

ВЛИЯНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ФАКТОРОВ И ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ В СЕВОБОРОТАХ НА ЧЕРНОЗЁМАХ ПРЕДУРАЛЬЯ

Митрофанов Дмитрий Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела «Земледелие и РСТ»

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

Россия, 460000, г. Оренбург, улица 9 Января, 29; тел.: 8(987)-855-98-95, e-mail: dvm.80@mail.ru

Ключевые слова: севооборот, ячмень, микроорганизмы, нитраты, фосфор, калий, продуктивность.

В статье показаны результаты изучения влияния влажности почвы, целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов и количества питательных веществ на продуктивность ячменя в севооборотах и бессменном посеве на территории центральной зоны Оренбургской области. Цель эксперимента заключается в выявлении влияния влаги, целлюлозолитической активности почвы и макроэлементов питания (нитраты, фосфор, калий) на повышение продуктивности ячменя в севооборотах и при бессменном его возделывании. В научно-исследовательской работе применяются методы исследования: полевой, термостатно-весовой, аппликационно-весовой, ионометрический и метод Мачигина. В среднем за 2002-2020 гг. исследования во втором и четвертом вариантах опыта наблюдается на удобренном фоне питания подъём выхода кормовых и энергетических единиц ячменя до 2,10, 1,63 и 1,24, 0,96 т/га. Увеличение выхода кормовых единиц происходит за счёт использования растением за вегетационный период продуктивной влаги 32,3, 32,2 мм, нитратов – 4,20, 1,91 мг, фосфора – 1,76, 0,50 и калия – 2,47, 1,01 мг/100 г почвы при целлюлозоразрушающей активности микроорганизмов – 7,93 и 10,37 %. По остальным вариантам опыта диапазон влажности почвы на фонах питания составляет в период посева от 17,4 до 41,7 мм и уборки – 3,5-10,5 мм; степени разложения льняной ткани – 4,05-9,37 %, содержания усвояемых нитратов – 0,05-1,11 мг, подвижного фосфора – 0,04-0,29 мг, обменного калия – 0,05-0,95 мг/100 г, кормовых единиц – 1,16-1,44 т, энергетических – 0,68-0,85 т с 1 га. В результате исследования определено влияние влаги, активности микроорганизмов, питательных веществ на рост продуктивности ячменя в результате последствий проса и гороха в севооборотах после внесения минеральных удобрений с нормой 40: 80: 40 кг (N: P: K) действующего вещества на 1 га. Установлена зависимость выхода энергетических кормовых единиц ячменя в севообороте с просом от содержания используемых нитратов в пахотном слое почвы.

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2022-2023 гг.
ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2022-0014)**

Введение

В засушливой зоне Южноуральских степей России ячмень является основной зернофуражной культурой, которая имеет большое значение в приготовлении кормов в животноводстве. В Оренбургской области доля ячменя в посевах зерновых культур составляет 20-25 % и благодаря своим биологическим особенностям является хорошим компонентом полевых севооборотов. На этой территории ячмень размещается в севооборотах последней культурой при высокой засорённости и низком плодородии почвы, но даже при таких обстоятельствах превосходит по урожайности яровую пшеницу на 0,3-0,4 т с 1 га. Ячмень является замыкающей культурой в севооборотах, несмотря на это, реакция его на влияние предшественника и фона питания опережает все зерновые растения. Применение минеральных удобрений под основную обработку почвы в севообороте создаёт благоприятные

условия для получения высокой урожайности ячменя в засушливых условиях Оренбургской области [1].

В Оренбуржье посевы ячменя играют главную роль в борьбе с засухой. Из всех пяти появился на территории области новый вид засухи, так называемая холодная. Из всех полевых культур ячмень устойчив против холодной засухи и является самым продуктивным. Самое важное достоинство культуры – это положительная реакция на применение минеральных удобрений как в действии, так и последствии предшественников севооборотов [2, 3].

Засуха участилась в Центральной Европе и в городах Данди, Галле, Аль-Карак, Дубае и Аделаида, что приводит к большим потерям урожая зерновых, особенно яровых полевых культур. Разработка новых сортов с повышенной устойчивостью к засухе и дефициту азота является ключевым инструментом повышения продук-

тивности ячменя в сельском хозяйстве [4, 5].

В засушливых условиях России на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья имеется такая же проблема. Важнейшее влияние на продуктивность ячменя оказывают весенние запасы влаги в пахотном слое почвы 0-30 см, которые накапливаются до 47,1 мм [6]. Сорты ячменя в условиях водообеспеченности за вегетационный период способствуют формированию различных размеров органов растений, которые влияют на продуктивность [7].

