

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, Л. Н. Гук, В. В. Корсакова

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остаются актуальными разработка и совершенствование основ рационального, агрохимически эффективного и экологически безопасного применения различных видов и перспективных форм и доз микроудобрений, которые обеспечивают получение оптимальных в конкретных почвенно-климатических условиях величин урожая культур с улучшенными показателями качества. Применение микроэлементов в системе удобрения позволяет создать оптимальные условия для реализации генетического потенциала сельскохозяйственных культур. Главная роль микроудобрений состоит в том, что они повышают активность различных ферментов, ускоряющих биохимические процессы в растительном организме. Некоторые микроэлементы повышают устойчивость растений к засухе и болезням. Кроме непосредственного влияния на развитие растений, микроэлементы усиливают активность микробиологических процессов в почве, при этом отмечается улучшение использования из минеральных удобрений фосфора и калия. При научно обоснованном внесении микроудобрений с учетом содержания в почве микроэлементов и отзывчивости сельскохозяйственных культур прибавка урожая от многих из них достигает 10–15 %, улучшается качество растениеводческой продукции [1–7].

Повышение урожайности ячменя и улучшение его качественных показателей невозможно без рационального применения удобрений. Ячмень хорошо отзывается на внесение микроэлементов и важнейшими из них являются медь и марганец. Недостаточное содержание подвижных форм микроэлементов в почве зачастую является фактором, лимитирующим формирование урожая ярового ячменя. Особенно это актуально для высококультурных почв, которые отличаются оптимальной кислотностью, высоким содержанием гумуса, фосфора и калия. Так, площади пахотных почв республики с повышенным и высоким содержанием гумуса составляют 62,5 %, фосфора – 52,3 %, калия – 44,8 %. При этом доля пахотных почв с низким содержанием подвижной меди составляет 53,6 %, а площади почв 1 и 2 групп обеспеченности, где необходимо применение медных удобрений составляют 90,3 %. Недостаток доступного марганца отмечается на пахотных почвах с рН более 6,0, площади которых составляют 38,2 % [8]. На таких почвах потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает и для более эффективного использования микроэлементов важно оптимизировать дозы, сочетания и сроки некорневых подкормок микроудобрениями в технологии возделывания ярового ячменя.

Цель исследований – изучить эффективность микроудобрений в технологии возделывания ярового ячменя на дерново-подзолистой высококультуренной почве, обеспечивающих оптимизацию питания растений микроэлементами.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эффективность применения микроудобрений в технологии возделывания ячменя изучали в 2021–2022 гг. на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытного участка: pH_{KCl} – 6,2, гумус – 2,2 %, P_2O_5 – 756, K_2O – 296, B – 0,5, Cu – 2,4, Zn – 2,8, Mn обм. – 2,0 мг/кг почвы. Сорт Батика. Предшественник – озимый рапс. Норма высева – 4,0 млн всхожих семян на 1 га.

Полевой опыт с яровым ячменем включал варианты с применением в некорневую подкормку возрастающих доз и сочетаний меди и марганца на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{80}P_{45}K_{60}$. Фосфорные и калийные удобрения под ячмень внесены под культивацию в форме карбамида, суперфосфата аммонизированного и хлористого калия.

Микроэлементы внесены в некорневую подкормку в виде жидких микроудобрений МикроСтим в стадии первого узла. Расход рабочего раствора 200 л/га. Уход за посевами ячменя включал ряд химических мероприятий. Для борьбы с сорной растительностью в посевах ячменя в фазу кущения проведена химическая прополка гербицидами Секатор турбо, МД (75 мл/га) + Примадонна, СЭ (0,8 л/га). В фазу колошения проведена фунгицидная обработка препаратом Фалькон, КЭ (0,5 л/га). Против вредителей на посевах ячменя в фазу колошения применяли системный инсектицид Биская, МД (0,25 л/га). Уборку ячменя проводили в фазу полной спелости комбайном Delta, учет урожая – поделяночно. Закладка и проведение опыта, а также все сопутствующие учеты и наблюдения в течение вегетации культуры проведены по методике полевого опыта. Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Экономическая эффективность применения микроудобрений рассчитывалась по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [9].

