

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Чухина, к.с.-х.н., Е.И. Куликова, ВГМХА Ю.П. Жуков, д.с.-х.н., РГАУ–МСХА

Представлены результаты исследований по влиянию различных доз удобрений на урожайность зерна ячменя за ротацию севооборота, содержание в зерне ячменя сырого белка, натуральную массу зерна, вынос элементов питания единицей продукции и с урожаем, балансовые коэффициенты и оплату удобрений. Выявлено, что удобрения повысили урожайность, содержание сырого белка в зерне. Расчётные дозы удобрений практически удвоили урожайность по сравнению с контролем, приблизили фактический вынос элементов единицей продукции к плановым, повысили оплату удобрений.

Ключевые слова: ячмень, азотные, фосфорные, калийные удобрения, урожайность, затраты элементов питания.

Обеспечить население страны собственными продуктами питания невозможно без квалифицированного применения всех имеющихся ресурсов в каждом хозяйстве при оптимальных дозах внесения удобрений [2]. Особенно велика роль удобрений в Нечерноземной зоне, где условия благоприятны для роста и развития культур, а почвы бедные. Удобрения обеспечивают получение до 50% и более сельскохозяйственной продукции возделываемых культур [3,6].

Ячмень – одна из важнейших кормовых и технических культур. Основное количество зерна ячменя (около 70%) в нашей стране расходуется на кормовые цели. В зерне имеется полный набор незаменимых аминокислот. Содержание лизина в белке 2,5-2,9%, а в высокобелковых формах ячменя – до 4,9%. В самом ячмене почти в 3,5 раза больше перевариваемого белка, чем в ржаной муке, и больше кормовых единиц, чем в соломе ржи, овса и пшеницы [5]. Использование ячменя как компонента комбикормов способствует увеличению выхода продукции животноводства.

Цель работы – изучить возможности получения плановой урожайности ячменя желаемого химического состава при оптимальной обеспеченности дерново-подзолистой почвы элементами питания.

Методика. Исследования проводили в полевом стационаре на опытном поле Вологодской государственной молочно-хозяйственной академии с 2007 по 2010 гг. (5-я ротация севооборота). Опыт заложен в развёрнутом во времени и пространстве 4-польном севообороте, в четырёхкратной повторности со следующим чередованием культур: викоовсяная смесь, озимая рожь, картофель, ячмень. Размер делянок 140 м² (14 м × 10 м), учетная площадь не менее 36 м², размещение делянок – систематическое.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. Пахотный слой почвы перед закладкой опыта (1990 г.) характеризовался слабокислой реакцией среды (рН_{KCl} 5,1), содержанием подвижного фосфора и обменного калия, соответственно, 266 и 114 мг/кг почвы. Содержание гумуса в пахотном слое 3,28 %, легкогидролизуемого азота – 86 мг/кг почвы. Перед 5-й ротацией севооборота (через 16 лет исследований) пахотный слой почвы характеризовался на контроле среднекислой реакцией среды (рН_{KCl} 4,9), содержанием подвижного фосфора и обменного калия, соответственно, 152 и 72 мг/кг почвы, содержанием гумуса – 2,64%.

Схема опыта: 1-й вариант – контроль (без удобрений), 2-й вариант – N₁₂P₁₆K₁₆, 3-й вариант – N₈₀P₄₀K₆₀, 4-й вариант – N₁₂₀P₄₀K₆₀, 5-й вариант – N₃₀P₁₀K₂₀ + в 1-й год последствия 40 т/га компоста.

Дозу удобрений (кг д.в/га) в удобренном варианте, (3-5 варианты) рассчитывали на планируемую урожайность ячменя 35 ц/га:

$$D = (B_y / K_6) \cdot 100,$$

где B_y – вынос с урожаем элемента в удобренном варианте, кг/га; K₆ – балансовый коэффициент использования элемента из удобрений, %; 100 – коэффициент перевода в %.

Плановые K₆ фосфора и калия на 3-5 вариантах составляли, соответственно, 100 и 150%. В 3-м и 4-м вариантах изучали минеральные системы удобрения, различающиеся по дозе азотных удобрений. Плановый K₆ азота в 3 и 5 вариантах – 120%, в 4-м варианте – 80%. 5-й вариант – органоминеральная система удобрения, эквивалентная по дозе вносимых элементов 3-му варианту минеральной системы.