Для нормального развития ячменя необходимо присутствие в почве органики, разлагаемой микроорганизмами на постоянной основе. При воздействии природных факторов происходит изменение биомассы и активности биохимических процессов. В среднем за 18 лет исследований наблюдается расход содержания нитратов до 2,3 мг растением за период вегетации ячменя при активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов в почве 8,3 % ,приводящий к повышению урожайности зерна до 1,42 т/га. За этот период максимальная урожайность ячменя в зернопаровом севообороте с просом на удобренном фоне питания доходит до 3,25 т с 1 га [8, 9].

На посевы ячменя положительно оказывают действие минеральные удобрения. В результате их применения в дозе 60 кг/га действующего вещества азота, фосфора и калия выявлен наибольший выход зерна ячменя до 3,84 т с 1 га с нормой высева 5,0 млн. всхожих семян на 1 га [10]. Продуктивность ячменя выше на минеральном фоне питания ($N_{60}P_{60}K_{60}$) на 0,75-0,93 т с 1 га по сравнению с неудобренным [11]. При применении минеральных удобрений на фоне питания отдача от 1 кг действующего вещества составляет 10,1–16,5 кг зерна ячменя [12]. В условиях Самарского Заволжья ячмень проявляет наибольшую отзывчивость на минеральные удобрения, и в результате возрастает урожайность на 0,35 т/га [13]. В определённых условиях требуется увеличение дозы $N_{40}P_{40}K_{40}$ на 30-50 % азотных и фосфорных удобрений под посевы ячменя, возделываемого по яровой пшенице в севообороте за счёт дефицита этих элементов [14]. При увеличении доз азотных удобрений под возделываемый ячмень на фоне питания $P_{60}K_{60}$ урожайность растёт до 4,11-5,20 т/га, под действием фосфорных ($N_{60}K_{60}$) – 4,82-4,87 т/га, под влиянием калийных ($N_{60}P_{60}$) – 4,34-5,34 т с 1 га. Средняя урожайность ячменя на фоне без применения минеральных удобрений составляет 2,29 т/га. В среднем за три периода веге-

тации (три года) ячменя происходит вынос из почвы питательных веществ: азота – 20 кг, фосфора – 11,8 и калия – 18,5 кг/т [15]. В условиях Самарской области с применением минеральных азотных удобрений с нормой N_{30} на посевах ячменя урожайность повышается на 0,33 т с 1 га [16].

В связи с актуальной проблемой повышения зернофуражной продукции в аридных зонах мира проведены исследования по выявлению важнейших факторов (влажность, целлюлозолитическая активность и питательные вещества почвы), влияющих на повышение продуктивности ячменя в севооборотах и бессменных посевах при засушливых условиях Оренбургской области.

Цель исследования – выявить влияние влажности, целлюлозолитической активности почвы и макроэлементов питания на повышение продуктивности ячменя, возделываемого в севооборотах и бессменном посеве на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2002-2020 гг. возле п. Нежинка Оренбургского района. Посевы ячменя размещены на многолетнем стационарном участке. Во время закладки стационара в 1988 году введен ячмень в шестипольные (чёрный пар, твёрдая пшеница, мягкая пшеница, собранное поле «кукуруза, просо, сорго, горох», мягкая пшеница, ячмень), двупольные (ячмень, твёрдая пшеница) севообороты и бессменный посев. Территория опытного поля располагается на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья по координатам 51°46'31.1»N, 55°18'42.6»E. Климат – резко континентальный, в основном засушливый.

Объектами исследования являются почвенные образцы под изучаемыми вариантами и посевами ячменя в севооборотах и бессменно. Почва экспериментальной территории характеризуется как чернозём южный глинистый на темно-бурых карбонатных древнеаллювиальных песчаных суглинках. В слое почвы 0-30 см содержится гумуса 3,7 %, общего азота – 0,27 %, фосфора – 0,22 %, NO_3^- – 12,7, P_2O_5 – 2,2, K_2O – 37,0 мг на 100 г, pH – 7,2. В слоях почвы 0-100 и 0-150 см наименьшая полевая влагоёмкость составляет соответственно 28 и 24 %. В карбонатных среднемощных малогумусных и тяжелосуглинистых слоях нижнего горизонта почвы происходит снижение влажности устойчивого завядания, максимальной гигроскопичности и влагоёмкости.

