

как биоудобрения на плодородие почвы и сельхозкультуры можно привести данные по возделыванию ячменя ярового на лесной темно-серой почве. В вариантах, где использовался штамм хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer), которую вносили перед дождем, были отмечены более активный рост и увеличение урожайности надземной массы и зерна ячменя. При этом внесение хлореллы повышало количество гуминовых кислот в почве. Авторы объясняют это бурным развитием микробиологических и биохимических процессов в почве. В результате образуются легкодоступные гумусовые вещества, большинство из которых – гидролизуемые формы, более подвижные, легко усваивающиеся микроорганизмами и высшими растениями [9].

Активно применяют микроводоросли и в отечественном растениеводстве. Сотрудники Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси доказали высокую эффективность среды культивирования хлореллы как стимулятора роста и развития

растений. Согласно исследованиям, прайминг (замачивание) семян различных цветочных (петуния, тагетес, агератум), овощных (огурцы, свекла, картофель), зерновых (ячмень, озимая пшеница) и зернобобовых (горох) культур в разбавленной водой культуральной среде хлореллы (*Chlorella vulgaris*) увеличивает как всхожесть, так и энергию прорастания семян [10, 11].

Внесенные в грунт микроводоросли и азотфиксирующие цианобактерии разлагаются быстрее, чем привычные нам органические удобрения, не засоряют почву семенами сорняков, личинками вредных насекомых и спорами фитопатогенных грибов. К сожалению, исследования по их использованию в качестве биоудобрения в Беларуси до сих пор не проводились. Но предпосылки для них есть – в альгологической коллекции Института имеются необходимые микроводоросли и азотфиксирующие цианобактерии (таблица) [12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Макарова Е. И., Отурина И. П., Сидякин А. И. Прикладные аспекты применения микроводорослей – обитателей водных экосистем // Эко-системы, их оптимизация и охрана. 2009. Вып. 20. С. 120–133.
2. Лукьянов В. А., Стифеев А. И. Прикладные аспекты применения микроводорослей в агроценозе // Монография. Курск, 2014.
3. Доброжан С. Н., Шалару В. В., Шалару В. М., Стратулат И. И., Семенюк Е. Н. Использование некоторых видов синезеленых азотфиксирующих водорослей в качестве биологического удобрения // Альгология. 2014. Т. 24. №3. С. 426–429.
4. Paudel Y. P., Pradhan S., Pant B., Prasad B. N. Role of blue green algae in rice productivity // Agriculture and Biology Journal of North America. 2012. V.3. N8. P. 332–335.
5. Reddy P. M., Roger P. A., Ventura W., Watanabe I. Blue-green algal treatment and inoculation had no significant effect on rice yield in an acidic wetland soil // Phil. Agri. Special BGA ISSUE. 1986. V.69. P. 629–632.
6. Gurung S. Effect of azolla and cyanobacteria (BGA) in rice productivity // M. Sc. Dissertation.
7. Водоросли и биотехнологии – Черки по микробиологии // <http://mikrobio.balakiets.kharkov.ua/contents-15-9.html/>.
8. Aziz M. A., Hashem M. A. Role of cyanobacteria in improving fertility of saline soil // Pakistan Journal of Biological Sciences. 2003. V.6. N20. P. 1751–1752.
9. Панкратова Е. М., Зяблых Р. Ю., Калинин А. А., Ковина А. Л. и др. Конструирование микробных культур на основе синезеленой водоросли *Nostoc paludosum* // Альгология. 2014. Т. 14. №4. С. 445–458.
10. Мельников С. С., Мананкина Е. Е. Хлорелла: физиологически активные вещества и их использование. – Минск, 1991.
11. Шальго Н. В., Мельников С. С. Хозяйственно полезные виды водорослей // Наука и инновации. 2009. №3 (73). С. 34–38.
12. Мельников С. С., Мананкина Е. Е., Будакова Е. А., Шальго Н. В. Каталог генетического фонда хозяйственно полезных видов водорослей. – Минск, 2011.