Высевали высокоурожайный сорт ярового ячменя Выбор, районированный для Вологодской области.

Фосфорно-калийные удобрения в виде двойного суперфосфата и калийной соли вносили вручную под основную обработку, при посеве применяли сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение, а аммиачную селитру – под предпосевную культивацию.

Учет урожайности ячменя осуществляли сплошным методом и приводили к стандартной влажности: зерно – 14%, солома – 16%. Соотношение между товарной и нетоварной частями урожая устанавливали по пробным снопам. Содержание питательных элементов в зерне и соломе после мокрого озоления по К. Гинзбург определяли общепринятыми методами: азот – по Кьельдалю, фосфор – на фотоколориметре, калий – на пламенном фотометре [4].

Большое влияние на рост и развитие ячменя оказывают климатические условия. Климат района – умеренно континентальный. Лето умеренно теплое, зима холодная. Средняя температура самого холодного месяца – января – 10,8...-11,6°C. Средняя температура самого теплого месяца – июля – колеблется от 17°C до 20°C, безморозный период составляет 115-120 дней. Годовое количество осадков 550-630 мм, в том числе за период температур выше 10°C – 260 мм. Средняя высота снежного покрова 50-60 см [1].

Весна 2007 г. была затяжной и холодной. В первой и второй декадах мая стояла холодная погода. Среднемесячная температура третьей декады мая составила 18,8°C, что на 7,2°C выше многолетней. В июле отмечено обилие ливневых дождей. В июле – августе преобладала теплая погода (рис.1, 2).

Весна 2008 г. была ранней, теплой и довольно засушливой. Сумма осадков за май составила всего 12 мм. Среднемесячная температура в мае равнялась 9,3°C. С июня по август преобладала теплая погода. В июле отмечено выпадение большого количества осадков, превысивших в 2 раза среднемноголетнее значение.

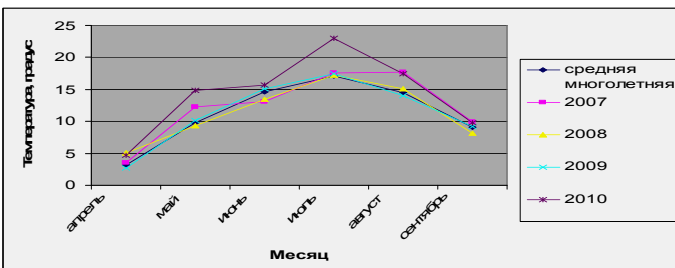


Рис.1. Температура воздуха, °C, в годы исследований по сравнению со среднемноголетним значением

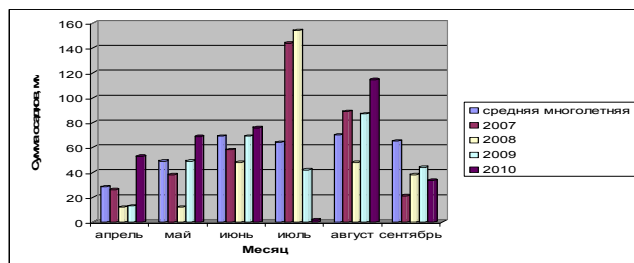


Рис. 2. Сумма осадков, мм, в годы исследований по сравнению со среднемноголетними значениями

Весна 2009 г. была ранней и теплой. С июня по август преобладала теплая погода. В летний период отмечено выпадение количества осадков, близкое среднемноголетнему значению.

Весна 2010 г. была теплой, с большим количеством осадков, превышающих среднемноголетнее значение. Начиная с первой декады апреля, температура превышала среднее многолетнюю в 2 раза. Во второй и третьей декадах июня наблюдались аномальные погодные условия: жаркая погода с высокими температурами 30-35°C. В июле среднесуточная температура достигла 37°C, осадков выпало всего 1,3 мм. В критические периоды роста и развития растений ячменя сложились неблагоприятные условия, поэтому урожайность была низкой.

В 2007, 2008, 2009 гг. погодные условия в период вегетации растений, в основном, соответствовали среднемноголетним значениям. В 2010 г. лето было сухим и жарким (ГТК = 0,8), поэтому из-за дефицита влаги и аномальной жары плановый уровень урожайности ячменя не был получен.

Результаты и их обсуждение. Урожайность культуры – основной показатель, характеризующий результативность мероприятий по ее возделыванию. Она зависит от многих факторов, однако решающая роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и увеличении производства продукции растениеводства принадлежит удобрениям.

