

По Материалам V Всероссийской научной конференции
с международным участием
«Водоросли: проблемы таксономии, экологии
и использование в мониторинге»,
посвященной памяти Веры Ивановны Есыревой (Нижний Новгород)

Об использовании комплексов микроводорослей и цианобактерий в
качестве стимуляторов роста огурцов

On the use of complexes of microalgae and cyanobacteria as stimulators of the
growth of cucumbers

Бачура Ю.М., Дайнеко Н.М.

Yuliya M. Bachura, Nikolay M. Daineko

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (Гомель, Беларусь)

УДК 631.461:631.466.3:581.14

Представлены результаты лабораторного эксперимента по изучению влияния микроводорослей *Eustigmatos magnus* (Ochrophyta), цианобактерий *Nostoc* sp. (Cyanobacteria) и их комплексов на рост и развитие проростков огурцов. Установлено, что исходные и разбавленные культуры данных фотосинтезирующих микроорганизмов и их комплексы оказывают стимулирующее действие как на длину, так и на массу проростков огурцов. Фитозффекты по длине проростков варьировали в пределах от 11 до 167%, по массе проростков – от 10 до 94%. Показано, что при применении исходных культур микроводорослей и цианобактерий максимальные фитозффекты наблюдаются при использовании комплекса *Nostoc–Eustigmatos* состава 1N:1E, при применении разбавленных культур – состава 1N:2E. Для повышения эффективности использования микроводорослей рода *Eustigmatos* и цианобактерий рода *Nostoc* в качестве стимуляторов роста огурцов рекомендуется использовать альгоцианобактериальные комплексы *Nostoc–Eustigmatos*.

Ключевые слова: микроводоросли; цианобактерии; альгоцианобактериальные комплексы; фитозффект; культура огурцов

Почвенные микроводоросли и цианобактерии обладают высоким биотехнологическим потенциалом в производстве биоудобрения; они не только способны оказывать положительные фитозффекты при выращивании культур высших растений, но и позволяют снизить нагрузку на окружающую среду (Цоглин, Пронина, 2012; Sharma et al., 2012; Доброжан, 2014; Югай, 2016; Дидович и др., 2017; Михеева; 2018 Chamizo et al., 2018; Шалыго, 2019). Актуализация подобных исследований в настоящее время обусловлена формированием новой концепции в сельском хозяйстве, направленной на применение ресурсосберегающих приемов в обработке почвы и использование эколого-биосферных способов ведения сельского хозяйства (Овсянников, 2000).

Общеизвестно, что представители различных таксономических групп почвенной альгоцианобактериальной флоры различаются между собой рядом биохимических, цитологических,

физиологических и экологических особенностей, вследствие чего можно предположить, что альгоцианобактериальные комплексы будут более устойчивы и жизнеспособны как в лабораторных условиях, так и в полевых условиях при постоянно изменяющихся климатических условиях.

Целью данного исследования было изучение влияния альгоцианобактериальных комплексов состава *Eustigmatos-Nostoc* на рост и развитие проростков огурцов в лабораторном эксперименте.

Для получения культуральных жидкостей были взяты штаммы эвритермного представителя альгоцианобактериальной флоры, способного существовать в широком диапазоне экологических условий, *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) D.J. Hibberd, и цианобактерии-азотфиксатора *Nostoc* sp. (Vaucher ex Bornet et Flahault, 1886). Культивирование микроводорослей и цианобактерий осуществляли при температуре $20\pm 3^\circ$ при 10/14 часовом чередовании световой и темновой фаз и освещении 3500–4000 лк с барботированием в дневное время. Определение количества клеток микроводорослей и цианобактерий проводили с помощью камеры Горяева.

В качестве тестовой культуры использовали огурцы (*Cucumis sativus* L.) сорта Малыш (ранний гибрид белорусской селекции). Семена огурцов отбирали по размерам и раскладывали на двух слоях фильтровальной бумаги в пластиковые емкости в нескольких повторностях по 50 штук для каждого варианта опыта. В емкости добавляли по 5 мл жидкости в соответствии с вариантами опыта. В качестве опытных вариантов использовали альгоцианобактериальные комплексы различного состава, основой которых служили исходные или разбавленные культуры (ИК/ПК ностока и эустигматоса, взятые в различных соотношениях: 1) опыт I (ИК/ПК микроводоросли рода *Eustigmatos*), 2) опыт II (1 часть ИК/ПК *Nostoc* : 3 части ИК/ПК *Eustigmatos*, 1N:3E), 3) опыт III (1 часть ИК/ПК *Nostoc* : 2 части ИК/ПК *Eustigmatos*, 1N:2E), 4) опыт IV (1 часть ИК/ПК *Nostoc* : 1 часть ИК/ПК *Eustigmatos*; 1N:1E), 5) опыт V (2 части ИК/ПК *Nostoc* : 1 часть ИК/ПК *Eustigmatos*, 2N:1E), 6) опыт VI (3 части ИК/ПК *Nostoc* : 1 часть ИК/ПК *Eustigmatos*, 3N:1E), 7) опыт VII (ИК/ПК цианобактерии рода *Nostoc*), 8) контроль I (питательная среда), 9) контроль II (дистиллированная вода). Два контрольных варианта были взяты с целью выявления влияния состава среды на морфометрические показатели проростков.

