

Влияние цианобактерии *Nostoc muscorum* на устойчивость растений ячменя к действию метилфосфоновой кислоты

© 2014. Е. В. Коваль¹, аспирант, С. Ю. Огородникова^{1,2}, к.б.н., доцент, с.н.с.,

¹Вятский государственный гуманитарный университет,

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

e-mail: undina2-10@yandex.ru

Работа посвящена изучению влияния цианобактерии *Nostoc muscorum* (ЦБ) на устойчивость растений ячменя к действию фосфорорганического ксенобиотика – метилфосфоновой кислоты (МФК). МФК в изученных концентрациях ($5 \cdot 10^{-4}$ и $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) не оказывала токсического действия на ЦБ, отмечали накопление хлорофилла а в культуре *N. muscorum*. Под влиянием МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) происходило возрастание интенсивности процессов перекисного окисления липидов в клетках ЦБ. Цианобактериальная обработка семян ячменя вызывала увеличение их жизнеспособности. МФК в низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) также стимулировала жизнеспособность семян, причём эффект усиливался в присутствии ЦБ. В вариантах с $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л МФК и МФК в присутствии ЦБ жизнеспособность семян была близка к контролю.

При действии ЦБ, МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и МФК в присутствии ЦБ отмечали снижение интенсивности процессов ПОЛ и значительное возрастание накопления каротиноидов, что свидетельствует об активации антиоксидантной защиты в растительных клетках. МФК более высокой концентрации ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) и МФК с добавлением ЦБ вызывала возрастание интенсивности окислительных процессов в растительных тканях и снижение уровня хлорофиллов. Цианобактериальная обработка стимулировала линейный рост растений ячменя. МФК в высокой концентрации ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) и МФК с добавлением ЦБ вызывала угнетение роста растений. По показателям роста предварительная обработка семян ЦБ не снижала токсического действия МФК на растения.

This paper studies the impact of Cyanobacteria *Nostoc muscorum* (CB) on the barley plants' resistance to organophosphorus xenobiotic – methylphosphonic acid (MPA). MPA in studied concentrations ($5 \cdot 10^{-4}$ and $1 \cdot 10^{-3}$ mol/l) does not have toxic effects on Cyanobacteria, accumulation of chlorophyll in the culture of *N. muscorum* was stated. Under the influence of MPA ($1 \cdot 10^{-3}$ mol/l) increase in the intensity processes of lipid peroxidation in the cells of Cyanobacteria took place. MPA in low concentration ($5 \cdot 10^{-4}$ mol/l) stimulated seeds viability, and the effect was amplified in the presence of Cyanobacteria. In the samples with MPA $1 \cdot 10^{-3}$ mol/l, and MPA with Cyanobacteria the seeds viability was close to control.

Under the influence of MPA ($5 \cdot 10^{-4}$ mol/l), and MPA with Cyanobacteria there was a marked reduction of the intensity of lipid peroxidation and a significant increase in carotenoids accumulation. This indicates activation of the antioxidant protection in plant cells. Both MPA in higher concentrations ($1 \cdot 10^{-3}$ mol/l) and MPA with Cyanobacteria caused increase of oxidative processes intensity in plant tissues and reduction of chlorophyll level. Cyanobacterial treatment stimulated linear growth of barley plants. MPA in high concentrations ($1 \cdot 10^{-3}$ mol/l) and MPA with Cyanobacteria inhibited plants growth. As for growth indicators, pre-treatment of seeds with Cyanobacteria did not reduce the toxic effect of MPA.

Ключевые слова: метилфосфоновая кислота, цианобактерия *Nostoc muscorum*, перекисное окисление липидов, хлорофиллы, каротиноиды, жизнеспособность семян

Keywords: methylphosphonic acid cyanobacterium *Nostoc muscorum*, lipid peroxidation, chlorophylls, carotenoids, seed viability

Глобальное загрязнение окружающей среды затронуло все сферы обитания живых организмов. Многие поллютанты содержат в своём составе биогенные элементы, но структура веществ делает эти соединения практически недоступными для использования живыми организмами. К числу таких соединений относятся фосфорсодержащие органические вещества – метилфосфонаты.

