Влияние целлюлозолитической активности почвы и питательных веществ на урожайность твёрдой пшеницы в степной зоне Южного Урала

Дмитрий Владимирович Митрофанов, Юрий Васильевич Кафтан

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Россия
e-mail: dvm.80@mail.ru

Аннотация. Урожайность твёрдой пшеницы зависит от многих факторов и выявление основных из них представляет собой важное направление агротехнологических исследований. Целлюлозолитическая активность почвы и содержание макроэлементов питания являются одним из таких факторов в условиях южных чернозёмов степной зоны Южного Урала. Исследования твёрдой пшеницы впервые проводятся на многолетнем стационарном опытном участке по севооборотам и бессменным посевам, заложенном в 1988 г. В эксперименте применяются такие методы исследования, как полевой, аппликационный, ионометрический и Мачигина. Полевые опыты проводили с 2002 по 2020 г. по методике Б.А. Доспехова. Положительные результаты за девятнадцать лет исследования наблюдаются во втором варианте опыта, которые проявляются в повышении урожайности твёрдой пшеницы после чёрного пара в шестипольном севообороте. Выход зерна пшеницы составляет 0,92 т, кормовых единиц 1,17 т и энергетических – 0,69 т с 1 га. Увеличение урожайности зависит от целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов и содержания питательных веществ (NO_3^- , P_2O_5 , K_2O) в почве и доля влияния составляет 51,62; 52,43; 35,27 и 36,80 %. Снижение целлюлозолитической активности почвы приводит в седьмом варианте опыта к наименьшей урожайности и выход зерна составляет 0,51 т, кормовых, энергетических единиц – 0,65; 0,38 т/га. Формирование низкой урожайности твёрдой пшеницы происходит несмотря на влияние нитратов, подвижного фосфора, обменного калия в пахотном слое (0–30 см) почвы и доля составляет 45,45; 31,91 и 42,63 %. Уровень степени разложения льняного полотна по вариантам опыта составляет 5,4–12,6 %. Диапазон содержания питательных веществ составляет нитратов от 5,1 до 8,0 мг, фосфора – 4,0–4,5 мг, калия – 31,9–41,0 мг на 100 г почвы. Изучаемые факторы являются причиной изменения урожайности твёрдой пшеницы.

Ключевые слова: твёрдая пшеница; чёрный пар; шестипольный севооборот; двупольный севооборот; микроорганизмы; нитраты; подвижный фосфор; обменный калий; урожайность.

Для цитирования: Митрофанов Д. В., Кафтан Ю.В. Влияние целлюлозолитической активности почвы и питательных веществ на урожайность твёрдой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Аграрный научный журнал. 2022. № 1. С.21–25. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i1pp21-25>.

AGRONOMY

Original article

Influence of cellulolytic activity of the soil and nutrients on the yield of durum wheat in the steppe zone of the Southern Urals

Dmitry V. Mitrofanov, Yuri V. Kaftan

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
e-mail: dvm.80@mail.ru

Abstract. The yield of durum wheat depends on many factors and the identification of the main ones is an important area of agrotechnological research. The cellulolytic activity of the soil and the content of macronutrients are one of these factors in the conditions of the southern chernozems of the steppe zone of the Southern Urals. Research on durum wheat is being conducted for the first time at the long-term stationary experimental site for crop rotations and permanent crops, established in 1988. In the experiment, such research methods as field, application, ionometric, and Machigina are used. Field experiments were conducted from 2002 to 2020 according to the method of B.A. Dospikhov. Positive results for nineteen years of research are observed in the second version of the experiment, which are manifested in an increase in the yield of durum wheat after black steam in a six-field crop rotation. The yield of wheat grain is 0.92 tons, feed units are 1.17 tons and energy units are 0.69 tons per 1 ha. The increase in yield depends on the cellulose-decomposing activity of microorganisms and the content of nutrients (NO_3^- , P_2O_5 , K_2O) in the soil and the share of influence is 51.62, 52.43, 35.27 and 36.80 %. A decrease in the cellulolytic activity of the soil leads in the seventh variant of the experiment to the lowest yield and the yield of grain is 0.51 tons, feed, energy units-0.65; 0.38 t/ha. The formation of a low yield of durum wheat occurs despite the influence of nitrates, mobile phosphorus, and exchangeable potassium in the arable layer (0-30 cm) of the soil and the share is 45.45, 31.91, and 42.63 %. The level of the degree of decomposition of linen according to the experimental variants is in the range from 5.4 to 12.6 %. The range of nutrient content is nitrates from 5.1 to 8.0 mg, phosphorus-4.0-4.5 mg, potassium - 31.9-41.0 mg per 100 g of soil. The studied factors are the reason for the change in the yield of durum wheat.