В научно-исследовательской работе применяется полевой метод исследования по рекомендациям Б.А. Доспехова. Полевые опыты заложены в четырёхкратной повторности и двенадцатикратной во времени по следующей схеме: 2А × 6В, где

Фактор А – фон минерального питания почвы: А₁ – удобренный и А₂ – неудобренный;

Фактор В – предшественник ячменя; В₁ – мягкая пшеница после кукурузы на силос; В₂ – мягкая пшеница после проса; В₃ – мягкая пшеница после сорго на силос; В₄ – мягкая пшеница после гороха; В₅ – твёрдая пшеница; В₆ – ячмень.

Шесть вариантов делянок ячменя имеют систематическое или последовательное размещение в каждой повторности опыта. Прямоугольная форма делянок имеет размер 3,6 × 90 м² с площадью 324 м² в последнем поле шестипольных севооборотах и 7,2 × 90 м² (S² = 648 м²) в двуполье и бессменном посеве. В шестипольных севооборотах площадь делянки удобренного фона минерального питания составляет 108 м² и неудобренного – 216 м². В двупольном севообороте и бессменном посеве соответственно, S² = 216 и 432 м². Общая площадь посевов ячменя на опытном участке составляет 10368 м² или 1,0 га. Комплексные минеральные удобрения (нитрофоска, аммофоска и азофоска) внесены под осеннюю отвальную вспашку сеялкой СЗ-3,6 при норме азота 40, фосфора - 80 и калия- 40 кг действующего вещества на 1 га. Контрольным вариантом опыта является неудобренный фон минерального питания. В первой половине мая на полевом опытном участке высеяны сеялкой СЗП-3,6 следующие сорта ячменя Оренбургской селекции с нормой 3,9 млн. шт. всхожих семян на гектар или 190 кг/га: Оренбургский 11, Анна, Натали, Т-12 и Миар. Учётная площадь делянки составляет 180 м². В первой декаде августа уборка зерна проведена прямым комбайнированием (Terrion SR2010) с разбросом измельчённой соломы (мульчирование) по поверхности почвы. Современная агротехника и агротехнология возделывания ячменя в севооборотах и бессменных посевах является общепринятой для данной зоны.

В исследованиях применены следующие методы: термостатно-весовой, аппликационно-весовой, ионометрический и метод Мачигина. В лаборатории центра коллективного пользования Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук определено содержание нитратов, подвижного фосфора и калия в пахотном слое

почвы 0-30 см. В отделе земледелия и ресурсосберегающих технологий, все наблюдения, учёты, анализы и отборы почвенных образцов проведены по рекомендуемым методикам.

Результаты исследований

Результаты исследования по влажности, целлюлозолитической активности, количеству используемых растением питательных веществ почвы и продуктивности ячменя зависят от культуры до предшественника севооборота, бессменного посева и фона минерального питания. Это подтверждают данные по продуктивной влаге в период посева и уборки, степени разложения льняной ткани, количеству израсходованных питательных веществ за вегетационный период и выходу кормовых и энергетических единиц.

В результате исследования в 2002-2020 гг. показано влияние влажности почвы на целлюлозолитическую активность микроорганизмов в зависимости от последствий предшественника и фона питания с удобрениями и без них. Максимальное содержание продуктивной влаги с учётом выпавших осадков (120 мм) за период вегетации отмечается в период посева и уборки по культурам после мягкой пшеницы (просо, горох) второго и четвёртого вариантов опыта и составляет на удобренном фоне 44,1, 43,8, 11,8 и 11,6 мм с положительным отклонением от неудобренного (контроль) на 1,8, 1,1, 0,6 и 0,3 мм (табл. 1).

Самая наименьшая продуктивная влага наблюдается по срокам взятия проб (период посева и уборки) в шестом варианте опыта бессменного посева ячменя и составляет на фоне питания с удобрениями 18,6, 3,9 мм при отклонении от контроля на 1,2, 0,4 мм и без них - 17,4 и 3,5 мм.

Наилучшее разложение льняной ткани микроорганизмами составляет на удобренном фоне питания 17,93, 10,37 % с отклонением от контроля на 9,35 и 1,56 %. Низкая активность целлюлозолитиков в почве после предшественников твёрдой пшеницы в двупольном севообороте и ячменя в бессменном посеве составляет на фоне с удобрениями 6,97, 5,24 % (отклонение от контроля на 0,44 и 1,19 %) и без их применения - 6,53 и 4,05 %. Целлюлозоразлагающая активность микроорганизмов в почве по другим вариантам опыта ячменя после мягкой пшеницы по кукурузе и сорго на силос наблюдается почти на одном уровне и составляет на удобренном фоне питания от 8,28 до 9,37 % и неудобренном - 7,45-7,48 %.