SEE <http://innosfera.by/2019/03/microalgae>



Наталья Максимова,

заведующий кафедрой генетики
биологического факультета БГУ,
доктор биологических наук, профессор

Ирина Феклистова,

заведующий НИЛ молекулярной генетики
и биотехнологии кафедры генетики
биологического факультета БГУ,
кандидат биологических наук

Владимир Лысак,

декан биологического факультета БГУ,
кандидат биологических наук, доцент

Ирина Гринева,

старший научный сотрудник
НИЛ молекулярной генетики
и биотехнологии кафедры генетики
биологического факультета БГУ

БАКТЕРИИ НА СТРАЖЕ УРОЖАЯ

Аннотация. В статье представлен обзор разработанных в НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии биологического факультета БГУ биологических препаратов на основе живых бактерий, которые являются экологически безопасной альтернативой пестицидам, используемым в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: биопрепарат, ризосферные бактерии, повышение урожайности, микробное удобрение, защита растений.

Рост численности населения на Земле начиная с 40-х гг. XX в. связан с увеличением выпуска продуктов питания, что в свою очередь стало возможным благодаря введению в сельскохозяйственную практику химических средств защиты растений. Согласно статистическим данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, мировое производство пестицидов на тот момент начало возрастать на 11% в год и к 2000 г. достигло 5 млн т [1].

Вместе с тем их повсеместное использование привело к загрязнению химикатами почвы, грунтовых вод и воздуха практически во всех странах, что имеет не только экологические, но экономические и социальные последствия. Например, в результате опрыскивания в течение нескольких десятилетий банановых плантаций островов Мартиники и Гваделупы хлордеконом (даже с 1993 по 2002 г., когда он был официально запрещен на этой территории) в тканях рыб и диких животных

было обнаружено самое высокое содержание этого вещества, у местных жителей отмечен высокий уровень заболеваемости раком простаты, у детей – частота врожденных пороков развития [2]. В Италии применение фенитротиаона привело к резкому снижению численности популяции шмелей и бабочек [3], а в Германии за последние 27 лет нерациональное использование пестицидов в борьбе с сорняками привело к сокращению численности насекомых более чем на 75%.

Так, трифлуралин оказался высокотоксичным для рыб, а в дополнение к этому присутствие гербицидов, содержащих глифосат, становилось сублетальным. Атразин и алахлор ослабляют репродуктивную и иммунологическую функции водных млекопитающих, а у водорослей блокируют фотосинтез и задерживают их рост [4]. Исследования, проведенные в последние десятилетия, показывают, что некоторые хлорорганические пестициды (пентахлорфенол, ДДТ и метилпаратион) подавляют симбиотическую фиксацию азота бактериями.

Как следствие, у них увеличивается зависимость от синтетических азотных удобрений, снижается плодородие почвы, наблюдается стагнация урожайности, несмотря на рекордное внесение пестицидов и удобрений [5].

За счет развития устойчивых видов фитопатогенных организмов при использовании традиционных химических средств, а также проведения более интенсивной обработки посевов ежегодные потери урожая в мире составляют около 3,30 млрд долл. в год, и еще столько же расходуется на организацию службы охраны окружающей среды. Потери человеческой трудоспособности при отравлениях приносят убыток в 1,42 млрд долл. [6]

Пять стран – членов ЕС для защиты растений и повышения их урожайности используют почти 75% общего количества (220 тыс. т) химических продуктов, потребляемых всеми странами ЕС [7]. Из них на Францию приходится 28%, на Испанию и Италию – по 14%, на Германию – 11% и Великобританию – 7% (рис. 1). Франция (32%), Италия (17%) и Испания (15%)

