

2. ПЛОДОРДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.82:631.11

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ В РАСТЕНИЯХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, А. А. Грачева, С. М. Зенькова
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

На первом месте в ряду неблагоприятных факторов, вызывающих заболевания растений и человека, стоит нарушение питания. Для сельскохозяйственных культур сбалансированное минеральное питание макро- и микроэлементами определяет их развитие, устойчивость к неблагоприятным условиям среды, урожайность и качество продукции.

В природе каждого растения заложена его способность усваивать из внешней среды элементы питания, характерные для всего растительного мира, но в определенном соотношении и в типичной для каждого вида динамике в течение вегетационного периода [1].

Урожайность и качество растительной продукции обеспечиваются необходимым уровнем, соотношением и доступностью элементов питания в почве. В то же время наличие достаточного количества питательных веществ в почве не дает гарантии их попадания в растения. Усвояемость элементов питания культурами зависит от многих факторов как внутренних, так и внешних.

Более полное и точное представление о потребности растений в элементах питания дает не почвенный анализ, а изучение динамики морфологических, биометрических и химических показателей растений в течение онтогенеза при разных уровнях обеспеченности почвенным питанием [2, 3].

По химическому составу нормально развитых высокоурожайных растений можно определить оптимальное количество и качественное соотношение основных элементов питания в растениях по фазам развития. Это дает возможность уточнить необходимый и более эффективный состав видов удобрений и систему их применения с учетом потребности в них растений по периодам формирования урожая, а тем самым направленно повлиять на этот процесс [4].

В последние годы в Беларуси все более значительное место в обеспечении населения продовольственным зерном занимает яровая пшеница. Поэтому изучение в течении вегетации изменений содержания основных элементов питания (азот, фосфор, калий) в растениях яровой пшеницы современных сортов интенсивного типа в зависимости от условий произрастания является актуальным и определило цель наших исследований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ динамики содержания основных элементов питания (азот, фосфор, калий) в растениях яровой пшеницы в основные фазы роста и развития проведен на основании данных опытов, проводившихся в разные годы на опытных полях РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, с яровой пшеницей сорт Сударыня (2018–2020 гг.), Монета (2021–2022 гг.) и Мадонна (2022–2023 гг.).

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,0–6,5, содержание гумуса – 2,0–2,6 %, подвижные соединения фосфора – 700–1000 мг/кг почвы, калия – 250–340 мг/кг почвы.

Площадь участков в полевых опытах составляла 24–36 м², повторность вариантов – 4-кратная.

Агротехника возделывания яровой пшеницы – общепринятая для Республики Беларусь, включающая интегрированную систему защиты растений от сорной растительности, вредителей и болезней [5].

Для диагностики питания растений яровой пшеницы в вариантах без внесения удобрений и с применением полного минерального удобрения отбирали растительные пробы (все растения) в следующие фазы: 1 узел, флаг-лист, колошение и молочная спелость.

В растительных образцах из одной навески после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1976) определяли: содержание общего азота – индофенольным методом и фосфора – ванадомолибдатным методом фотоколориметрически; содержание калия – на пламенном фотометре.

На инфракрасном спектрофотометре «Infraneo» – содержание протеина и клейковины в зерне.

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [6] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

Значительное влияние на поглощение элементов питания, химический состав растений и в конечном итоге на продуктивность оказывают метеорологические условия вегетационного периода.

2018–2023 гг. различались по гидротермическим условиям. Количество осадков за вегетационный период яровой пшеницы изменялось от 178 мм в 2019 г. до 296 мм в 2021 г. Как видно на рисунке 1 условия увлажнения при прохождении основных фенологических фаз в годы исследования сильно различались. Так в 2018 г. при суммарном количестве осадков за вегетацию 242 мм 79 % из них пришлось на период колошение–молочная спелость, в 2023 г. при сумме 283 мм 76 % выпало в период от молочной спелости культуры до уборки.

Данные за 6 лет исследований свидетельствуют, что существенная связь между количеством осадков за вегетацию культуры и урожайностью зерна в удобренных вариантах отсутствует. В то же время установлена достоверная сильная связь между данными показателями в критический период – от посева до колошения ($R^2 = 0,84$). Так в 2018 и 2023 гг. яровая пшеница в период посев–колошение испытывала значительный недостаток влаги (выпало 39–48 мм осадков), что и определило низкую продуктивность культуры в эти годы (на уровне 44 ц/га зерна

при применении полной минеральной системы удобрения) (рис. 2). В 2019 г. при самой низкой за годы исследования сумме осадков за вегетацию распределение влаги было более равномерное, за период от посева до колошения выпало 79 мм осадков, в результате было получено 57 ц/га зерна.