Таблица 1

Воздействие продуктивной влаги на целлюлозолитическую активность почвы в зависимости от последствий предшественника и фона минерального питания (2002-2020 гг.)

Вариант опыта	Культура до предшественника ячменя	Показатели наблюдений в слое почвы 0-30 см		
		продуктивная влага периода, мм		степень разложения ткани, %
		посева	уборки	
1	кукуруза на силос	40,2/40,5	9,6/10,5	8,28/7,48
2	просо	44,1/42,3	11,8/10,7	17,93/8,58
3	сorgho на силос	41,7/38,2	10,2/8,5	9,37/7,45
4	горох	43,8/43,2	11,6/11,3	10,37/8,81
5	твёрдая пшеница	37,1/35,2	8,7/8,2	6,97/6,53
6	ячмень	18,6/17,4	3,9/3,5	5,24/4,05

Примечание. Здесь и далее: перед чертой – питательный фон с удобрениями, после черты – без их применения.

Таблица 2

Влияние подвижных форм питательных веществ на повышение продуктивности ячменя в зависимости от вариантов опыта и минеральных удобрений (2002-2020 гг.)

Вариант опыта	Культура до предшественника ячменя	Показатели наблюдений в слое почвы 0-30 см				
		потребляемые питательные вещества, мг на 100 г			выход с 1 га пашни, т	
		нитраты	фосфор	калий	КЕ	ЭКЕ
1	кукуруза на силос	1,08/0,29	0,28/0,27	0,80/1,88	1,41/1,30	0,83/0,77
2	просо	4,20/0,88	1,76/0,31	2,47/1,89	2,10/1,39	1,24/0,82
3	сorgho на силос	1,11/0,13	0,29/0,16	0,95/0,86	1,44/1,28	0,85/0,76
4	горох	1,91/1,04	0,50/0,40	1,01/2,29	1,63/1,44	0,96/0,85
5	твёрдая пшеница	0,76/0,13	0,12/0,11	0,30/0,18	1,39/1,17	0,82/0,69
6	ячмень	0,53/0,05	0,04/0,07	0,15/0,05	1,30/1,16	0,77/0,68
НСР _{нс} (фактор А)				0,34	0,15	0,06
НСР _{нс} (фактор В)				0,59	0,26	0,10

Примечание. КЕ – кормовая единица, ЭКЕ – энергетическая кормовая единица.

Наибольшее количество израсходованных нитратов за период вегетации отмечается во втором варианте опыта на удобренном фоне питания и составляет 4,20 мг, превышающий неудобренный (контроль) на 3,32 мг/100 г почвы (табл. 2). Наименьшее содержание почвенных нитратов зафиксировано в бессменном посеве ячменя и составляет на фонах питания 0,53 и 0,05 мг на 100 г, что меньше контроля на 0,48 мг.

Максимальное количество израсходованного подвижного фосфора после внесения минеральных удобрений просматривается во втором варианте опыта в последствии проса и составляет 1,76 мг с положительным отклонением от контроля в 1,45 мг/100 г почвы. Минимальное содержание питательного фосфорного вещества наблюдается в шестом варианте эксперимента и составляет 0,04 мг с отрицательным отклонением от контроля в - 0,03 мг на 100 г почвы. В других вариантах опыта (1, 3, 4, 5) количество усвояемого оксида фосфора рас-

тением в почве на фонах питания располагается на определённом уровне и составляет от 0,11 до 0,50 мг/100 г.

Наибольшее содержание используемого питательного калийного вещества растением в пахотном слое почвы 0-30 см отмечается в посеве после мягкой пшеницы по просу на фоне с удобрениями и составляет 2,47 мг выше контроля на 0,58 мг на 100 г. Наименьшее количество израсходованного обменного калия наблюдается после внесения минеральных удобрений в бессменном посеве и составляет 0,15 мг ниже контроля на 0,10 мг/100 г почвы. По другим вариантам посева ячменя просматривается установленный уровень содержания используемого питательного вещества (K_2O) в почве на фонах питания, который находится в пределах от 0,18 до 1,01 мг на 100 г.

В результате исследований установлено, что наибольшая продуктивность ячменя наблюдается во втором и в четвёртом вариантах опыта



Рис. – Уровень продуктивности ячменя по мягкой пшенице после проса в шестипольном севообороте на удобренном фоне питания в зависимости от количества использованных нитратов растением в слое почвы 0-30 см за 2002-2020 гг.

