

ВЛИЯНИЕ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ НА РОСТ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА

С. А. Ибрагимова, В. Ф. Астайкина, В. В. Ревин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва»

Поступила в редакцию 20.07.2016 г.

Аннотация. В процессе вегетации растения подвержены негативному воздействию различных стрессов, что сопровождается снижением продуктивности за счет ингибирования роста и фотосинтеза. Кукуруза относится к теплолюбивым растениям и изменение температур в различных пределах является весьма опасным стрессовым фактором, лимитирующим ее продуктивность.

Цель. Изучение роли ризосферных бактерий в стимуляции роста и формировании устойчивости растений кукурузы к низкотемпературному стрессу.

Методы. В ходе исследования определялись ростовые параметры семян и проростков кукурузы сорта «Краснодарский», концентрация пигментов (хлорофиллов и каротиноидов), эффективность протекания фотохимических реакций методом индукции флуоресценции хлорофилла, изменения микроокружения каротиноидов методом комбинационного рассеяния света.

Результаты. Установлено, что предварительная обработка семян биопрепаратом на основе бактерий *Pseudomonas aureofaciens* B-11634 и *Azotobacter vinelandii* Д-08 снижает отрицательное воздействие пониженной температуры на развитие семян кукурузы (энергия прорастания в опыте на 10% больше относительно контроля) и способствует увеличению устойчивости растений к низкотемпературному стрессу (12°C). При этом длина листа растений, предварительно обработанных биопрепаратом, снизилась лишь на 8%, в то время как длина корня увеличилась на 18% относительно контроля при оптимальном температурном режиме. Предпосевная обработка семян биопрепаратом способствовала увеличению количества светособирающих и защитных пигментов, как при оптимальных условиях развития, так и в условиях низкотемпературного стресса, что, предположительно, связано с усилением фотопротекторных функций фотосинтетического аппарата посредством механизмов нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла. Улучшение морфометрических и физиолого-биохимических характеристик биообработанных семян кукурузы имеет перспективу для применения ассоциативных ризосферных бактерий с целью увеличения стрессоустойчивости теплолюбивых культурных растений в условиях низкотемпературного воздействия.

Выводы. Предварительная обработка семян кукурузы биопрепаратом способствует увеличению ростовых показателей и устойчивости растений к низкотемпературному стрессу. У опытных растений происходит увеличение количества как защитных (каротиноидов), так и светособирающих (хлорофиллов) пигментов, что, вероятно, связано с действием бактериальных фитогормонов, обеспечивающих их стрессоустойчивость.

Ключевые слова: биопрепарат, ризосферные бактерии, кукуруза, стресс, температура, устойчивость, пигменты.

В процессе вегетации растения подвержены негативному воздействию различных стрессов, что сопровождается снижением продуктивности за счет ингибирования роста и фотосинтеза. Поэтому одной из задач современного сельского хозяйства является повышение устойчивости рас-

тений к различным неблагоприятным факторам.

Среди абиотических воздействий наибольшее значение имеет температурный стресс. Кукуруза относится к теплолюбивым растениям и изменение температур в различных пределах является весьма опасным стрессовым фактором, лимитирующим ее продуктивность. Известно, что регуляторы роста играют важную роль в ответных

реакциях растений на абиотический стресс. Приоритетным становится использование природных биологически активных веществ, не оказывающих негативное влияние на окружающую среду. В этой сфере могут найти применение ризосферные бактерии, которые стимулируют рост растений и способствуют повышению иммунитета к различным внешним факторам за счет синтеза широкого спектра активных метаболитов. Показано также, что они индуцируют устойчивость растительных организмов к абиотическим стрессам [1, 2, 3, 4].

Особая роль отводится ассоциативным микроорганизмам, способным синтезировать фитогормоны (ауксины, цитокинины и гиббереллины), повышать фотосинтез, обеспечивать растение азотом, защищать от фитопатогенов. Примером могут служить бактерии рода *Pseudomonas* и *Azotobacter*. Наиболее широко среди ризобактерий распространено продуцирование индолил-3-уксусной кислоты (ИУК), которая инициирует удлинение корня, развитие боковых корней и корневых волосков, что может иметь значение для ускоренного роста, потребления питательных элементов и устойчивости растения к стрессам [5, 6, 7].

Образование хлорофилла и каротиноидов в листьях растений существенно изменяется в ответ на воздействие внешней среды. Достаточно хорошо определена взаимосвязь гормональной и метаболической регуляции процессов фотосинтеза и роста [8, 9, 10, 11]. Так показано, что обеспеченность растений азотом и микроэлементами во многом определяет их холодоустойчивость. Дефицит азота вызывает уменьшение количества хлорофилла и ферментов, участвующих в ассимиляции CO_2 . При обработке бактериями может повышаться активность антиоксидантных ферментов и содержание низкомолекулярных протекторов [12]. Цитокинины повышают содержание хлорофилла, ускоряя образование его предшественника — протохлорофиллида. Под влиянием цитокининов усиливается интенсивность фотофосфорилирования, возрастает активность сопрягающего фактора (АТФ-синтетаза) в хлоропластах, увеличивается содержание АТФ. Вместе с тем цитокинины активируют синтез ключевого фермента темновых реакций фотосинтеза — РДФ-карбоксилазы. Влияние цитокининов тесно связано с присутствием ауксинов, содержание которых под влиянием микроорганизмов у высшего растения заметно возрастает. Кроме этого ризосферные бактерии участвуют в деструкции растительного

гормона старения — этилена, что дополнительно увеличивает устойчивость растения к стрессу [13, 14, 15].