Метилфосфоновая кислота (МФК) ($\text{CH}_5\text{O}_3\text{P}$) – конечный продукт гидролиза любых эфиров метилфосфоновой кислоты и универсальный маркер фосфорсодержащих

отравляющих веществ [1]. Наличие стабильной углерод-фосфорной связи в молекуле МФК делает её устойчивой к тепловому воздействию, гидролизу и фотолизу [2].

Биотрансформация метилфосфонатов затруднена, однако есть сведения о способности ряда микроорганизмов использовать метилфосфонаты в качестве источника фосфора [2]. Некоторые прокариотные микроорганизмы и низшие эукариоты (ряд дрожжей и плесневых грибов) способны расщеплять С–Р связь [3]. Впервые доказательство биологического расщепления С–Р связи было

получено на примере *Escherichia coli*. Эта бактерия может использовать метилфосфоновою или этилфосфоновою кислоты в качестве единственного источника фосфора [4].

Цианобактерии представляют большой интерес из-за разнообразных физиологических возможностей [5]. Ряд цианобактерий (ЦБ) проявляет устойчивость к фосфорорганическим токсикантам [6]. Фермент С–Р-лиаза катализирующий гидролиз связи С–Р обнаружен у некоторых видов ЦБ, что указывает на их теоретическую способность деструктурировать метилфосфонаты [3].

Цель работы – изучить влияние цианобактерии *Nostoc muscorum* на устойчивость растений ячменя к действию метилфосфоновой кислоты.

Материалы и методы

Объектами исследования были семена и растения ячменя сорта Новичок и ЦБ *N. muscorum*. ЦБ для исследования были взяты из музея фототрофных микроорганизмов Вятской государственной сельскохозяйственной академии.

Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе оценивали влияние МФК на биохимические показатели ЦБ: содержание хлорофилла а и активность перекисного окисления липидов (ПОЛ). Для этого культуру *N. muscorum* инкубировали на растворе МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л и $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) в течение суток.

Интенсивность ПОЛ анализировали по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с малоновым диальдегидом (МДА), который образуется в процессе ПОЛ [7]. Определяли накопление МДА в культуре ЦБ (нмоль/мл). Хлорофилл а в ЦБ определяли спектрофотометрически [8].

На втором этапе оценивали влияние МФК, ЦБ и их совместного действия на жизнеспособность семян ячменя. Для этого семена ячменя (50 шт.) выдерживали в присутствии ЦБ (1 мл суспензии на чашку Петри), на растворе МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л), на растворе МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) с добавлением ЦБ, на растворе МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) и на растворе МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) с добавлением ЦБ в течение суток (контроль – дистиллированная вода). Оценку жизнеспособности семян проводили по методу, основанному на способности дегидрогеназ живых клеток восстанавливать бесцветный раствор хлорида тетразолия в фармазан [9].

На третьем этапе изучали влияние обработки растений ЦБ на функциональный

статус растений, выращенных в присутствии МФК, по показателям: содержание пластидных пигментов, интенсивность ПОЛ и показатели роста. Для этого семена ячменя проращивали в чашках Петри на дистиллированной воде с добавлением ЦБ и без ЦБ. Семидневные проростки ячменя пересаживали в сосуды на водную культуру, в качестве которой использовали питательный раствор Кнопа (контроль), растворы МФК, приготовленные на растворе Кнопа ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л и $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л). Возраст культуры ЦБ – 9 недель, титр $6,5 \cdot 10^7$ кл/мл.

Активность ПОЛ в листьях и корнях растений анализировали спектрофотометрически по цветной реакции тиобарбитуровой кислоты с МДА [7].

