

ПОЧВЕННАЯ И ЛИСТОВАЯ ДИАГНОСТИКА СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАЗНЫХ СОРТОВ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОТИПОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ (*Hordeum vulgare* L.)

© 2024 г. Т. Г. Голова^{1*}, Л. А. Ершова¹, С. А. Кузьменко¹

¹Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева

397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, квартал 5, 81, Россия

*E-mail: niish1c@mail.ru

Исследовали возможность более раннего и точного прогноза накопления белка в зерне разных сортов ярового ячменя степного и западно-европейского экотипов. Опыты провели в центральной части Воронежской обл. в НИИСХ ЦЧП “Каменная степь” в 2019–2021 гг. В основном положительная и высокая корреляция выявлена между содержанием азота в почве и элементами продуктивности, что позволило судить о важности минерального питания для формирования зерновой продуктивности ячменя. В посевах сортов ячменя без применения удобрений во всех фазах развития растений продукционный процесс в зависимости от содержания азота в почве был интенсивнее, чем в вариантах с применением удобрений. С применением удобрений напряженность продукционного процесса снижалась на 5.5% в кушение и на 25.0% – в фазе колошения. Отмечена довольно тесная положительная корреляция показателей длины стебля ($r = 0.66–0.68$), продуктивного стеблестоя ($r = 0.52–0.59$) и урожайности ($r = 0.78–0.79$) с содержанием в почве азота от фазы кушения и до молочной спелости как в удобренных, так и в удобренных вариантах. Выявлена положительная корреляция содержания азота в листьях с массой 1000 зерен: $r = 0.60, 0.50–0.70$ соответственно в вариантах опыта. В обеспеченном влагой 2021 г. показатель содержания азота в листьях в удобренном варианте составил 30.8% у степных образцов и 11.8% – у западных по сравнению с контролем. Эффективность удобрений в условиях засушливого 2019 г. была снижена до 7.1–8.1%. В среднем по годам при анализе показателей листовой диагностики, эффективность применения удобрений у степных сортов составляла в фазах кушения, колошения, молочной спелости 20.3, 21.1 и 8.9%, у западных сортов была значительно меньше – 10.4, 11.4 и 6.1%. Максимальный эффект от применения удобрений для показателя массы зерна с 1 м² был получен в засушливом 2019 г.: 27.0 и 34.7% соответственно в зависимости от группы сортов (степной и западной). Показатели содержания в зерне белка и его стекловидности степных сортов достоверно превышали показатели западных сортов по годам и вариантам опыта. Показано, что применение минеральных удобрений в дозе N60P60K60 при посеве в засушливых условиях было эффективным для возделывания ячменя. Этот прием повышал урожайность, массу 1000 зерен за счет высокого накопления азота в листьях к концу вегетации, что в дальнейшем способствовало повышенному накоплению белка в зерне и его стекловидности, особенно у сортов степного происхождения.

Ключевые слова: почва, азот, сорта ячменя, различные экотипы, содержание азота в листьях, белок в зерне, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188124100072, **EDN:** ANOENG

ВВЕДЕНИЕ

В практике агрохимической службы для диагностики обеспеченности растений минеральными элементами питания используются две группы методов – растительная и почвенная диагностика. Наибольшие трудности для диагностики представляет оценка обеспеченности растений доступным азотом, т.к. особенности круговорота этого элемента в почве сложны и не позволяют в полной мере определить количество доступного азота для растений. Растительная

диагностика, основанная на определении содержания общего азота, обычно дает более стабильные и надежные результаты [1]. В основном опытным путем устанавливают связь между содержанием азота в почве в фазах развития растений и их отзывчивостью на применение азотных удобрений. Наиболее объективный показатель обеспеченности растений доступными элементами питания – это содержание их в листьях или других органах растений.

Улучшение обеспеченности черноземных почв минеральными элементами приводит к существенному

дифференцированному росту продуктивности сельскохозяйственных культур [2, 3]. По мере увеличения обеспеченности почв азотом роль минеральных удобрений заметно снижается [4]. Существует генетически обусловленная реакция сортов на условия произрастания, уровни минерального питания, гидротермические условия. Отмечают изменения качественного состава зерна, продуктивности ярового ячменя при изменении абиотических и ключевых факторов внешней среды [5, 6]. Для получения высоких и стабильных урожаев современные сорта должны отличаться высокой устойчивостью к неблагоприятным климатическим факторам и отзывчивостью на технологические приемы [7–9]. При этом рядом исследователей ставится вопрос о повышении способности растений использовать элементы питания из подпахотных горизонтов почвы [10].

Известно, что динамика содержания азота, фосфора и калия в растениях зерновых культур зернопарового севооборота в течение вегетации показывает снижение этих показателей от фазы кушения к фазе цветения. По данным [11] также показано, что наиболее высокая концентрация элементов питания характерна для начала вегетации растений. В фазе колошения у ячменя независимо от фона удобрения отмечено снижение содержания элементов минерального питания в вегетативной массе: азота – на 29, фосфора – на 21 и калия – на 38%. Темпы и характер накопления азота в вегетативной массе ячменя имеют свои особенности: увеличение концентрации азота идет более быстрыми темпами по сравнению с ростом биомассы, в период формирования элементов продуктивности содержание азота снижается за счет оттока в репродуктивные органы. Ряд исследователей отмечали, что между концентрацией азота в листьях ярового ячменя в фазе трубкования и урожаем зерна существует тесная связь [12, 13].

