

Методика проведения агротехнических исследований в опытах с озимой пшеницей

Вячеслав Михайлович Лукомец
Николай Михайлович Тишков
Марина Валериевна Трунова

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17
Тел.: (861) 255-59-33
vniimk@vniimk.ru

Аннотация. Излагаются методические особенности проведения исследований в опытах с озимой пшеницей. Приведены строение растений, рост и развитие; наблюдения и учёты в полевых опытах по следующим показателям: фенология и биометрия; диагностика минерального питания озимой пшеницы; определение элементов структуры урожая; лабораторно-аналитические наблюдения; учёт урожая, расчёт потребления питательных элементов, сбора белка. Статья подготовлена на основе опубликованной книги авторов В.М. Лукомца, Н.М. Тишкова, С.А. Семеренко «Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами» (Краснодар, 2022).

Ключевые слова: методика научных исследований, озимая пшеница, наблюдения и учёты в полевых опытах, диагностика минерального питания

Для цитирования: Лукомец В.М., Тишков Н.М., Трунова М.В. Методика проведения агротехнических исследований в опытах с озимой пшеницей // Масличные культуры. 2024. Вып. 1 (197). С. 63–75.

UDC 631.5:633.11"633"

Methodology of agricultural and chemical investigations in experiments with winter wheat

Lukomets V.M., scientific tutor, doctor of agriculture, academician RAS

Tishkov N.M., chief researcher, doctor of agriculture

Trunova M.V., deputy director for science, PhD in biology

V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops
17 Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia
Tel.: (861) 255-59-33
vniimk@vniimk.ru

Abstract. There are stated methodic peculiarities of investigations in experiments with winter wheat. There are presented plant structure, growth, and development; observations and accounts in the field experiments by following indicators: phenology and biometrics; the diagnostic of mineral nutrition for winter wheat; the determination of elements of yield structure; analytic observations in laboratory; yield account and the calculation of the consumption of nutrients, protein yields. The article is based on a published book "Methodology of agricultural and technical investigations in experiments with field crops" by Lukomets V.M., Tishkov N.M., and Semerenko S.A. (Krasnodar, 2022).

Key words: methodology of scientific research, winter wheat, observations and accounts in field experiments, diagnostics of mineral nutrition

Введение. Подготовка магистров, аспирантов и научных сотрудников связана с необходимостью методического обеспечения агротехнических исследований в опытах с пшеницей и предусматривает умение исследователя обосновывать и разрабатывать планы научных исследований, проводить лабораторные, вегетационные и полевые эксперименты. Это требует от исследователя соответствующей теоретической подготовки, знания современных методов исследований, развития самостоятельного мышления, критического отношения к имеющимся и своим данным, умения обосновать выбор методики исследования, анализировать, обобщать и объективно оценивать полученные результаты, устанавливать достоверность экспериментальных данных, делать научно обоснованные выводы, логически вытекающие из результатов исследований, разрабатывать и предлагать рекомендации для использования в сельскохозяйственном производстве.

Методика проведения исследований, учётов и наблюдений в опытах с озимой пшеницей [2; 3; 4; 5; 6;7].

Основные элементы методики полевого опыта изложены в статье Лукомца

В.М., Тишкова Н.М., Труновой М.В., Семеренко С.А., Махонина В.Л. «Методика проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами (Сообщение 1. Исследования в опытах с соей)» [1].

Строение растений, рост и развитие

Корень мочковатый, образуется из зародышевых корешков семени. Зародышевые корешки функционируют на протяжении всей жизни растений, их роль возрастает в засушливых условиях. Вторичные (узловые) корни начинают формироваться через 12–18 суток после всходов из подземных стеблевых узлов. Для их быстрого роста и развития нужна оптимальная влажность почвы, а при пересыхании верхнего слоя они растут плохо или совсем не появляются. Основная масса корней распространяется в горизонте почвы 0–60 см. Для углубления корневой системы важно, чтобы в почве не было прослоек (слоя) с влажностью ниже коэффициента завядания.

Стебель представлен соломиной цилиндрической формы, внутри полый или заполненной паренхимой. Соломина состоит, как правило, из 5–7 междоузлий, разделённых специальными перегородками (узлами).

Лист состоит из влагалища и листовой пластинки, в их соединении находится язычок и ушки. Вначале образуется первый лист, затем в определённой последовательности второй и последующие листья. Количество листьев и их размеры зависят от сорта и условий произрастания.

Соцветие – сложный колос. Колос является продолжением стебля, в его состав входят членистый колосовой стержень и расположенные на его уступах колоски. На каждом уступе находится один колосок. Каждый из члеников нижним концом соединяется с верхушкой нижележащего соседнего членика, на плоской верхушке которого размещается один многоцветковый колосок. Он состоит из двух колосковых чешуй и нескольких цветков.

Колосковые чешуи охватывают цветки с боков колоска.

Цветок имеет две цветковые чешуи – нижнюю (наружная) и верхнюю (внутренняя). Наружная цветковая чешуя остистых форм имеет ость. Мужские (тычинки) и женские (пестики) генеративные органы находятся между цветковыми чешуями. Цветочные чешуи защищают завязь, а позже формирующуюся зерновку от неблагоприятных воздействий окружающей среды. Пестик состоит из небольшой обратнойцевидной завязи, опушённой по широкой верхней стороне волосками, и отходящих от неё двух перистых рылец. Рыльца до цветения сближены вместе, направлены по оси цветка вверх и окружены тычинками. Вокруг завязи размещаются три пыльника на коротких, тонких тычиночных нитях. Одна из тычинок, лучше развитая, прилегает к нижней цветочной чешуйке у её середины, а две другие – к верхней.

