

Динамика подвижных форм бора в почве при трансформации соломы зерновых культур *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016

Н.В. БЕЗЛЕР, вед. научн. сотрудник, д-р с/х наук (e-mail: bezler@list.ru)¹

Н.С. ГОРБУНОВА, канд. биолог. наук, доцент²

Ю.Н. САНИЕВА, мл. научный сотрудник¹

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Введение

Среди сельскохозяйственных культур, определяющих продовольственную безопасность нашей страны, сахарная свёкла занимает одно из ведущих мест. Она предъявляет высокие требования к значительному содержанию в почве не только макроэлементов, но и микроэлементов. Для формирования эффективного плодородия почвы и повышения устойчивости растений к болезням важным микроэлементом является бор [1].

Валовое содержание бора в почве, как правило, не всегда является показателем обеспеченности им растений. Наибольший интерес с точки зрения физиологии растений представляет количество его доступных форм, прежде всего водорастворимых. Различают следующие формы соединений бора в почве: водорастворимые, обменные и необменные, связанные минералами. Однако основная его часть находится в составе недоступных соединений, трудно разлагаемых микроорганизмами. Указанных в специальной литературе запасов могло бы хватить на несколько лет для получения высоких урожаев, но большая часть

бора находится в форме, недоступной культурным растениям, а небольшая доступная их часть расходуется быстрее, чем пополняется запас из «основного резерва» [2, 3].

В течение вегетационного периода растений количество подвижного бора и сама его подвижность в почве в результате действия экологических факторов меняется. Под влиянием процессов разложения органических остатков содержание доступных растениям форм соединений бора в почве повышается. Микроорганизмы, поглощая подвижные формы, предохраняют бор от вымывания, снабжая им растения после отмирания. В годы с промывным водным режимом бор интенсивно вымывается из почвы, таким образом, микроорганизмам принадлежит важнейшая роль в удержании его в корнеобитаемом слое растений.

Многие болезни сахарной свёклы развиваются из-за недостатка бора. Его дефицит приводит к гнили сердечка и верхушечной язве у растений. Развитие этих болезней возникает вследствие нарушения обменных процессов, поэтому их нельзя ликвидировать с помощью фунгицидов [3].

Недостаток органических и дорогостоящих минеральных удобрений, которые являются источником в том числе микроэлементов, способствует снижению потенциального и эффективного плодородия почв. Для формирования потенциального плодородия за счёт стабилизации гумусного состояния почвы используется солома зерновых культур [4]. Компенсировать фонд органических веществ и элементов минерального питания можно путём полного использования растительных остатков зерновых культур в зернопаропропашном севообороте, которые занимают от 40 до 60 % посевных площадей. Доля соломы в урожае зерновых культур составляет 50–70 %. Солома является важным источником пополнения запасов в почве не только углерода (35–40 %), но и элементов минерального питания. В ней кроме макроэлементов содержится определённое количество микроэлементов, в том числе бора.

Одним из путей пополнения фонда почвы этим микроэлементом также является использование соломы зерновых культур в качестве органических удобрений. При её разложении воз-

можно иммобилизация не только азота, но и микроэлементов, в результате чего они вновь будут выведены из доступного для растений состояния. Поэтому важно обеспечить наиболее быстрое разложение поступивших в почву растительных остатков. Длительность разложения соломы можно сократить с помощью аборигенного целлюлозолитического микромицета (*Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016). Внесение в почву соломы совместно с целлюлозолитическим микромицетом *Humicola fuscoatra*, который ускоряет процессы деструкции субстрата, может частично компенсировать дефицит бора [5].

Цель исследований – определить влияние заправки *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 с соломой зерновых культур на накопление в почве водорастворимых форм бора.

Методика исследований

Изучали влияние совместной заправки соломы зерновых культур с целлюлозолитическим микромицетом на динамику соединений бора в агроценозе сахарной свёклы.

В 2011 г. был заложен многолетний полевой опыт с заправкой соломы озимой пшеницы и ячменя в паровом звене зернопаропропашного севооборота (пар – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень) по методике Б.А. Доспехова.

