ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ *PSEUDOMONAS PROTEGENS* ДА1.2 ПРИ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКЕ С ГЕРБИЦИДАМИ НА ГОРМОНАЛЬНУЮ СИСТЕМУ И ПРОДУКТИВНОСТЬ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАУРАЛЬСКОЙ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Феоктистова А.В.¹, Тимергалин М.Д.^{*1},
Рамеев Т.В.¹, Султангазин З.Р.²,
Четвериков С.П.¹

¹ Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа (Россия)

² Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа (Россия)

*E-mail: chelab007@yandex.ru

В работе представлены данные о влиянии нового рострегулирующего штамма бактерий *Pseudomonas protegens* ДА1.2 на продуктивность мягкой яровой пшеницы при обработке гербицидами чисталан и наномет в условиях Зауральской степной зоны. Внесение бактерий в баковую смесь гербицидов приводило к накоплению массы и стимуляции роста побегов, а также поддержанию высокого относительного содержания воды в листьях. В комбинациях бактериальных обработок с нанометом отмечалось повышенное содержание АБК и снижение уровня ИУК в побегах. Совместно с чисталаном концентрация АБК в побегах снижалась. Выявлена способность бактериальных обработок повышать урожайность пшеницы в условиях комбинированного стресса, вызванного действием гербицидов и почвенной засухи, за счет положительного воздействия бактерий на рост и развитие растений.

Ключевые слова: гербицидный стресс ♦ *Pseudomonas protegens* ДА1.2 ♦ пшеница ♦ засуха ♦ ризосферные бактерии ♦ фитогормоны

EFFECT OF *PSEUDOMONAS PROTEGENS* DA1.2 IN COMBINATION WITH HERBICIDES ON THE HORMONAL SYSTEM AND PRODUCTIVITY OF SOFT SPRING WHEAT IN THE CONDITIONS OF THE TRANS-URAL STEPPE ZONE

Feoktistova A.V.¹, Timergalin M.D.^{*1},
Rameev T.V.¹, Sultangazin Z.R.²,
Chetverikov S.P.¹

¹ Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa (Russia)

² Bashkir Research Institute of Agriculture of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa (Russia)

*E-mail: chelab007@yandex.ru

This article presents data on the effect of a new growth-regulating bacterial strain *Pseudomonas protegens* DA1.2 on the productivity of soft spring wheat when treated with chyalan and nanomet herbicides under the conditions of the Trans-Ural steppe zone. The introduction of bacteria together with herbicides led to the accumulation of mass and stimulation of shoot growth, as well as maintaining a high relative water content in the leaves. In combinations of bacterial treatments with nanomet, an increased content of ABA and a decrease in the level of IAA in shoots were noted. Together with chistalan, the ABA concentration in the shoots decreased. The ability of bacterial treatments to increase the yield of wheat under conditions of combined stress caused by the action of herbicides and soil drought, due to the positive effect of bacteria on the growth and development of plants, was revealed.

Keywords: herbicide stress ♦ *Pseudomonas protegens* DA1.2 ♦ wheat ♦ drought rhizospheric bacteria ♦ plant hormones

Поступила в редакцию: 30.11.2021

DOI: [10.31163/2618-964X-2021-4-4-276-281](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2021-4-4-276-281)

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых проблем в растениеводстве является дефицит почвенной влаги. Этот абиотический фактор в значительной степени ограничивает урожайность культурных

растений в регионах с засушливым климатом. Современное промышленное сельское хозяйство предполагает широкое использование гербицидов и других химических средств защиты растений, применение которых может вызывать гербицидный стресс, сопровождаемый необратимыми изменениями на биохимическом и физиологическом уровнях у культурных растений [Varhney et al., 2015].

При наличии нескольких неблагоприятных факторов окружающей среды негативное влияние усиливается и проявляется кумулятивный эффект. В совокупности с другими неблагоприятными факторами окружающей среды, в том числе в условиях засухи, гербицидный стресс может приводить к потере до 50 % урожая [Золотников и др., 2009].