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя определяли фотометрическим методом на спектрофотометре «Spesol» (Германия) в ацетоновой вытяжке [10].

Для приготовления растворов использовали метилфосфоновою кислоту фирмы Lancaster (Англия), содержащую 98% действующего вещества.

Опыты были выполнены в трёхкратной повторности. Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных статистических методов [11].

Результаты и их обсуждение

Было установлено, что МФК в изученных концентрациях не оказывала токсического действия на ЦБ. МФК в низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) стимулировала накопление хлорофилла а в культуре *N. muscorum* в 2,5 раза (табл. 1). МФК более высокой концентрации ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) также вызывала рост количества хлорофилла а, но в меньшей степени (табл. 1). Под влиянием МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) происходило возрастание интенсивности процессов ПОЛ в клетках ЦБ в 1,6 раза по сравнению с контролем. МФК более низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) не вызывала изменение интенсивности процессов ПОЛ.

Таблица 1
Влияние МФК на содержание хлорофилла а и активность ПОЛ в клетках *N. muscorum*

Концентрация МФК, моль/л	Содержание малонового диальдегида	Содержание хлорофилла а
	% к контролю	
$5 \cdot 10^{-4}$	92,5	251,0
$1 \cdot 10^{-3}$	156,8	140,8

Полученные данные свидетельствуют об устойчивости данной культуры ЦБ к действию МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л), очевиден стимулирующий эффект МФК в данной концентрации на жизнедеятельность *N. muscorum*. Но при воздействии МФК более высокой концентрации защитные механизмы ослабевали, что проявилось в росте активности ПОЛ и торможении накопления хлорофилла а.

Влияние МФК, ЦБ и их совместное действие на жизнеспособность семян оценивали по активности дегидрогеназ в семенах при прорастании. Цианобактериальная обработка семян вызывала увеличение их жизнеспособности (табл. 2). МФК в низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) также стимулировала жизнеспособность семян, причём эффект усиливался в присутствии ЦБ. В вариантах с МФК более высокой концентрации ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) и МФК в присутствии ЦБ жизнеспособность семян была близка к контролю.

На данном этапе эксперимента отмечен благотворный эффект воздействия МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) на семена ячменя, добавка ЦБ также усиливала данный эффект.

На третьем этапе эксперимента было изучено влияние ЦБ на устойчивость растений ячменя к действию МФК, которое оценивали по показателям: содержание пластидных пигментов, интенсивность процессов ПОЛ и рост растений.

Важным показателем функционального статуса растений является содержание пластидных пигментов: хлорофиллов и каротиноидов. В листьях опытных растений по сравнению с контролем происходило повышенное накопление каротиноидов (табл. 3). Самое высокое содержание жёлтых пигментов отмечали в листьях растений, выращенных в присутствии ЦБ и в вариантах с действием МФК низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и МФК с добавлением ЦБ. МФК в высокой концентрации ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) в меньшей степени стимулировала накопление жёлтых пигментов в листьях.

Известно, что в фотосинтетическом аппарате каротиноиды выполняют функции антиоксидантов, которые нейтрализуют активные формы кислорода (АФК) [12]. На-

копление каротиноидов в листьях растений в вариантах с МФК, по-видимому, направлено на снижение уровня АФК и защиту мембран хлоропластов и хлорофиллов от окислительного повреждения. В опытах с совместным действием МФК и ЦБ содержание каротиноидов в листьях растений было на 10–15% выше, чем при действии МФК. Возможно, ЦБ индуцируют биосинтез каротиноидов в растительных клетках в условиях химического стресса, что направлено на повышение устойчивости растений к действию МФК.

Отмечена тесная обратная зависимость между содержанием каротиноидов и интенсивностью процессов ПОЛ в листьях ячменя ($r = -0,83$). Установлено существенное, в 2,7 раза, уменьшение содержания МДА в клетках растений, выращенных в присутствии ЦБ (табл. 4). Снижение уровня малонового диальдегида – продукта ПОЛ является следствием активации антиоксидантной системы в растительных клетках в ответ на действие ЦБ и свидетельствует о положительном действии ЦБ на жизнедеятельность растений.