Эксперименты проводили при естественном освещении, при $t^\circ=22\pm 3^\circ\text{C}$, дважды добавляя по 2 мл жидкости в соответствии с вариантами опыта. В ходе экспериментов определяли энергию прорастания и всхожесть семян, измеряли морфометрические показатели проростков. Оценку и учет проросших семян проводили в соответствии с ГОСТом 12038-84 (ГОСТ, 2001); также учитывали поражение семян плесневыми грибами. Статистическую обработку данных проводили с помощью программных продуктов Statistica (Version 10) и Microsoft Excel.

При проведении эксперимента с исходными культурами водорослей рода *Eustigmatos* и цианобактерий рода *Nostoc* и их комплексами энергия прорастания семян была очень низкой и варьировала в пределах от 4% до 27%. Наиболее активное прорастание семян было отмечено в вариантах опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:1 (27%) и исходной культурой эустигматоса (24%). На 7 сутки эксперимента наиболее активное развитие проростков огурцов было отмечено в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:3 и 2:1, а также при использовании исходных культур микроводорослей и цианобактерий. Несмотря на низкие показатели энергии прорастания всхожесть семян была достаточно высокой и составила 94–100%; максимальный показатель зафиксирован при использовании комплекса *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:3 (100%).

На 10 сутки эксперимента проростки огурцов наиболее активно вегетировали в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:2, 1:1 и 3:1. Максимальные показатели средней длины корней были зафиксированы в варианте опыта с использованием комплекса *Nostoc–Eustigmatos* 3N:1E (131,98 мм); минимальные – в варианте опыта с дистиллированной водой (87,48 мм). Установлено, что длина корней в варианте опыта с дистиллированной водой достоверно меньше, чем в остальных вариантах опыта ($F=5,99–33,29$; $p<0,02$); в варианте опыта с питательной средой достоверно ниже, чем в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:1 и 3:1 ($F=4,25$; $p=0,04$ и $F=8,16$; $p<0,01$); в варианте опыта с использованием комплекса *Nostoc–Eustigmatos* 3N:1E достоверно больше, чем в вариантах опыта с исходной культурой эустигматоса ($F=5,10$; $p=0,03$) и с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:3 ($F=3,77$; $p=0,05$). Средняя длина побега была наибольшей в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 3:1 и 1:1 (47,2 мм и 46,4 мм), наименьшей – в варианте опыта с дистиллированной водой (20,12 мм). Длина побегов в экспериментальных вариантах опыта достоверно больше, чем в контрольных вариантах опыта с дистиллированной водой и питательной средой ($F=6,67–117,36$;

$p \leq 0,01$); в варианте опыта комплексом *Nostoc–Eustigmatos* 3N:1E достоверно больше, чем в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:2 ($F=7,00$; $p < 0,01$) и 2:1 ($F=3,91$; $p=0,05$), а в варианте опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* 3N:1E достоверно больше, чем в варианте опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:2 ($F=4,71$; $p=0,03$). Средняя масса проростков была наибольшей в варианте опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:1 (0,32 г); наименьшей – в варианте опыта с дистиллированной водой (0,21 г). Масса проростков огурцов в варианте опыта с использованием дистиллированной воды была достоверно ниже, чем во всех опытных вариантах эксперимента ($F=11,98–30,89$; $p < 0,01$); а в вариантах опыта с исходными культурами ностока и эустигматоса и комплекса *Nostoc–Eustigmatos* 1N:1E достоверно больше, чем в варианте опыта с питательной средой ($F=5,34–7,10$; $p \leq 0,02$).