В настоящее время одним из направлений повышения устойчивости и эффективности агроэкосистем является внедрение в технологию возделывания сельскохозяйственных культур бактериальных препаратов [Bourahla et al., 2018]. Их положительное влияние на рост и развитие растений может быть вызвано рядом причин, в частности, повышением доступности элементов минерального питания [Ohkama-Ohtsu et al., 2010], продукцией регуляторов роста растений (индолилуксусная кислота (ИУК), цитокинины, абсцизовая кислота (АБК) и др.) [Dodd et al., 2010], стимулированием механизмов системной устойчивости к стрессам различной природы [Yang et al., 2009].

Цель исследования состояла в оценке влияния ростстимулирующего штамма бактерий на гормональный статус, показатели роста и продуктивности мягкой яровой пшеницы в условиях комплексного стресса вызванного токсическим действием гербицидов на фоне дефицита воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на экспериментальном поле в 2019–2020 гг. в условиях Зауральской степной зоны в Баймакском районе Республики Башкортостан. Район хорошо обеспечен теплом: сумма положительных температур за вегетацию составляет 2100–2400 °С. Вегетационный период отличается часто повторяющимися, достаточно интенсивными засухами. За период вегетации выпадает 167–176 мм осадков. Гидротермический коэффициент Р.Т. Селянинова (ГТК) составляет 0,7–0,9, что говорит о высокой вероятности засухи [Кираев и др., 2011].

Пахотный слой почвы (0–20 см) характеризовался следующими агрохимическими показателями: общее содержание гумуса – 6,3–8,2 %; рН – 5,56–6,10; содержание подвижных форм P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) соответственно 126,0–170,5 и 125,2–160,1 мг/кг, валовое содержание азота 0,5–0,55 %. Тип почвы – выщелоченный чернозем. Предшественник – мягкая яровая пшеница.

Объект исследования – мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Кинельская Юбилейная. Пшеницу высевали сеялкой СЗС-2.1 на делянках площадью по 20 м², норма посева 500 шт./м², в 3-кратной повторности. Применяли общепринятую для данной почвенно-климатической зоны агротехнику.

В работе использовали штамм бактерий *Pseudomonas protegens* ДА1.2 из коллекции микроорганизмов УИБ УФИЦ РАН устойчивый к рабочим концентрациям наиболее часто применяемых для выращивания пшеницы гербицидов, способный оказывать антистрессовое и стимулирующее влияние на растения пшеницы [Тимергалин и др., 2020; Четвериков и др., 2021].

В качестве гербицидов использовали системные препараты избирательного действия против двудольных: чисталан Экстра – комплексный препарат (синтетический ауксин) на основе двух действующих веществ (д.в.): 2,4-Д (2-этилгексиловый эфир), дикамбы (натриевая соль) и препарат из группы сульфонилмочевин – наномет (д.в. – метсульфурон-метил).

Обработку растений проводили в фазе третьего листа растворами гербицидов в регламентированной концентрации [Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, 2020] и баковыми смесями гербицидов с суспензией бактерий, доведенных до титра 10^8 КОЕ/мл, которые распыляли непосредственно на растения.

На фазу кущения приходится период наиболее активного роста и развития растений. В соответствии с этим оценку влияния обработок на ростовой ответ у растений пшеницы проводили через 14 суток (в фазу кущения): оценивали массу и длину побега, определяли содержание фитогормонов (АБК, ИУК) в побегах методом иммуноферментного анализа [Veselov et al., 1992] и относительное содержание воды (ОСВ) в листьях по стандартной методике.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применение синтетического ауксина 2,4-Д, несмотря на его избирательное действие, приводило к ингибированию роста растений пшеницы в случае его применения на ранних стадиях развития (до наступления стадии кущения) [Kumar et al., 2010].

В наших опытах обработка гербицидами на стадии выхода 3-го листа приводила к подавлению роста растений пшеницы: масса побега (рис. 1а) и его длина (рис. 1б) через 2 недели после обработки были меньше, чем у контрольной группы растений, не подвергавшихся действию препаратов.

Рис. 1. Масса (а) и длина побега (б) растений пшеницы сорта Кинельская Юбилейная через 14 суток после обработки, указаны ошибки среднего, n = 30.

При этом добавление суспензии бактерий в раствор гербицидов приводило к достоверному увеличению массы и длины побега относительно контрольных значений (рис. 1 а, б).

