

УДК 631.81.095.337:631.811.98:631.81:633.11“324”:633.16“321”

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ В СОЧЕТАНИИ С МИНЕРАЛЬНЫМИ УДОБРЕНИЯМИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

© 2024 г. Е. Н. Старостина^{1,*}, Г. А. Ивашенков¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт им. Д. Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

*E-mail: Starostinael@list.ru

В длительном полевом опыте (61 год) на окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве Центрального Нечерноземья выявлена высокая эффективность совместного применения комплексов микроэлементов, регуляторов роста и минеральных удобрений. В данном варианте формировалась наибольшая средняя за 2017–2023 гг. урожайность озимой пшеницы сорта Московская 56–80 ц/га и ярового ячменя сорта Владимир – 60 ц/га при 40.1 и 33.8 ц/га соответственно в варианте без удобрений. Применение комплексов микроэлементов Микроэл в 2017–2019 гг. и Аквамикс-СТ в 2020–2023 гг. обеспечило повышение средней урожайности озимой пшеницы по сравнению с фоном минеральных удобрений на 12, ярового ячменя – на 8%. При внесении микроэлементов в сочетании с регуляторами роста растений (Мелафен в 2017–2019 гг. и Зеребра-агро в 2020–2023 гг.) прибавка урожайности составила: озимой пшеницы – 23, ярового ячменя – 18%, окупаемость минеральных удобрений при этом увеличилась на 56–57%, а коэффициент использования азота, фосфора и калия растениями – в 1.5–1.7 раза. Совместное применение микроудобрений, регуляторов роста растений и минеральных удобрений повысило по сравнению с контролем содержание в зерне озимой пшеницы белка на 2.7%, сырой клейковины – на 7.7%, белка в зерне ячменя – на 2.1%.

Ключевые слова: озимая пшеница, яровой ячмень, микроэлементы, регуляторы роста, урожайность, качество зерна, баланс элементов питания.

DOI: 10.31857/S0002188124080113, **EDN:** CDLQTL

ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница и яровой ячмень являются основными зерновыми культурами в зоне Центрального Нечерноземья. Высокие показатели урожайности и качества этих культур обеспечиваются на окультуренных дерново-подзолистых почвах при комплексном применении средств химизации [1–4].

Появление новых высокопродуктивных сортов озимой пшеницы и ярового ячменя и использование интенсивных технологий усиливают потребности в микроэлементах (цинке, меди, кобальте, молибдене, селене и др.), тем более что почвы зоны Нечерноземья в основном слабо обеспечены этими элементами питания растений, поэтому необходимо применять комплексы удобрений, содержащие несколько микроэлементов [5, 6].

Для эффективного использования минеральных удобрений и других средств в посевах зерновых культур важное значение имеют также и регуляторы роста растений. При определенных условиях они

способствуют уменьшению стрессовых воздействий неблагоприятных факторов среды разной природы, повышают урожайность и качество продукции [7–10]. Действие регуляторов роста на растения во многом зависит от почвенно-климатических условий, обеспеченности элементами питания, биологических особенностей культур [10].

Эффективность применения комплексов микроэлементов и регуляторов роста при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя интенсивных сортов на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах в условиях длительного полевого опыта изучена недостаточно.

Цель работы – изучение в длительном полевом опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве эффективности комплекса микроэлементов и регуляторов роста растений в сочетании с минеральными удобрениями при возделывании озимой пшеницы сорта Московская 56 и ярового ячменя сорта Владимир.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном полевом опыте СШ-2, заложенном в 1962 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИА (Московская обл., Домодедовский р-н, с. Шебанцево).

Исходная почва имела низкие агрохимические показатели: pH_{KCl} 4.3–4.5 ед., содержание гумуса (по Тюрину) – 1.58%, подвижных форм P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – соответственно 21 и 133 мг/кг.

Для повышения окультуренности почвы периодически во всех вариантах опыта проводили известкование по 1.0 H_t , систематически вносили минеральные удобрения в виде N_{aa} ($N = 34\%$), $P_{сд}$ (в последних ротациях – в форме АФ ($N = 12\%$, $P_2O_5 = 52\%$) хлористого калия ($K_2O = 60\%$)).