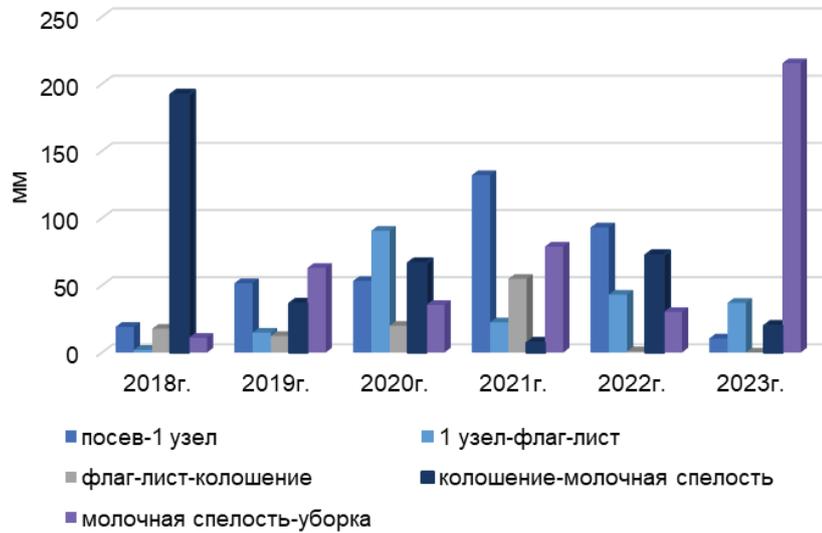


Рис. 1. Количество осадков за вегетационные периоды яровой пшеницы 2018–2023 гг.

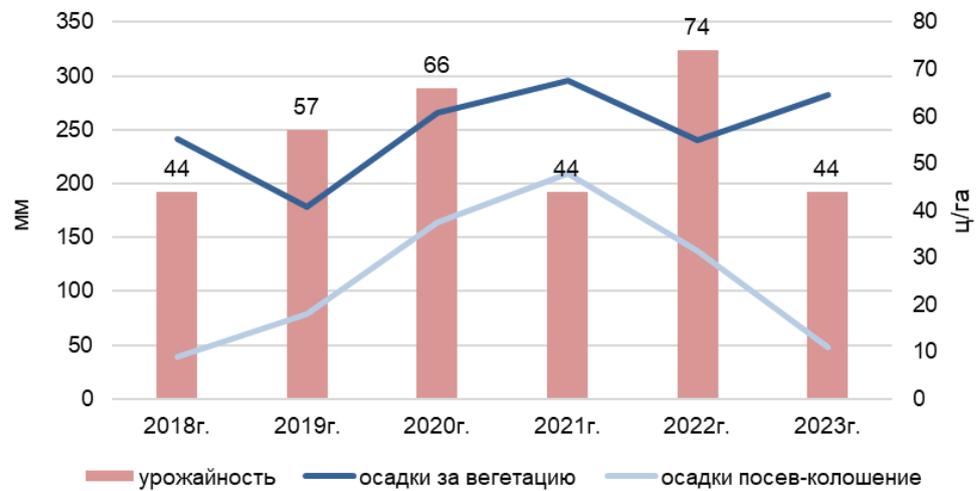


Рис. 2. Связь урожайности зерна яровой пшеницы в удобренных вариантах с количеством осадков за различные периоды вегетации

Согласно уравнению регрессии ($y = -0,0033x^2 + 0,8471x + 13,339$) наибольшая продуктивность яровой пшеницы формировалась при количестве осадков в период от посева до колошения на уровне 125–130 мм. Как снижение, так и повышение количества осадков от данного уровня сопровождалось снижением урожайности зерна. Наиболее близкое к оптимальному количество осадков и относительно равномерное их выпадение отмечалось в 2022 г. (137,2 мм), в результате в этом году было получено 74 ц/га зерна яровой пшеницы сорт Монета.

В 2020 г. при количестве осадков за вегетацию 266 мм и 164 мм за период посев–колошение урожайность зерна составила 66 ц/га.