Keywords: durum wheat; black steam; six-field crop rotation; two-field crop rotation; microorganisms; nitrates; mobile phosphorus; exchangeable potassium; yield.

For citation: Mitrofanov D. V., Kaftan Yu.V. Influence of cellulolytic activity of the soil and nutrients on the yield of durum wheat in the steppe zone of the Southern Urals. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(1):21–25. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i1pp21-25>.

Введение. Оренбургская область в степной зоне Южного Урала является лидером по посевной площади твёрдой пшеницы в Российской Федерации по сравнению с другими засушливыми регионами. Увеличение урожайности твёрдой пшеницы среди зерновых культур является ведущей проблемой в области земледелия и сельскохозяйственного производства. В решении проблемы повышения урожайности твёрдой пшеницы важное место в мировой науке занимает изучение биологической активности почвы и макроэлементов питания.

© Митрофанов Д. В., Кафтан Ю.В., 2022

Одним из показателей микробной жизнедеятельности почв и протекающих в них биологических процессов является целлюлозолитическая активность. Процессы разложения клетчатки в почве происходят за счёт целлюлозо-разрушающих микроорганизмов. Условия их жизнедеятельности близки к оптимальным для выращивания полевых культур. Скорость распада клетчатки показывает биологическую активность почвы, которая отражает почвенные условия, действующие на урожайность сельскохозяйственных культур [9]. Жизнедеятельность целлюлозоразлагающих микроорганизмов играет важную роль в подвижности макроэлементов питания растений, и при создании благоприятных почвенных условий интенсивность биологических процессов удваивается [6]. В среднем за 18 лет исследований выявлено, что повышение нитратного азота в чернозёмной почве под посевами яровой твёрдой пшеницы увеличивает активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов [8]. Биологическая активность почвы связана с возделываемой в севообороте яровой твёрдой пшеницей и её чередованием. В результате насыщения севооборотов одной культурой и при возделывании яровой твёрдой пшеницы отрицательные последствия нельзя устранить без выявления связи с биологическими процессами почвы [4].

Твёрдая пшеница даёт высокие урожаи при хорошей обеспеченности почвенным азотом, фосфором и калием. По содержанию в почве азот подвержен значительной изменчивости доступных его форм в зависимости от характера предшествующего его использования культурой [1]. В среднем за 18 лет исследований твёрдая пшеница потребляет нитраты в почве для формирования урожайности в количестве 1,2 мг на фоне с удобрениями и без них – 1,3 мг/100 г [7]. Содержание фосфора в пахотном слое (0–30 см) почвы доходит до 8,68 мг/100 г, которое соответствует урожайности зерна твёрдой пшеницы 2,48 т с 1 га. Увеличение содержания калия в верхнем горизонте почвы происходит до 47,6 мг/100 г при урожайности 2,52 т/га [2]. Наибольшая урожайность яровой твёрдой пшеницы 1,62 т с 1 га формируется на основании запасов азота в размере 99,7 кг на 1 га в верхнем слое почвы. В результате содержания фосфора в слое 0–30 см от 2,1 до 108,3 кг на 1 га происходит повышение урожайности с 0,37 до 1,32 т с 1 га. Высокие запасы калия от 800–1122 кг/га в почве перед посевом приводили к последовательному снижению урожайности [5].