В лаборатории биопрепаратов НОЦ «Нанобиотехнологии» факультета биотехнологии и биологии выделен и задепонирован в ВКПМ высокоактивный штамм бактерии *Pseudomonas aureofaciens* В-11634, способный активизировать развитие различных видов культурных растений, повышать их иммунитет и подавлять действие фитопатогенов [16].

Ранее нами было показано, что обработка семян кукурузы сорта «Краснодарский» биопрепаратом на основе *Pseudomonas aureofaciens* В-11634 способствует увеличению всхожести семян и ускоренному развитию растений [17, 18]. Наибольший эффект может проявляться при использовании консорциума микроорганизмов.

Цель работы: изучение роли ризосферных бактерий в стимуляции роста и формировании устойчивости растений кукурузы к низкотемпературному стрессу.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве материала для исследования использовали семена кукурузы сорта «Краснодарский». Обработку семян проводили биопрепаратом, полученном в результате культивирования бактерий *Pseudomonas aureofaciens* В-11634 и *Azotobacter vinelandii* Д-08 на меласной среде с добавлением минеральных солей при 28 ± 1 °С в течение 24 ч. Выровненные семена кукурузы в количестве 100 штук в течение 1 ч замачивали в биопрепарате (БП), разведенном водой в соотношении 1 : 100 (опыт) и водопроводной воде (контроль (К)). Семена раскладывали в чашках Петри на стерильную смоченную фильтровальную бумагу и выдерживали в течение 2 суток. Затем 2-дневные проростки заворачивали в рулон фильтровальной бумаги и помещали в среду Хогланда-Арнона. Проращивание проводили в климатической камере MLR-351H (Sanyo) с константными условиями (25°С, 70% влажности, 16-ти часовой фотопериод освещения) в течение 5 дней. Далее 7-дневные проростки обоих исследуемых вариантов переносили в условия пониженной температуры (12°С). Для сравнения контрольную партию семян оставляли при оптимальных условиях (25°С). У 11-дневных проростков измеряли длину, сырую массу проростка и корешка. Для определения эффективности ростостимулирующего действия бактерий опытные и контрольные семена

сразу после обработки подвергали низкотемпературному стрессу. На 4-е и 8-е сут определяли энергию прорастания и всхожесть соответственно.

Измерения показаний оптической плотности (D) поглощения проводились на сканирующем спектрофотометре UV-mini 1240 (Shimadzu, Япония) при длинах волн 440,5 нм, 644 нм, 662 нм, соответствующих максимумам поглощения каротиноидов, хлорофилла *b*, хлорофилла *a* в ацетонной вытяжке соответственно. Экстракт ацетона готовили следующим образом: 0,2 г растительного материала растирали в 10 мл ацетона и фильтровали.

Исследования изменения микроокружения каротиноидов проводились посредством метода комбинационного рассеяния (КР) света. Регистрация спектров КР проводилась на спектрометре inVia Microscope (Renishaw (UK)), интегрированном с конфокальным микроскопом Leica 3800. Предварительно готовили высечки из листьев и затем микроскопировали их с последующей регистрацией сигнала КР. Комбинационное рассеяние света инициировали лазером с длиной волны 532 нм, мощностью 1 мВт, при 5-ти секундной экспозиции. Рассеянный свет от образца собирался системой линз, пройдя через Рэлеевский фильтр и оптическую щель в 10 микрон, раскладывался в спектр посредством дифракционной решетки 1200 штр/мм. Запись сигнала проводилась CCD-матрице. Регистрация и предварительная обработка спектров проводилась в пакете программ WIRE 3.3 (UK) и Origin 8.1 (USA).

Исследования эффективности протекания фотохимических реакций проводилось с использованием метода индукции флуоресценции хлорофилла. Для регистрации замедленной флуоресценции хлорофилла (эффекта Каутского) был использован Junior PAM-флуориметр (Heinz Walz, Germany). Индукционные кривые регистрировали при следующих условиях: измерительный свет – 40 мкмоль квантов/м²·с⁻¹, (450 нм), действующий свет – 285 мкмоль квантов/м²·с⁻¹ (450 нм), насыщающий импульс – 1500 мкмоль квантов/м²·с⁻¹ (450 нм) в течение 2 с и дальний красный свет – 1500 мкмоль квантов/м²·с⁻¹ в течение 10 с (730 нм). Были рассчитаны квантовые выходы фото-(Y(II)) и нефотохимического (Y(NPQ), Y(NO)) тушения флуоресценции хлорофилла [19, 20].

