

10. Il'inskiy A.V. Vliyanie razlichnykh doz vneseniya efflyuenta na urozhai yachmenya (Effect of different doses of effluent application on barley yield), Agrarnye landshafty, ikh ustoichivost' i osobennosti razvitiya, sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunarod. nauch. ekolog. konf. Krasnodar, Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni I.T. Trubilina, 2020, Pp. 551-554.

11. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) (Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results), M, Kniga po Trebovaniyu, 2012, 352 p.

12. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu proizvodstvennykh demonstratsionnykh ispytaniy sredstv i metodov zashchity zernovykh kul'tur ot boleznei. Prilozhenie k zhurnalu «Zashchita i karantin rastenii» (Methodical instructions for conducting production demonstration tests of means and methods for protecting grain crops from diseases. Appendix to the journal "Plant Protection and Quarantine"), 2004, 25 p.

DOI 10.47737/2307-2873_2021_35_52

УДК 632.112:582.683.2

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН АССОЦИАТИВНЫМИ РИЗОБАКТЕРИЯМИ ПРИ НОРМАЛЬНОМ УВЛАЖНЕНИИ И ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ

В.Н. Лебедев, канд. с.-х. наук, доцент;

Г.А. Воробейков, д-р с.-х. наук, профессор;

ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»,

Набережная реки Мойки, д.48, Санкт-Петербург, Россия, 191186

E-mail: antares-80@yandex.ru

Г.А. Ураев, канд. экон. наук, доцент;

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора

Александра I»,

Московский пр., д. 9, Санкт-Петербург, Россия, 190031

E-mail: uraev.ga@yandex.ru

Аннотация. В условиях вегетационных опытов проведено изучение влияния предпосев-ной инокуляции горчицы белой (*Sinapis alba* L.) сорт Рапсодия (к-4278) ассоциативными ризо-бактериями, стимулирующими рост и развитие растений (PGPR) в условиях нормального увлажнения и кратковременной почвенной засухи, вызванной в критический период (в фазе бутонизации). В работе использовались четыре бактериальных препарата: агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, шт. 10), мизорин (*Arthrobacter mysorens*, шт. 7), флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, шт. 30) и экстрасол (*Pseudomonas fluorescens*, шт. ПГ-5). Проведенные исследования показали, что при помощи ризобактерий можно повысить водоудерживающую спо-

способность растений, количество сформировавшихся стручков, накопление сухого вещества в надземной массе, а также семенную продуктивность растений (количество и массу семян), перенесших засушливый период. У растений, выращенных при нормальном увлажнении, наилучшие результаты были получены при предпосевной обработке семян горчицы белой био-препаратами мизорином и флавобактерином. Наиболее эффективным оказался бактериальный препарат на основе *Agrobacterium radiobacter*, шт. 10, проявивший наиболее выраженные протекторные свойства по большинству рассмотренных показателей, формирующих продуктивность надземных органов и урожай семян в условиях почвенной засухи.

Ключевые слова: ассоциативные ризобактерии, инокуляция, интродукция, засуха, водный стресс, продуктивность, урожайность семян, экономический эффект.

Введение. Возрастание антропогенного воздействия на почву привело к разработке новых биотехнологических методов оптимизации роста культурных растений, таких как использование ассоциативных штаммов ризобактерий [1-3], которые обладают полифункциональным действием и способны повышать продуктивность растений [4, 5]. Особенно это актуально в отношении малораспространенных культур, к которым относится горчица белая [6].

Известно [7,8], что критический период к засухе у горчицы совпадает с фазой бутонизацией, когда происходит интенсивное накопление сухого вещества. Поэтому недостаток почвенной влаги на данном этапе развития растений отражается на формировании вегетативных органов и урожае семян.

Применение ассоциативных штаммов ризобактерий для повышения засухоустойчивости растений и сохранения их продуктивности при нормальном увлажнении и почвенной засухе представляло собой практическую цель нашего исследования.