В каждом конкретном исследовании формирования урожайности и качества зерна необходимо учитывать гидротермические условия вегетации в фазах развития растений ячменя. Известно, что одним из основных факторов, влияющих на формирование их величины и вариабельности по годам, являются, наряду с уровнем минерального питания, и гидротермические условия периода вегетации [14]. Отмечено, что максимально тесно с гидротермическими условиями, складывающимися в вегетативный (посев–колошение) и генеративный (колошение–спелость) периоды, связаны также показатели качества зерна [15]. В условиях Каменной степи особенно остро недостаток влаги, по многолетним наблюдениям, ощущается в генеративной фазе развития растений. Снижение увлажненности почвенного профиля приводит к уменьшению активности почвенной микрофлоры, особенно бактерий, отвечающих за азотный фонд почвы. Резко уменьшается количество нитрифицирующих бактерий, вследствие чего

существенно снижается обеспеченность черноземов нитратной формой азота [16].

В данном исследовании применили элементы почвенной и растительной диагностики, основанной на количественном содержании азота в почве и листьях в процессе онтогенеза, от которого зависит величина последующего накопления в зерновке белковых веществ и продуктивность сортов ярового ячменя. Цель работы – поиск возможности более раннего и точного прогноза накопления белка в зерне разных сортов ярового ячменя степного и западно-европейского происхождения с учетом того, что западно-европейские сорта, как правило, характеризуются высокими пивоваренными показателями, а степные – повышенными кормовыми достоинствами. Основным критерием, определяющим направление использования зерна ячменя (пивоваренное или кормовое), является соответственно низкое (10.0–12.0%) или высокое (>12.0%) содержание в зерне белка.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение сортов проведено в центральной части Воронежской обл. (НИИСХ ЦЧП, Каменная степь) в 2019–2021 гг. Почва селекционного севооборота представлена черноземом миграционно-мицелярным (типичным) среднемощным среднегумусным. Содержание гумуса 6.4–6.8%, реакция среды нейтральная (pH_{KCl} в пределах 6.5–6.8 ед.), гидролитическая кислотность $H_T = 1.2–1.5$ ммоль экв/100 г. Содержание общих форм азота – 0.31, фосфора – 0.118 и калия – 1.73%. Изучали 2 группы сортов – степного и западно-европейского происхождения. Сорта ячменя выращивали после предшественника горох на зерно в вариантах без удобрений и с применением сложного удобрения N60P60K60 при посеве (нитрофоска : NPK = 16 : 16 : 16). Удобрения вносили совместно с посевом семян путем предварительного смешивания на делянки площадью 2 м². Посев производили селекционной сеялкой СУ-10, учетная площадь – 1 м² в четырехкратной повторности. Анализ почвы и листьев растений на содержание азота производили в фазах кушения, колошения и молочной спелости.

Метеорологические условия проведения опытов были разнообразными, но температурный фактор в межфазные периоды колошение–спелость однозначно менялся в сторону повышения по сравнению со среднемноголетними данными. За периоды вегетации 2019–2021 гг. превышение среднедекадных температур над многолетними показателями составило от 8.3 до 16.6% (табл. 1).

Количество осадков за период наблюдений было недостаточным в 2019 г. и составило 80.8% от среднемноголетней нормы, превышение этой величины

Таблица 1. Метеоусловия за период проведения опыта (2019–2021 гг.)

Год, показатель	Апрель		Всходы— колошение		Колошение— спелость		За весь период вегетации	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Сумма среднедекадных температур								
2019	130.8	0.60	118.8	0.57	106.1	0.84	111.8	0.71
2020	93.0	2.31	97.3	1.41	117.3	0.73	108.3	0.90
2021	120.7	0.99	79.9	1.63	125.6	0.74	116.6	0.94
Средне- многолетний, °С	22.7	1.49	62.3	1.00	77.0	0.98		0.99
Количество выпавших осадков								
2019	53.2		67.8		91.5		80.8	
2020	146.5		111.0		88.0		98.4	
2021	80.0		130.4		95.9		111.5	
Средне- многолетний, мм	34.0		62.5		75.6			

Примечание. В графе 1 – % от среднемноголетнего (2001–2021 гг.), 2 – ГТК (гидротермический коэффициент по Селянину, 1987 г.).

на 11.5% отмечено в 2021 г. Период колошение—спелость был жарким и сухим во все годы: ГТК составил от 0.73 до 0.84. В целом следует охарактеризовать 2019 г. как сухой с повышенными температурами в течение всего периода вегетации. В 2020–2021 гг. до колошения складывались оптимальные условия для развития ячменя при комфортных температурах и повышенной влагообеспеченности. В 2021 г. обильные ливни спровоцировали полегание посевов ячменя, однако дальнейший период до спелости в оба года сложился максимально жестко: ГТК составил 0.73 и 0.74 соответственно. Таким образом, метеоусловия вегетационных периодов развития ячменя за 2019–2021 гг. были разнообразными в условиях центральной части Воронежской обл.

Полученные данные обработаны методами математической статистики. Определение доступного азота проводили в верхнем пахотном слое 0–20 см почвы, где располагалась основная масса вторичных узловых корней, посредством которых происходило потребление внесенных под посев минеральных элементов. Метод определения нитратного азота в почве – сульфифеноловый со спектрофотометрическим окончанием, содержание общего азота (% к сухому веществу) в листьях и зерне определяли по Кьельдалю (ГОСТ 34789–2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По годам содержание нитратного азота в пахотном горизонте почвы как в удобренном варианте, так и без внесения удобрений варьировало в значительной степени. Наиболее низкие показатели отмечены в условиях недостаточного увлажнения в кушение и молочную спелость в 2019 г.: гидротермический

коэффициент составлял в периоды вегетации от 0.57 до 0.84, поэтому переход питательных веществ из сухой почвы в растения был затруднен, однако в начале вегетации ячменя сильно кустящиеся западные формы смогли вынести больше азота. Общее содержание этого элемента в почве под западными сортами в среднем по годам было меньше, чем под степными: 9.6–9.7 против 11.1–13.4 мг/кг почвы (табл. 2).