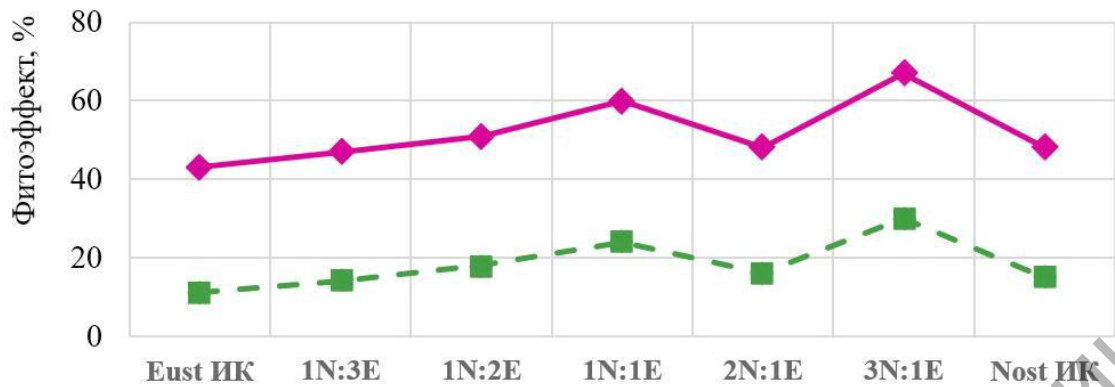
По результатам эксперимента в порядке убывания значений были составлены:

1) ряд средних длин проростков огурцов: комплекс 3N:1E > комплекс 1N:1E > комплекс 1N:2E > комплекс 2N:1E > *Nostoc* исходная культура > комплекс 1N:3E > *Eustigmatos* исходная культура > питательная среда > H₂O дистиллированная;

2) ряд средних масс проростков огурцов: комплекс 1N:1E > *Nostoc* исходная культура = *Eustigmatos* исходная культура > комплекс 1N:3E > комплекс 1N:2E = комплекс 3N:1E > комплекс 2N:1E > питательная среда > H₂O дистиллированная.

На рис. 1 представлено сравнение фитоэффектов, выявленных при изучении влияния исходных культур микроводорослей и цианобактерий на длину и массу проростков огурцов. Положительное влияние культур фотосинтезирующих микроорганизмов выявлено как по длине, так и по массе проростков огурцов относительно обоих контрольных вариантов. Наиболее выраженное стимулирующее действие исходных культур микроводорослей и цианобактерий на длину проростков огурцов отмечено при использовании альгоцианобактериальных комплексов состава 3N:1E и 1N:1E – 67 и 60% относительно контроля с водой и 30 и 24% относительно контроля с питательной средой соответственно. В целом комплексы исходных культур *Nostoc–Eustigmatos* оказались эффективнее отдельно взятых культур микроводорослей и цианобактерий.

Наибольшие фитоэффекты по массе проростков были зафиксированы в варианте опыта с использованием комплекса *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:1 – 52% относительно контроля с дистиллированной водой и 23% относительно контроля с питательной средой.



а



б

Рис. 1. Влияние исходных культур микроводорослей и цианобактерий на длину (а) и массу (б) проростков огурцов

Fig. 1. Influence of initial cultures of microalgae and cyanobacteria on the length (a) and weight (b) of cucumber seedlings

При проведении эксперимента с разбавленными культурами микроводорослей и цианобактерий и их комплексами энергия прорастания семян была выше, чем в эксперименте с исходными культурами фотосинтезирующих микроорганизмов. Наиболее активное прорастание семян было отмечено в варианте опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:2 (энергия прорастания составила 62%). На 7 сутки эксперимента наиболее активное развитие проростков огурцов было отмечено в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 2:1 и 1:2. В целом всхожесть семян была достаточно высокой и варьировала в пределах от 88% до 98%; максимальный показатель зафиксирован при использовании комплекса *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 2:1.

На 10 сутки эксперимента наиболее активно проростки огурцов вегетировали в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:2, 1:3 и в варианте опыта с разбавленной культурой эустигматоса. Максимальные показатели средней длины корней были зафиксированы в варианте опыта с использованием комплекса *Nostoc–Eustigmatos* 1N:2E (137,38 мм); минимальные – в варианте опыта с питательной средой (40,10 мм). Установлено, что длина корней практически во всех контрольных вариантах опыта достоверно меньше, чем в экспериментальных ($F=9,72–152,93$; $p<0,01$), в варианте опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* 1N:2E достоверно больше, чем в вариантах опыта с комплексами *Nostoc–Eustigmatos* в соотношении 1:1, 2:1, 3:1 и разбавленной культурой ностока ($F=7,11–25,66$; $p<0,01$), а при использовании комплекса *Nostoc–Eustigmatos* 2N:1E достоверно больше, чем в вариантах опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* 1N:1E ($F=6,34$; $p=0,01$) и разбавленной культурой *Nostoc* ($F=5,97$; $p=0,02$). Средняя длина побега была наибольшей в вариантах опыта с комплексом *Nostoc–Eustigmatos* в