Переувлажнение посевов, отмечавшееся в 2021 г., когда за период от посева до первого узла выпало 132 мм осадков (45 % от суммы за период вегетации), также негативно сказалось на продуктивности культуры, при применении полной минеральной системы удобрения было получено 44 ц/га зерна.

Температурный режим в меньшей степени влиял на производственные процессы яровой пшеницы. Для большинства растений при достаточном освещении и удовлетворительном обеспечении водой благоприятна температура воздуха от 15 до 30 °С. При этом, считается, что температура ниже 10 °С отрицательно влияет на поступление всех минеральных элементов в корни [7].

За годы исследования неблагоприятные условия для поступления элементов питания в растения яровой пшеницы складывались в период от посева до формирования первого узла в 2020 и 2021 гг., когда средние температуры воздуха составляли 8,2 и 9,8 °С соответственно (рис. 3). В 2022 г. в этот период средние температуры воздуха были близки к неблагоприятным, составив 10,8 °С.

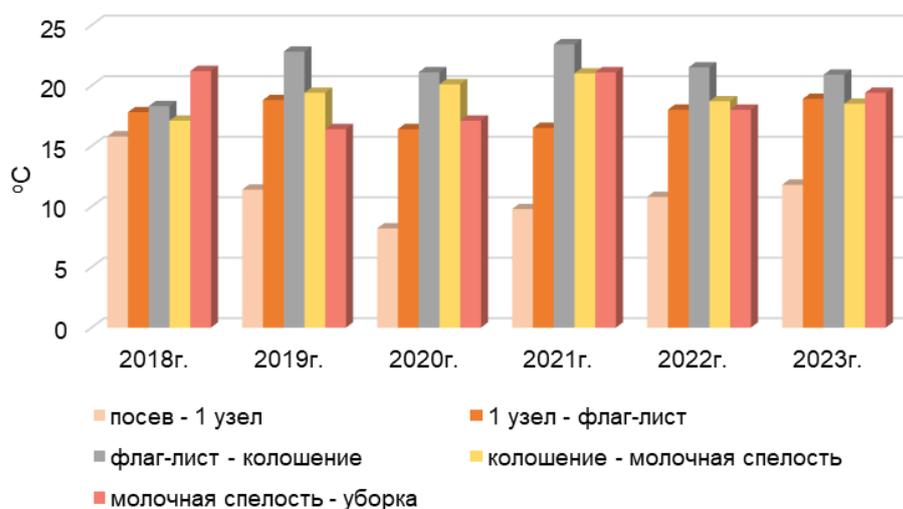


Рис. 3. Температурный режим вегетационных периодов яровой пшеницы 2018–2023 гг.

Наиболее высокие температуры, за исключением 2018 г., отмечались в период от флаг-листа до колошения, наиболее жаркие условия в этот период наблюдались в 2019 (22,8 °С) и 2021 гг. (23,4 °С).

Самым теплым был 2018 г., когда средняя температура за период вегетации яровой пшеницы составила 18,1 °С, наиболее холодным – 2020 г. со средней температурой 13,2 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав растений – величина лабильная. Она зависит от многих одновременно действующих факторов: почвенных и погодных условий, системы удобрения, сорта.

Влияние почвенных условий на усвоение элементов минерального питания проявляется через содержание и соотношение ионов в почвенной среде.

Сравнительный анализ содержания основных элементов питания по основным этапам роста и развития растений яровой пшеницы в вариантах без внесения удобрения в опытах с оптимальными показателями, приводимыми В. В. Церлинг [2], показал, что в наших исследованиях содержание азота в течение вегетации в растениях яровой пшеницы ниже, содержание фосфора на уровне или выше, калия – выше оптимального (табл. 1).

Таблица 1

Динамика содержания основных элементов питания в растениях яровой пшеницы по фазам роста и развития, % в абс. сух. в-ве