На урожайность ячменя влияли природно-климатические условия и удобрения (табл. 1). В 2008 г. применение удобрений существенно повысило урожайность зерна ячменя, а в 2007, 2009, 2010 гг. – только расчетные дозы удобрения. В годы исследований эквивалентные по дозам внесения минеральная и органоминеральная системы удобрения (3 и 5 вар.) не различались по влиянию на урожайность зерна ячменя. В 2007, 2009, 2010 гг. расчетные системы удобрения так же не различались по влиянию на урожайность зерна ячменя.

В 2008 г. существенную прибавку зерна культуры по сравнению с другими расчетными системами удобрения обеспечила минеральная система с максимальной дозой азота.

В 2010 г. из-за стрессовых погодных условий урожайность зерна ячменя была ниже в 1,8-3,8 раза, чем в предыдущие годы исследований, наибольшая урожайность получена при применении органоминеральной системы удобрения (5 вар.).

В среднем за четыре года исследований прибавка урожайности зерна ячменя при применении удобрений составила 0,3-1,8 т/га. Применение расчетной системы удобрения $N_{120}P_{40}K_{60}$ (4 вар.) значительно повысило урожайность ячменя по сравнению с контролем (1 вар.) и минимальной дозой удобрения (2 вар.), соответственно, на 1,81 и 1,48 т/га.

1. Урожайность зерна ячменя при применении различных доз удобрений, т/га

Вариант опыта	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Средняя
1. Контроль (без удобрений)	2,58	2,02	1,76	0,95	1,83
2. $N_{12}P_{16}K_{16}$	2,84	2,58	2,13	1,08	2,16
3. $N_{80}P_{40}K_{60}$	4,66	3,54	3,60	1,26	3,26
4. $N_{120}P_{40}K_{60}$	5,02	4,46	3,83	1,27	3,64
5. $N_{30}P_{10}K_{20}$ + последствие 40 т/га торфонавозного компоста	4,48	3,60	3,74	1,35	3,29
НСР ₀₅	0,63	0,37	0,72	0,22	

Баланс азота в 4-м варианте практически оказался близким к нулевому в результате потерь этого элемента из удобрений и почвы под влиянием вымывания нитратов вниз по профилю почвы и процессов денитрификации во время избыточного выпадения осадков в исследуемый период. Это, вероятно, и оказалось главной причиной повышения урожайности ячменя в этом варианте по сравнению с 3- и 5-м вариантами, где баланс азота, видимо, по указанным причинам был не нулевым, а отрицательным.

Минеральная и органоминеральная системы, эквивалентные по дозам удобрений, по урожайности ячменя в годы исследований практически не различались.

Важный показатель качества урожая – содержание сырого белка, азота, фосфора и калия. Сырой белок определяют по общему содержанию азота, умноженному на коэффициент перевода в белках. По ячменю он равен 6,25.

Содержание сырого протеина в зерне ячменя во все годы исследований и в среднем за ротацию севооборота возрастало с увеличением изучаемых доз вносимых удобрений, причём расчётные системы удобрения в среднем за четыре года обеспечили возрастание содержания сырого протеина на 1,0-1,6% по сравнению с контролем (табл. 2.).

2. Сбор и содержание сырого протеина в зерне ячменя

Вариант опыта	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Среднее
1	10,1/0,22	11,2/0,19	12,4/0,19	13,4/0,11	11,8/0,18
2	11,2/0,27	11,5/0,25	12,0/0,22	14,1/0,13	12,2/0,22
3	12,5/0,50	12,0/0,36	12,9/0,40	14,9/0,16	13,1/0,36
4	13,0/0,56	12,2/0,47	13,1/0,43	15,4/0,17	13,4/0,41
5	13,1/0,50	12,4/0,38	11,9/0,38	14,5/0,17	12,8/0,35

Примечание. В числителе – содержание сырого протеина, % на абсолютно сухую массу, в знаменателе – сбор сырого протеина с урожаем зерна ячменя, т/га.

Наибольшее содержание сырого протеина составило 13,4% при применении $N_{120}P_{40}K_{60}$.

Сбор сырого протеина возрастал с увеличением дозы азотного удобрения, причём расчётные системы удобрения мало различались по данному показателю.

