

Влияние внесения бактерий рода *Pseudomonas* в агроценоз сахарной свёклы на фотосинтетическую активность и продуктивность культуры

М.Ю. ПЕТЮРЕНКО, мл. науч. сотр. (e-mail: marta.86@mail.ru), **Н.В. БЕЗЛЕР**, д-р с/х наук (e-mail: bezler@list.ru)
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

В последнее время в современных условиях развития земледелия особую актуальность приобретает применение различных микроорганизмов и созданных на их основе микробиологических препаратов. Многие ризосферные бактерии способны фиксировать азот атмосферы и увеличивать его поступление в почву, снижая дефицит азота в почве [4]. В последнее время для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур всё чаще находят применение ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*. Они активно колонизируют корни растений, обладают антагонистической активностью по отношению к фитопатогенам, синтезируют разнообразные антибиотики и сидерофоры, а также являются активными продуцентами фитогормонов [3]. В.Г. Минеевым (1991) установлено, что внесение в почву бактерий рода *Pseudomonas*, фиксирующих азот, оказало положительное влияние на урожай столовой свёклы, увеличив его на 35% [5]. В.П. Шабатов (2012) в микрополевом опыте на чернозёме выщелоченном показал, что инокуляция семян сахарной свёклы азотфиксирующей бактерией *Pseudomonas putida* 23 способствовала прибавке массы сырых и сухих корнеплодов этой культуры соответственно на 25 и

37% в сравнении с вариантом без инокуляции [9].

Цель работы — изучить влияние внесения штаммов бактерий рода *Pseudomonas*, выделенных из ризосферы и ризопланы сахарной свёклы и обладающих способностью фиксировать азот, на особенности формирования фотосинтетического аппарата и продуктивность культуры.

В лаборатории эколого-микробиологических исследований почв были выделены бактерий рода *Pseudomonas* под номерами *Pseudomonas sp.* 110 из ризосферы и *P. fluorescens* 116 с поверхности корней сахарной свёклы [1]. Для выявления их способности фиксировать азот был проведён ПЦР анализ на наличие у них гена *nifH*, кодирующего нитрогеназу. Амплификация геномной ДНК этих штаммов с праймером *nifH-univ* позволила определить наличие ампликона размером 473 п.н. для штамма *P. fluorescens* 116 и ампликона размером 595 п.н. для штамма *Pseudomonas sp.* 110, что подтверждает на генетическом уровне способность к фиксации азота. В лабораторном опыте выявлена также способность штаммов *P. fluorescens* 116 и *Pseudomonas sp.* 110 к продуцированию индоллил-3-уксусной кислоты, свободных аминокислот, растворению трифосфата кальция.

На основании лабораторных исследований в 2014–2016 гг. на базе «Всероссийского научно-исследовательского института сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова» был заложен опыт в соответствии с методикой полевого опыта. Почва опытного участка — чернозём выщелоченный среднегумусный тяжелосуглинистый на карбонатных лёссовидных суглинках. Содержание гумуса 5,5%, рН_{сол.} — 5,6, содержание щелочногидролизующего азота — 52 мг/кг почвы, обменного калия — 12,0 мг/100 г почвы, подвижного фосфора — 11,6 мг/100 г почвы.

Площадь посевной делянки в 2014 г. составила 27 м², в 2015 и 2016 гг. — 32,4 м². Повторность опыта четырёхкратная, размещение вариантов систематическое. Выращивали гибрид сахарной свёклы РМС 120 в севообороте со следующим чередованием культур: пар — озимая пшеница — сахарная свёкла — ячмень. Удобрения под сахарную свёклу вносили осенью под основную обработку в дозе N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀. Технология возделывания культуры — общепринятая для ЦЧР.

Штаммы бактерий *P. fluorescens* 116 и *Pseudomonas sp.* 110 вносили под предпосевную культивацию в виде водной суспензии опрыскивателем (использовали водопроводную воду) с титром жизнеспособных бактериальных клеток

10⁸ и 10¹⁰ КОЕ/мл. Расход рабочей жидкости составил 200 л/га.

Оценивая влияние интродукции псевдомонад на фотосинтетическую активность растений, определяли содержание в листьях хлорофилла по показаниям прибора N-Tester. Измерения осуществлялись с 30 растений и представлялись в единицах N-Tester. Условный коэффициент продуктивности фотосинтеза (K_{пф}) выражали отношением фотосинтетической активности по N-Tester к площади листовой поверхности S в следующем уравнении [8]:

$$K_{пф} = \frac{X \cdot S_k}{100 \cdot K_n},$$

где K_{пф} – коэффициент продуктивности фотосинтеза;

X – показатель N-Tester;

S_k – площадь листовой поверхности;

K_n – средняя площадь листовой поверхности.