Начиная с 1985 г. был выделен вариант контроля без внесения удобрений, в котором величина pH_{KCl} в 2019 г., как и во всех вариантах, составляла 5.5 ед. pH при содержании подвижных форм фосфора и калия ≈ 90 –101 мг/кг, а с применением удобрений (в вариантах НРК) – 170–180 мг/кг при содержании гумуса 1.64–1.80%.

Севооборот во все периоды включал зерновые культуры и клевер 2-х лет пользования. В последнее время (в 10- и 11-й ротациях) применяли зерновой севооборот: горох на зеленое удобрение – озимая пшеница – ячмень. В годы исследования (2017–2023 гг.) использовали сорта озимой пшеницы Московская 56 и ярового ячменя Владимир. Азотные удобрения под озимую пшеницу применяли дробно: N_{30} – осенью под культивацию, N_{30} – весной в начале кушения, N_{60} – в фазе трубкования. Комплексные микроудобрения применяли в виде препаратов Микроэл в 2017–2019 гг. и Аквамикс-СТ в 2020–2023 гг. в нормах 0.2 л/га и 1.2 кг/га соответственно. Микроэл – жидкое микроудобрение с содержанием элементов питания: Mg – 1.32, S – 5.7, Fe – 0.3, B – 0.15, Mo – 0.2, Mn – 0.31, Cu – 0.6, Zn – 1.3, Co – 0.08%. Препарат Аквамикс-СТ – микроудобрение в хелатной форме, содержит: Fe – 1.74, Mn – 2.57, Zn – 0.53, Cu – 0.53, Ca – 2.57, B – 0.52, Mo – 0.13%.

Регуляторы роста использовали в 2017–2019 гг. в виде препаратов Мивал-агро (15 кг/га), Мелафен (0.1 л/га), в 2020–2023 гг. – Зеребро-агро (0.15 л/га). Микроэлементы и регуляторы роста вносили тракторным опрыскивателем ОП-600 в фазе начала выхода в трубку при норме расхода воды 150 л/га.

Средства защиты растений (гербициды, фунгициды и ретарданты) нового поколения применяли общим фоном в фазе кушения культур. Площадь посевных делянок 90 м², повторность опыта четырехкратная. Анализы почвы и растений проведены согласно ГОСТам.

Агротехника выращивания культур – принятая в Московской обл. Уборку урожая проводили поделочно комбайном “САМПО” с площади 24 м².

При статистической обработке результатов исследования использовали дисперсионный анализ.

Погодные условия в период вегетации растений озимой пшеницы и ярового ячменя отличались по годам. Неблагоприятные условия выдались в 2019 и 2021 гг., когда в некоторые декады июня и июля отмечался резкий недостаток влаги при высокой (до 30–33°C) температуре воздуха. В 2022 и 2023 г. сложились благоприятные условия для роста и развития растений озимой пшеницы и ярового ячменя с достаточным количеством осадков и без резких изменений температуры воздуха, что положительно сказалось на урожайности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя в годы исследования зависела от погодных условий вегетационного периода, систематического внесения минеральных удобрений, а также от использования комплекса микроэлементов и регуляторов роста растений (табл. 1).

В засушливые 2019 и 2021 г. урожайность озимой пшеницы во всех вариантах опыта были в 2 раза меньше, чем в благоприятные 2022 и 2023 г., ярового ячменя – в 1.7–1.8 раза. Урожайность находилась в прямой зависимости от ее структуры. Если в засушливые годы масса 1000 зерен озимой пшеницы в зависимости от вариантов составила 33–41 г, то в благоприятные – 37–47 г, ярового ячменя соответственно – 34–40 и 45–49 г. Большие различия наблюдали также и в количестве зерен в колосе. Например, в колосе озимой пшеницы число зерен варьировало в зависимости от условий года от 20–23 до 26–35 шт.

Во все годы исследования наибольшую урожайность обеспечивали минеральные удобрения – средняя прибавка составила в посевах озимой пшеницы 66 и ярового ячменя – 52%.

Внесение комплекса микроэлементов на фоне НРК увеличивало среднюю прибавку урожайности озимой пшеницы на 12, ярового ячменя – 8%, при этом резких различий в их эффективности в зависимости от условий погоды не отмечено.