соотношении 1:1 (51,00 мм), наименьшей – в вариантах опыта с питательной средой и дистиллированной водой (23,9 мм и 24,5 мм соответственно). Длина побегов в экспериментальных вариантах опыта достоверно больше, чем в контрольных вариантах опыта ($F=7,99-64,26$; $p<0,01$); отмечена достоверная разница между многими вариантами комплексов *Nostoc-Eustigmatos*. Средняя масса проростков была наибольшей в вариантах опыта с комплексами *Nostoc-Eustigmatos* в соотношении 1:2 и 2:1 (0,31 г и 0,30 г); наименьшей – в вариантах опыта с питательной средой (0,16 г) и дистиллированной водой (0,20 г). Масса проростков огурцов в экспериментальных вариантах опыта достоверно больше, чем в контрольных вариантах опыта ($F=4,71-59,78$; $p\leq 0,03$); достоверная разница зафиксирована и между многими вариантами комплексов *Nostoc-Eustigmatos*.

По результатам эксперимента в порядке убывания значений были составлены:

1) ряд средних длин проростков огурцов: комплекс 1N:2E > *Eustigmatos* разбавленная культура > комплекс 2N:1E > комплекс 1N:1E > комплекс 1N:3E > *Nostoc* разбавленная культура > комплекс 3N:1E > H₂O дистиллированная > питательная среда;

2) ряд средних масс проростков огурцов: комплекс 1N:2E > комплекс 2N:1E > комплекс 3N:1E > *Nostoc* разбавленная культура > комплекс 1N:3E = *Eustigmatos* разбавленная культура > комплекс 1N:1E > H₂O дистиллированная > питательная среда.

На рис. 2 представлено сравнение фитозффектов, выявленных при изучении влияния разбавленных культур и их комплексов на длину и массу проростков огурцов.