Погодные условия вегетационного периода являются одним из важнейших факторов, под влиянием которого формируется урожай сельскохозяйственных культур. 2021 г. по уровню влагообеспеченности характеризовался как оптимальный (ГТК–1,5). Формирование урожайности ячменя проходило в условиях неравномерного распределения атмосферных осадков при экстремально высоких температурных показателях воздуха в июне и июле. В начале вегетационного периода 2021 г. отмечался дефицит осадков в апреле, при их избытке – в мае. Вегетационный период 2022 г. по уровню влагообеспеченности характеризовался как избыточно увлажненный (ГТК за апрель-август составил 2,1) и был достаточно благоприятным для возделывания зерновых культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что за счет плодородия дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почвы в среднем за два года урожайность зерна ярового ячменя составила 20,0 ц/га (табл. 1). Внесение минеральных

удобрений в дозе $N_{80}P_{45}K_{60}$ способствовало повышению урожайности зерна до 42,9 ц/га. Некорневые подкормки микроудобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец в возрастающих дозах повышали урожайность зерна на 3,3–6,9 ц/га, или на 7,7–16,0 % в сравнении с фоновым вариантом. Изучая действие меди и марганца на урожайность ячменя, было установлено, что наиболее эффективно совместное внесение меди и марганца в дозах $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$. Прибавка урожайности зерна ячменя в этом варианте составила 6,9 ц/га в сравнении с фоном.

Таблица 1

Влияние микроудобрений на урожайность и содержание белка в зерне ярового ячменя (среднее за 2021–2022 гг.)

Варианты	Урожайность, ц/га	Прибавка к фону, ц/га	Сырой белок, %	Сбор сырого белка, ц/га
Вариант без удобрений	20,0	–	8,8	1,8
$N_{80}P_{45}K_{60}$ – фон	42,9	–	11,1	4,8
Фон + $Cu_{0,025}$	46,7	3,8	12,8	6,0
Фон + $Cu_{0,05}$	46,4	3,5	12,4	5,7
Фон + $Cu_{0,075}$	46,2	3,3	13,1	6,1
Фон + $Mn_{0,025}$	46,8	3,9	12,7	5,9
Фон + $Mn_{0,05}$	48,0	5,1	12,8	6,1
Фон + $Mn_{0,075}$	47,1	4,2	12,2	5,7
Фон + $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$	49,8	6,9	12,8	6,4
Фон + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	47,0	4,1	12,7	6,0
Фон + $Cu_{0,075}Mn_{0,075}$	47,7	4,8	13,1	6,2
HCP_{05}		2,1	0,57	0,43

При отдельном внесении изучаемых микроэлементов более значимое действие на урожайность зерна ярового ячменя оказывал марганец. Прибавка от некорневой подкормки марганцем в дозе 0,05 кг/га составила 5,1 ц/га, медью в дозе 0,025 кг/га – 3,8 ц/га (рис.).

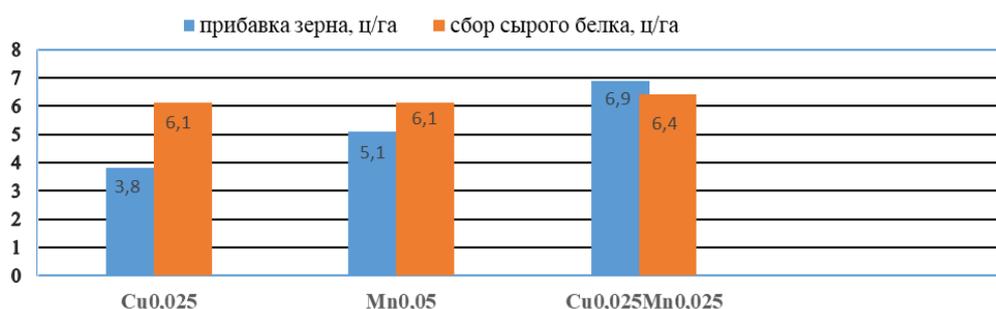


Рис. Прибавка урожайности зерна и сбор сырого белка при внесении микроэлементов в некорневую подкормку ярового ячменя

