 0.005 *
Масса зерен в початке, г	27,4±1,8	21,5±1,5	p < 0.005 *

* Достоверные различия.

личение высоты инфицированных растений на стадии трубкования по сравнению с контрольной группой, по-видимому, объясняется возрастанием площади питания вследствие гибели кукурузы в результате ВШМЯ-инфекции на более ранних стадиях развития. ВШМЯ



Початки кукурузы, собранные с экспериментальных растений: а — неинфицированные, б — инфицированные с умеренной недоразвитостью початка, в — инфицированные со значительной недоразвитостью початка.

уменьшал урожайность кукурузы за счет снижения не только ее жизнеспособности, но и количества продуктивных растений (статистически недостоверно) и качества початков (статистически достоверно), которые у инфицированных растений оказались невыполненными, семена часто недоразвитыми (рис.), а количество семян и масса зерен невысокими. В некоторых случаях выявлена почти полная недоразвитость початка (рис. в). Коэффициент вредоносности ВШМЯ для кукурузы составлял 37,1%.

Таким образом, кукурузу следовало бы включить в число основных хозяев ВШМЯ — опасного фитопатогена, который легко и быстро распространяется на большие расстояния вследствие активного перемещения семенного материала. Агрономические и административные меры защиты от этой вирусной инфекции должны сопровождаться регулярным эколого-вирусологическим мониторингом посевов сельскохозяйственных культур и прилегающих диких фитоценозов. Повышение эффективности мониторинга возможно путем разработки и внедрения экспресс-методов индикации ВШМЯ, создания ежегодных научно обоснованных прогнозов.

Литература. 1. *Международный независимый институт аграрной политики. Прогноз рынка зерна и продовольственной безопасности в мире 2017/18.* <http://xn--80aplem.xn--plai/analytics/Prognoz-rynka-zerna-i-prodovolstvennoj-bezopasnosti-v-mire-2017-18/> (дата обращения: 27.08.2017). 2. *Центральная база статистических данных Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации.* <https://www.fedstat.ru/indicator/31328#> (дата обращения 30.08.2017). 3. Волков, Ю.Г. Оценка зараженности фитовирусами злаковых культур и прогноз распространения заболеваний в Приморском крае / Ю.Г. Волков, Н.Н. Какарека, Н.З. Козловская, А.Г. Клыков // *Доклады Россельхозакадемии.* — 2011. — № 5. — С. 20–22. 4. Дьяконов, К.П. О фитовирусологическом состоянии посевов злаковых культур в Приморском крае / К.П. Дьяконов, М.В. Сапоцкий // *Сельскохозяйственная биология.* — 2004. — № 1 — С. 92–96. 5. *Руководство по вирусологии (под ред. Д.К. Львова).* — М.: МИА, 2013. 6. Lapiere, H. / H. Lapiere, P. Signoret. *Viruses and virus diseases of Poaceae (Gramineae).* — Paris. INRA. 2004. 7. EPPO Global Database. *Details on geographical distribution of some quarantine viruses in USA.* <https://gd.eppo.int/reporting/article-3690> (дата обращения 30.08.2017). 8. EPPO Global Database. *Pest distribution in Canada.* <https://gd.eppo.int/reporting/article-3485> (дата обращения 30.08.2017). 9. EPPO *A1 and A2 Lists of pests recommended for regulation as quarantine pests (2016).* <https://gd.eppo.int/taxon/BSMV00/documents> (дата обращения 30.08.2017). 10. Platz, G. *Threat Specific Contingency Plan / G. Platz, D. Persley.* — *Barley Stripe Mosaic Virus.* CRC Plant Biosecurity, 2009. — 22 p. - [http://www.](http://www.planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2013/03/Barley-stripe-mosaic-virus-CP-2008.pdf)

[planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2013/03/Barley-stripe-mosaic-virus-CP-2008.pdf](http://www.planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2013/03/Barley-stripe-mosaic-virus-CP-2008.pdf). 11. Plumb, R.T. *Viruses of Poaceae: a case history in plant pathology / R.T. Plumb // Plant Pathology.* — 2002. — V. 51. — N 6. — P. 673–682. 12. Щелканов, М.Ю. *Организация Российской государственной коллекции вирусов Восточной Азии на базе ДВО РАН / М.Ю. Щелканов, Ю.Г. Волков, Н.Н. Какарека, З.Н. Козловская, М.В. Сапоцкий, В.Ф. Толкач, Т.И. Плешакова, А.В. Гапека, И.В. Галкина // В сб.: Научные труды международных научных чтений «Приморские Зори 2017» (Владивосток, Россия; 20–22 апреля 2017 г.). — Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2017. — С. 466–470.* 13. Гапека, А.В. *Эффективность фитовирусологического мониторинга в процессе селекции зерновых культур в Приморском крае / А.В. Гапека, Н.Н. Какарека, Т.И. Плешакова, З.Н. Козловская, А.Г. Клыков, Г.А. Муругова, П.М. Богдан, И.В. Коновалова // Российская сельскохозяйственная наука.* — 2016. — № 5. — С. 20–23. 14. Какарека, Н.Н. *Профилактика фитовирусных инфекций с использованием иммунодиагностикумов в Дальневосточном регионе России / Н.Н. Какарека // В сб.: Материалы международной научной конференции, посвященной 105-летию члена-корреспондента А.А. Амбросова и 80-летию со дня рождения академика В.Ф. Самерсова «Экологическая безопасность защиты растений» (Прилуки, Беларусь; 24–26 июля 2017 г.). — Минск: Беларуская навука, 2017. — С. 79–84.* 15. Atabekov, J.G. *Barley stripe mosaic virus / J.G. Atabekov, V.K. Novikov // Descriptions of Plant Viruses.* — Association of Applied Biologists, 1971. <http://www.dpvweb.net/dpv/showdpv.php?dpvno=68> (дата обращения 30.08.2017)

References. 1. *Mezhdunarodnyy nezavisimyy institut agrarnoy politiki. Prognoz rynka zerna i prodovolstvennoy bezopasnosti v mire 2017/18.* <http://xn--80aplem.xn--plai/analytics/Prognoz-rynka-zerna-i-prodovolstvennoj-bezopasnosti-v-mire-2017-18/> (data obrashcheniya: 27.08.2017). 2. *Tsentralnaya baza statisticheskikh danykh Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki Rossiyskoy Federatsii.* <https://www.fedstat.ru/indicator/31328#> (data obrashcheniya 30.08.2017). 3. Volkov, Yu.G. *Otsenka zarazhennosti fitovirusami zlakovykh kultur i prognos rasprostraneniya zabolevaniy v Primorskom krae / Yu.G. Volkov, N.N. Kakareka, N.Z. Kozlovskaya, A.G. Klykov // Doklady Rosselkhozakademii.* — 2011. — № 5. — S. 20–22. 4. Dyakonov, K.P. *O fitovirusologicheskom sostoyanii posevov zlakovykh kultur v Primorskom krae / K.P. Dyakonov, M.V. Sapotskiy // Selskokhozyaystvennaya biologiya.* — 2004. — № 1 — S. 92–96. 5. *Rukovodstvo po virusologii (pod red. D.K. Lvova).* — M.: MIA, 2013. 6. Lapiere, H. / H. Lapiere, P. Signoret *Viruses and virus diseases of Poaceae (Gramineae).* — Paris. INRA. 2004. 7. EPPO Global Database. *Details on geographical distribution of some quarantine viruses in USA.* <https://gd.eppo.int/reporting/article-3690> (data obrashcheniya 30.08.2017). 8. EPPO Global Database. *Pest distribution in Canada.* <https://gd.eppo.int/reporting/article-3485> (data obrashcheniya 30.08.2017). 9. EPPO *A1 and A2 Lists of pests recommended for regulation as quarantine pests (2016).* <https://gd.eppo.int/taxon/BSMV00/documents> (дата обращения 30.08.2017). 10. Platz, G. *Threat Specific Contingency Plan / G. Platz, D. Persley.* — *Barley Stripe Mosaic Virus.* CRC Plant Biosecurity, 2009. — 22 p. - [http://www.](http://www.planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2013/03/Barley-stripe-mosaic-virus-CP-2008.pdf)