Год	Вариант	N				P ₂ O ₅				K ₂ O			
		1*	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Сударыня													
2018	Без удобрений	2,36	0,48	1,43	1,39	0,93	0,56	0,53	0,74	5,44	2,78	1,67	1,54
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	2,42	0,72	2,01	1,99	1,00	0,52	0,55	0,77	5,33	3,13	2,55	1,54
2019	Без удобрений	3,26	1,91	1,30	0,89	0,89	0,61	0,70	0,64	5,58	3,55	2,75	1,51
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	4,00	2,64	2,02	1,12	0,97	0,71	0,83	0,59	6,58	4,76	3,34	1,39
2020	Без удобрений	3,12	1,70	1,30	1,11	0,87	0,75	0,87	0,79	4,75	3,96	2,60	1,48
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	3,81	2,72	1,84	1,70	1,06	0,83	1,00	0,95	4,71	4,78	3,35	1,81
Монета													
2021	Без удобрений	4,11	2,23	2,18	1,22	1,09	0,73	0,62	0,64	5,55	3,87	2,89	1,79
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	4,17	2,80	2,46	1,64	1,12	0,91	0,57	0,70	5,81	4,77	3,41	2,42
2022	Без удобрений	2,91	1,21	0,88	0,81	0,95	0,72	0,60	0,49	5,22	3,39	2,63	1,69
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	4,85	1,99	1,58	1,57	1,32	0,97	0,73	0,61	6,65	5,47	4,03	2,90
Мадонна													
2022	Без удобрений	2,47	–	1,17	–	1,01	–	0,85	–	4,51	–	2,16	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	3,82	–	2,10	–	1,39	–	0,86	–	6,54	–	4,10	–
2023	Без удобрений	1,93	–	1,43	–	1,06	–	0,88	–	2,92	–	2,30	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	2,11	–	1,97	–	0,98	–	0,93	–	2,98	–	2,35	–
Оптимальное по Церлинг В.В.		3,6– 4,4		2,5– 3,0		0,7– 0,9		0,5– 0,7		3,0– 4,8		2,5	
V, %		27,9	44,5	26,9	28,2	14,4	19,8	20,8	18,5	22,4	21,4	24,5	26,7

* 1 – 1 узел, 2- флаг-лист, 3 – колосшение, 4 – молочная спелость.

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что в условиях очень высокого содержания в почве подвижных форм фосфора и калия в растения поступает большее их количество, чем на почвах, менее обеспеченных данными элементами. В то же время азот является элементом, находящимся в минимуме в данной почве. Поэтому при применении полного минерального удобрения в наибольшей степени повышалось содержание в растениях азота. Наблюдаемое при этом повышение (не всегда достоверное) содержания калия и в меньшей степени фосфора связано, вероятно, с установлением сбалансированности питания в результате применения азотных удобрений.

Тем не менее, необходимо отметить, что даже при внесении высоких доз азотных удобрений (150 кг д.в./га) содержание азота в растениях яровой пшеницы в фазе колошения не достигало нижней границы оптимального по В. В. Церлинг.

Оптимальным уровнем содержания в растениях питательных веществ считается такой, при котором получают высокий урожай хорошего качества. В наших исследованиях в 2020 и 2022 гг. при содержании азота в растениях яровой пшеницы в фазе колошения на уровне 1,84 % (сорт Сударыня) и 1,58 % (сорт Монета), что на 0,66–0,92 % меньше нижней границы оптимального, было получено соответственно 65,9 и 74,2 ц/га зерна с содержанием сырого белка 13,6–14,4 %, клейковины – 30,2–36,3 % (табл. 2).

Оптимальные уровни питания, приводимые В. В. Церлинг разрабатывались для сортов с продуктивностью 45–50 ц/га. Современные же высокопродуктивные сорта формируют высокую урожайность (до 100 и более ц/га) при меньших затратах азота [8], также у них улучшен отток питательных веществ в зерно [9]. Таким образом, можно говорить о том, что для исследуемых современных сортов яровой пшеницы оптимальным уровнем содержания азота в растениях в фазе колошения является 1,60–1,80 %, при котором возможно получение урожайности зерна на уровне 65–75 ц/га.

В исследованиях [10, 11], проводившихся с яровой пшеницей на дерново-подзолистой легкосуглинистой среднекультуренной почве, содержание азота в надземной части растений в фазе колошения также не достигало оптимальных значений по В. В. Церлинг и было на уровне 1,50–1,60 %, урожайность зерна в результате составила 49–54 ц/га.

Полученные нами данные позволили также выявить, что различные исследуемые сорта неодинаково реагировали на условия выращивания. В 2022 г. в условиях опыта урожайность зерна сорта Монета составила 52,4–74,5 ц/га, сорта Мадонна – 35,7–59,4 ц/га. В химическом составе растений в течение вегетации также отмечены различия. В варианте без удобрений на протяжении вегетации у сорта Монета содержание калия было выше, а фосфора ниже, чем у сорта Мадонна. При внесении удобрений эти показатели были близкими. В наибольшей степени на протяжении вегетации различалось содержание азота. И если в фазе 1-го узла лучшие показатели по содержанию данного элемента отмечались у сорта Монета, то к колошению ситуация диаметрально изменилась.