Однако знания о влиянии факторов на урожайность твёрдой пшеницы ограничены в засушливых условиях Оренбургской области. Это послужило причиной проведения исследования по определению влияния целлюлозолитической активности почвы и макроэлементов питания на урожайность зерна твёрдой пшеницы в степной зоне Южного Урала. Цель исследования заключается в выявлении главных факторов, влияющих на урожайность твёрдой пшеницы в севооборотах и бессменном посеве на чернозёмах южных экспериментального участка. В задачу эксперимента входит определение влияния каждого изучаемого фактора в отдельности на увеличение урожайности по различным предшественникам севооборотов.

Методика исследований. Полевые опыты закладывали с 2002 по 2020 г. на территории бывшего ОПХ им. Куйбышева возле п. Крона Оренбургского района (51°46'31.1»N, 55°18'42.6»E). Исследования вели на экспериментальном стационарном участке, заложенном в 1988 г.

Объектами исследования являются чернозём южный карбонатный среднесуглинистый и посевы твёрдой пшеницы на стационаре. В полевом опыте применяется схема, которая включает в себя десять вариантов выращивания твёрдой пшеницы по предшественникам в шести- и двупольных севооборотах: 1) посев твёрдой пшеницы (третье поле) после озимой ржи (контроль); 2) посев твёрдой пшеницы (второе поле) после чёрного пара; 3) посев твёрдой пшеницы (второе поле) после занятого пара (суданская трава); 4) посев твёрдой пшеницы (второе поле) после пара с сидератами (овёс и горох); 5) посев твёрдой пшеницы после кукурузы на силос; 6) посев твёрдой пшеницы после мягкой; 7) посев твёрдой пшеницы после проса; 8) посев твёрдой пшеницы после ячменя; 9) посев твёрдой пшеницы после гороха; 10) посев монокультуры твёрдой пшеницы.

В научной работе применяется полевой метод исследования по рекомендациям Б.А. Доспехова [3]. Изучаются полевые делянки на стационарном опытном участке в четырёхкратной повторности. Делянки имеют прямоугольную форму с размерами: 14,4 × 60 м площадью 864 м² в шестипольных севооборотах, 7,2 × 60 м площадью 432 м² в двупольных севооборотах и бессменном посеве, 3,6 × 60 м площадью 216 м² в чередовании с горохом. Общая площадь полевого опыта составляет 23328 м², или 2,3 га.

На опытных делянках в первой половине мая с помощью сеялки СЗП-3,6 высевали сорт Оренбургская 10 с рекомендуемой нормой 180 кг на 1 га. Посевы твёрдой пшеницы прикатывали (ЗККШ-6) катками. Во второй половине августа проводили учёт урожайности зерна твёрдой пшеницы в севооборотах и бессменном посеве на площади 120 м² с помощью селекционного комбайна «Terrior SR2010».

Для оценки целлюлозолитической активности почвы на изучаемых делянках применяется аппликационный метод разложения льняных полотен с помощью жизнедеятельности микроорганизмов. Во второй декаде мая на каждой делянке после посева твёрдой пшеницы на одной повторности опыта проводили установку двух проб, представляющих собой стеклянные прямоугольники, обернутые льняным полотном. Их размещали на глубину 0–20 см слоя почвы. Во второй декаде августа в конце вегетационного периода твёрдой пшеницы по всем делянкам извлекали пробы из почвы. Срок инкубации льняной ткани составляет 90 дней. В лабораторных условиях определяли степень разложения льняного полотна путём весового метода.

На делянках первого и третьего повторений опыта на глубине 0–30 см слоя почвы отбирали образцы с помощью ручных пробоотборников после посева и в период уборки твёрдой пшеницы. Содержание нитратов, подвижного фосфора и обменного калия в почве определяли ионометрическим методом и методом Мачигина в лаборатории центра коллективного пользования (<https://xn---btbzumgw.xn--p1ai>). Анализы почвенных проб проводили по ГОСТам 26951-86 и 26205-91.

Результаты исследования по урожайности зерна твёрдой пшеницы, целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов и содержанию нитратов, подвижного фосфора и обменного калия математически обрабатывали и анализировали множественным регрессионным методом в статистической программе «Statistica 12.0».