В среднем за ротацию севооборота наибольший сбор сырого протеина составил 0,41 т/га при применении минеральной системы удобрения с максимальной дозой азотного удобрения, что мало отличалось от других расчётных систем удобрения и превысило контроль на 0,23 т/га. Сбор сырого протеина с урожаем зерна ячменя возрастал при применении удобрений; минеральная и органоминеральная системы удобрения, эквивалентные по дозам, не различались и увеличивали его на 0,17 т/га по сравнению с контролем.

Натура зерна ячменя мало изменялась по годам исследований и фактически наблюдалась лишь тенденция к уменьшению её при применении удобрений. По годам исследований натура зерна ячменя менялась от 452 до 502 г/л (табл. 3).

Затраты элементов питания на единицу продукции – важный показатель рационального применения удобрений. Плановые затраты элементов при расчёте доз удобрений в 3-5 вариантах принимались равными (кг/т): N – 27, P_2O_5 – 11, K_2O – 24.

3. Натура зерна ячменя при применении различных доз удобрений, г/л

Вариант опыта	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Средняя
1	464	481	484	498	483
2	472	484	474	502	483
3	466	478	466	482	473
4	452	469	473	489	471
5	458	473	478	486	474
НСР ₀₅	-	18	31	-	

В среднем за годы исследований удобрения повышали затраты азота на создание 1 т зерна ячменя с учётом побочной продукции – на 2-7 кг, фосфора и калия – незначительно (табл. 4).

4. Затраты элементов питания на создание 1 т зерна ячменя с учётом соломы при применении различных доз удобрений (в среднем за 2007-2010 гг.), кг

Вариант опыта	Азот	Фосфор	Калий
1	24	7,5	20
2	26	7,7	20
3	29	7,7	20
4	31	7,9	21
5	29	8,1	21

Применение испытывавшихся расчётных доз удобрений ежегодно повышало затраты азота на создание 1 т зерна по сравнению с контролем на 5-7 кг, фосфора и калия – незначительно.

В среднем за годы исследований максимальное количество азота на ячмене расходовалось при применении расчётных систем удобрения, при этом фактические значения превысили плановый уровень на 2-4 кг/т. Затраты фосфора на 1 т зерна ячменя с соответствующим количеством соломы были ниже планового уровня на 2-3 кг, затраты калия – на 3-4 кг.

Вынос элементов питания с урожаем культуры возрастал при применении удобрений. В среднем за ротацию севооборота вынос фосфора с урожаем при использовании расчётных систем удобрения не различался. Вынос азота и калия незначительно возрастал при применении максимальной дозы азота, рассчитанной на положительный баланс по азоту (4 вар.) (табл.5).

5. Вынос элементов питания и балансовые коэффициенты использования их ячменём в среднем за ротацию (2007-2010 гг.)

Питание растений в среднем по вариантам (2001-2010 гг.)			
Вариант опыта	Вынос элементов питания культурами, кг/га	Балансовые коэффициенты использования элементов, %	
		плановые	фактические
Азот			
1	49	—	-
2	54	—	450
3	95	120	119
4	102	80	85
5	93	120	116
Фосфор			
1	15	-	—
2	16	-	100
3	25	100	62
4	26	100	65
5	25	100	62
Калий			
1	40	-	—
2	43	-	269
3	69	150	115
4	72	150	120
5	70	150	117

Расчётные системы удобрения увеличивали вынос азота в 1,9-2,1 раза, фосфора – в 1,7 и калия в 1,7-1,8 раза.

Для определения количества использованных элементов питания из удобрений и почвы и влияния расчётных доз удобрений на почвенное плодородие рассчитывали фактические балансовые коэффициенты (K_b).

В среднем за ротацию севооборота фактические K_b отличались от плановых по азоту на 1-5%, что в пределах ошибки опыта. Фактические балансовые коэффициенты были ниже плановых по фосфору и калию, соответственно, на 35-38 и 30-35%. Можно предположить, что вынос калия не восполняется внесенными минеральными удобрениями полностью – идет обеднение почвы этим элементом (как и планировалось).

По нормативам в среднем в Северо-Западной части Нечерноземной зоны страны 1 кг питательных веществ удобрений должен окупаться прибавкой урожайности зерна ячменя 4,4 кг.

Расчётные системы удобрения значительно – на 2,4-2,8 кг – повысили оплату удобрений по сравнению с минимальной дозой удобрения на ячмене (рис. 3).

Органоминеральная и эквивалентная минеральная системы удобрения по оплате удобрений на ячмене не различались.

