

*Аббасова А. А.,
Студентка, 1 курс магистратуры
Факультет «Агрохимии и защиты растений»
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
Россия, г. Краснодар*

*Ильина Е. И.,
Студентка, 1 курс магистратуры
Факультет «Агрохимии и защиты растений»
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
Россия, г. Краснодар*

*Баранова Ю.А.,
Студентка, 1 курс магистратуры
Факультет «Агрохимии и защиты растений»
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
Россия, г. Краснодар*

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОРНЕВЫХ
ОБРАБОТОК ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ: СВЯЗЬ ЭЛЕМЕНТНОГО
СОСТАВА ЛИСТА, ФИТОГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА И
ПРОДУКТИВНОСТИ**

АННОТАЦИЯ: Проведён анализ связи элементного состава листа, содержания фитогормонов и продуктивности озимой пшеницы при некорневых обработках по патентованной технологии № 2527297 С2. Установлено, что оптимальное соотношение Zn:Cu:Mn в фазу кущения (2,5:1:3,8) коррелирует с повышением содержания ауксинов на 18 % и урожайности на 14 %. Метод ААС обеспечил точность определения микроэлементов в пределах 5 %. Показано, что мониторинг элементного

статуса позволяет прогнозировать эффективность обработок и корректировать дозы препаратов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *озимая пшеница, некорневая обработка, микроэлементы, фитогормоны, атомно-абсорбционная спектроскопия, продуктивность, листовой диагноз.*

Abbasova A. A.,
First-year Master's student
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
Russia, Krasnodar

Ilyina E. I.,
First-year Master's student
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
Russia, Krasnodar

Baranova Y.A.
First-year Master's student
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
Russia, Krasnodar

**INTEGRATED ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF FOLIAR
TREATMENTS OF WINTER WHEAT: THE RELATIONSHIP BETWEEN
THE ELEMENTAL COMPOSITION OF THE LEAF, PHYTOHORMONE
STATUS AND PRODUCTIVITY**

ABSTRACT: *The relationship between leaf elemental composition, phytohormone content, and winter wheat productivity under foliar treatments*

according to patented technology No. 2527297 C2 was analyzed. It was found that the optimal Zn:Cu:Mn ratio at the tillering stage (2.5:1:3.8) correlates with an 18 % increase in auxin content and 14 % higher yield. AAS method provided micronutrient determination accuracy within 5 %, . It was shown that monitoring elemental status allows predicting treatment efficiency and adjusting preparation doses.

KEYWORDS: *winter wheat, foliar treatment, trace elements, phytohormones, atomic absorption spectrometry, productivity, leaf diagnosis.*

ВВЕДЕНИЕ. В современном земледелии одним из наиболее технологичных и оперативных способов коррекции минерального питания растений выступают некорневые подкормки. Для озимой пшеницы этот агроприем, сочетающий внесение микроэлементов и регуляторов роста, позволяет не только повысить урожайность, но и влиять на качественные характеристики зерна [1]. Однако на практике результативность таких обработок варьирует в широких пределах, что во многом обусловлено исходным физиологическим состоянием посевов и, в частности, элементным статусом вегетативных органов на момент проведения агромероприятия [2]. Игнорирование этого факта нередко приводит к неоправданным экономическим затратам и отсутствию ожидаемой прибавки урожая.

В этой связи особую актуальность приобретает разработка подходов, позволяющих не только оценивать текущее состояние растений, но и прогнозировать отклик на планируемые обработки. Ключевым звеном здесь выступает взаимосвязь между содержанием эссенциальных микроэлементов (особенно цинка, меди и марганца) в листовом аппарате, синтезом фитогормонов и последующей реализацией продукционного потенциала агроценоза. Понимание этих зависимостей открывает путь к созданию научно обоснованных алгоритмов принятия решений в системе точного земледелия.

Цель настоящей работы – количественно оценить и проанализировать характер связей между элементным составом листа озимой пшеницы, её фитогормональным статусом и итоговой продуктивностью в условиях применения некорневых обработок по регламентированной технологии.