В вариантах с действием МФК и МФК в присутствии ЦБ также отмечали снижение интенсивности процессов ПОЛ в листьях ячменя, но оно проявилась в меньшей степени, чем в опыте с ЦБ. В вариантах с действием $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л МФК и МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) с добавлением ЦБ содержание МДА в клетках было меньше по сравнению с контролем на 10 и 12% соответственно. Достоверное снижение интенсивности процессов ПОЛ в растительных клетках происходило при действии МФК низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) с добавлением ЦБ, что, по-видимому, является следствием возрастания активности антиоксидантной защиты в клетках под влиянием МФК (табл. 4).

Выявлено, что наиболее эффективно антиоксидантная защита проявляется в вариантах с ЦБ и МФК низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л), что подтверждается данными по содержанию в листьях зелёных пигментов – хлорофиллов (табл. 3). Количество хлорофиллов в листьях ячменя, выращенного в присутствии ЦБ, МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) с добавлением ЦБ было близ-

Таблица 2

Влияние МФК и ЦБ *N. muscorum* на жизнеспособность семян ячменя

Вариант опыта	Контроль (вода)		МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л)		МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л)	
	К	К+ЦБ	МФК	МФК+ЦБ	МФК	МФК+ЦБ
Количество жизнеспособных семян, % к контролю	100	107	108	111	102	101

Таблица 3

Действие МФК и ЦБ *N. muscorum* на содержание пластидных пигментов в листьях ячменя

Концентрация МФК, моль/л	Хлорофиллы			Каротиноиды
	а	б	а+б	
	мг/ г сухой массы			
Контроль (0)	5,72±0,42	1,54±0,01	7,26	0,86±0,11
Контроль (0) + ЦБ	5,42±0,20	1,92±0,28	7,35	1,98±0,01*
МФК (5·10 ⁻⁴)	5,59±0,15	1,91±0,07*	7,49	1,84±0,07*
МФК (5·10 ⁻⁴)+ЦБ	5,75±0,69	1,91±0,21	7,66	1,92±0,20*
МФК (1·10 ⁻³)	4,09±0,21*	1,48±0,24	5,58	1,26±0,03*
МФК (1·10 ⁻³) + ЦБ	4,37±0,40	1,64±0,21	6,01	1,45±0,17*

Примечание: * различия достоверны при $p < 0,05$.

ко к контролю. В вариантах с действием МФК (1·10⁻³ моль/л) и МФК в присутствии ЦБ отмечали снижение содержания хлорофиллов в 1,2 раза по сравнению с контролем, что согласуется с данными по накоплению каротиноидов и МДА в растительных клетках.

Таблица 4

Действие МФК и ЦБ *N. muscorum*

на содержание малонового диальдегида (МДА) в растениях ячменя

Концентрация МФК, моль/л	Содержание МДА, нмоль/г сырой массы	
	листья	корни
Контроль (0)	13,38±0,25	6,17±0,51
Контроль (0) + ЦБ	4,94±0,25*	3,37±0,35*
МФК (5·10 ⁻⁴)	8,99±0,51*	3,41±0,13*
МФК (5·10 ⁻⁴)+ЦБ	10,53±1,08*	4,40±0,26*
МФК (1·10 ⁻³)	12,04±0,59	5,64±0,73
МФК (1·10 ⁻³) + ЦБ	11,75±0,14*	15,62±0,79*

Примечание: * различия достоверны при $p < 0,05$.