Внесение микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец на фоне минеральных удобрений способствует формированию зерна ячменя с более высоким содержанием белка. Некорневые подкормки ячменя медью и марганцем увеличивали содержание сырого белка в зерне в среднем за два года на 0,9–1,8 % в сравнении с фоновым вариантом. При применении микроудобрений увеличивалась урожайность зерна и, как следствие, значительно повышался сбор белка с гектара. В варианте с внесением минеральных удобрений сбор сырого белка в зерне составил 4,8 ц/га, при этом в вариантах с некорневыми подкормками ярового ячменя микроудобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец – 5,7–6,4 ц/га. Наиболее высокий сбор белка (6,4 ц/га) отмечался в варианте с применением меди и марганцем совместно в дозе $Cu_{0,025}Mn_{0,25}$. При раздельном внесении изучаемых микроэлементов более высокий показатель сбора белка (6,1 ц/га) получен при внесении меди в дозе $Cu_{0,025}$ и марганца в дозе $Mn_{0,05}$.

При оценке эффективности применения удобрений при возделывании ярового ячменя большое значение имеет химический состав основной и побочной продукции, поскольку внесенные удобрения оказывают значительное влияние на поступление элементов питания в растения, чем определяют, как уровень урожайности, так и качество получаемой продукции. Экспериментальные данные по содержанию микроэлементов показывают, что они в большей степени концентрируются в зерне, чем в соломе. Накопление микроэлементов в зерне располагается в следующем убывающем порядке: $Zn > Mn > Cu$, в соломе: $Mn > Zn > Cu$ (табл. 2).

Таблица 2

Влияние микроудобрений на накопление микроэлементов в зерне и соломе ярового ячменя (среднее за 2021–2022 гг.)

Варианты	Зерно			Солома		
	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn
Вариант без удобрений	1,8	6,0	11,8	1,3	5,0	3,3
$N_{80}P_{45}K_{60}$ – фон	2,0	6,3	13,5	1,5	5,7	3,6
Фон + $Cu_{0,025}$	2,2	6,7	15,3	2,1	7,0	3,8
Фон + $Cu_{0,05}$	2,3	6,6	15,3	1,9	7,1	3,9
Фон + $Cu_{0,075}$	2,1	6,9	15,4	2,0	5,6	3,6
Фон + $Mn_{0,025}$	2,0	7,1	14,3	1,8	7,0	4,1
Фон + $Mn_{0,05}$	2,0	7,2	15,0	1,6	5,4	3,0
Фон + $Mn_{0,075}$	2,1	7,0	14,8	1,6	5,6	3,7
Фон + $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$	2,4	7,2	14,2	2,0	7,3	5,3
Фон + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	2,2	7,1	14,1	1,8	7,2	5,4
Фон + $Cu_{0,075}Mn_{0,075}$	2,1	7,0	13,4	1,8	6,1	5,2

Некорневые подкормки растений ячменя медью и марганцем повышали содержание микроэлементов в продукции в сравнении с фоновым вариантом. Так, под влиянием некорневых подкормок ячменя марганцем его содержание в зерне и соломе увеличивалось в сравнении с фоновым вариантом на 14,3 % (с 6,3 до 7,2 мг/кг сухой массы) и 28,1 % (с 5,7 до 7,3 мг/кг сухой массы) соответственно. В тоже время при внесении меди и марганца в некорневую подкормку ячменя по

вариантам опыта отмечается увеличение цинка в зерне с 13,5 до 15,4 мг/кг (на 14 %) и соломе с 3,6 до 5,4 мг/кг сухой массы (на 50 %).