Методика. Для реализации поставленной цели были проведены вегетационные опыты с горчицей белой (*Sinapis alba* L.) сорта Рапсодия (к-4278) по стандартной методике [9]. Эксперимент проводился на Биостанции РГПУ им. А.И. Герцена в Ленинградской

области в 2016, 2018-2019 гг. Почва, используемая в эксперименте, супесчаная дерново-слабоподзолистая с реакцией среды $pH_{KCl} - 5,7$ – близкая к нейтральной, среднеокультуренной. По Кирсанову определено содержание подвижных форм фосфора (155 мг/кг), калия (120 мг/кг). Растения выращивались в вегетационном домике при естественном освещении и искусственном поливе. В пластмассовые вегетационные сосуды набивалось по 5 кг почвы. В каждый сосуд высевалось по 15 семян, после появления всходов количество проростков выравнивалось. Повторность опыта четырехкратная. Продолжительность опыта с момента посева (вторая декада мая) до фазы созревания семян (первая декада августа) составила 86 дней. Семена были предоставлены ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова.

Согласно рекомендациям [10, 11], в процессе посева была проведена предпосевная инокуляция семян методом их непосредственного полива готовыми бактериальными суспензиями с титром 10^7 КОЕ/мл. В опыте использовались такие бактериальные препараты, как агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, шт. 10), мизорин (*Arthrobacter mysorens*, шт. 7), флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, шт. 30) и экстрасол (*Pseudomonas fluorescens*, шт. ПГ-5), предоставленные ВНИИСХМ. В контрольном

варианте (без инокуляции) семена поливали водой.

При нормальных условиях растения выращивали при влажности 70% от полной почвенной влагоемкости. Для части растений после вступления их в критический период (фаза бутонизации) создавалась на 10 дней почвенная засуха (30% влажности). По окончании кратковременного засушливого периода нормальные условия увлажнения восстанавливались.

В фазу цветения определяли водоудерживающую способность методом завядания. Оценка семенной продуктивности учитывалась в фазу полной спелости стручков.

Инокуляция бактериальными препаратами горчицы белой влияла на результаты оценки изменения дохода аграрного предприятия по отношению к контролю, что определяется как экономический эффект [12].

Результаты. Растения, пережившие десятидневный период засухи, отличались более низкой водоудерживающей способностью. Наиболее эффективной оказалась обработка семян биопрепаратом агрофилом на основе агробактерий. У растений этого варианта наблюдался наибольший протекторный эффект действия данного бактериального штамма на водоудерживающую способность в условиях засушливого периода (рис.1).

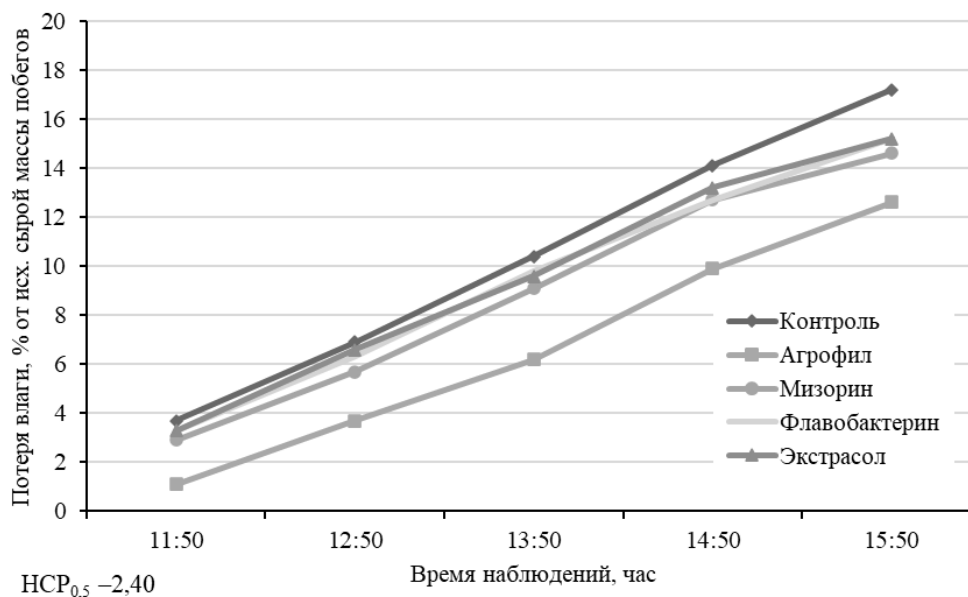


Рис.1. Влияние ассоциативных ризобактерий на водоудерживающую способность горчицы белой при почвенной засухе (фаза цветения, среднее за 2016, 2018-2019 гг.)