В условиях достаточно увлажненных периодов начала вегетации в 2020 и 2021 годах при активизации процессов нитрификации отмечалось более высокое содержание азота под сортами ячменя. Избыточное увлажнение почвы в апреле 2020 года и последующий оптимальный температурный режим позволили растениям продлить интенсивный вынос питательных веществ до колошения. К этой фазе под растениями отмечалось минимальное количество азота: 7.8–9.1 мг/кг под степными сортами и 8.4–9.6 мг/кг под западными. Достаточное увлажнение почвы в 2021 году, но пониженные температуры воздуха до фазы колошения снизили потребление азота по сравнению с 2020 годом.

Более наглядно на рис. 1 показана динамика содержания нитратного азота в почве в периоды онтогенеза в разные по влагообеспеченности и температурному фону годы.

Различия в особенностях обеспеченности нитратным азотом пахотного слоя под разными экотипами ярового ячменя имели свои закономерности. В среднем за годы опыта наблюдали более высокое содержание нитратного азота в почве под сортами степного происхождения: от 11.7 до 16.6 мг/кг почвы. Использование элементов питания из верхних слоев почвы у них было меньше, чем у интенсивных сортов

Таблица 2. Динамика содержания нитратного азота в почве (мг/кг) в фазах вегетации ячменя, 2019–2021 гг.

Год	Группа сорт	Кущение		Колошение		Молочная спелость		Суммарное содержание		Прибавка, % к контролю
		1	2	1	2	1	2	1	2	
2019	Степная	11.1	13.4	10.1	10.7	9.1	12.6	30.3	36.7	21.1
2020		17.3	18.8	7.8	9.1	12.5	14.1	37.6	42.0	11.7
2021		13.0	18.9	17.2	19.8	14.4	22.7	44.6	61.4	37.7
Среднее		13.8	17.0	11.7	13.2	12.0	16.6	37.5	46.7	24.5
Прибавка, %			23.1		12.8		38.3		24.5	
2019	Западная	9.6	9.7	10.4	11.0	8.3	12.2	23.3	32.9	41.2
2020		13.9	17.1	8.4	9.6	10.5	12.7	32.8	39.4	20.1
2021		14.8	18.9	16.1	17.5	16.4	16.9	47.3	53.3	12.7
Среднее		12.8	15.2	11.6	12.7	11.7	13.9	34.5	41.9	21.4
Прибавка, %			18.8		9.5		18.8		21.4	
<i>HCP</i> ₀₅										
2019		1.4	0.8	1.5	2.0	1.9	1.1	4.8	3.9	
2020		1.6	1.8	0.7	1.6	1.7	1.8	4.0	5.2	
2021		0.9	1.2	0.9	1.7	1.0	2.0	2.8	4.9	

Примечание. В графе 1 – вариант без удобрений, 2 – вариант NPK. То же в табл. 3, 5.

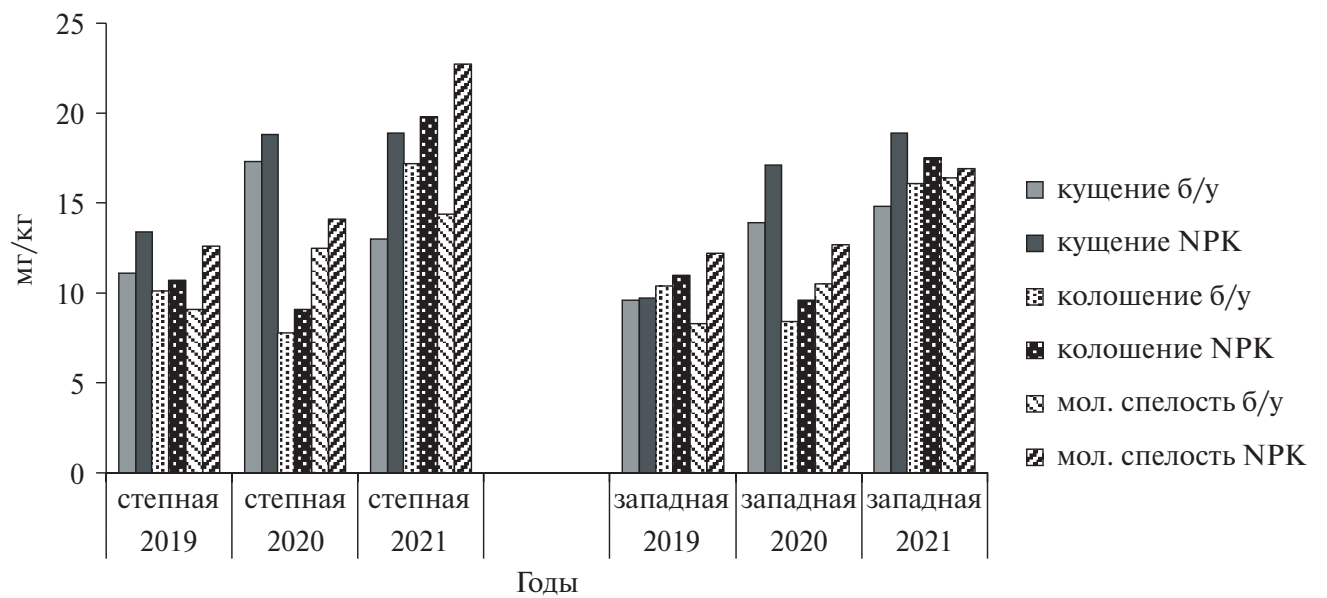


Рис. 1. Содержание азота в почве в периоды вегетации растений ярового ячменя, мг/кг.