в шестипольных севооборотах с просом и горохом. На удобренном фоне питания выход составляет 2,10, 1,63 т кормовых и 1,24, 0,96 т энергетических единиц в сравнении с неудобренным, больше контроля на 0,71, 0,19 т и 0,42, 0,11 т/га. Наименьшая продуктивность ячменя отмечается в пятом и шестом вариантах эксперимента в двупольном севообороте с твёрдой пшеницей и бессменном посеве. Выход кормовых и энергетических единиц составляет на фоне с удобрениями 1,39, 1,30 т и 0,82, 0,77 т с 1 га и на фоне без их применения, соответственно 1,17, 1,16 т и 0,69, 0,68 т/га. В первом и третьем вариантах посева в результате последствий кормовых культур (кукуруза и сорго на силос) просматривается невысокий диапазон продуктивности ячменя и составляет на фонах питания от 1,28 до 1,44 т кормовых и 0,76-0,85 т/га энергетических единиц.

На рисунке приведён график соотношения продуктивности ячменя и количество усвояемых нитратов растением в пахотном слое почвы.

Обсуждение

Накопление продуктивной влаги в пахотном слое почвы под посевами ячменя проявляется за счёт последствий и своих биологических особенностей (требованием к влаге) проса и гороха. В посевах происходит наибольший расход продуктивной влаги этими культурами и миграция её с верхнего слоя почвы 0-30 см, что приводит к наилучшему усвоению и накоплению влажности будущего года. Ячмень после предшественников (мягкая и твёрдая пшеница) в севооборотах и бессменном посеве использует часть продуктивной влаги в пахотном слое почвы

за вегетационный период. Другая часть влаги испаряется и мигрирует в нижние слои почвы. Низкая влажность почвы под бессменным посевом объясняется тем, что в результате возделывания ячменя на одном и том же поле происходит активный рост засорённости посевов сорняками, которые снижают запасы продуктивной влаги. Минеральные удобрения сыграли положительную роль в повышении целлюлозолитической активности почвы за счёт наибольшего содержания влаги за период вегетации ячменя. В результате наблюдений по целлюлозолитической активности почвы показано, что высокая жизнедеятельность микроорганизмов в аэробных и анаэробных условиях (р. Sporocytophaga, Cytophaga, Fusarium, Chaetomium, Clostridium, Pseudomonas и Actinomyces) пахотного слоя 0-30 см проявляется во втором и четвёртом вариантах эксперимента после предшественника мягкой пшеницы в последствии проса и гороха. По итогам полученных данных по показателю биологической активности почвы выявлено, что низкие запасы продуктивной влаги в период посева и уборки способны уменьшать степень разложения льняной ткани на удобренном фоне питания и контроле (неудобренный) в пятом и шестом вариантах исследований. Таким образом, наибольшая засорённость однолетними, многолетними сорняками и наименьшая влажность почвы в двупольном севообороте и бессменном посеве снижают активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов. В вариантах опыта наблюдается разный процент разложения льняной ткани целлюлозолитиками при определённой влажности пахотного слоя почвы. Изменение активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов способствует разной доступности содержания нитратов, фосфора и калия к корням ячменя. В слое почвы 0-30 см содержание подвижных форм питательных веществ под посевами ячменя зависит от разрушающей активности микроорганизмов.

Максимальные запасы продуктивной влаги при применении минеральных удобрений и наилучшая целлюлозолитическая активность под посевами ячменя в последствии проса приводят к накоплению нитратов в почве. Биологические особенности проса (засухоустойчи-

вость) воздействуют на повышение содержания нитратов, используемых растением в почве последующих предшественников. Нитраты, подвижный фосфор и обменный калий в почве являются основными макроэлементами питания в доступной форме для ячменя, которые используются для роста, развития и созревания зерна в колосе. Содержание и усвояемость подвижных форм питательных веществ растением в почве имеют важное значение в рационе питания ячменя, что способствует формированию продуктивности в виде выхода кормовых и энергетических единиц. Наибольшее обеспечение почвы подвижными формами питательных веществ (NO_3^- , P_2O_5 , K_2O) под посевом ячменя по мягкой пшенице после проса в шестипольном севообороте происходит в результате внесения комплексных минеральных удобрений и положительного влияния водного режима и биологических особенностей чернозёма.

В результате дисперсионного анализа двухфакторного опыта выявлено, что значимая наименьшая существенная разница содержания питательных веществ и выхода кормовых, энергетических единиц ($\text{HCP}_{05} \text{ A} = 0,34, 0,15, 0,06$, $\text{HCP}_{05} \text{ B} = 0,59, 0,26, 0,10$) наблюдается по удобренному фону питания (фактор А) в отличие от неудобренного (контроль) и по предшественнику ячменя (фактор В) мягкая пшеница после проса и гороха. Наблюдение показало влияние второго и четвёртого вариантов опыта на повышение продуктивности ячменя после внесения минеральных удобрений по сравнению с контролем.