Наибольшая окупаемость удобрений была получена при внесении удобрений в дозе 180 кг д.в./га и составила 8 кг зерна ячменя на 1 кг д.в. удобрений.



Рис. 3. Оплата 1 кг д.в. удобрения прибавкой урожайности зерна ячменя (в среднем за 2007-2010 гг.)

Увеличение доз удобрений со 180 до 220 кг д.в./га незначительно снижало окупаемость удобрений – на 0,4 кг. Фактическая оплата удобрений на ячмене превысила нормативную в 1,7-1,8 раз.

Выводы 1. Удобрения на среднекультуренной дерново-подзолистой почве за 4 года исследований повысили урожайность ячменя в среднем на 0,3-1,8 т/га. Расчётные с помощью плановых балансовых коэффициентов дозы удобрений практически удвоили урожайность по сравнению с контролем, достигнув 3,3-3,6 т/га, что было близко плановому уровню урожайности в 3,5 т/га. Максимальную урожайность (3,64 т/га) ячменя обеспечила расчётная доза минеральных удобрений при следующих балансовых коэффициентах использования элементов: N – 80, P₂O₅ – 120, K₂O – 150%.

2. Удобрения в среднем за 4 года повысили по сравнению с контролем содержание сырого белка в зерне на 1,0-1,6%. Натура зерна ячменя мало менялась по годам исследований и фактически наблюдалась тенденция к уменьшению её при применении удобрений. В среднем за 4 года исследований натура зерна ячменя составила 471-483 г/л.

3. Расчётные дозы удобрений в среднем за 4 года приблизили фактические затраты элементов на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы к плановым, что свидетельствует о получении качества продукции, довольно близкого к планируемому.

4. Расчётные системы удобрения увеличивали вынос азота урожаем ячменя в 1,9-2,1 раза, фосфора – в 1,7 и калия в 1,7-1,8 раз.

В среднем за ротацию севооборота фактические K_b отличались от плановых по азоту на 1-5%, что в пределах ошибки опыта. Фактические балансовые коэффициенты по фосфору и калию соответствовали 62 и 115-120%.

5. Расчётные системы удобрения значительно – на 2,4-2,8 кг – повысили оплату удобрений по сравнению с минимальной дозой удобрения на ячмене. Органоминеральная и эквивалентная минеральная системы удобрения по оплате удобрений на ячмене не различались. Наибольшая окупаемость удобрений была получена при внесении удобрений в дозе 180 кг д.в./га и составила 8 кг зерна ячменя на 1 кг д.в. удобрений.

Литература

1. *Агроклиматический справочник по Вологодской области.* – Вологда: Вологодское книжное издание, 1976. – С. 18-24.
2. Жуков Ю.П. Агроэкологические аспекты комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне/ Проблемы агроэкологического мониторинга в ландшафтном земледелии. – М.: ВИУА, 1994. – С. 21-24.
3. Жуков Ю.П. Система удобрения в хозяйствах Нечерноземья. – М.: Московский рабочий, 1983. – 145 с.
4. *Практикум по агрохимии* / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
5. *Растениеводство* / Под ред. Г.С. Посыпанова. – М.: КолосС, 2006. – 612 с.
6. Чухина О.В. Продуктивность культур и обеспеченность дерново-подзолистой почвы питательными элементами при расчётных дозах удобрения в севообороте// Автореф. дисс. на соискание учёной степени к. с.-х. н. – М.: ИЦ ВГМХА, 1999. – 21 с.

O.V. Chukhina¹, E.I. Kulikova¹, Yu.P. Zhukov²

¹Vologda State Dairy Academy, ul. Shmidta 2, Molochnoe, Vologda oblast, 160555 Russia

*²Russian State Agricultural University – Moscow Agricultural Academy, Russian Academy of Sciences,
ul. Timiryazeva 49, Moscow, 127550 Russia*

The effect of different fertilizer rates on the yield of barley grain during a crop rotation cycle, the content of raw protein in barley grain, the grain unit, the removal of nutrients by crop, balance coefficients, and fertilizer return was studied. It was found that fertilizers increased the yield of crop and the content of raw protein in grain. The calculated application rates of fertilizers almost doubled the crop yield compared to the control, approached the actual removal of nutrients by crop unit to the planned level, and increased the return of fertilizers.

Keywords: barley; nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers; crop yield; nutrient consumption.