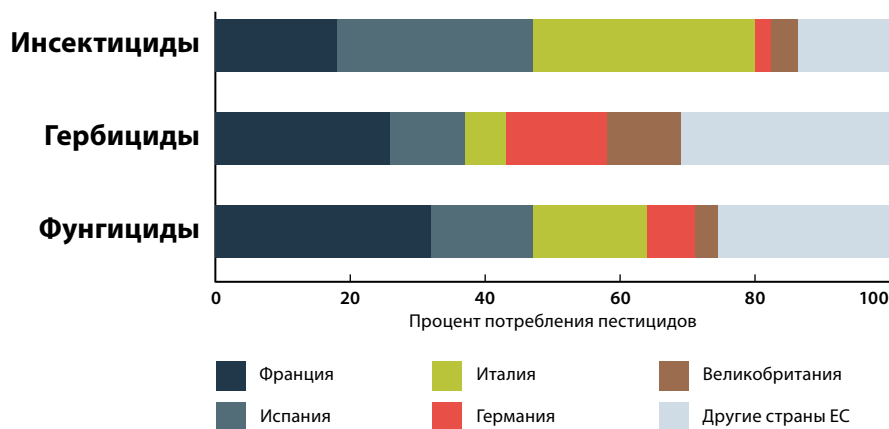


Рис. 1. Потребление пестицидов странами «Большой пятерки»
 Источник: разработка авторов на основании сведений, представленных Eurostat.

используют 64% всех фунгицидов, что обусловлено концентрацией здесь производства винограда, нуждающегося в мощной защите от фитопатогенных грибов. Основное потребление гербицидов (63%) сосредоточено во Франции (26%), Германии (15%), Испании (11%) и Великобритании (11%), что связано с выращиванием зерновых культур и кукурузы. На рынке инсектицидов лидируют Италия (33%) и Испания (29%), на долю которых вместе с Францией (18%) приходится 80% от общего объема инсектицидов, применяемых всеми странами Европейского союза.

Несомненно, сокращение потребления пестицидов – одна из первоочередных задач, остро стоящих перед мировым сообществом, и для ее решения уже

предприняты меры. Например, план Ecophyto, разработанный во Франции, направлен на сокращение и обеспечение безопасности применения фитосанитарных продуктов (в том числе для несельскохозяйственного использования) до 50% к 2025 г. Рамочная директива ЕС по воде, принятая Европейским парламентом и государствами-членами в 2000 г., установила 2015 г. крайним сроком для достижения хорошего качества воды, результаты ее исполнения в настоящий момент оцениваются. Директива о нитратах оказала ощутимое влияние на снижение загрязнения сельскохозяйственных угодий азотом: страны ЕС обязаны сократить выбросы аммиака на 8% в 2020 г. и на 16% в 2030 г. по сравнению с 2005 г. [8, 9].

Альтернатива использованию химических средств в сельском хозяйстве – применение экологически безвредных биологических препаратов на основе ризосферных микроорганизмов. Это новое поколение биопрепаратов способно:

- **повышать урожайность и качество сельхозпродукции;**
- **защитить от болезнетворных грибов, бактерий, вирусов, личинок насекомых-вредителей и нематоды;**
- **не изменять состав агробиоценозов, поскольку бактерии-антагонисты, входящие в состав биопрепаратов, способны заселять ризо- и филлосферу и приобретать статус естественных обитателей организма, что обеспечивает им пролонгированный эффект;**
- **стимулировать рост и развитие, поскольку ризосферные микроорганизмы через корневые выделения могут подкармливать полезную биоту, а также находиться во взаимовыгодном симбиозе;**
- **повышать иммунитет;**
- **синтезировать необходимые аминокислоты, витамины, биостимуляторы;**
- **усваивать атмосферный азот, преобразовывать почвенный фосфор, калий, необходимые микроэлементы и минералы в доступные для растений соединения;**



Рис. 2. Экспериментальные подходы к созданию биологических препаратов

- синтезировать витамины и ростостимуляторы растений – фитогормоны гиббереллин, ауксин, цитокинин, этилен и др.
- восстанавливать плодородие почвы, способствовать улучшению ее структуры и повышать ее биоразнообразие.

По сравнению с химическими средствами защиты растений биологические препараты обладают рядом преимуществ:

- не патогенны для растений и не вызывают у них эффекта «привыкания»;
- не обладают мутагенным и онкогенным действием в отношении человека и животных;
- не имеют срока ожидания, то есть собирать урожай можно непосредственно в день обработки;
- не загрязняют окружающую среду.

Создание биологических препаратов состоит из нескольких этапов (рис. 2).