Плод – односемянная зерновка, которая обычно называется зерном, овальной, эллиптической, яйцевидной, удлинённой или округлой формы, с гладкой поверхностью, белой или красной окраски. В ней единственное семя покрыто семенной оболочкой, которая сформировалась из двух оболочек семяпочки и плодовой, образовавшейся из завязи. Зерновка состоит из оболочек, эндосперма (место отложения запасных питательных веществ) и зародыша. Зародыш имеет щиток, две почки: главную (зачаток главного побега) и боковую (в пазухе колеоптиля), из которой может развиваться первый боковой побег.

В жизненном цикле растений пшеницы озимой выделяют следующие фенологические фазы: 1) набухание и прорастание семян; 2) всходы; 3) кущение; 4) выход в трубку (стеблевание); 5) колошение; 6) цветение и оплодотворение; 7) формирование зерна; 8) молочная спелость зерна; 9) восковая спелость зерна; 10) полная спелость зерна.

Набухание и прорастание семян в полевых условиях начинается сразу же по-

сле посева. Интенсивность набухания зависит от температуры и влажности почвы. Нижним пределом влажности почвы, при котором возможно набухание зерна, является влажность завядания. Зерно начинает поглощать влагу из почвы при температуре около 0 °С и с повышением температуры интенсивность поглощения воды зерном повышается. От посева до набухания при достаточном увлажнении требуется 50 °С среднесуточных температур. Наиболее благоприятная температура для набухания семян 12–18 °С. При набухании начинается разрастание кончика корешка зародыша и пёрышка, которые пробивают оболочку зерна, и начинается прорастание. От начала прорастания до появления всходов требуется 60–90 °С, что зависит от глубины посева семян. В этот период определяется число растений на единице площади, которое зависит от полевой всхожести семян. Зерно пшеницы прорастает, как правило, пятью корешками. От начала набухания семян до появления всходов необходима сумма среднесуточных положительных температур в среднем около 120 °С. Окончание фазы набухания и прорастания зерна определяется временем появления над поверхностью почвы coleoptила в виде шильца.

Всходы – появление на поверхности почвы coleoptила и первого листа. Coleoptиль защищает лист от механических повреждений при росте в почве. Первый лист появляется из coleoptила в виде шильца зелёного цвета, в отличие от бесцветного или бледно-зелёного coleoptила. Фаза всходов совпадает с установлением среднесуточных температур от 15–17 до 8–10 °С. Сумма среднесуточных положительных температур за период прохождения фазы всходов при нормальных условиях обычно составляет 170–180 °С.

После появления первого листа начинается рост надземной части стебля, последовательно появляются второй, третий, четвёртый листья. К началу образования четвёртого листа рост корневидного междоузлия прекращается, почки на верхней части корневого междоузлия

увеличиваются в размере и видны в виде утолщения шаровидной формы – узлы кущения. Одновременно с ростом листьев разрастается и корневая система, которая во время формирования четвёртого листа проникает на глубину до 40–50 см.

Кущение определяется появлением из пазухи нижнего листа первого бокового побега. Он формируется из почки у основания влагалища первого листа главного стебля. Затем из почки у основания второго листа формируется второй боковой побег. Боковые побеги могут образовываться из почек у основания листьев не только главного, но и боковых побегов. Из этих почек формируются боковые побеги второго, третьего, четвертого порядка и т.д. В полевых условиях на одном растении пшеницы озимой обычно образуется 5–7 побегов.

Боковые побеги закладывают узлы кущения около узла кущения главного стебля. Они могут образовываться не только из почек узла кущения, но и из спящих почек зародыша и почек, расположенных у основания coleoptила. Число стеблей, сформированных на одном растении, называют коэффициентом кущения, или кустистостью. Различают общую кустистость, включающую все образовавшиеся на растении стебли, и продуктивную кустистость – те стебли, которые дают озернённые колосья.

В фазе кущения одновременно с образованием побегов происходит интенсивный рост корневой системы. Первичные корни проникают на глубину до 100 см. В это время из узлов кущения формируется вторичная корневая система. Каждый боковой побег образует по два вторичных корешка, которые проникают в почву до 30–50 см. Первичная и вторичная корневые системы вместе формируют мочковатую систему растения.

В полевых условиях фаза кущения начинается при среднесуточной температуре 12–10 °С и прекращается при достижении температуры 3–5 °С. Весной кущение возобновляется с началом весенней вегетации. Продолжительность

фазы кущения в зависимости от условий выращивания может сильно колебаться. Она разделяется на два периода: осеннее кущение и весеннее кущение. Продолжительность осеннего кущения составляет 25–30 суток, весеннего – 30–35 суток.

В период всходы – кущение определяется число стеблей, листьев, члеников колосового стержня и колосков в колосе. От всходов до начала кущения требуется 220–230 °С среднесуточных положительных температур.

Выход в трубку. Началом фазы выхода в трубку считается время, когда сближенные междоузлия и узлы будущего стебля (уголщение) прощупываются в пазухах листьев на высоте 2–3 см от поверхности почвы. Это совпадает с окончанием роста первого и началом роста второго междоузлия. Окончанием фазы выхода в трубку считают время появления колоса из пазухи последнего листа. Интенсивность роста стебля в этой фазе неодинакова. Стебли боковых побегов короче стебля главного побега. Одновременно идет развитие колоса, и к окончанию фазы все органы колосков в колосе уже полностью сформированы. Фаза выхода в трубку характеризуется интенсивным ростом корневой системы. К концу фазы первичные корни достигают глубины 150 см и больше, а вторичные корни – 70–100 см.

В период кущение – выход в трубку определяется число цветков в колосках, их фертильность. От конца кущения до окончания фазы выхода в трубку требуется сумма среднесуточных положительных температур около 220 °С.

Колошение начинается с появлением колоса из пазухи последнего листа главного стебля. Первыми появляются колосья на главных стеблях, через 1–3 суток – на боковых побегах. В зависимости от срока образования на боковых побегах формируется колос или не формируется. В пределах одного растения колошение длится 3–4 суток, а на поле заканчивается за 5–6 суток. Сухая и жаркая погода, недостаток влаги в почве в фазе колошения

приводит к нарушению формирования генеративных органов и образованию в колосе большого числа недоразвитых и стерильных цветков.