Применение микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец при возделывании ярового ячменя обеспечило более высокие показатели выноса микроэлементов с урожаем (табл. 3).

Таблица 3

Вынос микроэлементов с урожаем ярового ячменя (среднее за 2021–2022 гг.)

Варианты	Общий вынос, г/га			Удельный вынос, г/т		
	Cu	Mn	Zn	Cu	Mn	Zn
Вариант без удобрений	9,5	34,8	36,5	4,8	17,4	18,2
N ₈₀ P ₄₅ K ₆₀ – фон	15,4	54,1	68,6	3,6	12,6	16,0
Фон + Cu _{0,025}	20,0	64,3	81,7	4,3	13,8	17,5
Фон + Cu _{0,05}	20,0	66,8	83,3	4,3	14,4	17,9
Фон + Cu _{0,075}	19,0	57,3	80,4	4,1	12,4	17,4
Фон + Mn _{0,025}	17,6	65,8	79,4	3,8	14,1	17,0
Фон + Mn _{0,05}	17,4	60,5	79,0	3,6	12,6	16,5
Фон + Mn _{0,075}	18,5	63,3	83,0	3,9	13,4	17,6
Фон + Cu _{0,025} Mn _{0,025}	21,1	70,3	89,4	4,2	14,1	18,0
Фон + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	19,3	70,2	88,1	4,1	14,9	18,7
Фон + Cu _{0,075} Mn _{0,075}	18,9	63,5	84,6	4,0	13,3	17,7

Наименьшие значения общего выноса отмечались в варианте без внесения – 15,4 г/га, при внесении меди в некорневую подкормку вынос увеличивался до 18,9–21,1 г/га. Вынос марганца продукцией ячменя в среднем по вариантам опыта в 3,4 раза больше, чем меди. В варианте без внесения удобрений вынос марганца составил 34,8 г/га, при внесении минеральных удобрений – увеличился до 54,1 г/га. Применение марганца в некорневую подкормку повышало общий вынос элемента до 63,3–70,3 г/га. Общий вынос микроэлементов урожаем ячменя был больше в варианте, где совместно применяли медь и марганец в дозе Cu_{0,025}Mn_{0,025}. Общий вынос цинка на контроле составил 36,5 г/га, на фоне – 68,6 г/га, при внесении меди и марганца – повышался до 79,0–89,4 г/га.

На основании экспериментальных данных был рассчитан удельный вынос микроэлементов на 1 т основной продукции, который является одной из характеристик, отражающих затраты элементов минерального питания на формирование единицы основной и соответствующего количества побочной продукции. Установлено, что с 1 т основной и соответствующего количества побочной продукцией ярового ячменя выносятся 3,6–4,8 г меди, 12,4–17,4 г марганца, 16,0–18,2 г цинка. В вариантах с некорневой подкормкой ярового ячменя микроудобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец удельный вынос меди возрастал на 0,7 г/т, марганца – на 2,3 г/т соответственно.

Показатели экономической эффективности применения в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим при возделывании ячменя варьировали в зависимости от дозы и вида вносимого микроудобрения (табл. 4). Так, при возделывании ярового ячменя в полевом опыте чистый доход от некорневой

подкормки удобрениями МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец составил 16,0–43,2 USD/га, рентабельность – 63,6–141,3 %. Уровень рентабельности снижался по мере увеличения дозы внесения удобрений. Максимальный в опыте уровень рентабельности (141,3 %) обеспечен за счет совместного применения микроудобрений МикроСтим-Медь Л и МикроСтим-Марганец в дозе $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$.

Таким образом, наиболее эффективным приемом в системе применения микроудобрений на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве является комплексное внесение меди и марганца в дозах $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$, обеспечивающих прибавку урожайности зерна 6,9 ц/га, сбор сырого белка – 6,4 ц/га, чистый доход – 43,2 USD/га при рентабельности 141 %.

Таблица 4

Агроэкономическая эффективность применения в некорневую подкормку микроудобрений МикроСтим при возделывании ячменя на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве (среднее за 2021–2022 гг.)