Оценка концентрации элемента без анализа массы растений не является объективной. В фазе 1-го узла у сорта Монета более высоким значениям концентрации азота соответствовало и более высокое, чем у сорта Мадонна, накопление биомассы. К фазе колошения биомасса растений яровой пшеницы сорта Монета на 18 % в варианте с применением удобрений и на 66 % в варианте без удобрений

была выше, чем у сорта Мадонна (табл. 2). Поэтому более низкие концентрации азота у растений сорта Монета логично объяснить эффектом разбавления.

Таблица 2

Накопление биомассы растениями яровой пшеницы по фазам роста и развития, урожайность зерна и его качество

Год	Вариант	Накопление биомассы, ц/га сухого в-ва				Урожайность зерна, ц/га (14 % влажность)	Сырой белок, % в сухом в-ве	Клейковина, % в сухом в-ве
		1 узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость			
Сударыня								
2018	Без удобрений	8,0	32,6	32,8	53,6	33,8	11,9	25,2
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	10,1	44,6	36,8	68,2	44,4	16,6	41,0
2019	Без удобрений	9,9	30,0	35,6	59,7	43,3	9,6	18,0
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	13,6	48,4	51,4	94,8	57,2	14,2	29,4
2020	Без удобрений	8,8	26,9	53,5	88,9	55,4	10,3	19,1
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	9,9	44,2	78,0	105,6	65,9	13,6	30,2
Монета								
2021	Без удобрений	7,1	16,5	40,9	53,2	33,2	11,1	23,3
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	8,2	28,2	51,6	67,0	43,5	15,9	38,3
2022	Без удобрений	6,5	50,0	56,6	87,3	52,4	10,2	23,2
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	9,5	61,0	95,8	116,0	74,2	14,4	36,3
Мадонна								
2022	Без удобрений	5,2	–	34,4	–	35,7	10,1	19,7
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	9,1	–	81,0	–	59,4	14,5	33,6
2023	Без удобрений	4,7	–	19,3	–	31,9	11,7	24,2
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	7,3	–	22,1	–	43,8	17,5	42,0

Полученные данные для двух сортов яровой пшеницы, возделываемых в одинаковых погодных условиях, показывают, что между урожайностью с одной стороны и содержанием азота и накоплением биомассы с другой в начальный период роста (фаза 1-го узла) отмечается прямая зависимость. К фазе колошения между урожайностью и накоплением биомассы связь прямая, с содержанием азота – обратная.

Эти выводы подтверждаются корреляционным анализом данных для трех сортов за 2018–2023 гг. исследований. Между количеством биомассы и урожайностью зерна в фазы 1-го узла и флаг-листа установлена слабая прямая связь. В фазе колошения ($r = 0,89$; $y = 0,5157x + 22,739$) и молочной спелости ($r = 0,99$; $y = 0,59x + 3,466$) связь тесная прямая.

Содержание азота в растениях яровой пшеницы в вариантах с применением полного минерального удобрения в фазы первого узла и колошения является статистически достоверным признаком, определяющим величину урожайности зерна данной культуры. При этом в фазе первого узла между содержанием азота и урожайностью отмечается прямая связь ($r = 0,83$), в колошение установлена обратная связь ($r = -0,78$) между этими показателями. В фазе флагового листа в силу

значительного влияния экстремальных погодных условий, отмечавшихся в годы проведения исследований, корреляционные зависимости не были установлены.

Таким образом, еще одним фактором, существенно влияющим на химический состав растений яровой пшеницы в течение вегетации и на урожайность являются погодные условия и в первую очередь условия увлажнения.

Проявление крайне неблагоприятных засушливых условий, которые наблюдались в 2018 г. в период первый узел–флаг-лист отразилось на химическом составе растений. Концентрация азота в растениях, отобранных в фазе флаг-листа, составила 0,48–0,72 %, что в 2,5–4,6 раза ниже, чем в другие годы исследования. Содержание калия (2,78–3,13 %) и фосфора (0,52–0,56 %) снизилось в меньшей степени, в 1,1–1,9 раза. К фазе колошения условия увлажнения все еще были критическими, но содержание азота значительно увеличилось, что может быть связано с реутилизацией элементов питания из отмерших побегов. Об отмирании побегов свидетельствуют данные о количестве биомассы, которая в варианте с применением полного минерального удобрения снизилась на 7,8 ц/га (табл. 2).