Цветение и оплодотворение. Цветение начинается на вторые–третьи сутки после выхода колоса из влагалища верхнего листа. Начинается цветение с нижних колосков средней части колоса и распространяется вниз и вверх по колосу. Продолжительность цветения колоса 3–5 суток, поля – 6–7 суток. Наиболее интенсивно цветение идет в утренние (с 7 до 11) и вечерние (с 17 до 22) часы.

Пшеница озимая относится к самоопыляющимся растениям. Ей свойственно двойное оплодотворение. После оплодотворения зёрен идёт формирование зародыша, налив и созревание зерна, прекращается нарастание вегетативной массы, но корни продолжают расти до фазы молочной спелости.

В практике проведения научных исследований фазы цветения и оплодотворения можно не отмечать.

Формирование зерна. Сразу после оплодотворения начинается формирование и оболочек зерна, которое заканчивается при благоприятных условиях на 10–12-е сутки, и оно приобретает присущую зрелому зерну форму, но имеет существенно большую ширину. Зародыш начинает формироваться на 1–2 суток позже эндосперма. Сначала закладывается колеоптиль, затем первый листок, точка роста и щиток. Последними формируются первичные корешки. Формирование эндосперма и зародыша обычно длится 10–12 суток, к концу фазы формирования в зерне накапливается 25–35 % сухого вещества от его количества в зрелом зерне, зерно теряет зелёную окраску, приобретает молочную, нижние листья засыхают, идет отмирание недоразвитых боковых побегов.

Молочная спелость наступает, когда содержимое зерна приобретает состояние молочной жидкости. Затем оно становится более густым и телесной окраски. Фаза молочной спелости характеризуется ин-

Таблица 1

Биологические и экологические особенности пшеницы озимой

тенсивным накоплением пластических веществ в зерне. В конце фазы в зерне содержится до 90–95 % зольных веществ, 70–80 азотистых и 50–60 % углеводов от максимального их количества в зерне. Масса сухого вещества 1000 зёрен к концу молочной спелости удваивается по сравнению с начальной. Содержимое зерна постепенно меняется от молочного состояния к тестообразному.

В фазе молочной спелости идёт интенсивное отмирание листьев, и к концу фазы зелёную окраску сохраняет только верхний лист. Продолжительность фазы молочной спелости составляет обычно 10–12 суток. Высокая температура, особенно при недостатке влаги в почве, снижает темпы поступления пластических веществ из листьев и стебля к зерну, и зерно формируется щуплым.

Восковая спелость характеризуется приобретением содержимым зерна восковидного состояния. В начале фазы зерно имеет желтоватую окраску, к концу – жёлтую. В это время полностью прекращается поступление зольных элементов в зерно, резко снижается накопление углеводов и азотистых веществ. Сухая масса зерна увеличивается на 8–10 % по сравнению с предыдущей фазой.

К концу фазы все листья теряют зелёную окраску, и лишь верхнее междоузлие стебля сохраняет тёмно-зелёный цвет, желтеют колосья, влажность зерна снижается до 22–20 %. Продолжительность фазы восковой спелости зерна составляет от 5–6 до 8–10 суток.

Полная спелость – состояние зерна, при котором пшеницу озимую можно убирать прямым комбайнированием при хорошем вымолоте колоса. По мере снижения влажности зерна до 20 % и ниже плодоножка отмирает. В дальнейшем влага теряется без заметного изменения массы сухого вещества.

О биологических и экологических особенностях озимой пшеницы можно судить по таблице 1.

Фаза роста и развития	Этап органогенеза и ведущие процессы	Формирование элементов продуктивности	Продолжительность фазы, сутки	Требования к условиям произрастания	
				температура, °С	влажность, % (НВ)
1	2	3	4	5	6
Набухание и прорастание семян	I. Дифференциация и рост зародышевых органов	Полевая всхожесть, густота стояния растений	7–25	min 1–2, opt 12–20, max 30	80–90
Всходы			15–25	min 4, opt 15–27, max > 30	
Кущение	II. Дифференциация основания конуса на зачаточные узлы, междоузлия и листья	Габитус и высота растений	Осенний период 25–30, весенний – 30–35	min 2–4, opt 13–18, max > 30	Не ниже 80
	III. Дифференциация главной оси зачаточного соцветия	Количество членков колосового стержня			
	IV. Образование конусов нарастания второго порядка (колосовых буторков)	Количество колосков в колосе			
Выход в трубку (стеблевание)	V. Закладка покровных органов цветка, тычинок и пестиков	Количество цветков в колосках	От 0–25 до 30–35	min 8–10, opt 20–25, max > 25	Не ниже 80
	VI. Формирование соцветия и цветка (макро- и микроспорогенез)	Фертильность цветков, плотность колоса			
	VII. Гаметофитогенез, рост покровных органов				
Колошение	VIII. Завершение формирования органов цветка и соцветия	Фертильность цветков, плотность колоса	На 1 растении 3–4, на поле – 5–6	min 6–7, opt 25–30, max > 30	Не ниже 80
Цветение и оплодотворение	IX. Оплодотворение и образование зиготы	Озернённость колоса	На 1 растении 3–5, на поле – 6–7		75–80

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
Молочная спелость	X. Рост и формирование зерновки	Величина зерновки	На юге 12, на севере – 14–18	–	Коэффициент водопотребления 400–500
Восковая спелость	XI. Накопление пластических веществ в зерновке	Масса зерновки	От 5–6 до 8–10	–	–
Полная спелость	XII. Превращение питательных веществ в запасные	Масса зерновки	Между 20.VI и 07.VII	–	–

Диагностика минерального питания пшеницы озимой

Для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур необходима мобилизация их потенциальных возможностей в процессе формирования урожая и его качества. При этом важно осуществлять постоянный мониторинг состояния растений в посевах и контролировать агрохимическую характеристику почвы с учётом применяемых агротехнологий возделывания культур, погодных условий вегетационного периода.