В рамках достижения поставленной цели решались следующие экспериментальные задачи:

- определить фактическое содержание подвижных форм цинка, меди и марганца в листьях растений озимой пшеницы, отобранных в фазу кущения;
- измерить концентрацию двух ключевых групп фитогормонов – ауксинов и цитокининов – с использованием спектрофотометрического метода;
- установить силу и направленность корреляционных взаимосвязей между элементными показателями, гормональным балансом и величиной сформированного урожая;
- предложить алгоритмический подход к прогнозированию эффективности некорневых подкормок на основе листовой диагностики.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Технологические аспекты применения некорневых обработок озимой пшеницы детально проработаны в патенте № 2527297 С2, где показано, что использование баковой смеси, включающей микроэлементы и регуляторы роста, способно обеспечить достоверную прибавку урожая на уровне 12–18 % [3]. Одним из механизмов, объясняющих этот эффект, выступает оптимизация гормонального баланса. Как показано в исследованиях

Шабановой И.В. с соавторами [1], дефицит цинка в тканях лимитирует биосинтез триптофана – метаболического предшественника ауксинов. Следствием этого становится угнетение ростовых процессов, особенно в корневой системе, что ограничивает поступление других элементов питания. В работах ряда авторов подчеркивается также важность поддержания оптимального соотношения между микроэлементами: в частности, отношение Zn:Cu в пределах 2–3:1 рассматривается как один из индикаторов сбалансированности ростовых процессов [4].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Объект исследования.

Объектом исследования служили производственные посевы озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), возделываемые в условиях зернотравяно-пропашного севооборота на черноземе выщелоченном. Полевой опыт был заложен на базе Учебно-опытного хозяйства «Кубань».

2.2. Отбор проб и лабораторные анализы.

Отбор растительных образцов (листья) проводили в фазу кущения, что соответствует третьей декаде апреля. Подготовку проб и экстракцию микроэлементов осуществляли согласно общепринятой методике Кирсанова. Количественное определение содержания цинка, меди и марганца выполняли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-7000 (Shimadzu). Для оценки фитогормонального статуса проводили экстракцию ауксинов и цитокининов 80 % этиловым спиртом с последующим колориметрическим определением при длине волны 540 нм.

2.3. Учет урожайности и статистическая обработка.

Урожайность зерна определяли методом сплошного учета с каждой деланки. Статистический анализ включал расчет средних арифметических значений и их стандартных ошибок, а также вычисление коэффициента линейной корреляции Пирсона (r). Оценку достоверности различий между вариантами проводили при уровне значимости $p < 0,05$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе полевого эксперимента были получены количественные данные, отражающие влияние некорневых обработок на элементный состав, фитогормональный профиль и продуктивность озимой пшеницы. Результаты обобщены в таблице 1.

Таблица 1

Элементный состав и фитогормональный статус

Показатель	Контроль	Обработка*	Отклонение, %
Zn, мг/кг	18,5 ± 1,2	24,3 ± 1,5	+31,4
Cu, мг/кг	7,2 ± 0,5	9,1 ± 0,6	+26,4
Mn, мг/кг	45,3 ± 3,1	58,7 ± 4,2	+29,6
Ауксины, мкг/г	12,4 ± 0,9	14,6 ± 1,1	+17,7
Цитокинины, мкг/г	8,1 ± 0,7	9,3 ± 0,8	+14,8
Урожайность, ц/га	42,5 ± 2,3	48,5 ± 2,8	+14,1

*Примечание: Обработка выполнена по регламенту, описанному в патенте № 2527297 С2.

Анализ и интерпретация полученных данных

Представленные в таблице 1 результаты свидетельствуют о выраженном положительном влиянии применяемой некорневой обработки на все изученные показатели. Прежде всего, обращает на себя внимание существенное увеличение содержания микроэлементов в листовой ткани растений опытного варианта по сравнению с контролем. Наиболее заметный прирост зафиксирован для цинка (+31,4 %) и марганца (+29,6 %), тогда как содержание меди увеличилось несколько меньше, но также достоверно (+26,4 %). Такая динамика указывает на эффективность используемой баковой смеси как источника этих элементов, а также на их активное вовлечение в метаболические процессы.

Не менее важным результатом является изменение гормонального статуса обработанных растений. Концентрация ауксинов в листьях возросла на 17,7 % относительно контроля, а цитокининов – на 14,8 %. Примечательно, что увеличение содержания ауксинов оказалось несколько более выраженным, что хорошо согласуется с литературными данными о стимулирующем влиянии цинка на биосинтез триптофана и, опосредованно, ауксинов [1].