Результаты исследований. На основании результатов исследования установлено, что предшественники севооборотов и бессменный посев влияют на уровень урожайности твёрдой пшеницы при длительном возделывании в различных почвенных условиях. Наблюдения с 2002 по 2020 г. показывают определённую степень разложения льняного полотна под посевами твёрдой пшеницы по различным предшественникам севооборотов. Наилучшая целлюлозоразлагающая активность микроорганизмов на глубине 0–20 см слоя почвы отмечается в четвёртом варианте опыта выращивания твёрдой пшеницы после сидерального пара и составляет 12,6 % (табл. 1).

Таким образом, за счёт последствий сидеральной культуры (горох) повышается содержание органического вещества в почве, которое стимулирует выработку нитратного азота и приводит к увеличению целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов.

В результате анализа целлюлозолитической активности почвы выявлено, что наименьшее значение степени разложения льняного полотна наблюдается в седьмом и восьмом вариантах опыта. Минимальный процент степени по предшественникам проса и ячменя составляет 5,9 и 5,4 %. Целлюлозоразрушающая активность микроорганизмов по другим вариантам составляет от 9,9 до 10,8 %.

В некоторых научно-исследовательских работах изучается целлюлозолитическая активность аэробных почвенных актиномицетов в отношении растворимой и нерастворимой целлюлозы [10, 11]. Целлюлозолитическая активность грибов, выделенных из почвы и разлагающих растительные остатки, зависит от рода и природы субстрата [12].

В наших исследованиях по различным предшественникам твёрдой пшеницы разрушение целлюлозы микроорганизмами (бактерии, грибы, ферменты) в определённых почвенных условиях различно и приводит к разнообразной доступности подвижных форм питательных веществ. Активность микроорганизмов определяется содержанием нитратов, подвижного фосфора и обменного калия в почве. В результате эксперимента выявлено, что повышение нитратного азота в чернозёмной почве под посевами яровой твёрдой пшеницы увеличивает активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Во второй декаде мая (после посева) установлено, что максимальное содержание нитратов отмечается в четвёртом варианте опыта после пара с сидератами и составляет 8,0 мг на 100 г почвы. Во второй декаде августа (в период уборки) наблюдается наибольшее количество нитратного азота в девятом варианте эксперимента после гороха и составляет 7,1 мг на 100 г почвы. Такое наблюдение за периодами объясняется биологическими особенностями гороха, то есть накоплением клубеньковыми бактериями азота в почве. По периодам определения минимальное количество нитратов просматривается под монокультурой за счёт истощения питательного вещества твёрдой пшеницей и составляет 5,9 и 5,1 мг на 100 г почвы. Содержание подвижного фосфора по срокам определения находится практически на одном уровне и составляет от 4,0 до 4,5 мг за счёт низкого потребления культурным растением. Количество обменного калия в почве по всем предшественникам за вегетационный период находится в диапазоне от 31,9 до 41,0 мг на 100 г почвы. Наибольшее содержание оксида калия в почве отмечается в первом варианте опыта (контроль), то есть после ранней уборки озимой ржи происходит длительное накопление питательного вещества по сравнению с другими предшественниками и составляет 40,1 и 41,0 мг. Высокое содержание в почве обменного калия в отличие от нитратов и подвижного фосфора объясняется почвенной характеристикой экспериментального участка. Макроэлементы питания в почве были необходимы для роста и развития зерновой культуры. Уровень содержания и доступности их в почве для твёрдой пшеницы играли основную роль в формировании урожайности.

Таблица 1

Результаты по целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов, содержанию питательных веществ в почве и урожайности твёрдой пшеницы в зависимости от посева и срока определения (2002–2020 гг.)