Сотрудники кафедры генетики биологического факультета БГУ: Максимов Н. П. – заведующий кафедрой, Феклистова И. Н. – заведующий НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии кафедры, Маслак Д. В. – заведующий сектором молекулярной генетики и биотехнологии микроорганизмов НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии кафедры генетики; Гринева И. А. – старший научный сотрудник НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии, Садовская Л. Е. – старший научный сотрудник НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии, Кулешова Ю. М. – старший научный сотрудник биологического факультета НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии, Скакун Т. Л. – старший научный



Рис. 3. Биопрепараты, разработанные НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии кафедры генетики биологического факультета БГУ

сотрудник НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии, Ломоносова В. А. – старший научный сотрудник НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии – разработали и успешно внедрили в производство шесть биопрепаратов на основе живых культур бактерий – «Аурин», «Немацид», «Жыцень», «Стимул», «Бактоген» и «Гулливер» (рис. 3). Все они разрешены к применению как в промышленности, так и в частных хозяйствах.

Основой «Аурина» являются феназин-продуцирующие

бактерии *Pseudomonas aurantiaca* В-162/498. Этот препарат предназначен для борьбы с возбудителями корневых гнилей, аскохитоза, мучнистой росы, серой и белой гнили, кладоспориоза, пероноспороза. При выращивании растений на минеральной вате способом малообъемной гидропоники показана его высокая биологическая эффективность в отношении корневой гнили – 71%, что на 21% выше по сравнению с применением биопрепарата в защите растений огурца, возделываемого в условиях почвогрунта.

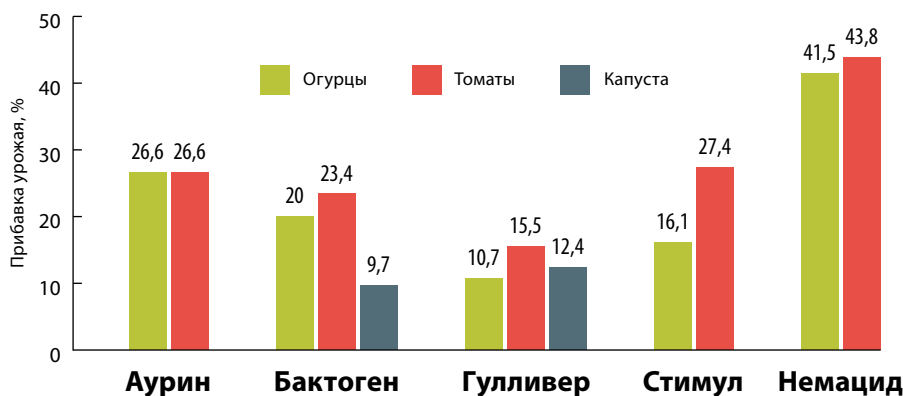


Рис. 4. Повышение урожайности томатов и огурцов при обработке растений биологическими препаратами

«Аурин» позволяет увеличить урожайность томатов и огурцов на 26,6% (рис. 4).

«Бактоген» представляет собой суспензию клеток бактерии *Bacillus subtilis* 494 и продуктов их жизнедеятельности. Микробиологический препарат зарегистрирован для применения на томатах против бактериозов, черной ножки, серой гнили, кладоспориоза, мучнистой росы; на огурцах против корневых гнилей, аскохитоза, пероноспороза, мучнистой росы; на капусте против сосудистого и слизистого бактериозов, альтернариоза. Обработка растений овощных культур в процессе вегетации данным биопрепаратом приводит к увеличению урожайности огурца на 20%, томатов – на 23,4%, а капусты – на 9,7% (см. рис. 4).

«Гулливер», разработанный совместно с Институтом природопользования НАН Беларуси, является комплексным препаратом, поскольку помимо клеток бактерий *Pseudomonas aureofaciens* А 8–6 содержит гидрогумат торфа. Препарат эффективен в отношении серой гнили огурца и томата, защищает капусту белокачанную от поражения черной ножкой, альтернариозом и бактериозами. Кроме того, в 2,2 раза снижает потери урожая картофеля от фитоторозно-бактериальных гнилей. Применение «Гулливера» позволило увеличить урожайность картофеля на 6,5%; капусты – на 12,4%; томатов – на 15,5%, огурцов – на 10,7% (см. рис. 4).