Почвенная диагностика питания растений. Для определения уровня плодородия почв методами почвенной диагностики необходимо дать допосевную характеристику почвы в пахотном и подпахотном слоях и в течение вегетации проводить мониторинг изменений наиболее динамичных свойств: минерального питания, влагообеспеченности, аэрации и т. д. В течение вегетационного периода культур почвенные образцы берут по фазам развития растений. Наименьшее число отборов за вегетацию – до посева и сразу после уборки урожая. Почвенные образцы для анализа должны быть сохранены в естественном состоянии.

В приведенных ниже таблицах 2, 3 и 4 даны группировки почв по содержанию подвижных форм элементов, необходимых при почвенной диагностике питания

растений и указаны методы определения этих соединений.

Таблица 2

Группировка почв по обеспеченности азотом, мг/кг почвы

Группа обеспеченности	Обеспеченность элементами	Содержание гидролизуемого азота по методу И.В. Тюрина и М.М. Кононовой при pH			Нитрификационная способность почвы по методу С. Кравкова
		pH < 5,0	pH 5,0–6,0	pH > 6,0	
I	Очень низкая	< 40	< 30	< 30	< 5
II	Низкая	50	40	40	5–8
III	Средняя	50–70	40–60	40–50	8–15
IV	Повышенная	70–100	60–80	50–70	15–30
V	Высокая	100–140	80–120	70–100	30–60
VI	Очень высокая	> 140	> 120	> 100	> 60

Таблица 3

Группировка почв по обеспеченности подвижным фосфором (P₂O₅) и обменным калием (K₂O)

Группа обеспеченности	Обеспеченность элементами	Содержание фосфора, мг/кг, по методу		Содержание калия, мг/кг, по методу	
		Чирикова	Мачигина	Чирикова	Мачигина
I	Очень низкая	< 20	< 10	< 20	< 100
II	Низкая	20–50	10–15	20–40	100–200
III	Средняя	50–100	15–30	40–80	200–300
IV	Повышенная	100–150	30–45	80–100	300–400
V	Высокая	150–200	45–60	120–180	400–600
VI	Очень высокая	> 200	> 60	> 180	> 600

Таблица 4

Группировка почв по обеспеченности подвижными формами микроэлементов в вытяжке по методу Н.К. Крупского и А.М. Александровой

Обеспеченность микроэлементами	Содержание микроэлементов, мг/кг почвы			
	Zn	Mn	Cu	Co
Низкая	< 2,0	< 10,0	< 0,2	< 0,15
Средняя	2,0–5,0	10,0–20,0	0,2–0,5	0,15–0,30
Высокая	> 5,0	> 20,0	> 0,5	> 0,30

Визуальная диагностика. Определённые внешние признаки проявляются на растении вследствие нарушения их питания и обусловлены недостатком или токсичным избытком какого-либо элемента. Распознавание таких нарушений по

внешним признакам представляет собой визуальную диагностику питания растений. При визуальной диагностике, прежде всего, устанавливаются, внешний вид каких частей растений изменился, а затем уточняют дефицит или избыток элемента по характерным для каждого из них признакам. Визуальная диагностика имеет значение только в том случае, если симптомы дефицита элементов выявляются в самом начале их проявления, что позволяет быстро и достаточно точно установить причину и определить приёмы по её устранению. Достоинство визуального метода диагностики заключается в его простоте и доступности для широкого использования в практике.

Перед использованием показателей визуальной диагностики необходимо убедиться, что растения не поражены болезнями или не повреждены вредителями, которые также изменяют внешний вид растений, не подвержены действию засухи или переувлажнения, кислотности или щёлочности, засоления, переуплотнения почвы. Следует также учитывать погодные условия и агротехнику возделывания культур. Признаки дефицита или избытка того или иного элемента часто имеют похожие внешние проявления.

Дефицит азота выражается в замедлении роста растений, снижении фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза, уменьшении массы корней. Ранним проявлением дефицита азота является бледно-зелёная окраска листьев нижнего яруса. Листья приобретают красную окраску, затем бурю и засыхают.

Общими признаками дефицита азота у всех растений являются одревеснение стеблей, острый угол расположения листьев к стеблю, задержка вегетативного роста, увеличение транспирации, уменьшение числа цветков и их быстрый опад, ускорение цикла вегетации и созревания.

У пшеницы озимой недостаток азота может появляться как осенью, так и весной. Осенью чаще всего во время кущения растений. Листья становятся мелкими, бледно-зелёной окраски. При

сильном недостатке элемента верхушки нижних листьев приобретают жёлтую, с розовым оттенком окраску. Кущение слабое, при сильном дефиците азота отсутствует.

Необходимо различать посветление и пожелтение листьев, вызванные другими причинами, например, недостатком влаги (недостаток азота не сопровождается увяданием листьев в дневные часы), железа или других элементов питания, поражением болезнями или повреждением вредителями, в результате естественного старения.

Избыток азота в почвенном растворе приводит к чрезмерному образованию вегетативной массы, увеличению продолжительности вегетационного периода, снижению устойчивости растений к болезням и вредителям, снижению урожая и его качества.

Избыток азота у всех растений проявляется на нижних листьях. При буровато-зелёном их цвете края листовых пластинок приобретают бурю окраску, загибаются к нижней стороне листа «обожжёнными» краями. Распад тканей начинается от краев листа, затем распространяется по всей листовой пластинке и лист отмирает.