Вариант опыта, посев твёрдой пшеницы	Степень разло- жения полотна, %	Содержание питательных веществ в почве 0–30 см, мг/100 г			Выход с 1 га пашни, т		
		NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O	зерна	КЕ**	ЭКЕ***
1. Посев после озимой ржи (контроль)	10,7	<u>6,8</u> 5,9	<u>4,4</u> 4,2	<u>41,0</u> 40,1	0,76	0,96	0,57
2. Посев после чёрного пара	10,8	<u>6,4</u> 6,2	<u>4,5</u> 4,1	<u>39,7</u> 39,1	0,92	1,17	0,69
3. Посев после занятого пара	10,1	<u>6,3</u> 6,2	<u>4,4</u> 4,0	<u>38,3</u> 38,0	0,80	1,02	0,60
4. Посев после сидерального пара	12,6	<u>8,0</u> 6,5	<u>4,3</u> 4,2	<u>38,9</u> 37,0	0,85	1,08	0,64
5. Посев после кукурузы на силос	9,9	<u>7,7</u> 5,8	<u>4,1</u> 4,0	<u>37,4</u> 33,7	0,73	0,93	0,55
6. Посев после мягкой пшеницы	10,4	<u>6,2</u> 6,0	<u>4,2</u> 4,0	<u>38,9</u> 34,3	0,63	0,80	0,47
7. Посев после проса	5,9	<u>6,7</u> 5,4	<u>4,3</u> 4,1	<u>34,9</u> 31,9	0,51	0,65	0,38
8. Посев после ячменя	5,4	<u>7,2</u> 6,9	<u>4,2</u> 4,1	<u>35,4</u> 32,9	0,71	0,90	0,53
9. Посев после гороха	10,6	<u>7,3</u> 7,1	<u>4,3</u> 4,0	<u>36,8</u> 32,5	0,66	0,84	0,50
10. Посев монокультуры	10,1	<u>5,9</u> 5,1	<u>4,3</u> 4,1	<u>36,7</u> 33,8	0,59	0,75	0,44

* В числителе – после посева, в знаменателе – в период уборки; ** КЕ – кормовая единица; *** ЭКЕ – энергетическая кормовая единица.

В результате исследования выявлено, что наибольшая урожайность зерна твёрдой пшеницы наблюдается во втором варианте эксперимента по предшественнику чёрный пар и составляет 0,92 т с 1 га. Наименьший урожай зерновой культуры отмечается в седьмом и десятом вариантах опыта и составляет по просу 0,51 т и по твёрдой пшенице 0,59 т с 1 га.

Снижение урожайности твёрдой пшеницы по всем предшественникам происходит за счёт проявления часто повторяющихся засух в вегетационном периоде. Наибольший выход кормовых и энергетических кормовых единиц с 1 га пашни просматривается во втором и четвёртом вариантах опыта. Максимальный выход кормовых единиц твёрдой пшеницы после чёрного и сидерального пара составляет 1,17; 1,08 и энергетических – 0,69; 0,64 т с 1 га. Наименьшие кормовые единицы наблюдаются после предшественников проса и твёрдой пшеницы. Минимальный выход кормовых единиц отмечается во втором варианте 0,65, в десятом – 0,75 т/га. Выход энергетических кормовых единиц составляет, соответственно 0,38 и 0,44 т с 1 га. Уровень выхода кормовых и энергетических кормовых единиц просматривается в остальных вариантах опыта и составляет от 0,47 до 1,02 т/га.

Влияние целлюлозоразрушающей активности микроорганизмов на урожайность твёрдой пшеницы наблюдается во втором варианте опыта и составляет 51,62 % при положительных показателях коэффициентов бета, регрессии, детерминации и критерий Стьюдента с уровнем значимости 0,0005 (табл. 2).

Максимальная урожайность зерна получена после чёрного пара за счёт влияния целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов и макроэлементов питания. На урожайность зерна твёрдой пшеницы оказывают действие нитраты, подвижный фосфор и обменный калий и доля влияния их составляет 52,43; 35,27 и 36,80 % при варьировании положительных чисел математической регрессии с уровнем значимости 0,0004, 0,0073 и 0,0059 ($p \leq 0,05$).