Важной особенностью действия бактерий оказалась их способность поддерживать высокое ОСВ в растениях. В вариантах с растениями, обработанными бактериями, оно было выше, чем у растений на фоне гербицида чисталан и в контроле (рис. 2).

Обработка гербицидами приводила к двукратному увеличению содержания АБК в побегах (рис. 3а).

Рис. 2. Относительное содержание воды в листьях растений пшеницы сорта Кинельская Юбилейная через 14 суток после обработки, указаны ошибки среднего, n = 9.

В условиях стресса накопление АБК в растениях является адаптивной реакцией и приводит к закрытию устьиц для снижения уровня транспирации. Так в наших экспериментах максимальная концентрация АБК наблюдалась в случае обработки гербицидом наномет при добавлении бактерий. В данном варианте наблюдалось максимально высокое ОСВ и, таким образом, снижение транспирации приводило к поддержанию уровня воды в клетках побега.

В случае с обработкой бактериями на фоне гербицида чисталан уровень АБК снижался. Здесь поддержание относительного содержания воды могло происходить за счет усиления её притока из корней, так как АБК увеличивает водный потенциал растений за счет изменения устьичной и гидравлической проводимости [Шарипова и др., 2012].

Рис. 3. Содержание АБК (а), ИУК (б) в побегах пшеницы сорта Кинельская Юбилейная через 14 суток после обработки, указаны ошибки среднего, n = 9.

Внесение бактерий штамма *P. protegens* ДА1.2 приводило к увеличению содержания ИУК в побеге по сравнению с контролем (рис. 3б). При этом обработка гербицидами по-разному влияла на содержание ауксинов. Так чисталан приводил к резкому снижению концентрации ИУК, что могло быть связано с тем, что экзогенный ауксин 2,4-Д в составе этого гербицида напрямую влияет на метаболизм ауксинов. Инокуляция бактериями не вызывала существенных изменений в содержании ИУК в побеге при обработке на фоне чисталана.

В случае с нанометом, который не является гербицидом с ауксиновым механизмом действия на растения, концентрация ИУК практически не отличалась от контрольных значений. При этом внесение бактерий приводило к двукратному снижению ИУК в побеге,

что вероятно было необходимо для поддержания роста корня и повышения его всасывающей способности.

В условиях засухи Зауральской степной зоны урожайность в контроле составила 17 ц/га (табл. 1). В вариантах с гербицидами урожайность была ниже, чем в контроле.

Таблица 1. Урожайность пшеницы сорта Кинельская Юбилейная (усредненные данные за 2019-2020 гг.) при различных вариантах обработки гербицидами и бактериями штамма *P. protegens* ДА1.2

Показатели урожайности	Вариант обработки					
	Контроль	Чисталан	Наномет	Чисталан+Д А 1,2	Наномет +ДА 1,2	ДА 1,2
Количество зерен в колосе, шт.	16,9±1,8	16,5±0,8	12,9±0,5	16,6±1,2	16,5±1,5	15,9±1,2
Вес зерна с 1 колоса, г.	0,54±0,08	0,58±0,03	0,41±0,03	0,56±0,03	0,56±0,05	0,52±0,04
Масса 1000 зерен, г.	31,8±1,1	35,40±1,2	32,2±0,6	34,3±1,5	34,6±0,9	32,7±0,8
Урожайность, выход зерна, ц/га	17,0±0,4	16,5±0,7	15,5±0,3	22,2±0,9	19,8±0,6	18,3±0,3

Количество зерен в колосе, вес зерна с одного колоса были минимальными при обработке нанометом, при этом внесение бактерий приводило к повышению данных показателей до уровня контрольных и выше. Максимальная прибавка в урожайности относительно контроля отмечалась в варианте при совместной обработке штаммом бактерий ДА1.2 с чисталаном на 5,2 ц/га, с нанометом на 2,8 ц/га. Обработка бактериями без гербицидов также приводила к увеличению урожайности, но вследствие засоренности посевов прибавка была незначительной (на 1,35 ц/га).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В наших опытах штамм бактерий *P. protegens* ДА1.2 при совместной обработке с гербицидами чисталан и наномет проявлял роль антистрессового агента в условиях засушливой Зауральской степной зоны. Бактерии снижали негативное воздействие гербицидов, стимулировали рост побегов, способствовали поддержанию высокого ОСВ. При совместной обработке с нанометом наблюдалось увеличение содержания АБК и снижение ИУК в побегах, в случае с чисталаном в побегах возрастал уровень АБК.