Дефицит фосфора. При недостатке фосфора задерживается рост надземных органов и формирование плодов, корни же сначала растут быстро, но затем их рост замедляется и они приобретают бурю окраску. Физиологическое проявление дефицита фосфора начинается с нижних листьев. Листья становятся мелкими; молодые листья зелёные с синим оттенком, а более старые начинают желтеть; между жилками появляются небольшие некротические пятна, которые затем сливаются и листья засыхают. Часто на стеблях и обратной нижней стороне листьев появляется фиолетово-красная окраска, края листьев загибаются вверх. При дефиците фосфора цветки мелкие, опадающие, резко уменьшается образование и развитие репродуктивных органов. Недостаток фосфора по внешнему виду растений определить труднее, чем недостаток азота. При его недостатке наблюдается ряд таких же признаков, как

и при дефиците азота, – угнетённый рост (особенно у молодых растений), короткие и тонкие побеги, мелкие, преждевременно опадающие листья. Однако имеются и определённые различия: при недостатке фосфора окраска листьев тёмно-зелёная, голубоватая, тусклая. Засыхающие листья имеют тёмный цвет, а при недостатке азота – светлый.

У озимой пшеницы при остром недостатке фосфора верхушки нижних листьев приобретают лиловую и красно-фиолетовую окраску, остальная часть листа тёмно-зелёная с голубоватым оттенком. Кушение слабое или отсутствует. Листья мелкие, узкие. Весной, после перезимовки, фиолетовая окраска проявляется на стеблях. Рост угнетённый, растения мелкие.

Избыток фосфора в почвенном растворе приводит к чрезмерно быстрому развитию растений и раннему созреванию в ущерб величине и качеству урожая.

Дефицит калия. При недостатке калия замедляется синтез белка, что приводит к накоплению аммиачного азота в листьях и может вызвать отравление аммиаком, снижается интенсивность фотосинтеза, и при значительном дефиците элемента листья желтеют. В дальнейшем края листьев и их верхушки приобретают бурую окраску, иногда с похожими на ржавчину красными пятнами, а затем происходит отмирание и разрушение ткани этих участков. Листья при этом выглядят как бы обожжёнными (так называемый «ожог листа»).

У пшеницы озимой при недостатке калия осенью в период кушения листья тёмно-зелёные, затем начинают желтеть с верхушек, особенно у двух нижних листьев. Весной в колошение признаки дефицита могут проявиться снова. При этом верхушки листьев желтеют и отмирают по краям, становясь коричневыми. Стебли низкие, слабые, могут полежать.

Избыток калия в почвенном растворе препятствует поглощению растениями ионов кальция и магния.

Дефицит кальция. При недостатке кальция в первую очередь страдают молодые ткани и корни растений. Недостаток кальция приводит к набуханию пектиновых веществ, что вызывает ослизнение клеточ-

ных стенок и разрушение клеток. В результате корни, листья и отдельные участки стебля загнивают и отмирают. У растений снижается устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды. Дефицит кальция обостряется при низкой рН почвенного раствора.

Проявляется дефицит кальция на верхних частях растения: верхние листья становятся белёсыми, в то время как нижние листья остаются зелёными. При остром дефиците кальция верхушки стеблей теряют тургор и изгибаются вниз вместе с верхними листьями и соцветиями из-за ослабления клеточных стенок, в состав которых входит кальций. Такие ткани ослизняются, и листья концами могут слипаться. Острый дефицит кальция может вызвать отмирание точки роста.

Дефицит магния. При дефиците магния хлорофилл разлагается, начиная с нижних листьев. Отток магния из старых листьев в молодые происходит по жилкам листа, поэтому жилки долго остаются зелёными, а межжилковые участки листа приобретают желтоватую окраску. Постепенно пожелтевшая часть листа приобретает бурую окраску и ткань отмирает. Признаки магниевой недостаточности проявляются прежде всего на старых листьях. Острый дефицит магния вызывает «мраморность» листьев, их скручивание и пожелтение. Дефицит магния может наблюдаться на почвах с очень высоким содержанием обменного калия и аммонийного азота, а также на почвах лёгкого гранулометрического состава.

При *избытке магния* у растений начинают отмирать корни, растение перестает усваивать кальций, и проявляются симптомы, которые характерны для недостатка кальция.

Дефицит серы. При недостатке серы тормозится синтез серосодержащих аминокислот и белков, снижается фотосинтез и подавляется рост растений.

Внешнее проявление дефицита серы похоже на дефицит азота: листья растений становятся светло-зелёными, а позднее – жёлтыми, частично с красным оттенком. Различие заключается в том, что недостаток азота проявляется на ста-

рых листьях, а дефицит серы – на молодых. При недостатке серы стебли становятся более короткими, тонкими, одревесневшими, жёсткими и хрупкими, а интенсивность роста корней резко снижается.

Дефицит бора. Бор способствует интенсивности фотосинтеза в утренние и вечерние часы и снижению её полуденной депрессии. Бор необходим для формирования жизнеспособной пыльцы и способствует быстрому её прорастанию и росту пыльцевых трубок.

Симптомы дефицита бора проявляются на верхних частях растения. Характерным признаком недостатка бора является появление чёрных некротических пятен на молодых листьях. В растениях нарушается развитие проводящей системы, сосуды её искривляются и сжимаются, что приводит к нарушению транспорта воды и питательных веществ. Особенно сильно страдают точки роста стеблей и корней. При остром дефиците бора точки роста отмирают. Симптомы борной недостаточности проявляются сильнее в сухую и жаркую погоду.

У злаковых колосовых культур колосья ветвятся, недостаток бора в период заложения зачатков цветков сказывается в резком уменьшении числа цветков и увеличении их стерильности.

Дефицит марганца. При недостатке марганца задерживается рост растений, но верхушечные точки роста не отмирают. Характерным симптомом дефицита марганца является точечный хлороз листьев. На верхних листьях наблюдается межжилковый хлороз. Листья становятся светло-зелёными, бледно-зелёными, красными или серыми, позже ткани отмирают, при этом появляются пятна различной формы и окраски. Признаки марганцевой недостаточности появляются, прежде всего, у основания листьев, а не на кончиках, как при недостатке калия.

Признаки недостатка марганца чаще наблюдаются у растений, произрастающих на карбонатных, пойменных и лугово-чернозёмных почвах с нейтральной и щелочной реакцией почвенного раствора. Марганцевая недостаточность усиливается

при избытке растворимых соединений железа в почве.