западно-европейского происхождения. Если под сортами степного типа при внесении удобрений нитратного азота в фазах развития содержалось больше на 12.8–38.3%, то в почве под западными сортами – на 9.5–18.8%, чем в вариантах без применения удобрений. Растения ячменя степного происхождения развиваются и формируют вегетативную массу в более жестких по влагообеспеченности агроклиматических

условиях. Поэтому в силу своих биологических особенностей этот экотип имеет, как правило, более мощную и развитую первичную корневую систему и способен получать жизненно важные элементы из более глубоких почвенных горизонтов. Следует отметить, что более скороспелые степные формы к фазе молочной спелости, особенно на удобренном фоне, раньше сокращали потребление азота, чем более

позднеспелые западно-европейские сорта: у них среднее содержание азота было равно 16.6 и 13.9 мг/кг соответственно. Корневая система в верхних слоях почвы у степных форм отмирала раньше.

Ячмень западно-европейской экологической группы, наоборот, приспособлен к произрастанию и формированию биомассы в условиях с достаточным количеством почвенной влаги. Его мощная вторичная корневая система способна к поглощению и потреблению необходимых элементов из поверхностных (пахотных) слоев почвы более интенсивно и продолжительное время.

В целом за период вегетации в засушливом 2019 г. в почве под степными сортами в вариантах с применением удобрений прибавка содержания нитратного азота была почти в 2 раза меньше, чем под западными сортами: 21.1% против 41.2% соответственно. Это означает, что вынос азота у этих форм был больше. Вероятно, при использовании удобрений возможность усваивать нитратный азот в условиях засухи у степных сортов была больше, что свидетельствовало о более высокой поглотительной способности корневой системы. В условиях высокой влагообеспеченности (2021 г.) в вариантах с применением удобрений вынос азота из почвы был значительно больше у западных форм т.е. западные сорта значительно интенсивнее поглощали азот из верхних слоев почвы при оптимальном увлажнении.

Наиболее объективный показатель обеспеченности растений доступными элементами питания — это их содержание в листьях или других органах растений.

Данные нашего опыта подтвердили выводы других исследований о максимальном содержании азота в листьях ячменя разных групп сортов в фазе кушения, с последующим его снижением к колошению в вариантах без применения удобрений на 37.6 и 38.3%, к молочной спелости — на 59.9 и 65.6% соответственно (табл. 3).

В вариантах с применением N60P60K60 к периоду колошения снижение содержания азота было равнозначным (37.2–37.7%) в обеих группах сортов, к концу вегетации оно увеличивалось до 64.0 и 67.0% соответственно группе сортов.

Интерпретируя средние показатели содержания азота в листьях сортов ячменя различного происхождения, следует отметить, что без применения удобрений западно-европейские сорта накапливали больше азота, особенно в фазе кушения: 3.84 против 3.64% у степных сортов. К концу вегетации в молочной спелости в среднем содержание этого элемента у степных форм было больше (1.46 против 1.32% у западных форм), снижение произошло на 35.7 и 44.3% соответственно. В вариантах с применением удобрений, начиная с кушения и далее в фазах развития, содержание азота в листьях степных сортов относительно западных становилось больше на 0.14–0.19%. Еще более наглядной была разница в пользу степных сортов в вариантах с применением удобрений по показателю прибавки накопления азота по сравнению с неудобренным фоном. Если у степных сортов эффективность применения удобрений, по данным листовой диагностики, составляла в фазах

Таблица 3. Динамика содержания азота в листьях (%) в фазах онтогенеза (2019–2021 гг.)

Год	Группа	Кушение		Колошение		Молочная спелость		Среднее		Прибавка, %
		1	2	1	2	1	2	1	2	
2019	Степная	3.44	4.30	2.6	2.54	1.74	1.55	2.59	2.80	8.1
2020		3.75	4.45*	2.24	2.72	1.51	1.69	2.50	2.95	18.0
2021		3.74	4.39*	1.96	2.99*	1.12	1.53*	2.27	2.97*	30.8
Среднее		3.64	4.38	2.27	2.75	1.46	1.59*	2.43	2.91	19.8
Прибавка, %			20.3		21.1		8.9		19.8	
2019	Западная	3.74*	4.38	2.74*	2.70*	1.59	1.56	2.69	2.88	7.1
2020		3.87	4.20	2.36	2.63	1.46	1.71	2.56	2.85	11.3
2021		3.92*	4.15	2.01	2.58	0.91	0.93	2.28	2.55	11.8
Среднее		3.84*	4.24	2.37	2.64	1.32	1.40	2.51	2.76	10.0
Прибавка, %			10.4		11.4		6.1		10.0	
<i>HCP</i> ₀₅		0,16	0.23	0.14	0.19	0.17	0.19	0.16	0.20	

*Достоверно на 0.05%-ном уровне значимости.

кушения, колошения, молочной спелости 20.3, 21.1 и 8.9%, то у западных сортов она была значительно меньше: 10.4, 11.4 и 6.1% соответственно.

Таким образом, в вариантах без использования удобрений, несмотря на то что западные сорта поглощали больше питательных веществ из пахотного горизонта почвы и накапливали больше азота в листьях по сравнению со степными сортами, к периоду молочной спелости эти показатели снижались более резко. В целом эффективность удобрений для накопления азота в листьях была меньше в условиях засушливого 2019 г. — 7.1–8.1% у обеих групп сортов. Более высокие показатели содержания азота в листьях у западных сортов в засушливых условиях 2019 г. в периоды кушения и колошения могут быть объяснены более поздним наступлением соответствующих фаз. Степные сорта в обеспеченном влагой 2021 г. в вариантах с применением удобрений уже с ранних фаз развития имели преимущество в накоплении азота в листьях (30.8%), в итоге превышая западную группу (только 11.8%).