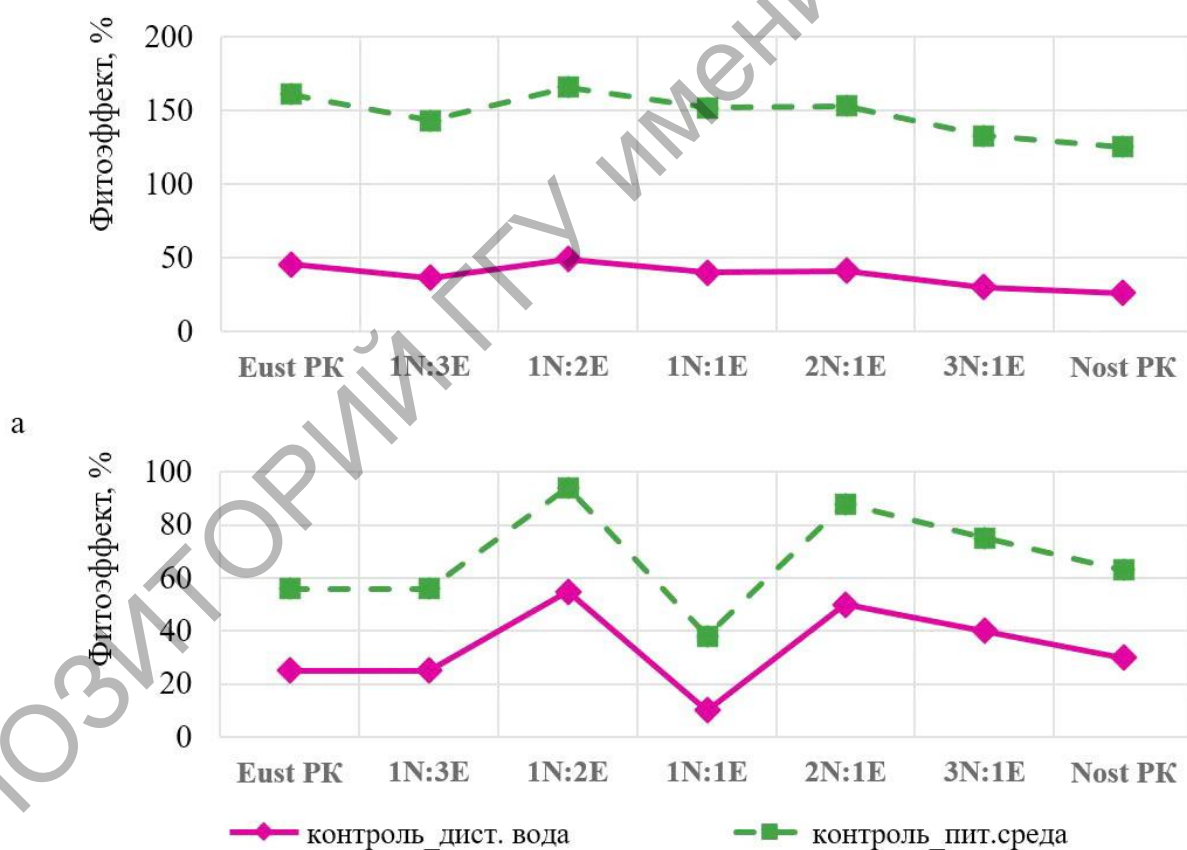


Рис. 2. Влияние разбавленных культур микроводорослей и цианобактерий на длину (а) и массу (б) проростков огурцов

Fig. 2. Influence of diluted cultures of microalgae and cyanobacteria on the length (a) and weight (b) of cucumber seedlings

Наиболее выраженное стимулирующее действие разбавленных культур микроводорослей и цианобактерий на длину проростков огурцов выявлено относительно контроля с питательной средой – фитозффекты составили 125–166 %. Относительно контроля с дистиллированной водой также отмечено положительное влияние разбавленных культур фотосинтезирующих микроорганизмов, однако в меньшей степени – фитозффекты составили 26–49%. Максимальные фитозффекты в обоих случаях выявлены при использовании альгоцианобактериальных комплексов *Nostoc–Eustigmatos* состава 1N:2E.

На массу проростков огурцов разбавленные культуры микроводорослей и цианобактерий и их комплексы также оказали положительное влияние – фитозффекты относительно контроля с дистиллированной водой находились в пределах 10–55%, относительно контроля с питательной средой – в пределах 38–94%. Наиболее значимыми фитозффекты были при использовании альгоцианобактериальных комплексов *Nostoc–Eustigmatos* состава 1N:2E и 2N:1E – 55 и 50% соответственно относительно контроля с дистиллированной водой, 94 и 88 % – относительно контроля со средой.

Проведенное исследование показало, что культуры микроводорослей рода *Eustigmatos* и цианобактерий рода *Nostoc* могут оказывать статистически подтвержденное стимулирующее действие на рост и развитие проростков огурцов. При этом использование альгоцианобактериальных комплексов *Nostoc–Eustigmatos* по совокупности исследуемых показателей более эффективно, чем использование отдельных культур микроводорослей рода *Eustigmatos* и цианобактерий рода *Nostoc*.

Результаты лабораторного эксперимента могут быть применены в области сельского хозяйства и биотехнологии при подборе видов водорослей, перспективных для использования в качестве биоудобрения и/или для получения стимуляторов роста высших растений.

Работа выполнена в рамках задания «Использование микроводорослей и цианобактерий в качестве стимуляторов роста при выращивании некоторых овощных культур открытого грунта» (№ ГР 20191297) ГПНИ «Биотехнологии».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Список литературы

1. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Изд-во станд., 2001. – 30 с.
2. Дидович С.В., Москаленко С.В., Темралева А.Д., Ханчаева С.А. Биотехнологический потенциал почвенных цианобактерий (обзор) // Вопросы современной альгологии. 2017. №2 (14). URL: <http://algology.ru/1170>.
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. Михеева Т.М. Перспективы использования культивируемых и планктонных микроскопических водорослей // Наука и инновации. 2018. №2 (180). С. 15–19.
5. Овсянников Ю.А. Теоретические основы эколого-биосферного земледелия. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2000. – 264 с.
6. Цоллин Л.Н., Пронина Н.А. Биотехнология микроводорослей. – М.: Научный Мир, 2012. – 182 с.
7. Шалыго Н.В. Микроводоросли и цианобактерии как биоудобрение // Наука и инновации. 2019. №3 (193). С. 22–26.
8. Югай М.О., Кордакова Н.И. Цианобактерии как объект биотехнологии // Вестник КазННТУ. 2016. №4. С. 304–307.
9. Chamizo S., Mugnai G., Rossi F., De Philipps C., De Philipps R. Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in

soil restoration // Original Research. 2018. V.6, №49. P. 101–114. DOI – <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00049>
10. Sharma R., Khokhar M.K., Jat R.L., Khandelwal S.K. Role of algae and cyanobacteria in sustainable agriculture system // Wudpecker J. Agric. Res. 2012. V.1 (9). P. 381–388.

Статья	поступила	в	редакцию	30.06.2020
После		доработки		16.07.2021
Статья принята к публикации 25.07.2021				

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. СКОРИНЫ