Общая площадь полевого опыта составила 1209,6 м², делянки – 75,6 м². Повторность опыта четырёхкратная. Норма внесения соломы – 4–6 т/га, азотного удобрения – 40 кг д. в. на 1 га, питательной добавки (ПК) – 200 л/га (1:1000), целлюлозолитический микромицет *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 (патент № 2675311) вносили на делянки в виде инокулюма. Опыт многолетний, включён в реестр Географической сети опытов под № 168 в 2018 г.

Схема полевого опыта

Изучение влияния *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 на динамику накопления в почве подвижных форм микроэлементов бора и цинка

1. Контроль
2. Солома
3. Солома + N (40 кг д. в. на 1 га)
4. Солома + N (40 кг д. в. на 1 га) + *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 + ПК (1:1000)

Солому ежегодно вносили исходя из фактической урожайности, которая колебалась от 4 до 6 т/га в зависимости от зерновой культуры и погодных условий года.

Humicola fuscoatra ВНИИСС 016, минеральное удобрение (азофоска N₁₆P₁₆K₁₆ из расчёта 40 кг д. в. на 1 га) и питательную добавку вручную непосредственно перед лущением стерни и вспашкой. В качестве питательной добавки (ПК) использовали патоку в разведении 1:1000. Расход рабочей жидкости – 200 л/га. Целлюлозолитический микромицет вносили на делянки в виде инокулюма (344 тыс. КОЕ/м²). Высевали диплоидный гибрид сахарной свёклы РМС 127.

Инокулюм получали после предварительного компостирования согласно методу инфицирования почвы. Размноженную на питательных средах чистую культуру *Humicola fuscoatra* ВНИИСС 016 с питательной добавкой и азотом из расчёта 10 кг д. в. на 1 т переносили на стерильный субстрат в виде измельчённой до 5–10 мм соломы и увлажнённой до 60 % от полной влагоёмкости [5].

Технология возделывания сахарной свёклы – общепринятая в Центрально-Чернозёмном регионе (ЦЧР). Высевали гибрид сахарной свёклы РМС 127. Культуру убирали поделяночно вручную с последующим подсчётом и взвешиванием корнеплодов.

Содержание водорастворимого бора в почве и растениях опреде-

ляли по Ринькису в модификации Никишкиной (ГОСТ 50688-94). Вынос бора с урожаем определяли расчётным методом [6].

В течение вегетации отбирали пробы растений (по ГОСТ Р 53036-2008 «Свёкла сахарная. Методы испытаний») для определения накопления массы растения и корнеплода, а также сухих веществ и элементов питания.

Численность фиксаторов азота определяли методом высева почвенной суспензии 4-й степени разведения на селективную среду для диазотрофов [7].

Сахаристость корнеплодов определяли на автоматической линии VENEMA. Статистическую обработку полученных результатов рассчитывали дисперсионным методом по Доспехову [8].

Сахарная свёкла считается культурой, наиболее чувствительной к дефициту бора. По значимости бор (В) является одним из важных микроэлементов для этой культуры. Он необходим растениям в течение всей жизни, так как участвует в транспорте углеводов, в частности сахаров. При его недостатке корнеплоды поражаются сухими гнилями, дуплистостью, наблюдается отмирание точек роста.

Сахарная свёкла выносит из почвы наибольшее относительно других культур количество элементов минерального питания. Недостаток бора приводит к снижению урожайности на 20–30 % и потерям сахара при хранении корнеплодов. Для сахарной свёклы оптимальным содержанием бора в почве 4–6 мг/кг. Из литературных источников известно, что на каждые 100 ц урожая сахарной свёклы (с листьями и корнями) вынос бора составляет 80–100 г/га [3].

Результаты исследований показали, что содержание водорастворимого бора в почве в контроле составило 3,06 мг/кг, заправка соломы и соломы с азотом

не внесла существенных изменений. Использование целлюлозолитического микромицета с дополнительными компонентами способствовало снижению содержания бора в почве (табл. 1), что, вероятно, связано с увеличением выноса бора с урожаем сахарной свёклы после заправки соломы зерновых культур с *H. fuscoatra* и дополнительными компонентами (табл. 2).

Внесение в почву соломы и дополнительных компонентов способствовало увеличению содержания бора в корнеплодах на 0,76–3,96 мг/кг. Бор в листьях сахарной свёклы накапливается в значительно большем количестве, чем в корнеплоде, а заправка соломы с дополнительными компонентами в существенной степени повышает этот показатель. Так, в контроле содержание бора в листьях составило 17,4 мг/кг, а после использования соломы с азотом, ПК и целлюлозолитическим микромицетом накопление бора в листьях возросло до 25–30 мг/кг.