Повторность опытов 3-х кратная, в каждом опыте 5 биологических повторностей. В таблицах и графиках приведены средние значения для каждого опыта со стандартными ошибками.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Качество семян определяется их энергией прорастания и всхожестью, которые могут увеличиваться или снижаться при воздействии различных факторов. Результаты опыта показали, что понижение температуры отрицательно влияет на прорастание семян кукурузы. Значения всхожести в условиях пониженной температуры снизились относительно контрольных на 17% с биообработкой и на 27% без обработки биопрепаратом. Снижение температуры задерживает в основном развитие корешков. Однако при этом в опытном варианте наблюдалось лучшее развитие ростовой трубки, корневых волосков и утолщение корешков, что обусловлено положительным влиянием бактериальных метаболитов [21].

У 11-дневных проростков, выращенных в среде Хогланда-Арнона, при воздействии пониженной температуры наблюдали изменения ростовых показателей (Табл. 1). При сравнении двух вариантов контрольных растений показано, что при снижении температуры рост листьев и корней замедляется на 20% и 9% соответственно. Обработка семян биопрепаратом позволила повысить устойчивость растений к низкотемпературному стрессу. Длина листа при этом снизилась лишь на 8%, в то время как длина корня увеличилась на 18% относительно контроля при оптимальном температурном режиме.

Так как в регуляции роста и развития участвуют фитогормоны, то, возможно, при гипотермии происходит снижение их синтеза или перераспределение в органах растения. При понижении температуры соотношение побега и корня снижалось относительно контроля, что указывает на поступление питательных веществ, преимущественно в корень. Причем этот эффект усиливался при биообработке семян, что обусловлено способностью ризосферных бактерий интенсифицировать ответные реакции растительных организмов на абиотические стрессы [1, 3]. В опытном варианте наблюдалось формирование мощной разветвленной корневой системы с множеством дополни-

Таблица 1.

Морфометрические показатели растений кукурузы сорта «Краснодарский» на 11-е сутки роста

Показатели	Вариант опыта		
	К 25°C	К 12°C	БП 12°C
Длина листа, мм	250±20	200±20	230±20
Длина корня, мм	110±10	100±10	130±10
Соотношение побег / корень	2.27	2.00	1.77
Сырая масса листа, г	1.43±0.02	1.06±0.04	1.54±0.02
Сырая масса корня, г	0.88±0.02	0.78±0.01	1.21±0.03

тельных боковых корней и корневых волосков, что обусловлено способностью ризосферных бактерий синтезировать индолил-3-уксусную кислоту (Рис. 1).

В условиях стресса у контрольных растений (К 12°C) отмечено снижение сырой массы листьев на 26%, а корней – на 13%. В варианте с бактериальной обработкой (БП 12°C) значения сырой массы листьев превысили контрольные показатели оптимального варианта (БП 25°C) на 8% (за счет увеличения ширины листовой пластинки), а корней – на 37.5% (за счет развития боковых корешков).

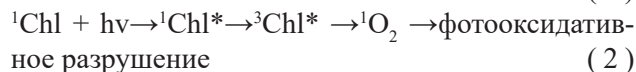
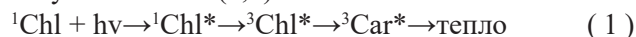
Таким образом, при обработке семян кукурузы сорта «Краснодарский» биопрепаратом, содержащим ризосферные бактерии, интенсифицируется развитие корневой системы и повышается устойчивость проростков к низкой температуре.

Фотосинтетический аппарат растений является одним из наиболее чувствительных к абиотическому стрессу клеточных систем. Для определения влияния бактериальной обработки на растения кукурузы в условиях пониженной температуры, кроме морфометрических параметров были изучены количественный и качественный (изменение микроокружения каротиноидов) пигментный состав, а также эффективность протекающих фотохимических реакций.

Экспериментально было установлено, что обработка семян биопрепаратом приводит к увеличению концентрации как светособирающих (хлорофиллов *a*, *b*), так и защитных (каротиноидов) пигментов в листьях растений. В условиях нормальной температуры у опытных растений концентрация хлорофилла (*a+b*) увеличивается в среднем на 13%, а в условиях холодного стресса – на 10% относительно контрольных. Обработка

биопрепаратом способствовала увеличению концентрации каротиноидов у проростков в условиях холодного стресса на 14.5% (Рис.2).