В 2023 г. неблагоприятные условия наблюдались с момента посева, что отразилось в значительном сокращении количества как азота, так и калия в растениях, отобранных в фазе 1-го узла. Содержание фосфора оставалось на уровне годов с благоприятными условиями.

В 2021 г. получение урожая на уровне 2018 и 2023 г. было обусловлено избыточным увлажнением в начальный период вегетации, содержание элементов питания при этом было выше или на уровне благоприятных годов исследования. Высокую концентрацию элементов питания в растениях яровой пшеницы в этом году, кроме как условиями увлажнения, которые благоприятно влияли на поступление элементов питания, можно объяснить замедленными темпами накопления биомассы по сравнению, например, с благоприятным 2022 г.

Таким образом, можно отметить значительное влияние условий увлажнения на концентрацию элементов питания в растениях яровой пшеницы, что подтверждает и корреляционный анализ, который показал, что в вариантах с применением полного минерального удобрения содержание основных элементов питания в фазы от первого узла до молочной спелости имело существенную криволинейную связь с количеством осадков, выпавших в период от посева до анализируемой фазы (η 0,81-0,99). Достоверная связь не установлена для содержания фосфора в фазе 1 узла (η 0,74) и колошения (η 0,60), а также азота в колошение (η 0,74). Можно отметить, что в фазе 1-го узла наибольшее содержание азота и калия отмечалось при сумме осадков 97–99 мм за период, при дальнейшем повышении количества осадков их содержание снижалось. В фазе флаг-листа максимальные величины накопления данных элементов установлены при сумме осадков 110–130 мм. В молочную спелость при повышении количества осадков от 210 до 230 мм содержание азота в растениях яровой пшеницы повышалось, содержание калия – снижалось. Содержание фосфора во все фазы при увеличении количества осадков повышалось.

Таким образом, наиболее надежным диагностическим признаком минерального питания яровой пшеницы при возделывании ее на дерново-подзолистой суглинистой высокообеспеченной фосфором и калием почве, является содержание азота. Этот показатель является и наиболее изменчивым в зависимости от условий года и системы удобрения, коэффициент вариации по фазам развития

изменялся в пределах от 26,9 до 44,5 %. Содержание калия по годам исследования варьировалось несколько меньше при коэффициенте вариации 21,4–26,7 %. Наиболее стабильным был показатель содержания фосфора в растениях яровой пшеницы – коэффициент вариации 14,4–20,8 %.

Для того чтобы установить обеспеченность растений питательными веществами, кроме концентрации определенного элемента в растении необходимо также учитывать соотношение их в растении – отношение одного элемента к другому или процентной доли отдельного элемента в сумме питательных веществ, принимаемой за 100 %. Сбалансированное уравновешенное питание растений соответствует оптимальному соотношению питательных веществ.

Показатели долей азота и калия в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ более стабильны по годам, чем показатели содержания данных элементов: коэффициент вариации для доли азота в наших исследованиях не превышал 28,6 %, калия – 14,5 %. Для фосфора вариабельность была на уровне рассчитанной для концентрации элемента – 21,2 % (табл. 3).

Таблица 3

Динамика относительного содержания основных элементов питания в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ в растениях яровой пшеницы по фазам роста и развития, % от суммы

Год	Вариант	1 узел			Флаг-лист			Колошение			Молочная спелость		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сударыня													
2018	Без удобрений.	27	11	62	12	15	73	39	15	46	38	20	42
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	28	11	61	16	12	72	39	11	50	46	18	36
2019	Без удобрений.	34	9	57	31	10	59	27	15	58	29	21	50
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	35	8	57	32	9	59	33	13	54	36	19	45
2020	Без удобрений.	36	10	54	26	12	62	27	18	55	33	23	44
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₉₀	40	11	49	33	10	57	30	16	54	38	21	41
Монета													
2021	Без удобрений.	38	10	52	32	11	57	38	11	51	33	18	49
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	38	10	52	33	11	56	38	9	53	34	15	51
2022	Без удобрений.	32	10	58	23	13	64	21	15	64	27	16	57
	N ₁₅₀ P ₃₀ K ₆₀	38	10	52	24	11	65	25	11	64	31	12	57
Мадонна													
2022	Без удобрений.	31	13	56	–	–	–	28	20	52	–	–	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	32	11	57	–	–	–	30	12	58	–	–	–
2023	Без удобрений.	33	18	49	–	–	–	31	19	50	–	–	–
	N ₁₅₀ P ₇₀ K ₁₂₀	35	16	49	–	–	–	37	18	45	–	–	–
V, %		12,7	9,4	7,7	28,6	15,0	9,8	20,9	21,2	10,5	15,7	17,9	14,5