Соответственно вынос бора из почвы с урожаем сахарной свёклы после заправки соломы с азотом и азотом, ПК и целлюлозолитическим микромицетом увеличился до 897 и 978 г/га (в контроле 511).

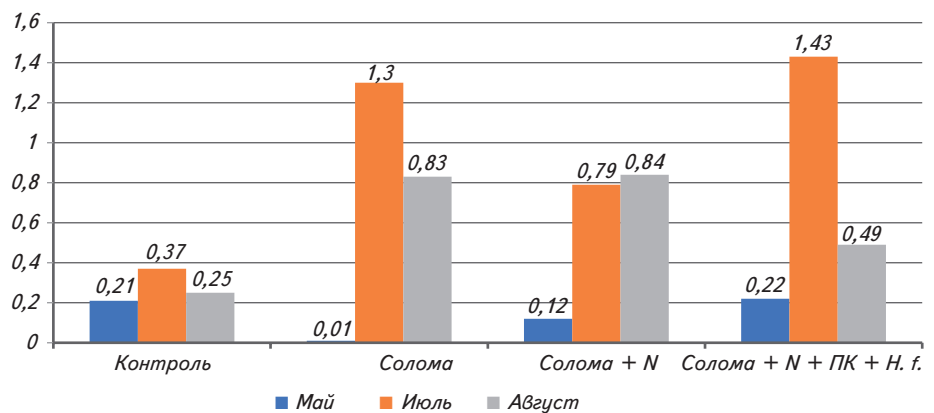
Для питания растений азот имеет первостепенное значение. Известно, что, несмотря на внесение минеральных и органических в растения за счёт фиксации азота диазотрофами. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмам необходимы макро- и микроэлементы, в состав кото-

рых входит бор. Как зафиксировано многолетними наблюдениями, заправка соломы и соломы с дополнительными компонентами способствовали росту численности диазотрофов в почве. Прошедший вегетационный период не стал исключением. Численность диазотрофов увеличилась в мае и июле, особенно при использовании *H. fuscoatra* (см. рис.).

Численность диазотрофов при использовании *H. fuscoatra* к концу вегетационного периода была выше, чем в контроле, однако заправка соломы без дополнительных компонентов и с азотом способствовала в этот период активизации фиксаторов азота в большей степени. К концу вегетации сахарной свёклы в почве снижалось ко-

личество продуктов полураспада целлюлозы, которые используют диазотрофы, а поскольку они не могут поглощать углекислый газ в качестве источника углерода, численность исследуемой группы микроорганизмов сокращается. Это косвенно свидетельствует об ускоренном разложении соломы при воздействии целлюлозолитического микромицета.

Заправка соломы с азотом (40 кг д. в. на 1 га), ПК, целлюлозолитическим микромицетом *H. fuscoatra* ВНИИСС 016 активизировала микробное сообщество почвы и способствовала повышению потенциального плодородия за счёт накопления микроэлементов и оптимизации минерального питания сахарной свёклы.



Численность диазотрофов в почве, млн КОЕ в 1 г а.с.п.

Таблица 1. Содержание водорастворимого бора в почве

Вариант	Мг/кг
	$\bar{x} \pm S_x$
Контроль	3,06±0,63
Солома	3,14±0,73
Солома + N	2,96±0,87
Солома + N + <i>H. fuscoatra</i> + ПК	2,48±0,14

Таблица 2. Вынос бора с урожаем сахарной свёклы

Вариант	Содержание бора в корнеплоде сахарной свёклы, мг/кг	Вынос бора с урожаем корнеплодов, г/га	Содержание бора в ботве сахарной свёклы, мг/кг	Вынос бора с урожаем ботвы, г/га	Вынос бора с урожаем сахарной свёклы, г/га
Контроль	9,30	316	17,4	195	511
Солома	10,06	344	15,8	275	619
Солома + N	13,26	522	25,0	375	897
Солома + N + <i>H. fuscoatra</i> + ПК	11,89	528	30,0	450	978