В наших исследованиях показано, что растения горчицы, семена которых прошли предпосевную обработку биопрепаратами, образовывали большее количество стручков (табл. 1). При нормальном увлажнении это лучше всего проявлялось при инокуляции ми-

зоринном и флавобактерином. Действие засухи сокращало формирование плодов горчицы в два раза. Однако использование ризобактерий нивелировало это влияние, особенно в варианте с агрофилом.

Таблица 1

Влияние бактериальных препаратов на формирование стручков и количество семян в фазу полной спелости в разных условиях увлажнения (среднее за 2016, 2018-2019 гг.)

Вариант	Количество стручков, шт./растение			Количество семян, шт./сосуд		
	НУ*	ПЗ**	ПЗ/НУ***	НУ*	ПЗ	ПЗ/НУ
Контроль	13,8	6,9	0,50	519	305	0,59
Агрофил	15,8	14,0	0,89	600	550	0,92
Мизорин	21,9	12,1	0,55	864	526	0,61
Флавобактерин	19,7	10,6	0,54	826	498	0,60
Экстрасол	18,6	10,5	0,56	774	516	0,67
НСР ₀₅	2,7	2,0	-	14,1	10,7	-

Примечание: НУ* – нормальное увлажнение; ПЗ** – почвенная засуха; ПЗ/НУ*** – отношение показателей почвенной засухи к нормальному увлажнению.

Протекторное влияние предпосевной обработки семян биопрепаратами проявлялось и в отношении такого важного показателя, как количество образовавшихся семян. Несмотря на то, что растения горчицы, подвергнутые засухе на фазе бутонизации, формировали меньше семян в среднем на 41 %, в опытных вариантах с применением инокуляции это снижение было менее значительным (32 %). Эффективней всех препаратов на сохранение количества семян повлияли ассоциативные агробактерии в составе агрофила, использование которого увеличивало данный показатель более чем в 1,5 раза относительно контроля. Именно в этом варианте соотношение результатов, полученных после почвенной засухи и в условиях нормального увлажнения (ПЗ/НУ), которое можно рассматривать как своеобраз-

ный показатель устойчивого развития растений [8], было максимальным.

При проведении инокуляции во всех вариантах происходило увеличение числа семян в стручках горчицы. Наиболее значительно это происходило в отсутствие засухи в вариантах с мизорином (на 66 %) и флавобактерином (на 59 %).

Проведение инокуляции семян положительно повлияло на формирование сухой биомассы надземных органов, а также семенную продуктивность (табл. 2). У инокулированных растений в отсутствие засухи сухая надземная масса увеличивалась на 8-13 %, а растения, подвергнутые недостатку почвенной влаги, сокращали накопление сухого вещества почти в полтора раза. Однако, у обработанных растений, данные негативные изменения происходили менее выражено.

Таблица 2

Продуктивность биомассы надземных органов и урожай семян в зависимости от штамма ризобактерий при разных условиях увлажнения (среднее за 2016, 2018-2019 гг.)

Вариант	Надземная масса растений, г/сосуд			Масса семян, г/сосуд		
	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ
Контроль	15,2	11,5	0,76	3,2	0,9	0,28
Агрофил	16,5	13,9	0,84	4,1	1,8	0,44
Мизорин	17,1	13,4	0,78	4,4	1,6	0,36
Флавобактерин	16,8	13,0	0,77	4,2	1,4	0,33
Экстрасол	16,4	13,1	0,80	3,8	1,3	0,34
НСР ₀₅	1,0	1,6	-	0,6	0,3	-

Аналогичная закономерность прослеживалась нами и в отношении семенной продуктивности, где предпосевная инокуляция семян горчицы белой способствовала торможению сокращения массы семян относительно контрольных данных.

Инокулированные растения, перенесшие засуху, формировали на 44-100% больше семенной массы, чем в контроле, где она резко снижалась до 72% по сравнению с фоном нормального увлажнения.

Рассмотренные выше факторы создают основу для проведения подобного эксперимента в полевых условиях, близких к производственным, где возможно проведение предварительной оценки экономического эффекта от

реализации семян горчицы белой в различных условиях влагообеспечения.

Выводы. Таким образом, результаты проведенных вегетационных опытов показали, что предпосевная обработка семян растений *Sinapis alba* L. бактериальными препаратами на основе ассоциативных ризобактерий оказывает протекторное влияние при переживании почвенной засухи, наступившей в критический период их развития. Данные растения отличались более стабильными физиологическими показателями водного режима и накопления сухого вещества в надземных органах, а также формирования урожая семян. Наилучший эффект отмечен в варианте с использованием агрофила.