Анализ корреляционных связей, представленных в табл. 4, позволил косвенно подтвердить данные лабораторных анализов содержания азота в почве и листьях. В варианте без применения удобрений довольно значимые отрицательные (от средней до сильной степени) связи содержания азота в почве и листьях усиливались к фазам колошения и молочной спелости до $r = -0.67$ и -0.75 . Это свидетельствовало о том, что чем больше накапливалось азота в листьях, тем меньше оставалось под растениями в почве. Высокие коэффициенты корреляции свидетельствовали о значительной взаимосвязи выноса элемента и условий минерального питания для роста и развития растений. В варианте с применением удобрений слабая положительная взаимосвязь ($r = 0.33$ – 0.44) в фазе колошения содержания азота в листьях с содержанием его во всех фазах онтогенеза в почве свидетельствовала о снижении напряженности между влиянием этих 2-х факторов.

Анализируя данные продуктивности и качества зерна, представленные в табл. 5, отметили более высокий урожай (массу зерна/м²) и продуктивный

стеблестой, полученные в условиях достаточного увлажнения 2021 г.

Показатель массы 1000 зерен в этом году был минимальным, чему способствовало значительное полегание посевов. Показатель массы зерна с 1 м² у степных сортов в среднем по годам превышал незначительно западные сорта, достоверное превышение отмечено в 2020 г. в варианте без применения удобрений: в среднем 434 против 313 г/м² (у западных сортов). Максимальный эффект от применения удобрений был получен в засушливом 2019 г.: 27.0 и 34.7% соответственно для группы сортов — степной и западной. Отмечено незначительное превышение показателя продуктивного стеблестоя у западных сортов по сравнению со степными: 740 и 725 шт./м² — в варианте без удобрений и 837 и 820 шт./м² — при применении N60P60K60. Эффективность внесенных удобрений по этому показателю составила в среднем 13.1% у обеих групп сортов.

Показатели содержания в зерне белка и его стекловидность у степных сортов однозначно и достоверно превышали показатели западных сортов по годам. Исключением был засушливый 2019 г., когда высокое содержание белка (13.0%) отмечали у обеих групп сортов. Повышение содержания белка в удобренном варианте по сравнению с неудобренным у степных сортов составило 6.7, у западных — 5.3%. Более значительные различия между группами сортов получены по показателю стекловидности зерна. Стекловидность была достоверно больше у степных сортов за все годы изучения: на фоне без удобрений — на 20.1–35.5%, с применением удобрений — на 13.2–29.7%. В вариантах с использованием удобрений показатель снижался у обеих групп сортов; более интенсивно это происходило у западно-европейских (на 21.2%), чем у степных (на 15.1%). Показатель массы 1000 зерен был максимальным в 2020 г., когда перед посевом и далее до колошения выпало достаточное количество осадков: 48.7–48.2 г — у степных сортов, 47.3–46.1 г — у западных. Минимальная масса 1000 зерен в опыте (37.1–37.9 и 38.2–37.6 г соответственно группам) отмечена в условиях хорошей влагообеспеченности 2021 г., но ливневые дожди в период молочной спелости спровоцировали сильное

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между показателями содержания азота в почве и листьях (2019–2021 гг.)

в листьях в фазах	Содержание азота					
	в почве в фазах			в почве в фазах		
	кушения	коло- шения	молочной спелости	кушения	коло- шения	молочной спелости
	без удобрения			N60P60K60		
Кушения	–0.46*					
Колошения	–0.46*	–0.53*	–0.67**	0.33*	0.40*	0.44*
Молочной спелости		–0.75**	–0.62**	–0.49*		–0.33*

Примечание. *, **, *** — достоверно на 0.5-, 0.1-, 0.01%-ном уровне значимости. То же в табл. 5.

Таблица 5. Продуктивность и качество зерна сортов ячменя разных экотипов

Год	Группа сортов	Масса зерна с 1 м ² , г		Содержание белка в зерне		Стекловид- ность зерна		Масса 1000 зерен, г		Продуктивный стеблестой, шт./м ²	
						%					
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2019	Степная	238	302	11.5	13.0	52.6	43.2	45.2	46.2	671	660
2020		434	421	12.0	12.5	27.9	26.4	48.7	48.2	649	829
2021		496	554	12.6	12.8	48.5	39.8	37.1	37.9	854	971
Среднее		389	425	12.0	12.8	43.0	36.5	43.7	44.1	725	820
Прибавка, %		9.3		6.7		-15.1		0.9		13.1	
2019	Западная	213	287	11.2	13.0	17.1	13.5	46.4	46.4	640	688
2020		313	401	10.9	10.5	7.8	3.4	47.3	46.1	682	815
2021		566	552	11.8	12.1	30.4	26.6	38.2	37.6	897	1010
Среднее		364	413	11.3	11.9	18.4	14.5	44.0	43.4	740	837
Прибавка, %		13.5		5.3		-21.2		-2.0		13.1	
<i>HCP</i> ₀₅		38	31	0.34	0.31	5.2	4.5	1.8	2.0	33	46

полегание ячменя, и зерно было сформировано шуплое, с низкой массой 1000 зерен.

Важным в агрономической практике является выяснения особенностей развития продуктивных элементов растений в связи с содержанием в почве питательных веществ, прежде всего азота. Корреляционный анализ был проведен отдельно в вариантах без использования удобрений и с применением N60P60K60 при посеве (табл. 6).