Варианты	Прибавка урожая семян, ц/га	Стоимость прибавки	Общие затраты*	Условно чистый доход	Рентабельность, %
Вариант без удобрений	–	–	–	–	–
$N_{80}P_{45}K_{60}$ – фон	–	–	–	–	–
Фон + $Cu_{0,025}$	3,8	40,7	18,0	22,7	126
Фон + $Cu_{0,05}$	3,5	37,5	17,8	19,7	110
Фон + $Cu_{0,075}$	3,3	35,3	19,3	16,0	83
Фон + $Mn_{0,025}$	3,9	41,7	19,3	22,4	116
Фон + $Mn_{0,05}$	5,1	54,6	25,6	29,0	113
Фон + $Mn_{0,075}$	4,2	44,9	25,1	19,8	79
Фон + $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$	6,9	73,8	30,6	43,2	141
Фон + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	4,1	43,9	24,5	19,4	79
Фон + $Cu_{0,075}Mn_{0,075}$	4,8	51,4	31,4	20,0	64

* Общие затраты: стоимость микроудобрений; затраты на внесение микроудобрений; затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения микроудобрений.

ВЫВОДЫ

На дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве применение микроудобрений МикроСтим-Медь и МикроСтим-Марганец в некорневую подкормку ярового ячменя в стадии первого узла в дозах $Cu_{0,025}Mn_{0,025}$ на фоне внесения минеральных удобрений $N_{80}P_{45}K_{60}$, обеспечивает повышение урожайности на 6,9 ц/га, содержания белка в зерне – на 1,7 %, получение прибыли – 43,2 USD/га.

Микроэлементы по степени снижения их выноса урожаем ярового ячменя образуют следующий ряд: $Zn > Mn > Cu$. Удельный вынос меди яровым ячменем составляет 4,2 г/т, марганца – 14,0 г/т, цинка – 18,0 г/т зерна с соответствующим количеством соломы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.
2. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 260 с.
3. *Рак, М. В.* Параметры потребления микроэлементов зерновыми культурами из дерново-подзолистой супесчаной почвы и микроудобрений / М. В. Рак, Г. М. Сафроновская // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 181–189.
4. *Вяскутонис В. В.* Влияние микроэлементов на улучшение семенных качеств ячменя / В. В. Вяскутонис, Э. Ю. яскутонен: тез. докл. научно-практич. конференции «Использование микроудобрений в условиях интенсивного земледелия Западного региона». – Рига, 1988. – С. 32–35.
5. Применение некорневых подкормок марганцем при возделывании сельскохозяйственных культур: рекомендации / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск, 2001. – С. 16.
6. *Барбасов, Н. В.* Влияние новых форм минеральных удобрений и регуляторов роста на продукционные процессы, урожайность и качество сортов ячменя кормового назначения на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис... канд. с.-х. наук / Н. В. Барбасов. – Минск, 2021. – 22 с.
7. *Шакиров, Р. И.* Действие биопрепаратов и микроудобрений на коэффициенты использования микроудобрений и урожайность ярового ячменя / Р. И. Шакиров, М. Ю. Гилядов // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 26–27.
8. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Институт почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

**THE EFFECTIVENESS OF MICRO FERTILIZERS IN THE
CULTIVATION OF SPRING BARLEY ON SOD-PODZOLIC HIGHLY
CULTIVATED LIGHT-LOAMY SOIL**

M. V. Rak, E. N. Pikalova, N. S. Guzova, L. N. Guk, V. V. Korsakova

Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of the use of micro-fertilizers of Microsim in the cultivation of spring barley on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It was found that the most effective is the combined use of copper and manganese in the foliar fertilizing of spring barley in doses of $\text{Cu}_{0,025}\text{Mn}_{0,025}$, which provides an increase in yield by 6,9 c/ha, protein content in grain – by 1,7 %, profit – 43,2 USD/ha.

Поступила 21.04.23