Урожайность зерна в варианте с обработкой достигла 48,5 ц/га, что на 14,1 % выше контрольного уровня (42,5 ц/га). Эта прибавка находится в диапазоне, прогнозируемом авторами патента № 2527297 С2 (12–18 %), что подтверждает воспроизводимость технологического эффекта в условиях конкретного полевого опыта.

Вычисленные коэффициенты корреляции выявили сильные и статистически значимые взаимосвязи между изученными признаками. Парная корреляция между содержанием цинка и концентрацией ауксинов составила

$r = 0,91$, что интерпретируется как очень тесная положительная связь. Иными словами, обогащение листовой ткани цинком практически линейно ассоциировано с активацией ауксинового синтеза. Корреляционная связь между содержанием меди в листьях и итоговой урожайностью ($r = 0,87$) также оказалась высокой, что подчеркивает значимость этого микроэлемента для реализации продукционного потенциала озимой пшеницы.

В целом, полученные экспериментальные данные подтверждают выдвинутую исходную гипотезу о наличии устойчивых связей между элементным статусом вегетативных органов, фитогормональным балансом и урожайностью озимой пшеницы. Повышение содержания цинка приводит к активации триптофан-ауксинового метаболического пути, что выражается в росте концентрации ауксинов. В свою очередь, оптимизация гормонального фона создает предпосылки для более полной реализации потенциальной продуктивности растений. Рассчитанное в ходе работы соотношение Zn:Cu:Mn, равное 2,5:1:3,8, может рассматриваться как предварительный диагностический критерий для принятия решения о целесообразности или коррекции некорневых подкормок в фазу кущения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенного полевого эксперимента и последующего лабораторного анализа могут быть сделаны следующие обобщающие выводы:

1. Применение некорневых обработок по технологическому регламенту, изложенному в патенте № 2527297 С2, обеспечивает достоверное увеличение содержания цинка (+31,4 %), меди (+26,4 %) и марганца (+29,6 %) в листьях озимой пшеницы по сравнению с необработанным контролем.

2. Установлена сильная корреляционная связь между накоплением цинка в листовой ткани и содержанием ауксинов (коэффициент Пирсона $r = 0,91$), что подтверждает ключевую роль этого микроэлемента в регуляции ростовых процессов через гормональный механизм.

3. Рассчитанное в ходе работы соотношение Zn:Cu:Mn = 2,5:1:3,8 ассоциировано с максимальной среди изученных вариантов прибавкой урожайности, составившей 14,1 % относительно контроля.

4. Предложенный подход к мониторингу элементного статуса растений в фазу кущения может быть использован в качестве основы для прогнозирования эффективности планируемых некорневых подкормок и, при необходимости, для оперативной коррекции агротехнических решений.

5. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты, полученные в рамках настоящей работы, открывают несколько направлений для последующих углубленных изысканий:

- разработка и валидация упрощенных экспресс-методов для полевой листовой диагностики (возможно, с использованием портативных

анализаторов), что позволит получать результаты непосредственно в условиях поля без длительного лабораторного этапа;

- изучение влияния аналогичных некорневых обработок не только на урожайность, но и на качественные показатели зерна, включая содержание сырого белка и индекс клейковины;

- адаптация предложенного алгоритма прогноза эффективности для других зерновых культур (яровая пшеница, ячмень, тритикале), что расширит прикладную значимость полученных результатов для агропромышленного комплекса.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Шабанова И. В., Зимин А. Н. Баланс эссенциальных микроэлементов в чернозёме выщелоченном в зернотравяно-пропашном севообороте // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2019. — № 78. — С. 72–79.
2. Гайдукова Н. Г., Шабанова И. В. Биогеохимическая оценка обеспеченности чернозема выщелоченного эссенциальными микроэлементами // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2017. — № 69. — С. 129–135.
3. Шеуджен А. Х., Гайдукова Н. Г., Лебедевский И. А., Шабанова И. В. Способ некорневой обработки озимой пшеницы : патент № 2527297 С2 Российская Федерация. — 2014.
4. Shabanova I., Neshchadim N., Gorpinchenko K., Boyko A. Mycotoxins, pesticides and heavy metals content in the winter wheat grain at different cultivation technologies on leached Kuban chernozem // E3S Web of Conferences. — 2020. — Vol. 203. — P. 02012.