- 30.08.2017). 8. EPPO Global Database. Pest distribution in Canada. <https://gd.eppo.int/reporting/article-3485> (data obrashcheniya 30.08.2017). 9. EPPO A1 and A2 Lists of pests recommended for regulation as quarantine pests (2016). <https://gd.eppo.int/taxon/BSMV00/documents> (data obrashcheniya 30.08.2017). 10. Platz, G. Threat Specific Contingency Plan / G. Platz, D. Persley. — Barley Stripe Mosaic Virus. CRC Plant Biosecurity, 2009. — 22 p. - <http://www.planthealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2013/03/Barley-stripe-mosaic-virus-CP-2008.pdf>. 11. Plumb, R.T. Viruses of Poaceae: a case history in plant pathology / R.T. Plumb // Plant Pathology. — 2002. — V. 51. — N 6. — P. 673–682. 12. Shchelkanov, M.Yu. Organizatsiya Rossiyskoy gosudarstvennoy kollektzii virusov Vostochnoy Azii na baze DVO RAN / M.Yu. Shchelkanov, Yu.G. Volkov, N.N. Kakareka, Z.N. Kozlovskaya, M.V. Sapotskiy, V.F. Tolkach, T.I. Pleshakova, A.V. Gapeka, I.V. Galkina // V sb.: Nauchnye trudy mezhdunarodnykh nauchnykh chteniy «Primorskije Zori 2017» (Vladivostok, Rossiya; 20–22 aprelya 2017 g.). — Vladivostok: Izd-vo DVFU, 2017. — S. 466–470. 13. Gapeka, A.V. Effektivnost fitovirusologicheskogo monitoringa v protsesse selektsii zernovykh kultur v Primorskom krae / A.V. Gapeka, Yu.G. Volkov, N.N. Kakareka, T.I. Pleshakova, Z.N. Kozlovskaya, A.G. Klykov, G.A. Murugova, P.M. Bogdan, I.V. Konovalova // Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka. — 2016. — № 5. — S. 20–23. 14. Kakareka, N.N. Profilaktika fitovirusnykh infektsiy s ispolzovaniem immunodiagnostikumov v Dalnevostochnom regione Rossii / N.N. Kakareka // V sb.: Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu chlena-korrespondenta A.A. Ambrosova i 80-letiyu so dnya rozhdeniya akademika V.F. Samercova «Ekologicheskaya bezopasnost zashchity rasteniy» (Priluki, Belarus; 24–26 iyulya 2017 g.). — Minsk: Belaruskaya navuka, 2017. — С. 79–84. 15. Atabekov, J.G., Barley stripe mosaic virus / J.G. Atabekov, V.K. Novikov // Descriptions of Plant Viruses. — Association of Applied Biologists, 1971. <http://www.dpvweb.net/dpv/showdpv.php?dpvno=68> (data obrashcheniya 30.08.2017)

Поступила в редакцию 18.10.17

Агрехимия. Почвоведение

УДК 631.8:633.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТА УДОБРЕНИЯ ЯРОВЫМИ ТРИТИКАЛЕ И ПШЕНИЦЕЙ НА ТЕМНО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВЕ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА*

А.А. Завалин¹, академик РАН, А.К. Куришбаев², доктор сельскохозяйственных наук,
Р.Х. Рамазанова², А.Е. Турсинбаева², кандидаты сельскохозяйственных наук,
А. Касипхан², докторант PhD

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 127550, Москва

² Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, 010011, Астана, Республика Казахстан
E-mail: agun@gmail.ru; rausha05@mail.ru

В опыте с применением стабильного изотопа азота ¹⁵N оценено влияние удобрений на урожайность зерна яровых пшеницы и тритикале на темно-каштановой почве в сухостепной зоне Северного Казахстана. Максимальный сбор зерна яровой пшеницы получен при внесении N_{60} до посева, у яровой тритикале (в 2,2 раза выше) — N_{60} равными частями до посева и в кущение. Показано, что действие азотного удобрения на урожайность обеих культур эффективнее на фоне фосфорного удобрения. Эти зерновые культуры использовали 30% азота удобрений от внесенной дозы на формирование урожая, в почве под яровой пшеницей его закреплялось 32%, под тритикале — 34%, газообразные потери составляли соответственно 38 и 36%. Максимальное использование азота удобрений на формирование урожая (41–42%) характерно для обеих культур при внесении N_{30} до посева на обоих фонах с фосфором и без него. В результате лучшего усвоения азота растениями снижались (до 15–26%) его газообразные потери. Отмечено, что при повышении дозы азотного удобрения в два раза на фоне как P_0 , так и P_{60} коэффициент использования азота удобрения снижается почти в два раза — с 41–42 до 23–28%. Дробное внесение N_{60} равными частями до посева и в кущение практически не влияло на величину азота удобрения, использованного растениями обеих культур на формирование урожая. Применение N_{30} в кущение по сравнению с аналогичной дозой до посева уменьшало коэффициент использования растениями удобрения.

* Работа подготовлена при финансовой поддержке в рамках финансирования научных исследований КН МОН РК (№ госрегистрации 0115РК00474).