В основном положительные и высокие значения коэффициентов корреляции с содержанием азота в почве позволяют судить о важности минерального питания для формирования продуктивности ячменя. Показатель общей напряженности продукционного процесса в зависимости от изучаемых показателей представляет собой сумму значимых коэффициентов корреляции в абсолютном выражении (без учета знака). В посевах сортов ячменя без применения удобрений по всем фазам развития растений напряженность была выше, чем в вариантах с применением удобрений: 3.66–4.75 с показателями содержания азота в почве, 1.46–4.44 – в листьях. С применением удобрений напряженность продукционного процесса снижается на 5.5% в кушение и на 25.0% – в фазу колошения. Отрицательные коэффициенты корреляции содержания азота в почве и массы 1000 зерен и зерна с колоса в обоих вариантах опыта в периоды колошения и молочной спелости говорят о наличии стрессовых условий вегетации обеспеченного влагой 2021 года. Обильные ливни спровоцировали полегание посевов ячменя, а последующие рекордно

высокие температуры не способствовали полноценному наливу зерна. Отмечалась довольно тесная положительная сопряженность показателей длины стебля ($r = 0.66^{**} - 0.68^{**}$), продуктивного стеблестоя ($r = 0.52^* - 0.59^{**}$) и урожайности в конечном итоге ($r = 0.78^{***} - 0.79^{***}$) с содержанием в почве азота от фазы кушения и до молочной спелости как в неудобренных, так и в удобренных вариантах. Высокие положительные коэффициенты корреляции содержания азота в почве с длиной стебля и продуктивным стеблестоем определяют оптимальную дозу вносимых удобрений, исключающих полегание посевов. Содержание в почве азота слабо положительно коррелировало с содержанием в зерне белка ($r = 0.30^* - 0.46^*$), а в колошение и со стекловидностью зерна – $r = 0.43^*$.

Не однозначные коэффициенты корреляции получены в варианте без внесения удобрений для связи содержания азота в листьях с элементами продуктивности. В период кушения взаимосвязи слабые положительные: $r = 0.31 - 0.41$, в последующих фазах развития элементов продуктивности усиливался отток питательных элементов в репродуктивную сферу, что приводило к снижению показателей содержания белка в листьях. Причем зависимость подобного рода в варианте без использования удобрений была достаточно сильной отрицательной: от $r = -0.40$ до -0.82 в период колошения и от $r = -0.36$ до -0.81 в период молочной спелости. Наиболее сильная отрицательная взаимосвязь содержания белка в листьях отмечена с урожайностью: $r = -0.81$ и -0.82 . С показателем содержания белка в зерне взаимосвязь была также

Таблица 6. Значимые коэффициенты корреляции между показателями элементов продуктивности ячменя (2019–2021 гг.)

Показатель	Содержание азота					
	в почве в фазах			в листьях в фазах		
	кущения	коло- шения	молочной спелости	кущения	коло- шения	молочной спелости
Без удобрения						
Продуктивная кустистость	0.51*	0.63**	0.47*		–0.61**	–0.77***
Длина стебля	0.66**	0.40*	0.66**	0.31*	–0.77***	–0.67**
Длина колоса		0.31*	0.39*	0.38*		
Масса зерна с колоса	0.63**	–0.46*				
Масса зерна с растения	0.61**		0.34*	0.36*	–0.41*	–0.36*
Масса 1000 зерен		–0.84***	–0.40*		0.50*	0.70**
Продуктивный стеблестой	0.45*	0.67**	0.52*		–0.62**	–0.80***
Урожай	0.50*	0.59**	0.79***	0.41*	–0.82***	–0.81***
Содержание белка	0.30*	0.42*	0.46*		–0.40*	–0.33*
Стекловидность		0.43*				
Общая напряженность	3.66	4.75	4.03	1.46	4.13	4.44
N60P60K60						
Продуктивная кустистость	0.38*	0.51*	0.54*		0.36*	
Длина стебля	0.67**	0.34*	0.68**		0.53*	
Длина колоса						
Масса зерна с колоса	0.35*	–0.58**				0.43*
Масса зерна с растения	0.53*				0.30*	
Масса 1000 зерен		–0.84***	–0.72**			0.60**
Продуктивный стеблестой	0.50*	0.50*	0.59**			–0.32*
Урожай	0.60**	0.65**	0.78***		0.39*	–0.40*
Содержание белка	–0.44*					
Стекловидность		0.38*	0.39*			
Общая напряженность	3.47	3.80	3.70	0	1.58	1.75

Ошибка коэффициентов корреляции: * при $r = 0.3–0.18$, ** при $r = 0.5–0.16$, *** при $r = 0.5–0.13$.

отрицательной, но более слабой: $r = -0.40, -0.33$. Таким образом, чем интенсивнее был отток азота из листьев в репродуктивные органы, тем больше были показатели изученных элементов продуктивности.

В вариантах с использованием удобрений в фазе колошения эти же взаимосвязи были не высокими, но положительными: $r = 0.30–0.53$, т.е. дефицита азота в листьях для развития продуктивных элементов не выявлено. Это также подтверждено отсутствием зависимости развития хозяйственно-ценных показателей от содержания азота в листьях в фазе кущения, т.е. напряженность в продукционном процессе не отмечали. Однако в период молочной спелости содержание азота уменьшалось у сортов с высокими показателями продуктивного стеблестоя и, в конечном итоге, урожая, о чем свидетельствовали отрицательные коэффициенты корреляции: $r = -0.32, -0.40$. Следует отметить положительные коэффициенты корреляции между содержанием азота в листьях и массой

1000 зерен, как в удобренном варианте ($r = 0.60$), так и неудобренном ($r = 0.50$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что отрицательные взаимосвязи содержания азота в почве и листьях в варианте без применения удобрений усиливались к фазам колошения и молочной спелости до $r = -0.67, -0.75$, что свидетельствовало о том, что чем больше азота накапливалось в листьях, тем меньше оставалось под растениями в почве. Высокие коэффициенты корреляции свидетельствовали о напряженности процесса выноса элемента, т.е. о недостаточности минерального питания для развития растений. В варианте с применением удобрений слабая положительная взаимосвязь в фазе колошения ($r = 0.33–0.44$) между содержанием азота в листьях и его содержанием в почве свидетельствовала о снижении напряженности.