Наилучшее влияние на повышение продуктивности ячменя оказывают используемые нитраты за период вегетации на удобренном фоне питания. После внесения минеральных удобрений наблюдается положительная зависимость продуктивности ячменя от влияния усвояемых нитратов растением в слое почвы 0-30 см, которая представлена на рисунке. Из графика видна прямо пропорциональная зависимость: чем выше (особенно в 2003, 2008 и 2017 гг.) влияние используемых нитратов, тем больше уровень продуктивности ячменя в последствии проса в шестипольном севообороте, и наоборот. Это наблюдение объясняется наибольшей доступностью нитратов в почве к тонким корням ячменя в умеренно влажные годы за счёт целлюлозоразлагающей активности микроорганизмов. В сильно засушливые годы (2005, 2006 и 2010 гг.) происходит снижение активности бактерий, грибов и других живых микробов и,

следовательно, уменьшается поток питательных веществ в почве. Во время посева ячменя предшествующая мягкая пшеница после проса и гороха за вегетационный период накапливает на удобренном фоне питания наибольшие запасы нитратов и продуктивной влаги в почве. Повышается весенняя влажность почвы, которая способствует благоприятной жизнедеятельности микрофлоры под посевом ячменя в последствии проса и гороха. В результате исследований по другим вариантам опыта после внесения минеральных удобрений получено несущественное влияние влажности, целлюлозолитической активности почвы и подвижных форм питательных веществ на повышение продуктивности ячменя.

Заключение

1. В результате последствий проса и гороха на посевах ячменя и после применения минеральных удобрений наблюдается во втором и в четвёртом вариантах опыта повышение продуктивности до 2,10, 1,63 т кормовых и 1,24, 0,96 т/га энергетических единиц.

2. Применяемая растением продуктивная влага за вегетационный период (32,3; 32,2 мм) приводит к наилучшей целлюлозолитической активности (17,93; 10,37 %) в слое почвы 0-30 см на удобренном фоне питания, которая повышает продуктивность ячменя в шестипольных севооборотах с просом и горохом.

3. Выявлено в пятом и шестом вариантах опыта уменьшение выхода кормовых и энергетических единиц ячменя на фоне без удобрений до 1,17, 1,16 т и 0,69, 0,68 т с 1 га. Снижение продуктивности ячменя в двупольном севообороте и бессменном посеве объясняется низким запасом продуктивной влаги, недостаточной активностью целлюлозоразлагающих микроорганизмов и уменьшением количества питательных веществ в поверхностном слое почвы.

4. Кормовые культуры (кукуруза и сорго на силос) до предшественника ячменя в результате наибольшего выноса продуктивной влаги и питательных веществ из почвы для формирования своего урожая снижают продуктивность на неудобренном фоне питания до 1,28-1,30 т кормовых и до 0,76-0,77 т энергетических единиц.

5. По итогам исследований установлено влияние используемых растением содержания нитратов, фосфора и калия (4,20, 1,76, 2,47 мг/100 г почвы) на увеличение продуктивности ячменя. В эксперименте определена зависимость выхода энергетических кормовых единиц

ячменя в севообороте с просом от усвояемых нитратов растением в пахотном слое почвы.

6. В засушливых условиях Оренбургской области для получения в сельскохозяйственном производстве около 2 т с 1 га продуктивности ячменя рекомендуется внедрять посевы в севооборотах с просом и горохом с применением комплексных минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{80}K_{40}$ кг/га действующего вещества.

Библиографический список

1. Скороходов, В. Ю. Урожайность ячменя в шестипольных севооборотах на чернозёмах южных степной зоны Южного Урала / В. Ю. Скороходов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 5(79). – С. 93-97.

2. Продуктивность ячменя и его роль в борьбе с засухой в степной зоне Южного Урала / Д. В. Митрофанов, Н. А. Максюттов, А. А. Зоров [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5(85). – С. 57-61.

3. Холодная засуха в степном Оренбуржье и её влияние на урожайность сельскохозяйственных культур / Н. А. Максюттов, А. А. Зоров, В. Ю. Скороходов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2(88). – С. 18-23.

4. QTLs for earliness and yield-forming traits in the Lubuski × CamB barley RIL population under various water regimes / P. Ogradowicz, T. Adamski, K. Mikołajczak [et al.] // J. Appl. Genet. – 2017. – Vol. 58, № 1. – P. 49-65.