В растениях яровой пшеницы в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ наибольшая доля принадлежит калию, в зависимости от условий выращивания и фазы развития культуры она изменялась в пределах от 36 до 73 %. На втором месте находится азот с показателем 12–46 %, на третьем – фосфор с показателем 8–23 %. Если анализировать

по фазам развития культуры, то наибольшая доля калия в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ устанавливалась к фазе флагового листа (62 % в среднем за годы исследования), наименьшие значения характерны для молочной спелости яровой пшеницы.

Доля фосфора за вегетацию повышалась в среднем от 11 % в фазе 1-го узла до 18 % к молочной спелости.

В отношении доли азота можно отметить минимум, который наблюдался в фазе флагового листа (26 %), в другие фазы она варьировалась в пределах 32–35 %.

Существенные изменения в соотношении основных элементов питания в растениях яровой пшеницы наблюдались по годам исследований.

Влияние отдельных факторов на доли элементов питания в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ было несколько иным, чем в отношении концентрации данных элементов.

Так если при внесении полного минерального удобрения содержание основных элементов питания практически всегда увеличивалось, то в соотношении установлено увеличение доли азота и снижение при этом долей фосфора и калия.

Если в отношении концентрации диагностическим показателем, прогнозирующим урожайность зерна яровой пшеницы, являлось содержание азота, то в соотношении элементов в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ достоверные связи урожайности отмечены с долей азота и калия в растениях в фазе колошения. При этом между долей азота в растениях в удобренных вариантах в эту фазу с конечной продуктивностью установлена обратная связь ($r = -0,98$), с долей калия – прямая ($r = 0,84$). Повышение доли азота в растениях в эту фазу на 1 %, согласно уравнению регрессии $y = -2,3032x + 131,82$, приводило к снижению урожайности на 2,30 ц/га, повышение доли калия на 1 % приводило к повышению урожайности зерна на 1,70 ц/га (уравнение регрессии $y = 1,7023x - 36,44$).

Необходимо отметить, что между долей азота в фазе колошения и содержанием сырого белка в зерне пшеницы установлена сильная прямая связь – $r = 0,77$, то есть с увеличением доли азота в растениях в фазе колошения содержание белка в зерне повышается. Для концентрации азота такой связи с содержанием белка установлено не было.

Так же, как и для содержания основных элементов питания, для их долей в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ установлена связь с количеством осадков за период до наступления анализируемой фазы. Наиболее тесные зависимости обнаружены в фазе колошения – для азота ($\eta = 0,95$) и калия ($\eta = 0,82$) и молочной спелости – для азота ($\eta = 0,88$), фосфора ($\eta = 0,94$) и калия ($\eta = 0,98$).

Если на концентрацию азота в растениях яровой пшеницы в фазе 1-го узла существенное влияние оказывало количество осадков, то относительное содержание данного элемента значительно зависело от средних температур за период от посева до 1 узла. Обнаружена обратная зависимость между данными показателями ($r = -0,89$, $y = -1,5663x + 52,73$). То есть, чем ниже были температуры в данный период, тем больше накапливалось азота по отношению к калию и фосфору. Так в 2020 и 2021 гг. средние температуры воздуха были ниже 10 °С, в 2022 г. – 10,8 °С, в результате в 2020–2022 гг. доля азота в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$ в удобренных вариантах составила 38–40 %, тогда как в другие годы не превышала 35 %. Возможным объяснением этого может служить то, что в условиях низких температур (ниже 10 °С) нарушается поглощение элементов питания в следующем убывающем ряду $PO_4 > NO_3 > Cl > K > Mg > NH_4$ [12], то есть наиболее доступным остается аммонийный азот.

В последующие фазы, когда температурный режим был благоприятным, корреляционных зависимостей не установлено.