«Стимул» разработан на основе ризосферных бактерий *Pseudomonas fluorescens* S-32 и предназначен для актуализации роста и развития растений томатов и огурца, его применение обеспечивает прибавку их

урожайности на 27,4% и 16,1% соответственно (см. рис. 4). К тому же это единственный разрешенный к применению на территории Беларуси биопрепарат, предназначенный для стимуляции развития льна-долгунца. Его использование увеличивает выход длинного волокна, прибавку урожайности льносоломы на 16,5% и семян – на 59,7%, что сопровождается повышением качества семенного материала – масса 1000 семян увеличилась на 18,2%.

На основе бактерий *Pseudomonas putida* U создан препарат «Немацид» для подавления галловой нематоды томатов и огурцов в защищенном грунте. Его применение приводит к снижению поражения растений мелойдогинозом на 45,4 и 54,8% соответственно, что позволяет получить дополнительно 43,8% продукции томатов и 41,5% – огурцов (см. рис. 4).

«Жыцень» представляет собой смесь культур живых клеток природных целлюлолитических штаммов *Pseudomonas* sp. 11 и *Bacillus* sp. 49 и предназначен для ускорения разложения пожнивных остатков на полях, оздоровления почвы и повышения урожайности последующих сельхозкультур. Установлено, что его внесение (3 л/га) способствовало уменьшению содержания фитопатогенных штаммов в почвенных образцах на три порядка (с $2,0 \times 10^6$ КОЕ/г почвы до $3,5 \times 10^3$ КОЕ/г почвы).

Использование «Жыцень» в дозе 3 л/га обеспечивает до 21% прибавки зерна, позволяет добиться лучших показателей его качества – сбор сырого белка, кормовых и кормопротеиновых единиц достигает наиболее высоких показателей (356,7 кг/га, 42,7 и 46,5 ц/га соответственно). При этом дополнительно получено

75,9 кг/га сырого белка, 8,1 ц/га кормовых и 8,2 ц/га кормопротеиновых единиц.

Рынок биологических средств защиты растений Беларуси, России и Украины предлагает широкий спектр препаратов на основе живых культур микроорганизмов. Также за последние 5 лет известные западноевропейские компании – производители химических средств Bayer и BASF выпустили биогенные биофунгициды, биоинсектициды и росторегуляторы, а также скооперировались с французской биотехнологической компанией Plant Advanced Technologies, чтобы разрабатывать новые биопестициды.

Таким образом, мы можем прогнозировать в течение следующих 5–10 лет увеличение использования биологических препаратов для замены/дополнения существующих пестицидов, а также в долгосрочной перспективе – их плотное внедрение в сельскохозяйственную практику. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Carvalho F. P. Pesticides, environment, and food safety / F. P. Carvalho // Food and Energy Security. 2017. Vol. 6. N2. P. 48–60.
- Bocquené G. Pesticide contamination of the coastline of Martinique / G. Bocquené, A. Francob // Marine Pollution Bulletin. 2005. Vol. 51 N5–6. P. 612–619.
- Brittain C. Potts Organic farming in isolated landscapes does not benefit flower-visiting insects and pollination / C. Brittain et al. // Biological Conservation. 2010. Vol. 143, N8. P. 1860–1867.
- Aktar Md. W. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards / Aktar Md. W., Sengupta D., Chowdhury A. // Interdiscip Toxicol. 2009. Vol. 2, N1. P. 1–12.
- Fox J. E. Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants / J. E. Fox et al. // PNAS. 2007. Vol. 104, N24. P. 10282–10287.
- <http://www.fao.org/home/ru/>
- The use of plant protection products in the European Union // <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/KS-76-06-6697>
- Code of Good Agricultural Practice (COGAP) for Reducing Ammonia Emissions <https://www.gov.uk/government/publications/code-of-good-of-good-agricultural-practice>.
- European COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Agriculture and Sustainable Water Management in the EU. https://circabc.europa.eu/sd/a/abff972e-203a-4b4e-b42e-a0f291d3fd9/SWD_2017_EN_V4_P1_885057.pdf

SEE <http://innosfera.by/2019/03/bacteria>