Эффект увеличения концентрации светособирающих и защитных пигментов можно объяснить воздействием бактериальных фитогормонов, стимулирующих рост и развитие растения в целом. Оба эти процесса в свою очередь невозможны без потребления энергии, запасаемой при фотосинтезе в форме АТФ и НАДФН⁺. Вероятность этого процесса увеличивается при повышении концентрации светособирающих пигментов. Практически пропорционально увеличивающаяся концентрация каротиноидов при холодном стрессе в сравнении с контролем можно объяснить усилением защиты фотосинтетического аппарата против АФК [22, 23], образующихся при реакции молекулярного кислорода и триплетных форм хлорофилла [24], содержание которого также увеличилось (1,2):



Известно, что каротиноиды играют роль фотопротекторов внутри фотосинтетического аппарата хлоропластов, диссипируя излишнюю энергию в тепло и инактивируя АФК, будучи связанными как с белками фотосистем, так и находясь в тилакоидных мембранах [22]. Непосредственно в цитоплазме растительной клетки каротиноиды могут экранировать солнечную энергию, находясь в основном в виде липидных пластоглобул [25], которые также имеют место и в хлоропластах. Для выяснения возможных молекулярных трансформаций каротиноидов были исследованы спектры КР. Идентифицированы следующие полосы валентных колебаний, которые соответствуют

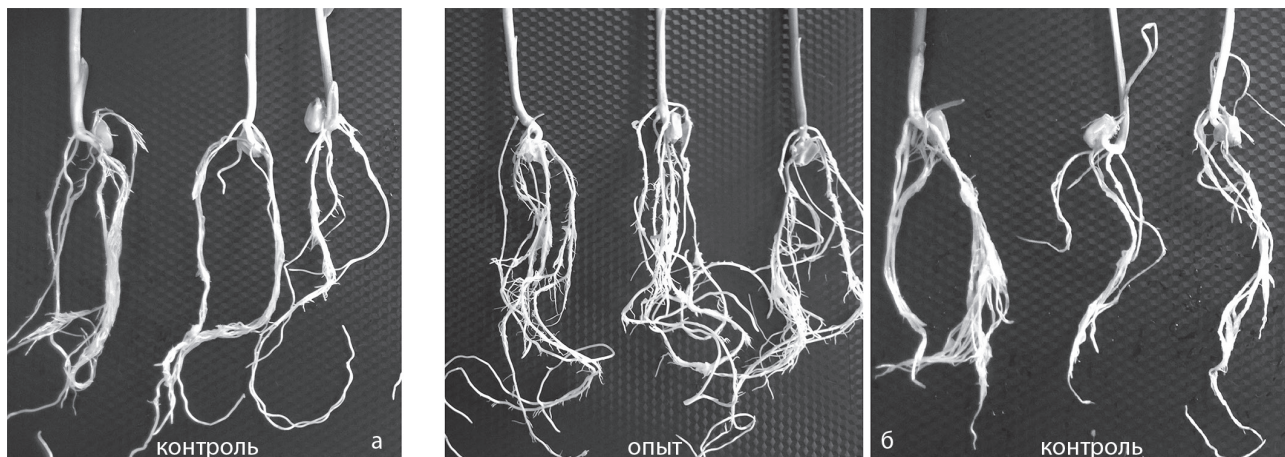


Рис. 1. Корневая система проростков кукурузы, выращенных: а – при оптимальной температуре; б – при пониженной температуре

каротиноидам: около 1523 см^{-1} – валентные колебания $\text{C}=\text{C}$ связей, около 1153 см^{-1} – валентные колебания $\text{C}-\text{C}$ связей, около 1003 см^{-1} – валентные колебания $\text{C}-\text{CH}_3$ и около 960 см^{-1} – характеризует внеплоскостные колебания $\text{C}-\text{H}$ около $\text{C}-\text{C}$ связи (Рис. 3). Увеличение интенсивности последней полосы наблюдается при нарушении плоской конфигурации молекулы, обычно это связано с увеличением количества каротиноид-белковых комплексов и/или увеличении прочности связи пигмента с белком [26, 27].

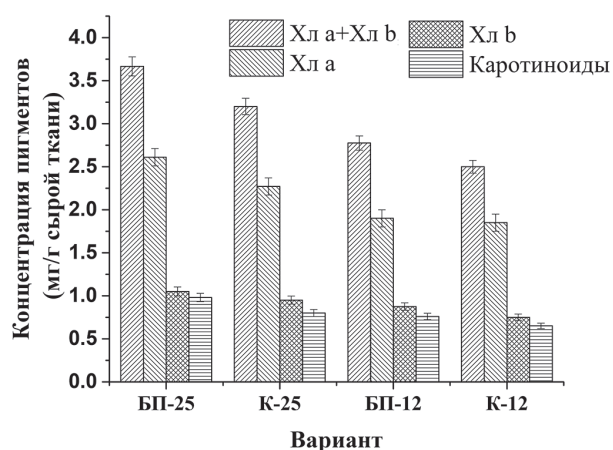


Рис. 2. Изменение концентрации пигментов в листьях кукурузы

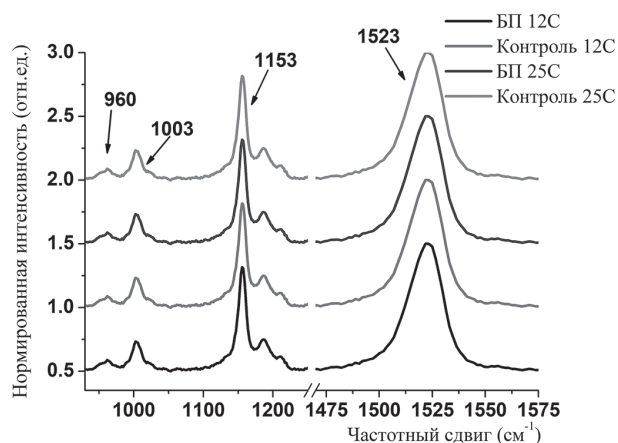


Рис. 3. Спектры КР каротиноидов из листьев кукурузы в условиях нормальных и пониженных температур