Дефицит молибдена. Молибден выполняет защитную функцию в отношении токсического влияния на растения подвижного алюминия, оказывает положительное влияние на морозо- и засухоустойчивость растений.

Симптомы дефицита молибдена сходны с признаками недостатка азота с той лишь разницей, что при недостатке азота признаки проявляются прежде всего на закончивших развитие листьях, а при недостатке молибдена – на верхних молодых листьях. При дефиците молибдена растения выглядят слабыми и имеют бледно-жёлтую окраску.

Дефицит молибдена сильнее проявляется на кислых почвах. При кислой реакции почвенного раствора молибден переходит в труднорастворимые соединения, при нейтральной и щелочной – становится более подвижным и доступным.

Дефицит цинка. Цинк способствует процессу оплодотворения и развития зародыша, повышает устойчивость растений к низким и высоким температурам, грибным и бактериальным болезням, оказывает существенное влияние на поступление и обмен фосфора в растении.

Дефицит цинка сильнее проявляется на нейтральных и слабощелочных (карбонатных) почвах и усиливается при очень высоком содержании в почвах подвижных фосфатов. Недостаток цинка проявляется весной. От цинковой недостаточности страдают прежде всего молодые органы растения. Характерными симптомами дефицита цинка у растений является возникновение хлоротичных пятен между жилками листьев, преждевременное созревание растений и резкое снижение их продуктивности. Верхние листья бледнеют, а на нижних появляются бурые пятна, похожие на ржавчину.

Отбор образцов для растительной диагностики

Правильный выбор индикаторного органа для растительной диагностики необходим потому, что разные органы растения неодинаково реагируют на изменение

условий среды. Это связано как с различиями в физиологической роли органов растения, так и с разной реутилизацией поступающих питательных элементов. Для высокой точности анализа отбор образцов лучше проводить по фазам развития, а не по календарным датам.

При диагностике содержания в растениях нитратного азота нужно учитывать, что нитраты из корней передвигаются в верхние части по сосудисто-проводящим системам, постепенно восстанавливаясь. Поэтому для нитратов индикаторными органами служат нижние ярусы стеблей, черешки и главные жилки нижних здоровых листьев. Сосудисто-проводящие системы содержат также много ортофосфатов и других неорганических соединений. Для них индикаторными органами также являются стебли и главные жилки листьев.

В целом для диагностики обеспеченности реутилизируемыми элементами (азот, фосфор, калий, магний) индикаторными органами являются нижние листья, для всех других макро- и микроэлементов – верхние молодые листья и верхние части растений.

Для растительной диагностики образцы растений следует отбирать в одни и те же часы, лучше в 9–10 часов утра, чтобы исключить влияние суточного колебания в химическом составе растений и иметь достаточно времени для выполнения срочных работ со свежими образцами. Сырая масса образца должна быть 500, сухая масса – не менее 200 г. Из взятого образца берут индикаторные органы для тканевой диагностики и для химического анализа. В пробу должно входить 100–200 листьев.

Тканевая диагностика – метод определения минерального азота, фосфора, калия и других элементов в соке свежих растений или срезах. Для анализа используют срезы стеблей, черешков, главных жилок листьев, т.е. органов, богатых проводящими пучками, по которым поступают из почвы минеральные элементы, а также выжатый сок из свежих растений.

Этот метод диагностики оперативно отражает уровень обеспеченности элементами питания растений на отдельных

этапах онтогенеза и даёт достаточно точные результаты в ранние фазы развития растений, когда идет интенсивное потребление питательных элементов.

Разработаны экспрессные (быстрые) методы анализов срезов и сока растений, позволяющих получить полуколичественную оценку обеспеченности растений элементами питания с помощью переносных лабораторий «Тканевая диагностика», портативного прибора «N-тестер», экспресс-анализа срезов и сока растений по методу В.В. Церлинг (прибор ОП-2) и др.

В практике чаще всего тканевую диагностику пшеницы озимой проводят в фазы выхода в трубку, начало колошения. Дозы азотной подкормки устанавливаются по уровню обеспеченности нитратным азотом (табл. 5).

Таблица 5

Доза азотной подкормки пшеницы озимой в зависимости от обеспеченности растений нитратным азотом

Фаза вегетации	Средний балл обеспеченности растений азотом и доза подкормки, кг/га, по В.В. Церлинг				
	< 0,5	0,6–1,0	1,1–2,0	2,1–2,5	2,6–3,0
Выход в трубку	60	40	30	20	0
Начало колошения	60	40	30	20	0

Листовая диагностика основана на определении валового содержания питательных элементов в листьях, целом растении или в отдельных органах по общепринятым методикам после мокрого или сухого озоления растительного материала. С учётом состояния, роста и развития растений определяют их обеспеченность элементами минерального питания. Анализ растений точнее отражает обеспеченность элементами питания, чем анализ почвы.

Метод листовой диагностики достаточно точный, но трудоёмкий и выполняется в оборудованных лабораториях. Его используют для диагностики азотного питания пшеницы озимой в период от колошения до молочной спелости зерна. В это время потребление азота из почвы прекращается и происходит его отток из листьев в зер-

новку (реутилизация). Для получения высококачественного зерна пшеницы озимой вопрос о необходимости и дозе азотной подкормки решается по результатам листовой диагностики.

Содержание общего азота определяют в трёх верхних листьях, которые отбирают с 50 главных стеблей по диагонали поля в равноудалённых точках. Отобранные образцы в день отбора отправляют в лабораторию на анализ. Потребность и дозу поздней подкормки определяют по содержанию общего азота в листьях (табл. 6).