Литература

1. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Перспективность инокуляции семян горчицы белой и сарептской ассоциативными азотфиксирующими штаммами ризобактерий // Пермский аграрный вестник. № 11. 2015. С. 21-25.
2. Шапошников А.И., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2011. №3. С. 16-22.
3. Лебедев В.Н. Влияние инокуляции семян ассоциативными ризобактериями на изменение численности бутонов и цветков у горчицы белой // Инновации в развитии экологического образования населения. Кластерный подход: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции 23-24 октября 2013 года. Курган, 2013. С. 166-168.
4. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2012. Vol. 28 P. 1327-1350.
5. Fatih C., Murat E., Mehmet S., Arzu C. The Role of Beneficial Microorganisms in the Protection of Plants Growing in Natural Landscape Areas. Siirt. 2017. P. 427-442.
6. Велкова Н.И., Наумкин В.Н. Экономическая и биоэнергетическая эффективность возделывания горчицы белой в условиях ЦЧР // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. №3(23). С. 87-92.
7. Shrivastava U.P. Characterization of diazotrophic rhizobacteria under various conditions // International Journal of Applied Sciences and Biotechnology. 2013. Vol. 1(3). P. 110-117.
8. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н., Лебедев В.Н., Юргина В.С. Биология критического периода растений в условиях нарушения влажности почвы // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2015. № 173. С. 49-53.
9. Нарушева Е.А. Методы исследований в агрохимии: учебное пособие. Саратов: Нарушева Е.А. Методы исследований в агрохимии: учебное пособие. Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». 2014. 90 с.
10. Завалин А.А., Кожемяков А.П. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия. СПб.: Химиздат, 2010. 64 с.
11. Ибатуллина Р.П., Алимова Ф.К., Кожемяков А.П., Крошечкина И.Ю., Менликиев Ф.М. Рекомендации по применению биологических препаратов ООО «НПИ «Биопрепараты» в растениеводстве, кормопроизводстве и животноводстве. Казань: Центр инновационных технологий, 2017. 136 с.

12. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Повышение продуктивности растений семейства капустных (*Brassicaceae* Burnett.) при инокуляции семян бактериальными препаратами на основе ассоциативных штаммов // Успехи современного естествознания. №5. 2017. С.41-45.

PHYSIOLOGICAL FEATURES AND PRODUCTIVITY OF WHITE MUSTARD AT INOCULATION OF SEEDS BY ASSOCIATIVE RHIZOBACTERIA UNDER NORMAL MOISTURE AND SOIL DROUGHT

V.N. Lebedev, Cand. of Agr. Sci., Assistant professor;

G.A. Vorobeykov, Dr. Agr. Sci., Professor;

Herzen State Pedagogical University of Russia

48 Emb.Riv. Moyka, Saint Petersburg, Russia, 191186

E-mail: antares-80@yandex.ru

G.A. Uraev, Cand. Econ. Sci.;

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, Russia

9 Moskovsky Av., Saint Petersburg, Russia, 190031

E-mail: uraev.ga@yandex.ru

ABSTRACT

The influence of sowing inoculation of white mustard (*Sinapis alba* L.) seeds of the var. Rhapsody (k-4278) by associative rhizobacteria stimulating plant growth and development (PGPR) under conditions of normal moisture and short-term soil drought caused during the critical period (budding phase) was studied in pot experiments. There were five bacterial preparations used in our pot experiments: agrofil (*Agrobacterium radiobacter*, str. 10), mizorin (*Arthrobacter mysorens*, str. 7), flavobacterin (*Flavobacterium* sp., str. 30) and extrasol (*Pseudomonas fluorescens*, str. PG-5). Studies have shown that with the help of rhizobacteria, it is possible to increase the water-holding capacity of plants, the number of pods, the accumulation of dry matter in the aboveground mass, as well as the seed productivity of plants (the number and weight of seeds) that have survived the dry period. The most effective was bacterial preparation based on *Agrobacterium radiobacter*, str. 10, which showed the most pronounced protective properties for most of the considered morphophysiological parameters in conditions of soil drought. In addition, the economic efficiency of plants grown using these bacterial preparations after the dry period was noted. The possible reason for it is that agrofil agrobacteria are more likely to retain their physiological functions in arid soil increasing drought resistance in plants. These findings are a point for future research.