В ходе проведенного исследования нами было установлено отсутствие достоверных изменений делокализации π -электронов в системе конъюгированных двойных связей (I_{1521}/I_{1160}), количества каротиноидов, связанных с белком (I_{960}/I_{1003}), выраженности валентных колебаний метильных

групп (I_{1003}/I_{1156}) (Рис. 4). Однако можно отметить тенденцию к увеличению количества каротин-связанного белка у обоих вариантов в условиях холодного стресса в сравнении с контрольными растениями. В том случае если бы различия были достоверными, то можно было бы выдвигать предположение о том, что при понижении температуры происходит увеличение количества каротин-связанного белка в фотосинтетическом аппарате (ФСА), что явилось бы одним из механизмов его защиты в ответ на стресс.

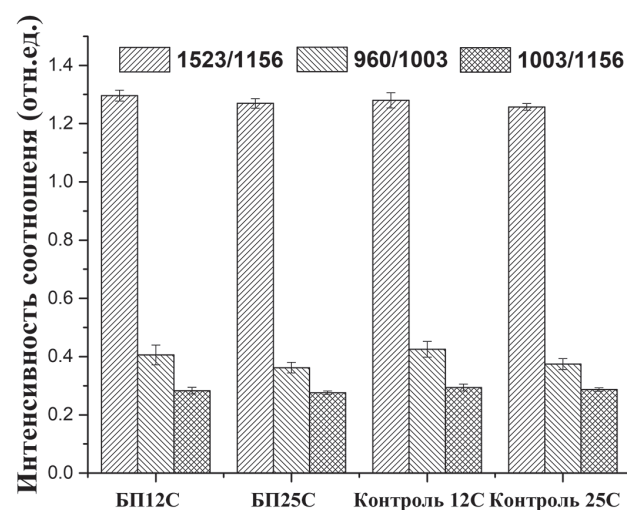


Рис. 4. Изменение соотношения амплитуд полос спектра КР каротиноидов из листьев кукурузы при различном температурном режиме

В связи с тем, что концентрация светособирающих пигментов в листьях растений увеличена, важным являлось установить, способствует ли это более эффективной работе ФСА. В следующей серии экспериментов устанавливалось эффективность использования квантов света фотосистемой 2. Из индукционных кривых были рассчитаны квантовые выходы фото- и нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (ФХ).

Согласно рисунку 5 при помещении растений кукурузы в условия низкотемпературного стресса происходит увеличение квантового выхода фотохимического тушения ФХ ($Y(II)$) у биообработанных растений на 21.7%, а у необработанных на 31.1% относительно контрольных, выдержанных при оптимальной температуре. Вероятно, при снижении температуры окружающей среды происходит усиленный синтез органического вещества необходимого для поддержания метаболических процессов на высоком уровне, что обуславливает возможность адаптации растений к стрессовым условиям.

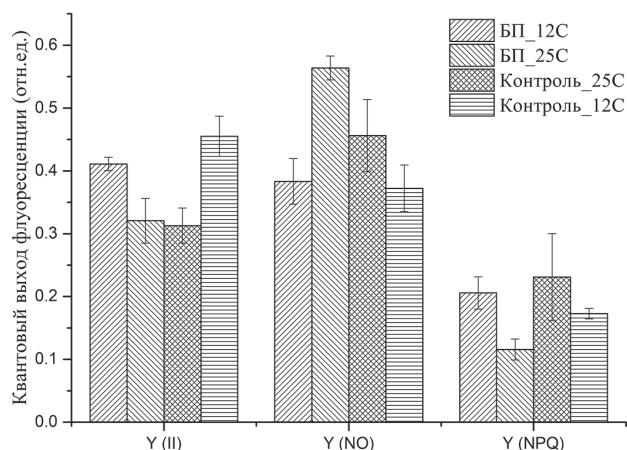


Рис. 5. Квантовые выходы флуоресценции хлорофилла, регистрируемые в листьях кукурузы при различном температурном режиме

Высокий показатель несветиндуцированного нефотохимического тушения ФХ (Y(NO)) в контрольных образцах биообработанных растений кукурузы (БП-25°C), может быть обусловлен тем, что у них в вакуолях, цитоплазме и пластоглобулах содержится большое количество экранирующих пигментов (в т. ч. и каротиноидов), которые отражают избыточный свет, предотвращая его доступ к реакционным центрам фотосистем 1 и 2.