Таблица 6

Потребность озимой пшеницы в азотной подкормке

Содержание общего азота в листьях, % на сухое вещество, в фазы		Потребность в подкормке	Доза азота, кг/га
колошение – начало цветения	цветение – формирование зерновки		
< 3,0	< 2,0	Очень сильная	60
3,1–3,5	2,1–2,5	Сильная	40
3,6–4,0	2,6–3,0	Средняя	30
4,1–4,5	3,1–3,5	Слабая	20
> 4,5	> 3,5	Отсутствует	0

Фенология

Фенологические наблюдения – регистрация очередной фазы развития с целью установления различий в росте и развитии растений по вариантам опыта. На основании фенологических наблюдений выявляют различия вариантов в наступлении и продолжительности фенологических фаз, а также по вегетационному периоду. Очень важно отмечать различия в течение вегетации, что позволяет полнее оценить характер и продолжительность действия изучаемых факторов.

Фенологию проводят на выделенных постоянных площадках в четырёх местах делянки площадью 0,25–0,5 м² и отмечают даты:

- *посева*;
- *фазы всходов* (появление на поверхности почвы coleoptilia и первого листа);
- *фазы кущения* (появление из пазухи нижнего листа первого бокового побега);

- *фазы выхода в трубку* (начало роста второго междоузлия – появление колоса из пазухи последнего листа);

- *фазы колошения* (появление колоса из пазухи последнего листа заглавного стебля – на боковых побегах);

- *фазы молочной спелости* (содержимое зерна приобретает состояние молочной жидкости);

- *фазы восковой спелости* (содержимое зерна приобретает восковидное состояние);

- *фазы полной спелости* (состояние зерна, при котором пшеницу можно убирать прямым комбайнированием при хорошем вымолоте колоса).

Биометрия – наблюдения за количественными показателями роста и развития растений, признаками которых являются густота стояния растений, высота растений, сухая масса растений и т. д.

Биометрические наблюдения и учёт проводят на выделенных пробных площадках в четырёх местах делянки площадью 0,25–0,5 м² каждая.

Густоту всходов осенью определяют подсчётом числа растений в фазе полных всходов, шт/м².

Густоту стояния растений весной – подсчётом числа растений при возобновлении весенней вегетации растений, шт/м².

Густоту стеблестоя – подсчётом числа продуктивных (с колосом) и непродуктивных (без колоса) стеблей в фазе колошения, шт/м².

Определение структуры урожая

Определение структуры урожая проводят по анализу снопа, взятого на выделенной пробной площадке площадью 0,25 м² в фазе восковой спелости в утренние часы. При этом учитывают опавшие с растений листья, которые включают в образец снопа. Растения отбирают с корнями и в лаборатории корни отделяют на уровне корневой шейки. Из отобранных снопов берут 25–30 растений для анализа структуры урожая. В лаборатории сноп взвешивают вместе с листьями, подсчитывают общее число стеблей, число продуктивных стеблей на 1,0 м².

По 25–30 растениям определяют:

- длину стебля – расстояние от корневой шейки до колоса, см;
- длину колоса, см;
- число колосьев, шт.;
- число колосков в колосе, шт.;
- число зёрен в колосе, шт.;
- массу зёрен в колосе, г;
- массу зёрен с 1,0 м², г;
- массу 1000 зёрен по ГОСТ 12042-80 [8], г;
- массу зерна по ГОСТ Р 54895-2012 [9], г.

Лабораторно-аналитические наблюдения

Определяют физические и химические свойства почвы, содержание питательных элементов в вегетативных органах растений и в зерне.

Влажность почвы и запасы влаги определяют на глубину 150 см послойно через 10 см: осенью перед посевом или при полных всходах, весной в фазах кушения, колошения и полной спелости в двух точках каждой делянки на пробных площадках. В свежих почвенных образцах параллельно с определением влажности определяют содержание нитратной и аммонийной форм азота.

Другие *агрофизические показатели почвы* определяют в слое 0–40 см послойно через 10 см, если это предусмотрено программой исследований.

Агрохимические показатели почвы (за исключением форм минерального азота) изучают в слое 0–60 см послойно через 20 см, отбирая единичные почвенные образцы в 16–20 точках опыта осенью перед посевом и весной при возобновлении весенней вегетации растений. Каждый образец почвы анализируют отдельно.

Виды агрофизических и агрохимических анализов почвы определяются целями и задачами исследований.

Анализ растительных образцов включает определение содержания питательных элементов: азота по методу Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93) [10], фосфора – колориметрическим методом по ГОСТ 26657-97 [11], калия – пламенно-фотометрическим методом по ГОСТ 26726-85 [12]. В зерне определяют содержание белка, количество и качество

клейковины по ГОСТ Р 54478-2011 [13], стекловидность по ГОСТ 10987-76 [14].

Виды анализа растительных образцов и сроки их отбора для анализа определяются целями и задачами исследований.

Учёт урожая

За несколько дней до уборки осматривают опытный участок, делянки, при необходимости делают *выключки* – исключение части учётной делянки вследствие случайных повреждений или ошибок, допущенных во время работы.

Уборку урожая на учётной площади делянки проводят после удаления крайних растений с учётных рядов прямым комбайнированием в фазе полной спелости растений. Зерно с учётной площади каждой делянки взвешивают и после взвешивания отбирают пробы массой около 1 кг для определения влажности зерна по ГОСТ 12041–82 [15], чистоты и отхода семян по ГОСТ 12037-81 [16] и химического анализа.

Урожайность рассчитывают по формуле:

$$Y = \frac{M \cdot 10}{S} \cdot \frac{(100 - B)}{(100 - B_{ст})} \cdot \frac{(100 - C)}{100},$$

где Y – урожайность при стандартной влажности зерна (14 %), т/га;

M – масса зерна с делянки, кг;

S – учётная площадь делянки, м²;

B – влажность зерна при взвешивании урожая, %;

$B_{ст}$ – стандартная влажность зерна, %;

C – отход примеси, %.

Расчёт потребления питательных элементов, сбора белка

Потребление питательных элементов сухой вегетативной биомассой растений или зерном пшеницы озимой рассчитывают по формуле:

$$P = Y \cdot C \cdot 10,$$

где P – потребление элемента питания, кг/га;

Y – урожай сухой биомассы или зерна, т/га;

C – содержание питательного элемента, %.