Key words: associative rhizobacteria, inoculation, introduce, germinating capacity, productivity, seed yield, drought, water stress, economic effect.

References

1. Lebedev V.N., Uraev G.A. Perspektivnost' inokulyacii semyan gorchicy beloј i sarepskoј associativnymi azotfiksiruyushchimi shtammami rizobakterij (Perspectives on inoculation of seeds of white and brown mustard with associative nitrogen-fixing rhizobacteria strains), *Permskiј agrarnyj vestnik*, No. 11, 2015, Pp. 21-25.
2. Shaposhnikov A.I., Belimov A.A., Kravchenko L.V., Vivanko D.M. Vzaimodejstvie rizosfernyh bakterij s rasteniyami: mekhanizmy obrazovaniya i faktory effektivnosti associativnyh simbiozov (obzor) (Interaction of rhizosphere bacteria with plants: mechanisms of formation and efficiency factors of associative symbioses (review)), *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2011, No. 3, Pp. 16-22.
3. Lebedev V.N. Vliyanie inokulyacii semyan associativnymi rizobakteriyami na izmenenie chislennosti butonov i cvetkov u gorchicy beloј (Effect of seed inoculation by associative rhizobacteria on the change in the number of buds and flowers in white mustard), *Innovacii v razvitii ekologicheskogo obrazovaniya naseleniya. Klasternyj podhod: sbornik materialov Vserossijskoј nauchno-prakticheskoi konferencii 23-24 oktyabrya 2013 goda*. Kurgan, 2013, Pp. 166-168.
4. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2012, Vol. 28 Pp. 1327-1350.
5. Fatih C., Murat E., Mehmet S., Arzu C. The Role of Beneficial Microorganisms in the Protection of Plants Growing in Natural Landscape Areas. *Siirt*. 2017. Pp. 427-442.
6. Velkova N.I., Naumkin V.N. Ekonomicheskaya i bioenergeticheskaya effektivnost' vzdelyvaniya gorchicy beloј v usloviyah CCHR (Economic and bioenergetic efficiency of white mustard cultivation in the conditions of the CDR), *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2017, No. 3(23), Pp. 87-92.
7. Shrivastava U.P. Characterization of diazotrophic rhizobacteria under various conditions, *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 2013, Vol. 1(3), Pp. 110-117.
8. Vorobejkov G.A., Bredihin V.N., Lebedev V.N., Yurgina V.S. Biologiya kriticheskogo perioda rastenij v usloviyah narusheniya vlazhnosti pochvy (Biology of the critical period of plants under conditions of soil moisture disturbance), *Izvestiya RGPU im. A.I. Gercena*, 2015, No. 173, Pp. 49-53.
9. Narusheva E.A. *Metody issledovanij v agrohimii: uchebnoe posobie* (Research methods in agrochemistry: a textbook), Saratov FGBOU VPO «Saratovskij GAU», 2014, 90 p.
10. Zavalin A.A., Kozhemyakov A.P. *Novye tekhnologii proizvodstva i primeneniya biopreparatov kompleksnogo dejstviya* (New technologies for the production and application of complex biological products), SPb.: Himizdat, 2010, 64 p.
11. Ibatullina R.P., Alimova F.K., Kozhemyakov A.P., Kroshechkina I.Yu., Menlikiev F.M. *Rekomendacii po primeneniyu biologicheskikh preparatov OOO «NPI «Biopreparaty» v rastenievodstve, kormoproizvodstve i zhivotnovodstve* (Recommendations for the use of biological preparations of LLC «NPI «Biopreparaty» in crop production, feed production and animal husbandry), Kazan': Centr innovacionnyh tekhnologij, 2017, 136 p.
12. Lebedev V.N., Vorobejkov G.A., Uraev G.A. Povyshenie produktivnosti rastenij semeјstva kapustnyh (*Brassicaceae* Burnett.) pri inokulyacii semyan bakterial'nymi preparatami na osnove associativnyh shtammov (Increasing the productivity of plants of the brassicaceae family by inoculation of seeds with bacterial preparations on the basis of associative strains), *Uspekhi sovremennoгo estestvoznaniya*. No. 5, 2017, Pp. 41-45.