Соотношение элементов питания в сумме $N + P_2O_5 + K_2O$, в первую очередь доли азота и калия, изменялось также и в зависимости от сорта яровой пшеницы. Существенные различия в данном показателе, наблюдавшиеся в 2022 г. между сортами Монета и Мадонна в фазы 1-й узел и колошение (табл. 3) обусловили в дальнейшем и значительные различия в величине урожайности зерна.

ВЫВОДЫ

Обобщение данных, полученных в опыте, позволило определить показатели и их параметры, при которых на дерново-подзолистой легкосуглинистой высокообеспеченной фосфором и калием почве возможно получение урожайности зерна яровой пшеницы на уровне 60–75 ц/га с содержанием белка 14–16 % и клейковины 29–38 % (табл. 4).

Таблица 4

Параметры содержания элементов питания и накопления биомассы растениями яровой пшеницы для получения урожайности зерна 60–75 ц/га с содержанием белка 14–16 % и клейковины 29–38 %

Показатель	1 узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость
Содержание N, %	3,80–4,90	2,00–2,70	1,60–2,10	1,60–1,70
Содержание P_2O_5 , %	0,95–1,40	0,70–1,00	0,70–1,00	0,60–0,95
Содержание K_2O , %	4,70–6,70	4,80–5,50	3,30–4,10	1,40–2,90
Соотношение N : P_2O_5 : K_2O	38–40:8–11: 49–57	24–33:9–11: 57–65	25–33:11–16: 54–64	31–38:12–21: 41–57
Накопление биомассы, ц/га	9,5–13,5	45–60	60–95	95–120

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние условий внешней среды на усвоение растениями элементов питания [сайт]. – URL: https://studbooks.net/76156/agropromyshlennost/vliyanie_usloviy_vneshney_sredy_usvoenie_rasteniyami_elementov_pitaniya (дата обращения: 23.04.2024).
2. Церлинг, В. В. Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М. : Наука, 1978. – 216 с.
3. Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – М. : Московский рабочий, 1972. – 271 с.
4. Сабинин, Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д. А. Сабинин. – М. : Наука, 1971. – 512 с.
5. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, кормовых и технических растений: сборник отраслевых регламентов / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию ; рук. работы: Ф. И. Привалов [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – 530 с.

6. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

7. Ягодин, Б. А. Агрохимия: учебник / Б. А. Ягодин, П. М. Смирнов, А. В. Петербургский. – М. : Агропромиздат, 1989. – 639 с.

8. Зерновые культуры / Д. Шпаар [и др.] ; под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : ФУАинформ, 2000. – 421 с.

9. Более 40 новых сортов зерновых [сайт] // Газета наука. – 2019. – № 13. – URL: <http://gazeta-navuka.by/novosti/1651-bolee-40-novykh-sortov-zernovykh> (дата обращения: 13.02.2024).

10. Вильдфлуш, И. Р. Динамика накопления элементов питания яровой пшеницей в зависимости от сорта и удобрений / И. Р. Вильдфлуш, Е. И. Коготько // Вестник БГСХА : науч.-метод. журн. – 2021. – №3. – С. 117–121.

11. Коготько, Е. И. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от сорта, удобрений, росторегуляторов и инокулянта / Е. И. Коготько, И. Р. Вильдфлуш // Земледелие и растениеводство – 2020. – № 6. – С. 23–28.

12. Михайлова, Л. А. Агрохимия : курс лекций: в 3 ч. Ч 1: Удобрения: виды, свойства, химический состав / Л. А. Михайлова; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образоват. учреждение высшего образования «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д. Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2015. – 426 с.

DYNAMICS OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM CONTENT IN SPRING WHEAT PLANTS DURING THE GROWING SEASON DEPENDING ON GROWING CONDITIONS

O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva, A. A. Gracheva, S. M. Zenkova

Summary

The article presents the results of studying the dynamics of the content of the main nutritional elements (nitrogen, phosphorus, potassium) in spring wheat plants during the growing season depending on the growing conditions. It has been established that under conditions of high content of available phosphorus and potassium in the soil, the main indicator determining the yield of spring wheat grain is the nitrogen content in plants. Grain yield at the level of 60–75 c/ha with a protein content of 14–16 % and gluten of 29–38% is formed with the nitrogen content in spring wheat plants – in the phase of 1 node 3,80–4,90 %, in the flag leaf phase – 2,00–2,70 %, heading – 1,60–2,10 %, milk ripeness – 1,60–1,70 %.

Поступила 29.11.24