Достоверное увеличение ΔpH-зависимого нефотохимического тушения ФХ (Y(NPQ)) на 43.9% в опытном варианте растений кукурузы в условия пониженной температуры, может объясняться накоплением каротиноидов в ФСА, которые также способствуют отведению излишней энергии возбуждения от хлорофилла реакционного центра, нейтрализации АФК.

Согласно вышеописанным данным, можно заключить, что ризосферные бактерии в условиях низкотемпературного стресса, обогащая растения кукурузы фитогормонами (ИУК, цитокинины и др.) способствуют накоплению в клетках каротиноидов, которые в свою очередь защищают ФСА от АФК, посредством отведения от него избыточной энергии с использованием механизмов ΔpH-зависимого нефотохимического тушения ФХ.

Таким образом, регулируя баланс энергии между фотохимическими и нефотохимическими процессами, листья растений кукурузы успешно приспособляются к изменяющимся условиям среды.

Улучшение морфометрических и физиолого-биохимических характеристик при биообработке семян кукурузы делает перспективным использование ассоциативных ризосферных бактерий для увеличения роста и стрессоустойчивости растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя вышеописанные данные физиолого-биохимического состояния растений кукурузы сорта «Краснодарский» в условиях холодного стресса можно заключить:

1. У растений, семена которых были обработаны биопрепаратом, происходит увеличение количества как защитных (каротиноидов), так и светособирающих (хлорофиллов) пигментов, что, вероятно, связано с действием бактериальных фитогормонов, обеспечивающих их стрессоустойчивость.

2. Выявлено достоверное отсутствие связи между увеличенной концентрацией каротиноидов и их возможными молекулярными трансформациями.

3. Увеличение концентрации светособирающих пигментов в условиях холодного стресса не связано с увеличением эффективности работы ФСА.

4. Установлено, что предварительная обработка семян биопрепаратом на основе ризосферных бактерий снижает отрицательное воздействие пониженной температуры на прорастание семян и развитие проростков кукурузы сорта «Краснодарский» и способствует увеличению их стрессоустойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белимов А.А. Дисс. д-ра биол. наук. Санкт-Петербург, 2009, 320 с.
- Шапошников А.И., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 16-22.
- Dimkpa C., Weinand T., Asch F. // Plant, Cell and Environment. 2009. Vol. 32, Iss. 12, pp. 1682-1694.
- Kasim W.A., Osman M.E., Omar M.N., Abd El-Daim I.A., Bejai S., Meijer J. // Journal of Plant Growth Regulation. 2013. Vol. 32, Iss. 1, pp. 122-130.
- Bais H.P., Weir T.L., Perry L.G., Gilroy S., Vivanco J.M. // Annu. Rev. of Plant Biol. 2006. Vol. 57, pp. 233-266.
- Akiyoshi D.E., Regier D.A., Gordon M.P. // Journal of Bacteriology. 1987. Vol. 169, Iss. 9, pp. 4242-4248.
- Bari R., Jones J.D.G. // Plant Molecular Biology. 2009. Vol. 69, Iss. 4, pp. 473-488.
- Hallmann J., Quadts-Hallmann A., Mahaffee W.F., Kloepper J.W. // Can. J. Microbiology. 1997. Vol. 43, Iss. 10, pp. 895-914.
- Rodríguez-Villalón A., Gas E., Rodríguez-Concepción M. // Plant Journal. 2009. Vol. 60, Iss. 3, pp. 424-435.