Минимальный урожай твёрдой пшеницы наблюдается после проса в двупольном севообороте в результате замедления биологической активности почвы, которое ограничивает доступность макроэлементов питания. Положительное влияние на формирования зерна обеспечивают нитраты, подвижный фосфор и обменный калий на 45,45; 31,91 и 42,63 % соответственно при положительных значениях множественной регрессии с уровнем достоверности 0,0015, 0,0117 и 0,0024. В результате обработки данных за девятнадцать лет наблюдений установлено, что по остальным вариантам опыта не выявлено влияния целлюлозоразлагающей активности почвенных микроорганизмов и содержания питательных веществ на увеличения урожайности твёрдой пшеницы.

Вследствие проведённого исследования рекомендуем для повышения урожайности твёрдой пшеницы в сельскохозяйственном производстве внедрять посеы после чёрного пара в шестипольные севообороты.

Заключение. За 18 лет наблюдений математическая обработка данных с помощью статистической множественной регрессии показала, что во втором варианте опыта целлюлозолитическая активность почвы (51,62 %) и содержание NO_3^- (52,43 %), P_2O_5 (35,27 %) и K_2O (36,80 %) за весенний период оказывают влияние на увеличение урожайности зерна твёрдой пшеницы до 0,92 т с 1 га по предшественнику чёрный пар в шестипольном севообороте. В седьмом варианте эксперимента наблюдается незначительное воздействие целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов по сравнению с влияющими (азот – 45,45 %, фосфор – 31,91 % и калий – 42,63 %) макроэлементами питания. Такое влияние ведёт к уменьшению урожайности зерна до 0,51 т/га в двупольном севообороте за счёт биологической способности предшествующего проса выносить наибольшее количество питательных веществ из почвы, особенно азота. Низкий выход с 1 га пашни (зерна 0,59 т, кормовых единиц – 0,75 т, энергетических – 0,44 т/га) получен по монокультуре твёрдой пшеницы за счёт истощения почвы, приводящей к незначительному влиянию целлюлозоразрушающей активности микроорганизмов и содержания макроэлементов питания. В других вариантах опыта не наблюдается влияния изучаемых факторов на урожайность твёрдой пшеницы вследствие долгосрочного возделывания в севооборотах.

Исследования проводили в соответствии с планом научно-исследовательской работы на 2022–2023 гг. Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (№ 0526-2022-0014).

Таблица 2

Влияние целлюлозоразлагающих микроорганизмов и подвижных форм питательных веществ после посева на урожайность твёрдой пшеницы в севооборотах на основании расчёта множественной регрессии (2002–2020 гг.)

Показатель	Вариант опыта						
	2. Твёрдая пшеница после чёрного пара в шестипольном севообороте				7. Твёрдая пшеница после проса в двупольном севообороте		
	ЦАМ*	NO_3^-	P_2O_5	K_2O	NO_3^-	P_2O_5	K_2O
Коэффициент бета	0,72	0,72	0,59	0,61	0,67	0,56	0,65
Стандартная ошибка бета	0,17	0,17	0,19	0,19	0,18	0,20	0,18
Коэффициент регрессии	0,59	1,56	2,86	0,87	0,61	0,84	0,12
Ошибка регрессии	0,14	0,36	0,94	0,27	0,16	0,30	0,03
Критерий Стьюдента	4,26	4,33	3,04	3,14	3,76	2,82	3,55
Коэффициент детерминации	0,51	0,52	0,35	0,36	0,45	0,31	0,42
Уровень значимости	0,0005	0,0004	0,0073	0,0059	0,0015	0,0117	0,0024
Доля влияния фактора, %	51,62	52,43	35,27	36,80	45,45	31,91	42,63

*ЦАМ – целлюлозоразлагающая активность микроорганизмов.