Площадь листовой поверхности рассчитывали для одновозрастного листа в период активного роста культуры по формуле

$$S = 1 \cdot n \cdot 0,76 [6].$$

Ранее нашими исследованиями было установлено, что внесение штаммов псевдомонад в агроценоз сахарной свёклы повышает содержание щелочногидролизуемого и нитратного азота в почве, тем самым улучшая азотное питание культуры [2].

Определение массы 100 растений в фазу первой пары настоящих листьев в среднем за три года показало, что внесённые в агроценоз сахарной свёклы штаммы *Pseudomonas sp.* 110 и *P. fluorescens* 116, благодаря способности фиксировать азот и продуцировать в окружающую среду природный фитогормон – индоллил-3-уксусную кислоту, способствовали более активному росту сахарной свёклы в начальный период (табл. 1).

В посевах гибрида РМС 120 внесение штамма *P. fluorescens* 116 способствовало увеличению массы 100 проростков сахарной свёклы – на 22,0 и 24,7%, а штамма *Pseudomonas sp.* 110 – на 36,6 и 20,2%. Благодаря более активному росту в начальный период вегетации и увеличению массы 100 растений повысилось и содержание сухого вещества в проростках. Данный показатель зависел от вида штамма и его концентрации. Наибольшее увеличение сухого вещества в ювенильных растениях сахарной свёклы отмечено при внесении в почву штамма *P. fluorescens* 116 (титр 10¹⁰ КОЕ/мл) – на 23,5%.

Наблюдения за ростом и развитием сахарной свёклы показали, что распространение корнееда при использовании бактерий рода *Pseudomonas* во всех вариантах опыта было ниже контроля. Под воздействием штамма *P. fluorescens* 116 (титр 10¹⁰ и 10⁸ КОЕ/мл) степень распространения этого заболевания снижалась соответственно до 19,6 и 18,2% (в контроле – 25,3%). Интродукция штамма *Pseudomonas sp.* 110 оказалась более эффективной: количество растений подвергшихся этому заболеванию составило 14,9% (титр 10¹⁰ КОЕ/мл) и 12,4% (титр 10⁸ КОЕ/мл), что, вероятно, связа-

но с продуцированием антибиотических веществ.

Результаты исследований позволили установить положительное влияние штаммов псевдомонад на продуктивность фотосинтеза, достоверно увеличив содержание хлорофилла в листьях. Максимальные его значения были отмечены при внесении штамма *P. fluorescens* 116 (титр 10¹⁰ КОЕ/мл) и *Pseudomonas sp.* 110 (титр 10⁸ КОЕ/мл) – 555 и 563 усл. ед., что превысило показатели контроля соответственно на 28 и 36 усл. ед. (в контроле – 527 усл. ед.), при этом коэффициент продуктивности фотосинтеза вырос соответственно на 15,0 и 11,4% (в контроле – 4,93) (табл. 2).

На формирование урожайности сахарной свёклы существенное влияние оказывает площадь листовой поверхности, с увеличением которой возрастает процесс фотосинтеза. Размер листовой поверхности значительно изменяется под влиянием внешних условий (влажность, температура, интенсивность света, количество питательных веществ) [7]. В первую декаду июля, когда идёт активный рост листовой поверхности сахарной свёклы, внесение штамма *P. fluorescens* 116 благодаря оптимизации азотного питания

Таблица 1. Влияние внесения псевдомонад на распространение корнееда, массу 100 растений и содержание сухого вещества (2014–2016 гг.)

Вариант	Масса 100 растений		Распространение корнееда		Содержание сухого вещества в растениях	
	г	% к контролю	%	% к контролю	%	% к контролю
Контроль	59,3	100,0	25,3	100,0	8,8	100,0
<i>P. fluorescens</i> 116 (титр 10 ¹⁰ КОЕ/мл)	72,4	122,0	19,6	79,8	10,8	123,5
<i>P. fluorescens</i> 116 (титр 10 ⁸ КОЕ/мл)	73,9	124,7	18,2	72,0	10,3	117,1
<i>Pseudomonas sp.</i> 110 (титр 10 ¹⁰ КОЕ/мл)	81,0	136,6	14,9	50,9	10,4	118,1
<i>Pseudomonas sp.</i> 110 (титр 10 ⁸ КОЕ/мл)	71,3	120,2	12,4	49,1	9,3	106,0
НСР ₀₅	8,9	–	0,2	–	0,14	–

и продуцированию гетероауксина в окружающую среду, способствовало нарастанию листовой поверхности сахарной свёклы от 7,1 до 8,5%. Увеличение средней площади активно фотосинтезирующего листа под влиянием штамма *Pseudomonas sp.* 110 зависело от титра бактериальной суспензии: при титре 10^{10} КОЕ/мл оно составило 8,2%, а при его снижении до 10^8 КОЕ/мл было неэффективным и приближалось к контрольным показателям.