В посевах сортов ячменя без применения удобрений во всех фазах развития растений ярового ячменя напряженность продукционного процесса в зависимости от содержания азота в почве была больше, чем в вариантах с применением удобрений. С применением удобрений напряженность продукционного процесса снижалась на 5.5% в фазе кущения и на 25.0% — в фазе колошения. Отмечена довольно тесная положительная связь между показателями длины стебля ($r = 0.66-0.68$), продуктивного стеблестоя ($r = 0.52-0.59$) и урожаем ($r = 0.78-0.79$) с содержанием в почве азота в период от фазы кущения и до молочной спелости как в неудобранных, так и в удобренных вариантах. Содержание в почве азота слабо положительно коррелировало с содержанием в зерне белка ($r = 0.30-0.46$), а в колошение — и со стекловидностью зерна ($r = 0.43$).

Выявлены положительные коэффициенты корреляции между содержанием азота в листьях и массой 1000 зерен как в удобренном варианте ($r = 0.60$), так и неудобранным ($r = 0.50-0.70$). Сильной отрицательной была взаимосвязь между содержанием азота в листьях и урожаем: $r = -0.81, -0.82$ во всех вариантах и для обеих групп сортов ячменя. С показателем содержания в зерне белка взаимосвязь была также отрицательной, но менее значимой: $r = -0.40, -0.33$. Таким образом, чем интенсивнее был отток азота из листьев в репродуктивные органы, тем больше были показатели изученных элементов продуктивности.

В обеспеченном влагой 2021 г. содержание азота в листьях превышало в удобренном варианте контроль на 30.8% у степных образцов и на 11.8% у западных, эффективность удобрений в условиях засушливого 2019 г. была снижена до 7.1–8.1%. Эффективность применения удобрений в среднем по годам при анализе показателей листовой диагностики у степных сортов составила в фазах кущения, колошения, молочной спелости 20.3, 21.1 и 8.9%, у западных сортов она была значительно меньше: 10.4, 11.4 и 6.1%.

В целом за период вегетации в засушливом 2019 г. в почве под степными сортами в вариантах с применением удобрений вынос азота был почти в 2 раза больше, чем под западными сортами. Вероятно, при использовании удобрений возможность усваивать азот в условиях засухи у степных сортов была больше, что свидетельствовало о более высокой поглощательной способности корневой системы. В условиях высокой влагообеспеченности (2021 г.) в вариантах с применением удобрений вынос азота из почвы был значительно больше у западных экотипов. Западные сорта значительно интенсивнее поглощали азот из верхних слоев почвы при оптимальном увлажнении. Максимальный эффект от применения удобрений по показателю массы зерна с 1 м² (урожай) был получен в засушливом 2019 г.: 27.0 и 34.7% соответственно группе сортов — степной и западной. Содержание

белка в зерне и его стекловидность у степных сортов достоверно превышали показатели, полученные у западных сортов по годам и в вариантах опыта. Стекловидность была достоверно больше у степных сортов за все годы изучения: на фоне без удобрений — на 20.1–35.5%, с применением удобрений — на 13.2–29.7%.

Таким образом, показано, что применение минеральных удобрений в дозе N60P60K60 при посеве в засушливых условиях эффективно для возделывания ярового ячменя. Этот прием повышал урожай зерна, массу 1000 зерен за счет высокого накопления азота в листьях к концу вегетации, что в дальнейшем способствовало повышенному накоплению белка в зерне и его высокой стекловидности, особенно у сортов степного происхождения. Использование азотных удобрений в дозе 60 кг д.в./га может служить анализирующим фоном для отборов растений с повышенным содержанием белка в зерне ячменя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постников А.В., Хавкин Э.Е., Корчагина Ю.И. Современное состояние и перспективы практической диагностики азотного режима почв и питания растений. Обзор // *Агрохимия*. 1983. № 2. С. 114–125.
2. Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // *Агрохимия*. 2019. № 2. С. 13–20.
DOI: 10.1134/S0002188119020133
3. Лукин С.В. Мониторинг агроэкологического состояния пахотных почв Центрального Черноземного региона России // *Агрохимия*. 2023. № 4. С. 67–77.
DOI: 10.31857/S0002188123040075
4. Шафран А.С. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур. Сообщ. 1. Азотные удобрения // *Агрохимия*. 2021. № 7. С. 27–35.
DOI: 10.31857/S0002188121070097
5. Мельникова О.В., Сальникова И.А., Ториков В.Е., Мельников Д.М. Влияние внекорневых подкормок биопрепаратами на сбор сырого протеина с урожаем зерна сортов ярового ячменя // *Современные тенденции развития аграрной науки*. Брянск, 2023. С. 105–112.
6. Митрофанов Д.В. Воздействие абиотических и ключевых факторов среды на урожайность ячменя // *Аграрн. научн. журн.* 2023. № 9. С. 15–21.
DOI: 10.28983/asj.y2023i9pp15-21
7. Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко Н.А., Дедушев И.А., Ромахина В.В., Болдырев М.А. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеоста-