10. Shutova V.V., Tyutyaev E.V., Churin A.A., Ponomarev V.Y., Belyakova G.A., Maksimov G.V. // *Biophysics (Russian Federation)*. 2016. Vol. 61(4), pp. 601-605.
11. Asari S., Tarkowská D., Rolčák J., Novák O., Palmero D.V., Bejai S., Meijer J. // *Planta*. 2017. Vol. 245, Iss. 1, pp. 15-30.
12. Abd El-Daim I.A., Bejai S., Meijer J. // *Plant and Soil*. 2014. Vol. 379, Iss. 1-2, pp. 337-350.
13. Arshad M., Frankenberger W.T.J. // *Adv. Agron*. 1991. Vol. 62, pp. 145-151.
14. Weyers J.D.B., Paterson N.W. // *New Phytol*. 2001. Vol. 152, pp. 375-407.
15. Verma V., Ravindran P., Kumar P.P. // *BMC Plant Biology*. 2016. Vol. 16, Iss. 1, 86.
16. Ibragimova S., Revin V., Zakharkina A. // *Journal of Biotechnology*. 2014. Vol. 185, p. 567.
17. Бурова Ю.А., Ибрагимова С.А., Ревин В.В. // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2012. № 10 (146). С. 61-65.
18. Захаркина А.С., Ибрагимова С.А., Ревин В.В. // "Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции", сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, 18-19 апреля 2013 г., Саранск, 2013, с. 68-71.
19. Kramer D.M., Johnson G., Kiirats O., Edwards G.E. // *Photosynthesis Research*. 2004. Vol. 79(2), pp. 209-218.
20. Genty B., Briantais J.M., Baker N.R. // *Biochimica et Biophysica Acta*. 1989. Vol. 990, pp. 87-92.
21. Miransari M., Smith D.L. // *Environmental and Experimental Botany*. 2014. Vol. 99, pp. 110-121.
22. Domonkos I., Kis M., Gombos Z., Ughy B. // *Progress in Lipid Research*. 2013. Vol. 52(4), pp. 539-561.
23. Solovchenko A., Neverov K. // *Photosynthesis Research*. 2017. Vol. 133, Iss. 1-3, pp. 31-47.
24. Telfer A. // *Photo-chemistry & Photobiology Science*. 2005. Vol. 4 (12), pp. 950-956.
25. Соловченко А.Е., Мерзляк М.Н. Оптическое экранирование как фотозащитный механизм растений. Москва, А-Литера, 2010, 164 с.
26. Alexandre M.T.A., Gundermann K., Pascal A.A., Van Grondelle R., Büchel C., Robert B. // *Photosynth Res*. 2014. Vol. 119, pp. 273-281.
27. Shutova V.V., Tyutyaev E.V., Veselova T.V., Choob V.V., Maksimov G.V. // *Biophysics (Russian Federation)*. 2017. Vol. 62, Iss. 5, pp. 728-733.

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

Ибрагимова С. А., к.б.н., доцент кафедры биотехнологии, биоинженерии и биохимии

E-mail: ibragimova-s@yandex.ru

Астайкина В. Ф., магистрант кафедры биотехнологии, биоинженерии и биохимии

Ревин В. В., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой биотехнологии, биоинженерии и биохимии

E-mail: revinvv2010@yandex.ru

National Research Mordovia State University

Ibragimova S. A., Ph.D. (biology), associate prof., department of biotechnology, bioengineering and biochemistry

E-mail: ibragimova-s@yandex.ru

Astaykina V. F., post-graduate student, department of biotechnology, bioengineering and biochemistry

Revin V. V., PhD., DSci., Full Professor, Head of biotechnology, bioengineering and biochemistry Department

E-mail: revinvv2010@yandex.ru

INFLUENCE OF RHIZOSPHERE BACTERIA ON THE GROWTH AND RESISTANCE OF CORN PLANTS IN THE CONDITIONS OF LOW TEMPERATURE STRESS

S. A. Ibragimova, V. F. Astaykina, V. V. Revin

National Research Mordovia State University

Abstract. During the growing season the plants are subject to the adverse effects of various stresses, which is accompanied by a decrease in productivity due to the inhibition of growth and photosynthesis.

Corn plants belongs to the heat-loving plants and the temperature change in a variety of limits is very dangerous stress factor limiting its productivity.

Purpose. Study of the role of rhizosphere bacteria in stimulating of growth and formation of corn plants resistance to low-temperature stress.

Methods. In study, the growth parameters of corn seeds and seedlings of variety "Krasnodarsky", the concentration of pigments (chlorophylls and carotenoids), the efficiency of photochemical reactions by the induction of fluorescence of chlorophyll, changes in the microenvironment of carotenoids by the Raman scattering method were determined.

Results. Preliminary treatment of seeds with a biopreparation based on bacteria *Pseudomonas aureofaciens* B-11634 and *Azotobacter vinelandii* D-08 reduces the negative effect of low temperature on the development of corn seeds (the germination energy in the experiment is 10% higher relative to control) and promotes an increase in plant resistance to low-temperature stress (12 °C).

The length of the plants leaf pretreated by biopreparation decreased only 8%, while the root length increased by 18% relative to control at optimum temperature conditions. Presowing treatment of seed by biopreparation increase the number of light-harvesting pigments and protective as under optimal conditions of development and in low-temperature stress conditions, which presumably due to increased photoprotective function of the photosynthetic apparatus by non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence. The improvement of the morphometric and physiological and biochemical characteristics of bioprocessed corn seeds has the prospect of using associative rhizosphere bacteria in order to increase the stress-resistance of heat-loving crop plants under low-temperature stress conditions.

Conclusions. Preliminary treatment of corn seeds with a biopreparation promotes an increase in growth indices and plant resistance to low-temperature stress. In experimental plants increased the amount of both protective (carotenoids) and light-harvesting (chlorophylls) pigments, which is probably due to the action of bacterial phytohormones that ensure of corn plants stress resistance.

Keywords: biopreparation, rhizosphere bacteria, corn, stress, temperature, resistance, pigments.