Рострегулирующий штамм *Pseudomonas protegens* ДА1.2 совместно с гербицидами чисталан и наномет способствовал повышению урожайности растений пшеницы в условиях засушливой Зауральской степной зоны.

Таким образом, данный штамм бактерий может быть перспективным компонентом совершенствования технологии возделывания сельскохозяйственных культур в районах с засушливым климатом.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках ГЗ Минобрнауки России № 075-00326-19-00 по теме № ААА-А19-119021390081-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, М.: Министерство сельского хозяйства РФ, 2020. – 803 с.
2. Злотников А.К., Злотников К.М. Борьба с пестицидным стрессом - важный резерв повышения продуктивности пшеницы // Земледелие. 2009. № 4. С. 30–31.
3. Кираев Р.С., Чанышев И.О. Агроклиматическое районирование Республики Башкортостан, Уфа: 2011. – 71 с.
4. Тимергалин М.Д., Феоктистова А.В., Рамеев Т.В., и др. Роль ауксинпродуцирующих бактерий в преодолении стресса растениями пшеницы в условиях обработки гербицидом Чисталан // Агрохимия. 2020. № 11. С. 35–40. DOI: [10.31857/S0002188120110113](https://doi.org/10.31857/S0002188120110113)
5. Четвериков С.П., Четверикова Д.В., Бакаева М.Д., и др. Перспективный штамм бактерий *Pseudomonas protegens* для стимуляции роста сельскохозяйственных злаков, устойчивый к гербицидам // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57. № 1. С. 87–94. DOI: [10.31857/S0555109921010220](https://doi.org/10.31857/S0555109921010220)
6. Шарипова Г.В., Веселов Д.С., Кудоярова Г.Р., и др. Влияние ингибитора рецепции этилена на рост, водный обмен и содержание абсцизовой кислоты у растений пшеницы при дефиците воды // Физиология растений. 2012. Т. 59, № 4, с. 619–626.
7. Bourahla M., Djebbar R., Kaci Y., Abrous-Belbachir O. Alleviation of bleaching herbicide toxicity by PGPR strain isolated from wheat rhizosphere // Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie. 2018. V. XXV (2). P. 74–83.
8. Dodd I.C., Zinovkina N.Y., Safronova V.I., Belimov A.A. Rhizobacterial mediation of plant hormone status // Annals of Applied Biology. 2010. V. 157 (3). P. 361–379. DOI: [10.1111/j.1744-7348.2010.00439.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00439.x)
9. Kumar S., Singh A.K. A review on herbicide 2,4-D damage reports in wheat (*Triticum aestivum* L.) // J. Chem. Pharm. Res. 2010. V. 2. No 6. P. 118–124.
10. Ohkama-Ohtsu N., Wasaki J. Recent progress in plant nutrition research: cross-talk between nutrients, plant physiology and soil microorganisms // Plant Cell Physiol. 2010. V. 51 (8). P. 1255–1264. DOI: [10.1093/pcp/pcq095](https://doi.org/10.1093/pcp/pcq095)
11. Varhney S., Khan M.I.R., Masood A., et al. Contribution of Plant Growth Regulators in Mitigation of Herbicidal Stress // J Plant Biochem Physiol. 2015. V. 3 (4). Article 1000160. DOI: [10.4172/2329-9029.1000160](https://doi.org/10.4172/2329-9029.1000160)
12. Veselov S.U., Kudoyarova G.R., Egutkin N.L., et al. Modified solvent partitioning scheme providing increased specificity and rapidity of immunoassay for indole 3-acetic acid // Physiologia Plantarum. 1992. V. 86. P. 93–96.
13. Yang J., Kloepper J. W., Ryu C. M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress // Trends Plant Science. 2009. V. 14 (1). P. 1–4. DOI: [10.1016/j.tplants.2008.10.004](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004)