- тичность сортов ярового ячменя в условиях Не-
черноземной зоны // Тр. по прикл. бот., генет. и
селекции. 2022. Т. 183. № 1. С. 38–47.
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-38-47
8. *Николаев П.Н., Юсова О.А.* Линии ярового ячме-
ня селекции Омского АНЦ, рекомендуемые для
дальнейших исследований // Актуальные вопро-
сы биологии, селекции, технологии возделыва-
ния и переработки сельскохозяйственных куль-
тур. Краснодар, 2023. С. 179–182.
DOI: 10.25230/conf12-2023-179-182
9. *Дедушев И.А., Ерошенко Л.М., Пыльнев В.В.* Вли-
яние уровня азотного питания на урожайность и
элементы структуры урожая сортов ярового ячме-
ня селекции ФИЦ “Немчиновка” // Изв. ТСХА.
2023. Вып. 2. С. 5–12.
DOI: 10.26897/0021-342X-2023-2-5-12
10. *Шарков И.Н., Колбин С.А., Самохвалова Л.М.* Про-
блема азота при использовании чернозема выше-
лоченного по интенсивной технологии в лесостепи
Западной Сибири // Агрохимия. 2021. № 2. С. 3–10.
DOI: 10.31857/S0002188121020101
11. *Новичихин А.М., Чайкин В.В.* Урожайность сортов
ячменя при различных уровнях минерального
питания в сочетании со стимуляторами роста // Агрохим. вестн. 2022. № 3. С. 10–16.
DOI: 10.24412/1029-2551-2022-3-002
12. *Сайдяшева Г.В., Зайцева К.Г.* Динамика накопле-
ния азота, фосфора и калия в растениях культур
зернопарового севооборота в период вегетации
при применении биомодифицированных удобре-
ний // Развитие и внедрение современных нау-
коемких технологий для модернизации агропро-
мышленного комплекса. Курган, 2020. С. 312–317.
13. *Серегина И.И., Джанчаров Т.М., Белопухов С.Л.,
Дмитревская И.И., Зайцев Ф.И., Исламгулова Р.Р.* Урожайность и химический состав сортов ячме-
ня в зависимости от уровня минерального пита-
ния // Агрохим. вестн. 2023. № 2. С. 60–64.
DOI: 10.24412/1029-2551-2023-2-010
14. *Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н.* Урожайность зерна
ячменя и ее зависимость от минерального пита-
ния и гидротермических условий в период веге-
тации // Агрохим. вестн. 2019. № 2. С. 33–38.
DOI: 10.24411/0235-2516-2019-10024
15. *Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н.* Зависимость по-
казателей качества зерна пивоваренного ячменя
от уровня минерального питания и гидротерми-
ческих условий в период вегетации // Агрохим.
вестн. 2020. № 3. С. 33–41.
DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10036
16. *Чевердин Ю.И., Чевердин А.Ю., Сауткина М.Ю.* Микро-
бные препараты в посевах зерновых куль-
тур Центрального Черноземья: Монография. Во-
ронезж, 2021. 279 с.

Soil and Leaf Diagnostics of Nitrogen Content in the Cultivation of Different Varieties of Various Ecotypes of Spring Barley (*Hordeum vulgare* L.)

T. G. Golova^{a, #}, L. A. Ershova^a, S. A. Kuzmenko^a

^a V.V. Dokuchaev Voronezh FASC,

pos. 2 division of the Institute Dokuchaev, quart. 5, 81, Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia

[#]E-mail: niish1c@mail.ru

The possibility of an earlier and more accurate prediction of protein accumulation in grains of different varieties of spring barley of Steppe and Western European ecotypes was investigated. The experiments were conducted in the central part of the Voronezh region in the Research Institute of the Central Research Center “Kamennaya Steppe” in 2019–2021. Basically, a positive and high correlation was found between the nitrogen content in the soil and the elements of productivity, which allowed us to judge the importance of mineral nutrition for the formation of grain productivity of barley. In crops of barley varieties without the use of fertilizers in all phases of plant development, the production process, depending on the nitrogen content in the soil, was more intense than in variants with the use of fertilizers. With the use of fertilizers, the intensity of the production process decreased by 5.5% during tillering and by 25.0% during the earing phase. A fairly close positive correlation was noted between the indicators of stem length ($r = 0.66–0.68$), productive stem ($r = 0.52–0.59$) and yield ($r = 0.78–0.79$) with nitrogen content in the soil from the tillering phase to milk ripeness in both non-fertilized and fertilized variants. A positive correlation of nitrogen content in leaves with a mass of 1000 grains was revealed: $r = 0.60, 0.50–0.70$, respectively, in the experimental variants. In 2021, provided with moisture, the nitrogen content in the leaves in the fertilized version was 30.8% in Steppe samples and 11.8% in Western samples compared with the control. The efficiency of fertilizers in the conditions of arid 2019 was reduced to 7.1–8.1%. On average over the years, when analyzing the indicators of leaf diagnostics, the effectiveness of fertilizer application in Steppe varieties was 20.3, 21.1 and 8.9% in the phases of tillering, earing, and milk ripeness, while in Western varieties it was significantly less – 10.4, 11.4 and 6.1%. The maximum effect of the use of fertilizers for the grain mass index per 1 m² was obtained in the dry 2019: 27.0 and 34.7%, respectively, depending on the group of varieties (Steppe and Western). The indicators of protein content in grain and its vitreousness of Steppe varieties significantly exceeded the indicators of Western varieties by years and variants of the experiment. It has been shown that the use of mineral fertilizers at a dose of N60P60K60 when sowing in arid conditions was effective for barley cultivation. This technique increased the yield and weight of 1000 grains due to the high accumulation of nitrogen in the leaves by the end of the growing season, which further contributed to an increased accumulation of protein in the grain and its vitreousness, especially in varieties of Steppe origin.

Keywords: soil, nitrogen, barley varieties, various ecotypes, nitrogen content in leaves, protein in grain, yield.