REFERENCES

1. Belimov A.A. Diss. d-ra biol. nauk. Sankt-Peterburg, 2009, 320 p.
2. Shaposhnikov A.I., Belimov A.A., Kravchenko L.V., Vivanko D.M. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, 2011, No. 3, pp. 16-22.
3. Dimkpa C., Weinand T., Asch F. Plant, Cell and Environmen, 2009, Vol. 32, No. 12, pp. 1682-1694. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2009.02028.x.
4. Kasim W.A., Osman M.E., Omar M.N., Abd El-Daim I.A., Bejai S., Meijer J. Journal of Plant Growth Regulation, 2013, Vol. 32, No. 1, pp. 122-130. DOI: 10.1007/s00344-012-9283-7.
5. Bais H.P., Weir T.L., Perry L.G., Gilroy S., Vivanco J.M. Annu. Rev. of Plant Biol, 2006, Vol. 57, pp. 233-266. DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159.
6. Akiyoshi D.E., Regier D.A., Gordon M.P. Journal of bacteriology, 1987, Vol. 169, No. 9, pp. 4242-4248. DOI: 10.1128/jb.169.9.4242-4248.1987.
7. Bari R., Jones J.D.G. Plant Molecular Biology, 2009, Vol. 69, No. 4, pp. 473-488. DOI: 10.1007/s11103-008-9435-0.
8. Hallmann J., Quadt-Hallmann A., Mahaffee W.F., Kloepper J.W. Can. J. Microbi-ology, 1997, Vol. 43, No. 10, pp. 895-914. DOI: 10.1139/m97-131.
9. Rodríguez-Villalón A., Gas E., Rodríguez-Concepción M. Plant Journal, 2009, Vol. 60, No. 3, pp. 424-435. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2009.03966.x.
10. Shutova V.V., Tyutyaev E.V., Churin A.A., Ponomarev V.Y., Belyakova G.A., Maksimov G.V. Biophysics (Russian Federation), 2016, Vol. 61(4), pp. 601-605. DOI: 10.1134/S0006350916040217.
11. Asari S., Tarkowská D., Rolčík J., Novák O., Palmero D.V., Bejai S., Meijer J. Planta, 2017, Vol. 245, No. 1, pp. 15-30. DOI: 10.1007/s00425-016-2580-9.
12. Abd El-Daim I.A., Bejai S., Meijer J. Plant and Soil, 2014, Vol. 379, No. 1-2, pp. 337-350. DOI: 10.1007/s11104-014-2063-3.
13. Arshad M., Frankenberger W.T.J. Adv. Agron, 1991, Vol. 62, pp. 145-151. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60567-2.
14. Weyers J.D.B., Paterson N.W. New Phytol, 2001, Vol. 152, pp. 375-407. DOI: 10.1046/j.0028-646X.2001.00281.x.
15. Verma V., Ravindran P., Kumar P.P. BMC Plant Biology, 2016, Vol. 16, No. 1(86). DOI: 10.1186/s12870-016-0771-y.
16. Ibragimova S., Revin V., Zakharkina A. Journal of Biotechnology, 2014, Vol. 185, p. 567.

17. Burova Yu.A., Ibragimova S.A., Revin V.V. Vestnik Orenburgskogo gosudar-stvennogo universiteta, 2012, № 10 (146), pp. 61-65.
18. Zakharkina A.S., Ibragimova S.A., Revin V.V. "Resursosberegayushchie ekolo-gicheski bezopasnye tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii", sbornik trudov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, April 18-19, 2013, Saransk, 2013, pp. 68-71.
19. Kramer D.M., Johnson G., Kiirats O., Edwards G.E. Photosynthesis Research, 2004, Vol. 79(2), pp. 209-218. DOI: 10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d.
20. Genty B., Briantais J.M., Baker N.R. Biochimica et Biophysica Acta, 1989, Vol. 990, pp. 87-92. DOI: 10.1016/S0304-4165(89)80016-9.
21. Miransari M., Smith D.L. Environmental and Experimental Botany, 2014, Vol. 99, pp. 110-121. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2013.11.005.
22. Domonkos I., Kis M., Gombos Z., Ughy B. Progress in Lipid Research, 2013, Vol. 52(4), pp. 539-561. DOI: 10.1016/j.plipres.2013.07.001.
23. Solovchenko A., Neverov K. Photosynthesis Research, 2017, Vol. 133, No. 1-3, pp. 31-47. DOI: 10.1007/s11120-017-0358-y.
24. Telfer A. Photo-chemistry & Photobiology Science, 2005, Vol. 4 (12), pp. 950-956.
25. Solovchenko A.E., Merzlyak M.N. Opticheskoe ekranirovanie kak fotozashchitnyi mekhanizm rastenii. Moscow, A-Litera, 2010, 164 p.
26. Alexandre M.T.A., Gundermann K., Pascal A.A., Van Grondelle R., Büchel C., Robert B. Photosynth Res, 2014, Vol. 119, pp. 273-281. DOI: 10.1007/s11120-013-9942-y.
27. Shutova V.V., Tyutyaev E.V., Veselova T.V., Choob V.V., Maksimov G.V. Bi-ophysics (Russian Federation), 2017, Vol. 62, No. 5, pp. 728-733. DOI: 10.1134/S0006350917050207.