Эффективность регуляторов роста растений зависела от метеорологических условий года. В засушливые 2019 и 2021 г. прибавки урожая за счет их применения составили: озимой пшеницы – 16, ярового ячменя – 14%. В благоприятные годы – 2022 и 2023 г. – они были значительно меньше и не превышали для обеих культур 8%. Положительную роль регуляторов роста при стрессовых воздействиях засухи на растения отмечали также в работах [7, 11].

Таблица 1. Эффективность микроэлементов и регуляторов роста растений при возделывании озимой пшеницы сорта Московская 56 и ярового ячменя сорта Владимир

Вариант	Урожайность, ц/га						Окупаемость НРК зерном, кг/кг (среднее за 2017–2023 гг.)
	среднее за 2019–2021 гг.	прибавка, %	среднее за 2022–2023 гг.	прибавка, %	среднее за 2019–2023 гг.	прибавка, %	
Озимая пшеница сорта Московская 56							
Контроль (ХСЗР)	25.3	–	54.3	–	40.1	–	–
N120P60K90	43.7	–	83.6	–	65.5	–	9.4
N120P60K90 + микроэлементы	49.9	14	94.2	13	72.2	10	11.8
N120P60K90 + микроэлементы + + регуляторы роста	57.7	32	102	22	80.1	23	14.8
HCP ₀₅	2.6		4.2		2.2–4.5		
Яровой ячмень сорта Владимир							
Контроль (ХСЗР)	24.2	–	43.0	–	33.8	–	–
N90P50K90	35.4	–	62.2	–	51.4	–	7.0
N90P50K90 + микроэлементы	37.9	7	67.9	9	55.7	8	8.1
N90P50K90 + микроэлементы + + регуляторы роста	43.3	23	73.0	17	60.8	18	11.0
HCP ₀₅	2.2		3.6		2.7–4.2		

Примечания. 1. ХСЗР – химические средства защиты растений. 2. 2019–2021 гг. – засушливые, 2022–2023 гг. – благоприятные годы.

При совместном применении микроэлементов и регуляторов роста средняя урожайность за все годы повысилась: озимой пшеницы – на 23, ярового ячменя – на 18% по сравнению с фонами минеральных удобрений.

В результате этого окупаемость НРК-удобрений прибавкой зерна увеличилась на 56.5% для обеих культур.

Применение комплекса микроэлементов и регуляторов роста улучшило минеральное питание растений, особенно при совместном их внесении, потребление (вынос урожаем) азота, фосфора и калия в данном случае существенно увеличивалось: у озимой пшеницы на 24.3 и 23.0, у ярового ячменя – на 22.2 и 25.0% соответственно (табл. 2).

В связи с этим использование элементов питания из НРК-удобрений повысилось: растениями озимой пшеницы – в 1.6–1.7 раза, ярового ячменя – в 1.5–1.6 раза.

При расчете баланса элементов питания выявлено, что применение микроэлементов и регуляторов роста значительно снижало его интенсивность: азота – на 16, фосфора – на 30 и калия – на 20% (табл. 3).

Относительно высокий отрицательный баланс сложился для азота, интенсивность которого при внесении всех средств составила 63%, однако внесение N80

в среднем обеспечивало формирование высокой урожайности озимой пшеницы в благоприятные годы (102 ц/га), ярового ячменя (73 ц/га). Связано это, очевидно, с окультуренностью почвы данного опыта при содержании гумуса 1/85% и высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия, которые способствовали улучшению питания растений азотом, что отмечено также в работах [11, 12]. К тому же обеспеченность растений азотом повышалась и за счет биологического азота при наличии в севообороте клевера 2-годичного пользования до 2016 г. и гороха на зеленое удобрение в годы исследования. При посевах бобовых культур, по данным [13], биологический азот может уменьшить потребность растений в минеральном азоте до 50%.

Слабо отрицательным был баланс калия, что приемлемо при высокой обеспеченности подвижными формами этого элемента в почве опыта.