5. Barley yield formation under abiotic stress depends on the interplay between flowering time genes and environmental cues / M. Wiegmann, A. Maurer, A. Pham [et al.] // Sci. Rep. – 2019. – Vol. 9. – P. 6397-16.

6. Влияние продуктивной влаги на урожайность сельскохозяйственных культур в засушливых условиях Оренбургской области / Д. В. Митрофанов, Н. А. Максюттов, В. Ю. Скороходов [и др.] // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 4(100). – С. 225-234.

7. Самуилов, Ф. Д. Влияние морфологических признаков на урожайность сортов ярового ячменя в условиях степи Оренбургского Предуралья / Ф. Д. Самуилов, Т. А. Тимошенкова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 11, № 3(41). – С. 47-51.

8. The effect of nitrate nitrogen on barley yield on chernozem of the southern steppe zone of the Southern Urals / V. Yu. Skorokhodov, N. A. Maksyutov, D. V. Mitrofanov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 624. – P. 012202-6.

9. Скороходов, В. Ю. Урожайность ярового ячменя в сопряжении с биологической активностью почвы и содержанием нитратного азота на чернозёмах южных в Оренбургском Предуралье / В. Ю. Скороходов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5(85). – С. 52-57.

10. Еряшев, А. П. Влияние удобрений и норм высева на рост, развитие и урожайность зерна ячменя / А. П. Еряшев, А. С. Шапошников, П. А. Еряшев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4(36). – С. 11-16.

11. Берсенева, Я. В. Продуктивность сортов ярового ячменя на различных фонах минерального питания в условиях Среднего Урала / Я. В. Берсенева // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 3. – С. 47-50.

12. Постников, П. А. Воздействие предшественников и метеорологических условий на урожайность ярового ячменя / П. А. Постников // Вестник Красноярский государственный аграрный университет. – 2018. – № 4(139). – С. 48-53.

13. Эффективность применения удобрений в засушливых условиях Поволжья / О. И. Горянин, С. В. Обущенко, Б. Ж. Джангабаев [и др.] // Земледелие. – 2020. – № 8. – С. 29-33.

14. Перфильев, Н. В. Изменение питательного режима темно-серой лесной почвы в посевах ячменя при различных системах основной обработки / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина // Земледелие. – 2019. – № 5. – С. 21-34.

15. Бабунов, А. Б. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество ярового ячменя Саншайн, а также вынос элементов питания / А. Б. Бабунов, А. Е. Бадин // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 8. – С. 32-34.

16. Технологии возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья / О. И. Горянин, Е. В. Мадякин, Л. В. Пронович [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 9. – С. 42-47.

INFLUENCE OF KEY FACTORS AND SOIL PROCESSES ON BARLEY PRODUCTIVITY IN CROP ROTATIONS ON BLACK SOILS OF THE CIS-URAL REGION

Mitrofanov D.V.

Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences"

Russia, 460000, Orenburg, 9 January st., 29; phone: 8(987)-855-98-95, e-mail: dvm.80@mail.ru

Key words: crop rotation, barley, microorganisms, nitrates, phosphorus, potassium, productivity.

The article shows the results of studying the influence of soil moisture, cellulose-decomposing activity of microorganisms and the amount of nutrients on barley productivity in crop rotations and monocrops in the central zone of Orenburg region. The purpose of the experiment is to identify the effect of moisture, soil cellulolytic activity and macronutrients (nitrates, phosphorus, potassium) on barley productivity increase in crop rotations and in monocrop cultivation. The following research methods were used: field, thermostatic-weight, application-weight, ionometric and Machigin methods. There was a yield increase of barley feed and energy units up to 2.10, 1.63 and 1.24, 0.96 t/ha in the second and fourth variants of the experiment on a fertilized background on average for 2002-2020. The increase of feed unit yield occurs due to productive moisture utilization by the plant during the growing season of 32.3, 32.2 mm, nitrates - 4.20, 1.91 mg, phosphorus - 1.76, 0.50 and potassium - 2.47, 1.01 mg/100 g of soil in case of cellulose- decomposing activity of microorganisms - 7.93 and 10.37%. As far as other variants of the experiment is concerned, the range of soil moisture on nutritional background is from 17.4 to 41.7 mm during sowing and 3.5-10.5 mm during harvesting; the degree of linen decomposition - 4.05-9.37%, the content of digestible nitrates - 0.05-1.11 mg, mobile phosphorus - 0.04-0.29 mg, exchangeable potassium - 0.05-0.95 mg /100 g, feed units - 1.16-1.44 t, energy units - 0.68-0.85 t per 1 ha. As a result of the study, the influence of moisture, activity of microorganisms, nutrients on barley productivity growth was determined as a result of the aftereffects of millet and peas in crop rotations after application of mineral fertilizers at a dose of 40: 80: 40 kg (N: P: K) of the active substance per 1 ha. The yield dependence of barley energy feed units in a crop rotation with millet on the content of used nitrates in the arable soil layer was found.