Таблица 3. Продуктивность сахарной свёклы

Вариант	Урожайность корнеплодов, т/га	Урожай ботвы, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га
Контроль	34,0	11,2	16,03	5,45
Солома	34,2	17,4	16,29	5,57
Солома + N	39,4	15,0	15,50	6,11
Солома + N + <i>H. fuscoatra</i> + ПК	44,4	15,1	15,63	6,94
НСР ₀₅	3,8		0,6	

Продуктивность гибрида РМС 127 сахарной свёклы значительно увеличилась: урожайность корнеплодов при запашке соломы составила 34,2 т/га, использование азота в дозе 40 кг д.в. на 1 га способствовало повышению урожайности до 39,4, а добавление азота, ПК и *H. fuscoatra* – до 44,4 т/га (в контроле 34,0) (табл. 3).

Сахаристость корнеплодов в контроле составила 16,03 %. После запашки соломы наметилась тенденция роста сахаристости, которая составила 16,29 %.

Использование при запашке соломы азота снизило сахаристость корнеплодов на 0,53 % за счёт повышения урожайности культуры. Совместное применение азота, *H. fuscoatra* и ПК несколько компенсировало снижение сахаристости, и она стабилизировалась на уровне 15,63 %. В итоге сбор сахара достиг соответственно 6,11 и 6,94 т/га.

Урожай ботвы вырос до 15,0–17,4 т/га (в контроле 11,2) после запашки соломы с азотом и соломы с дополнительными компонентами.

Заключение

В результате исследований выявлено, что благодаря ускоренному разложению соломы под влиянием азота и *H. fuscoatra* с дополнительными компонентами накопление в почве водорастворимого бора

снизилось, что объясняется увеличением выноса этого элемента с урожаем ботвы и корнеплодов сахарной свёклы на 386–467 г/га.

Запашка соломы с азотом и соломы с *H. fuscoatra* и дополнительными компонентами способствовала повышению урожайности корнеплодов сахарной свёклы соответственно на 15,9 и 30,6 %.

Установлено увеличение урожайности не только корнеплодов, но и ботвы сахарной свёклы.

Список литературы

1. Митрохина, О.А. Оценка содержания и баланса основных микроэлементов в пахотных почвах ЦЧР / О.А. Митрохина // Агрохимический вестник. – 2020. – № 5. – С. 58–64.
2. Микроэлементы в сельском хозяйстве / Под ред. С.Ю. Булы-

гина. – Днепропетровск : Сич, 2007. – 100 с.

3. Агрохимия / В.Г. Минеев, В.Г. Сычѳв, Г.П. Гамзиков [и др.] – М. : ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.

4. Русакова, И.В. Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии / И.В. Русакова. – Владимир : ВНИИОУ, 2016. – 131 с.

5. Колесникова, М.В. Повышение продуктивности сахарной свёклы за счёт интродукции целлюлозолитического микромицета в технологию возделывания культуры / М.В. Колесникова, Н.В. Безлер // Сахарная свёкла. – 2015. – № 6. – С. 14–16.

6. Агрохимические методы исследования / Под ред. А.А. Фроловой, М.Е. Анцелович. – М. : Наука, 1965. – 423 с.

7. Теппер, Е.З. Практикум по микробиологии : учеб. пособие для вузов / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М. : Дрофа, 2004. – 256 с.

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

Аннотация. Рассмотрено влияние запашки соломы зерновых культур с дополнительными компонентами на содержание водорастворимого бора в почве и вынос бора с урожаем сахарной свёклы. Показано, что использование при запашке соломы с азотом и с азотом, *Humicola fuscoatra* ВНИИСС и ПК (патока) способствует накоплению бора в ботве и корнеплодах сахарной свёклы и увеличению выноса бора из почвы с урожаем соответственно на 386–467 г/га.
Ключевые слова: запашка соломы, азот, *Humicola fuscoatra* ВНИИСС, водорастворимый бор, вынос с урожаем.

Summary. Influence of grain crops' straw plowing in soil together with additional components on soil content of water-soluble boron and removal of boron by sugar beet crop has been considered. It has been shown that straw plowed in soil with nitrogen, and with nitrogen, *Humicola fuscoatra* VNISS and molasses promotes accumulation of boron in sugar beet tops and roots and increase of its removal from soil by the crop by 386–467 g/ha, accordingly.

Keywords: straw plowing in, nitrogen, *Humicola fuscoatra* VNISS, water-soluble boron, removal by crop.