При значительном повышении урожайности от примененных средств повышались и показатели качества зерна (табл. 4)

Наибольшее и достоверное увеличение содержания белка в зерне обеих культур и клейковины в зерне озимой пшеницы обеспечило внесение минеральных удобрений. Применение микроэлементов в сочетании с регуляторами роста повысило содержание белка в зерне озимой пшеницы на 0.9, ярового

Таблица 2. Влияние микроэлементов и регуляторов роста на вынос элементов питания урожаем озимой пшеницы и ярового ячменя и использование их растениями (среднее за 2017–2023 гг.)

Вариант	Вынос, кг/га			Использование, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница						
Контроль (ХСЗР)	99.8	36.8	68.5	—	—	—
N120P60K90	166	64.7	111	56	46	47
N120P60K90 + микроэлементы	181	75.6	122	68	65	60
N120P60K90 + микроэлементы + регуляторы роста	206	84.0	137	88	79	76
Яровой ячмень						
Контроль (ХСЗР)	86.0	30.2	58.2	—	—	—
N90P50K90	143	50.1	96.0	63	40	42
N120P60K90 + микроэлементы	159	56.2	111	81	52	58
N120P60K90 + микроэлементы + регуляторы роста	175	60.4	120	99	60	69

Таблица 3. Баланс элементов питания в зависимости от применения минеральных удобрений, микроэлементов и регуляторов роста растений (среднее за 2017–2023 гг.)

Вариант	Внесено, кг/га			Вынос, %			Интенсивность баланса, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль (ХСЗР)	—	—	—	61.9	22.5	42.2	—	—	—
NPK	80	50	75	104	38.5	69.0	77	130	108
NPK + микроэлементы	80	50	75	114	43.9	77.5	70	114	96
NPK + микроэлементы + регуляторы роста	80	50	75	127	49.5	85.7	63	101	88

Таблица 4. Влияние удобрений, комплекса микроэлементов и регуляторов роста на показатели качества зерна (среднее за 2017–2023 гг.)

Вариант	Озимая пшеница		Яровой ячмень	
	белок, %	сырая клейковина, %	белок, %	экстрактивность, %
Контроль (ХСЗР)	11.3	21.7	9.9	68.7
NPK	13.1	27.8	11.3	66.9
NPK + микроэлементы	13.6	28.9	11.7	66.0
NPK + микроэлементы + регуляторы роста	14.0	29.4	12.0	65.2
НСР ₀₅	1.2–2.5	4.0–5.2	1.0–1.2	2.3–2.5

ячменя — на 0.7%, сырой клейковины в зерне озимой пшеницы — на 2.6%. При комплексном применении с минеральными удобрениями достигнуто максимальное содержание белка и клейковины в зерне озимой пшеницы, равное 14.0 и 30.4%, что соответствовало зерну 2-го класса. Зерно ярового ячменя, полученное в опыте, классифицировали по качеству как кормовое.

ВЫВОДЫ

1. В длительном полевом опыте в течение 2017–2023 гг. на окультуренной дерново-подзолистой тяжелой суглинистой почве Центрального Нечерноземья выявлена высокая эффективность совместного применения комплекса микроэлементов (Микроэл, Аквамикс-СТ), регуляторов роста растений (Мивал-

агро, Мелафен, Зеребра-агро) и минеральных удобрений — урожайность озимой пшеницы достигала 80.1, ярового ячменя — 60.8 ц/га, в вариантах контроля — 40.1 и 33.8 ц/га соответственно.

2. Применение микроэлементов обеспечило повышение урожайности озимой пшеницы на 12, ярового ячменя — на 8% при уровне на фоне минеральных удобрений — 65.5 и 51.4 ц/га соответственно. При совместном их внесении с регуляторами роста увеличилась прибавка урожая озимой пшеницы — на 23, ярового ячменя — на 18%, окупаемость минеральных удобрений при этом увеличилась на 56 и 51%. Эффективность регуляторов роста в большей мере проявилась в засушливые годы.