Список литературы

1. Бесалиев И. Н., Крючков А. Г. Обеспеченность растений яровой твёрдой пшеницы азотом в зависимости от условий агротехники и её урожайность // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 5 (61). С. 27–30.
2. Бесалиев И. Н. Особенности потребления фосфора и калия яровой твёрдой пшеницей в зависимости от условий агрофона в Оренбургском Предуралье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. №6 (68). С. 28–33.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М., 1985. 351 с.
4. Долгополова Н. В., Павлов А. А. Биологическая активность и плотность почвы при возделывании яровой твёрдой пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 4. С. 31–33.
5. Крючков А. Г., Елисеев В. И., Абдрашитов Р. Р. Запасы элементов питания в разных слоях почвы к севу и урожайность яровой твёрдой пшеницы в степи Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. №5 (37). С. 52–55.
6. Скороходов В. Ю. Накопление нитратного азота различными видами пара в период их парования на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. №1 (101). С. 204–212.
7. Скороходов В. Ю. Влияние погодных факторов вегетации и фона питания на накопление нитратного азота в почве под сельскохозяйственными культурами на чернозёмах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. №2 (101). С. 176–185.
8. Скороходов В. Ю. Уровень биологической активности почвы и содержание нитратного азота под посевами яровой твёрдой пшеницы в последствии чёрного кулисного пара на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 51–57.
9. Щур А. В. Целлюлозолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 7 (106). С. 45–49.
10. Lamot E. L., Voets J. P. Cellulolytic activity of aerobic soil Actinomycetes // Zeitschrift für allgemeine Mikrobiologie, 1976, Vol. 19 (5), P. 345–51.
11. Lamot E. L., Vandamme E. J. Improved cellulolytic activity of actinomycetes in axenic mixed fermentations // Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2007, Vol. 32 (7-12), P. 735–743.
12. Lal R., Mishra M. M. Cellulolytic activity of some soil fungi // Folia Microbiologica, 1978, Vol. 23 (1), P. 68–71.

References

1. Besaliev I. N., Kryuchkov A. G. Provision of spring durum wheat plants with nitrogen, depending on the conditions of agricultural technology and its yield. *Izvestia of the Orenburg State Agrarian University*. 2016; 5 (61): 27–30. (In Russ.).
2. Besaliev I. N. Features of the consumption of phosphorus and potassium in spring durum wheat depending on the conditions of the agricultural background in the Orenburg Cis-Urals. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2017; 6 (68): 28–33. (In Russ.).
3. Dospekhov B. A. Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, 1985. 351 p. (In Russ.).
4. Dolgoplova N. V., Pavlov A. A. Biological activity and soil density during the cultivation of spring durum wheat. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2012; 4: 31–33. (In Russ.).
5. Kryuchkov A. G., Eliseev V. I., Abdrashitov R. R. Stocks of nutrients in different soil layers for sowing and the yield of spring durum wheat in the steppe of the Orenburg Pre-Ural region. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2012; 5 (37): 52–55. (In Russ.).
6. Skorokhodov V. Yu. Accumulation of nitrate nitrogen by various types of steam during the period of their fallowing on the southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals. *Animal husbandry and forage production*. 2018; 101; 1 (101): 204–212. (In Russ.).
7. Skorokhodov V. Yu. Influence of weather factors of vegetation and nutritional background on the accumulation of nitrate nitrogen in soil under agricultural crops on chernozems of the Orenburg Cis-Urals. *Animal husbandry and forage production*. 2018; 101; 2 (101): 176–185. (In Russ.).
8. Skorokhodov V. Yu. The level of biological activity of the soil and the content of nitrate nitrogen under crops of spring durum wheat in the aftereffect of black en-echelon fallow on the southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals. *Izvestia of the Orenburg State Agrarian University*. 2020; 3 (83): 51–57. (In Russ.).
9. Shchur A. V. Cellulolytic activity of soils at different levels of agrotechnical impact. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2015; 7 (106): 45–49. (In Russ.).
10. Lamot E. L., Voets J. P. Cellulolytic activity of aerobic soil Actinomycetes. *Zeitschrift für allgemeine Mikrobiologie*. 1976; 19 (5): 345–51.
11. Lamot E. L., Vandamme E. J. Improved cellulolytic activity of actinomycetes in axenic mixed fermentations. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2007; 32 (7-12): 735–743.
12. Lal R., Mishra M. M. Cellulolytic activity of some soil fungi. *Folia Microbiologica*. 1978; 23 (1): 68–71.

Статья поступила в редакцию 31.05.2021; одобрена после рецензирования 3.06.2021; принята к публикации 18.06.2021.

The article was submitted 31.05.2021; approved after reviewing 3.06.2021; accepted for publication 18.06.2021.