Bibliography:

1. Skorokhodov, V. Yu. Barley yield in six-field crop rotations on black soils of the southern steppe zone of the Southern Urals / V. Yu. Skorokhodov // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2019. - № 5 (79). - P. 93-97.
2. Barley productivity and its role in combating drought in the steppe zone of the Southern Urals / D.V. Mitrofanov, N.A. Maksyutov, A.A. Zorov [et al.] // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2020. - № 5 (85). - P. 57-61.
3. Cold drought in the steppe Orenburg region and its impact on crop yields / N. A. Maksyutov, A. A. Zorov, V. Yu. Skorokhodov [et al.] // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2021. - № 2 (88). - P. 18-23.
4. QTLs for earliness and yield-forming traits in the Lubuski × CamB barley RIL population under various water regimes / P. Ogradowicz, T. Adamski, K. Mikołajczak [et al.] // J. Appl. Genet. - 2017. - Vol. 58, № 1. - P. 49-65.
5. Barley yield formation under abiotic stress depends on the interplay between flowering time genes and environmental cues / M. Wiegmann, A. Maurer, A. Pham [et al.] // Sci. Rep. - 2019. - Vol. 9. - P. 6397-16.
6. Effect of productive moisture on productivity of crops in arid conditions of Orenburg region / D.V. Mitrofanov, N.A. Maksyutov, V.Yu. Skorokhodov [et al.] // Vestnik of Meat Cattle Breeding. - 2017. - № 4 (100). - P. 225-234.
7. Samuilov, F. D. Influence of morphological traits on yield of spring barley varieties in the conditions of the steppe of Orenburg Cis-Urals / F. D. Samuilov, T. A. Timoshenkova // Vestnik of Kazan State Agrarian University. - 2016. - V. 11, № 3 (41). - P. 47-51.
8. The effect of nitrate nitrogen on barley yield on chernozem of the southern steppe zone of the Southern Urals / V. Yu. Skorokhodov, N. A. Maksyutov, D. V. Mitrofanov [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2021. - Vol. 624. - P. 012202-6.
9. Skorokhodov, V. Yu. Yield of spring barley in conjunction with soil biological activity and the content of nitrate nitrogen on southern black soils in Orenburg Cis-Urals / V. Yu. Skorokhodov // Izvestiya of Orenburg State Agrarian University. - 2020. - № 5 (85). - P. 52-57.
10. Eryashev, A. P. Influence of fertilizers and seeding amount on growth, development and productivity of barley grain // A.P. Eryashev, A. S. Shaposhnikov, P.A. Eryashev // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2016. - № 4 (36). - P. 11-16.
11. Berseneva, Ya. V. Productivity of spring barley varieties on different backgrounds of mineral nutrition in the conditions of the Middle Urals / Ya. V. Berseneva // Grain Economy of Russia. - 2016. - № 3. - P. 47-50.
12. Postnikov, P. A. The impact of forecrops and meteorological conditions on spring barley yield / P. A. Postnikov // Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University. - 2018. - № 4 (139). - P. 48-53.
13. Efficiency of fertilizer application in arid conditions of the Volga region / O. I. Goryanin, S. V. Obushchenko, B. Zh. Dzhangabaev [et al.] // Agriculture. - 2020. - № 8. - P. 29-33.
14. Perfiliev, N. V. Changes of nutritional regime of dark gray forest soil in barley crops under different systems of primary tillage / N. V. Perfiliev, O. A. Viyushina // Agriculture. - 2019. - № 5. - P. 21-34.
15. Babunov, A. B. Effect of mineral fertilizers on yield and quality of Sunshine spring barley, as well as removal of nutrients / A. B. Babunov, A. E. Badin // Achievements of Science and Technology of the AIC. - 2018. - V. 32, № 8. - P. 32-34.
16. Cultivation technology of spring barley in arid conditions of the Volga region / O. I. Goryanin, E. V. Madyakin, L. V. Pronovich [et al.] // Achievements of Science and Technology of the AIC. - 2020. - V. 34, № 9. - P. 42-47.