Активизация продукционных процессов фотосинтеза способствовала росту продуктивности сахарной свёклы. Так, внесение в почву штамма *P. fluorescens* 116 (титр 10^{10} КОЕ/мл) в посевах сахарной свёклы способствовало росту урожайности корнеплодов на 5,20 т/га, при этом снижение титра бактериальной суспензии не оказало значимого влияния на увеличение урожайности. Несмотря на то что внесение изучаемого штамма в обеих концентрациях не оказало существенного влияния на сахаристость корнеплодов (содержание сахара колебалось в пределах 18,67–19,10%), был отмечен рост сбора сахара с гектара за счёт увеличения урожайности: при титре 10^{10} КОЕ/мл – на 0,91 т/га, при титре 10^8 КОЕ/мл – на 0,15 т/га (табл. 3).

Результаты полевых опытов показали, что урожайность корнеплодов под влиянием штамма *Pseudomonas sp.* 110 была выше при титре бактериальной суспензии 10^8 КОЕ/мл. Урожайность в этом варианте повысилась на 2,20 т/га при значительной тенденции роста сахаристости корнеплодов – на 0,34%. В соответствии с ростом урожайности сахарной свёклы повысился и сбор сахара с гектара на – 0,48 т/га. Повышение титра суспензии штамма *Pseudomonas sp.* 110 до 10^{10} КОЕ/мл привело к снижению урожайности корнеплодов на 2,46 т/га, что, вероятно, связано с ингибирующей концентрацией продуцированных бактерией физиологически активных веществ.

Внесение под предпосевную культивацию наиболее эффективных штаммов ризосферных бактерий рода *Pseudomonas*, способных фиксировать азот, увеличивает урожайность корнеплодов сахарной свёклы на чернозёме выщелоченном в условиях ЦЧР. Установленное повышение коэффициента продуктивности фотосинтеза сахарной свёклы и увеличение урожайности объясняется положительным влиянием бактерий на рост массы 100 растений, снижением степени распространения корневая и увеличения содержания сухого вещества в растениях.

Таким образом, установленное в процессе исследований положительное влияние бактерий рода *Pseudomonas* на растения сахарной свёклы представляет практический интерес для повышения продуктивности культуры в свекло-вечных агроценозах.

Список литературы

1. *Безлер, Н.В.* ПЦР идентификация и генетическое разнообразие *Pseudomonas fluorescens* выделенных из агроценоза сахарной свёклы (*Beta vulgaris* L.) / Н.В. Безлер, А.С. Хуссейн, М.Ю. Петюренко // Вестник ВГУ. – 2016. – № 1. – С. 43–49.
2. *Безлер, Н.В.* Внесение в почву азотфиксирующей бактерии *Pseudomonas fluorescens* 116 и динамика доступных форм азота в посевах сахарной свёклы / Н.В. Безлер, М.Ю. Петюренко, А.С. Хуссейн // Плодородие. – 2016. – № 6. – С. 9–11.
3. *Боронин, А.М.* Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, способствующие росту и развитию растений / А.М. Боронин // Соровский образовательный журнал. – 1998. – № 10. – С. 25–31.
4. *Завалин, А.А.* Биопрепараты, удобрения и урожай / А.А. Завалин // М.: Изд-во ВНИИА, 2005. – С. 302.
5. *Минеев, В.Г.* Влияние бактерий рода *Pseudomonas* на урожай столо-

Таблица 2. Влияние псевдомонад на среднюю площадь листа и коэффициент продуктивности фотосинтеза сахарной свёклы (2015–2016 гг.).

Вариант	Показатель N-Tester		K _{пф}	Площадь листа	
	усл. ед.	±d		см ²	±d
Контроль	527	–	4,93	163,0	–
<i>P. fluorescens</i> 116 (титр 10^{10} КОЕ/мл)	555	28,0	5,67	174,7	11,7
<i>P. fluorescens</i> 116 (титр 10^8 КОЕ/мл)	540	13,0	5,62	176,9	13,9
<i>Pseudomonas sp.</i> 110 (титр 10^{10} КОЕ/мл)	544	17,0	5,57	176,5	13,5
<i>Pseudomonas sp.</i> 110 (титр 10^8 КОЕ/мл)	563	36,0	5,49	167,7	4,7
НСР ₀₅	9,1	–	0,28	5,6	–

Таблица 3. Влияние внесения штаммов *P. fluorescens* 116 и *Pseudomonas sp.* 110 на продуктивность сахарной свёклы (2014–2016 гг.).