Расчёт сбора белка с урожаем зерна проводят по формулам:

$$CB = \frac{Y \cdot B \cdot (100 - B_{ст})}{100 \cdot 100},$$

где CB – сбор белка, кг/га;

Y – урожайность зерна, кг/га;

B – содержание белка в зерне, %;

100 – коэффициент для пересчёта в кг/га;

$\frac{(100 - B_{ст})}{100}$ – коэффициент для пере-

счёта на стандартную влажность зерна (14 %).

Список литературы

1. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Трунова М.В., Семеренко С.А., Махонин В.Л. Методика проведения агротехнических исследований в опытах с масличными культурами (Сообщение 1. Исследования в опытах с соей) // Масличные культуры. – 2023. – Вып. 1 (193). – С. 33–50.
2. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Семеренко С.А. Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2022. – 538 с.
3. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
4. Шеуджен А.Х., Загорюлько А.В., Громова Л.И., Онищенко Л.М., Лебедевский И.А., Осипов М.А. Диагностика минерального питания растений. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – 297 с.
5. Губанов Я.В., Иванов Н.Н. Озимая пшеница. – М.: Агропромиздат, 1988. – 302 с.
6. Коломейченко В.В. Растениеводство: учебник. – М.: Агробизнесцентр, 2007. – 600 с.
7. Растениеводство: учебное пособие / Под ред. В.А. Алабушева. – Ростов-на-Дону: Изд. центр «МарТ», 2001. – 383 с.
8. ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян. – М.: Стандартинформ, 2011. – С. 116–118.
9. ГОСТ Р 54895-2012. Зерно. Метод определения натурности. – М.: Стандартинформ, 2013. – 6 с.
10. ГОСТ Р 13496.4-93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – М.: Стандартинформ, 2011. – 55 с.
11. ГОСТ Р 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. – Минск: Международный совет по стандартизации и сертификации. – 68 с.
12. ГОСТ Р 26726-85. Межгосударственный стандарт. Реактивы. Пламенно-фотометрический метод определения примесей натрия, калия, кальция и стронция. – М.: Из-во Стандартов, 1986. – 136 с.
13. ГОСТ Р 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. – М.: Стандартинформ, 2012. – 18 с.
14. ГОСТ 10987-76. Зерно. Методы определения стекловидности. – М.: Стандартинформ, 2009. – 3 с.
15. ГОСТ 12041-82. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения влажности. – М.: Стандартинформ, 2011. – С. 109–114.
16. ГОСТ 12037-81. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения чистоты и отхода семян. – М.: Стандартинформ, 2011. – С. 16–34.

References

1. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Trunova M.V., Semerenko S.A., Makhonin V.L. Metodika provedeniya agrotekhnicheskikh issledovaniy v opytakh s maslichnymi kul'turami (Soobshchenie 1. Issledovaniya v opytakh s soey) // Maslichnye kul'tury. – 2023. – Vyp. 1 (193). – S. 33–50.
2. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Semerenko S.A. Metodika agrotekhnicheskikh issledovaniy v opytakh s osnovnymi polevymi kul'turami. – Krasnodar: Prosve-shchenie-Yug, 2022. – 538 s.
3. Tserling V.V. Diagnostika pitaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. – M.: Agropromizdat, 1990. – 235 s.
4. Sheudzen A.Kh., Zagorul'ko A.V., Gromova L.I., Onishchenko L.M., Lebedovskiy I.A., Osipov M.A. Diagnostika mineral'nogo pitaniya rasteniy. – Krasnodar: KubGAU, 2009. – 297 s.
5. Gubanov Ya.V., Ivanov N.N. Ozimaya pshenitsa. – M.: Agropromizdat, 1988. – 302 s.
6. Kolomeychenko V.V. Rasteniyevodstvo: uchebnik. – M.: Agrobiznessentr, 2007. – 600 s.
7. Rasteniyevodstvo: uchebnoe posobie / Pod red. V.A. Alabusheva. – Rostov-na-Donu: Izd. tsentr «MarT», 2001. – 383 s.
8. GOST 12042-80. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya massy 1000 semyan. – M.: Standartinform, 2011. – S. 116–118.
9. GOST R 54895-2012. Zerno. Metod opredeleniya natury. – M.: Standartinform, 2013. – 6 s.
10. GOST R 13496.4-93. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya sodержaniya azota i syrogo proteina. – M.: Standartinform, 2011. – 55 s.
11. GOST R 26657-97. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Metody opredeleniya sodержaniya fosfora. – Minsk: Mezhdunarodnyy sovet po standartizatsii i sertifikatsii. – 68 s.
12. GOST R 26726-85. Mezhsudarstvennyy standart. Reaktivy. Plamenno-fotometricheskyy metod opredeleniya primesey natriya, kaliya, kal'tsiya i strontsiya. – M.: Iz-vo Standartov, 1986. – 136 s.
13. GOST R 54478-2011. Zerno. Metody opredeleniya kolichestva i kachestva kleykoviny v pshenitse. – M.: Standartinform, 2012. – 18 s.
14. GOST 10987-76. Zerno. Metody opredeleniya steklovidnosti. – M.: Standartinform, 2009. – 3 s.
15. GOST 12041-82. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vlazhnosti. – M.: Standartinform, 2011. – S. 109–114.
16. GOST 12037-81. Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya chistoty i otkhoda semyan. – M.: Standartinform, 2011. – S. 16–34.

Сведения об авторах

В.М. Лукомец, научный руководитель, д-р с.-х. наук, акад. Рос. акад. наук

Н.М. Тишков, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук

М.В. Трунова, зам. директора по научной работе, канд. биол. наук

Получено/Received

20.12.2024

Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed

09.01.2024

Получено после доработки/Manuscript revised

19.01.2024

Принято/Accepted

13.03.2024

Manuscript on-line

30.05.2024