3. Применение микроэлементов и регуляторов роста повышало коэффициент использования азота, фосфора и калия растениями озимой пшеницы и ярового ячменя в 1.5–1.7 раза. Существенное увеличение содержания белка и сырой клейковины в зерне обеспечило комплексное внесение минеральных удобрений, микроэлементов и регуляторов роста растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюшин В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтном земледелии // Почвоведение. 2019. № 9. С. 130–139.
2. Ваулина Г.И., Алиев А.М., Самойлов Л.Н. Роль комплексного применения средств химизации в повышении урожайности зерновых культур и окупаемости удобрений // Плодородие. 2016. № 5. С. 47–50.
3. Кузьмич М.А., Капранов В.Н., Кузьмич Л.С., Орлова Т.Г. Влияние удобрений и реакции почвенной среды на урожай и качество зерна ярового ячменя селекции Московского НИИСК “Немчиновка” // Плодородие. 2017. № 3. С. 1–3.
4. Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Афанасьев Р.А., Коваленко А.А., Шатохин А.Ю. Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях Нечерноземья // Плодородие. 2021. № 3. С. 66–70.
5. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агросистемах России – агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения / Под ред. В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2019. С. 120–200.
6. Мальцева Л.Т., Филимонова Е.А., Банникова Н.Ю. Роль средств химизации при возделывании озимой пшеницы // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2022. № 2. С. 55–59.
7. Синяшкин О.Г., Шаповал О.А., Шулаева М.М. Инновационные регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве // Плодородие. 2016. № 5. С. 38–42.
8. Каргин В.И. Структура продуктивности озимой пшеницы сорта Московская 39 в зависимости от внекорневой обработки био- и гуминовыми препаратами // Вестн. Урал. ГСХА. 2021. № 1. С. 55–59.
9. Мухина М.Т., Можарова И.П., Коршунов А.А. Эффективность применения удобрений на основе комплексов хелатов микроэлементов и аминокислот на озимой пшенице в Нижегородской области // Плодородие. 2020. № 6. С. 14–17.
10. Тарасов С.С., Михалев Е.В., Речкин А.И., Круглова Е.К. Регуляторы роста и развитие растений: Классификация, природа и механизм действия // Агрохимия. 2023. № 9. С. 65–80.
11. Шафран С.А., Козинчева Е.С. Продуктивность ярового ячменя и окупаемость азотных удобрений в зависимости от содержания элементов питания в основных типах почв России // Агрохимия. 2016. № 3. С. 11–22.
12. Романенков В.А., Беличенко М.В., Рухович О.В., Никитишин Л.В., Иванова О.И. Эффективность использования азота в длительных и кратковременных опытах Агрохимслужбы и Геосети Российской Федерации // Агрохимия. 2020. № 12. С. 28–37.
13. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: ВНИИА, 2022. 256 с.

Effectiveness of Trace Elements and Plant Growth Regulators in Combination with Mineral Fertilizers in the Cultivation of Winter Wheat and Spring Barley on Sod-Podzolic Soil

E. N. Starostina^{a, #}, G. A. Ivashenkov^a

^aD.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia,

[#]E-mail: Starostinael@list.ru

In a long-term field experiment (61 years) on cultivated sod-podzolic loamy soil of the Central Non-Chernozem region high efficiency of the combined use of complexes of trace elements, growth regulators and mineral fertilizers was revealed. In this variant, the highest average yield for 2017–2023 was formed for winter wheat of the Moskovskaya 56 variety – 80 c/ha and spring barley of the Vladimir variety – 60 c/ha at 40.1 and 33.8 c/ha, respectively, in the version without fertilizers. The use of microelement complexes Microel in 2017–2019 and Aquamix-ST in 2020–2023 provided an increase in the average yield of winter wheat compared to the background of mineral fertilizers by 12%, and spring barley by 8%. When introducing trace elements in combination with plant growth regulators (Melafen in 2017–2019 and Zerebra-agro in 2020–2023), the yield increase was: winter wheat – 23%, spring barley – 18%, the payback of mineral fertilizers increased by 56–57%, and the utilization rate of nitrogen, phosphorus and potassium by plants – 1.5–1.7 times. The combined use of micronutrients, plant growth regulators and mineral fertilizers increased the protein content in winter wheat grain by 2.7%, crude gluten by 7.7%, and protein in barley grain by 2.1% compared to the control.

Keywords: winter wheat, spring barley, trace elements, growth regulators, yield, grain quality, balance of nutrition elements.