Вариант	Урожайность		Сахаристость		Сбор сахара	
	т/га	±d	%	±d	т/га	±d
Контроль	31,37	–	18,77	–	5,85	–
<i>P. fluorescens</i> 116 (титр 10^{10} КОЕ/мл)	36,56	5,20	18,67	–0,10	6,76	0,91
<i>P. fluorescens</i> 116 (титр 10^8 КОЕ/мл)	31,50	0,13	19,10	0,33	6,00	0,15
<i>Pseudomonas sp.</i> 110 (титр 10^{10} КОЕ/мл)	28,91	–2,46	19,13	0,36	5,54	–0,31
<i>Pseudomonas sp.</i> 110 (титр 10^8 КОЕ/мл)	33,57	2,20	19,11	0,34	6,33	0,48
НСР ₀₅	2,20	–	Нет	–	0,41	–

ДЕКСТРАНАЗА 2F

**ЗАЛОГ УСПЕХА СОВРЕМЕННОГО
САХАРОПРОИЗВОДИТЕЛЯ**

Декстраназа 2F производства компании
Mitsubishi-Kagaku Foods Corporation позволяет:

- снизить вязкость раствора;
- повысить скорость кристаллизации конечного продукта за счет разрушения структуры декстрана;
- предотвратить засорение фильтров и вентилях трубопровода;
- облегчить сепарирование на центрифуге;
- экономить энергетические и временные затраты;
- улучшить характеристики патоки.

Импортер – ЗАО «Каваками Паркер»
Тел.: +7 (495) 933 86 08
Факс: +7 (495) 626 5159
Адрес: 129110, г. Москва,
Проспект мира, д. 74 стр.1А, офис 193

Дистрибьютер –
ООО «Волгоградское производственное
объединение «Волгохимнефть»
Тел.: +7 (84477) 6-91-46, 6-91-52
e-mail: vhn@vhn.ru
www.vhn.ru

вой свёклы и вынос азота растениями / В.Г. Минеев, В.П. Шабаев, О.С. Сафрина, В.Ю. Смолин // Доклады ВАСХНИЛ. – 1991. – № 9 – С. 27–31.

6. Орловский, Н.И. Новый метод учёта листовой поверхности растений при массовых исследованиях / Н.И. Орловский // Селекция и семеноводство. – 1948. – № 6. – С. 21–24.

7. Рубин, Б.А. Физиология сельскохозяйственных растений. В 12 т. Т. 7. / Б.А. Рубин. – М.: Изд-во Московского университета, 1986. – 426 с.

8. Рябчинская, Т.А. Преодоление пестицидного стресса с помощью полифункционального препарата Альбит / Т.А. Рябчинская, Г.Л. Харченко, Н.А. Саранцева, И.Ю. Бобрешова и др. // Сахарная свёкла. – 2012. – № 5. – С. 23–28.

9. Шабаев, В.П. Оптимизация минерального питания корнеплодных культур и сахарной свёклы инокуляцией стимулирую-

щими рост растений ризосферными бактериями / В.П. Шабаев // Агрохимия. – 2012. – № 2. – С. 12–24.

Аннотация. В полевом опыте установлено, что внесение в агроценоз сахарной свёклы штаммов бактерий рода *P. fluorescens* 116 и *Pseudomonas* sp. 110, выделенных из ризосферы и ризопланы этой культуры и способных фиксировать азот, оказывает положительное влияние на массу 100 растений, снижает степень распространения корневой гнили и увеличивает содержание сухого вещества в растениях. Выявлено положительное влияние внесённых штаммов псевдомонад на повышение коэффициента продуктивности фотосинтеза сахарной свёклы и урожайность корнеплодов.

Ключевые слова: бактерии рода *Pseudomonas*, сахарная свёкла, коэффициент продуктивности фотосинтеза, урожайность.

Summary. In field experiment, it has been determined that introduction of the *P. fluorescens* 116 and *Pseudomonas* sp. 110 genus bacteria isolated from sugar beet rhizoplane and rhizosphere and able to fix nitrogen into this crop agroecosystem influences positively upon the mass of 100 plants, reduces a degree of black leg spreading and increases dry material content in plants. Positive effect of the introduced pseudomonad strains on increase of sugar beet photosynthesis productivity coefficient and yield of beet roots has been revealed.

Keywords: bacteria of the *Pseudomonas* genus, sugar beet, photosynthesis productivity coefficient, yield.