Отмечали сходные изменения интенсивности процессов ПОЛ в листьях и корнях опытных растений (табл. 4). Так, обработка растений ЦБ вызывала значительное снижение интенсивности процессов ПОЛ в корнях ячменя. В варианте с действием МФК (5·10⁻⁴ моль/л) также отмечали снижение интенсивности процессов ПОЛ. Совместное действие МФК (5·10⁻⁴ моль/л) и ЦБ вызывало возрастание (в 1,3 раза) уровня МДА в корнях по сравнению с действием ЦБ и МФК (5·10⁻⁴ моль/л). В опыте с действием МФК высокой концентрации (1·10⁻³ моль/л) интенсивность процессов ПОЛ в клетках корней была близка к контролю. Добавка ЦБ к МФК высокой концентрации (1·10⁻³ моль/л) индуцировала активацию окислительных процессов в клетках корней, накопление МДА превышало в 2,5 раза значения в контроле.

Известно, что корневая система растений по сравнению с надземными органами наиболее чувствительна к действию МФК [13].

Существенная активация процессов ПОЛ в корнях, по-видимому, связана с окислительным стрессом в клетках при действии МФК высокой концентрации (1·10⁻³ моль/л), который усиливается в присутствии ЦБ.

Рост является интегральным процессом, который отражает степень адаптации растений к условиям среды. Действие стрессоров на растения вызывает перестройку метаболизма, характеризующуюся ингибированием энергоёмких анаболических процессов, что, как правило, приводит к торможению роста. Ранее было показано, что высокие концентрации МФК способствуют снижению линейного роста корней и побегов ячменя [13].

Линейный рост побегов растений, выращенных в присутствии ЦБ, превышал контрольный на 40% (рис.). Растения данного варианта имели более широкую листовую пластинку, выглядели наиболее здоровыми на фоне других вариантов: отсутствовали некрозы, хлорозы на листьях. Возможно, ростстимулирующий эффект связан с наличием в цианобактериях ауксино- и гиббериллиноподобных веществ. Известно, что обработка семян пшеницы ЦБ *Nostoc linckia* в лабораторных опытах приводила к стимуляции роста корней [14]. Под влиянием МФК (5·10⁻⁴ моль/л) длина побегов и корней была близка к контролю. При действии МФК в более высокой концентрации (1·10⁻³ моль/л) линейный рост листьев снижался на 20%. Растения, выращенные в присутствии ЦБ, не проявляли большей устойчивости к действию МФК как в низкой, так и в высокой концентрации, рост побегов оставался в пределах контроля и снижался на 16% соответственно.

Длина корней растений, выращенных в присутствии ЦБ, почти на 20% превышала контроль. МФК как в малой (5·10⁻⁴ моль/л), так и в высокой концентрации (1·10⁻³ моль/л) не оказывала достоверного изменения длины корней, однако отмечали их утолщение. Добавка ЦБ при проращивании способствовала снижению

длины корней: при воздействии МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) на 20%, а при воздействии МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) на 30% от уровня контроля.

Выводы

1. Установлено, что предварительная обработка семян ЦБ приводила к увеличению жизнеспособности семян в условиях действия МФК низкой концентрации ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и к увеличению линейного роста органов растений.

2. При действии ЦБ, МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) и МФК ($5 \cdot 10^{-4}$ моль/л) в присутствии ЦБ отмечали снижение интенсивности процессов ПОЛ и значительное возрастание накопления каротиноидов, что свидетельствует об активации антиоксидантной защиты.

3. МФК более высокой концентрации ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) и МФК с добавлением ЦБ вызывали возрастание интенсивности окислительных процессов в растительных тканях и снижение уровня хлорофиллов.

4. Предварительная обработка семян ЦБ не снижала токсического действия МФК ($1 \cdot 10^{-3}$ моль/л) на растения, напротив, отмечали усиление процессов ПОЛ в корнях при совместном действии МФК и ЦБ.

5. Предварительная обработка семян ЦБ *N. muscorum* не оказывает выраженного протекторного воздействия на растения, произрас-

тающие в присутствии МФК, но стимулирует всхожесть семян и инициирует активацию антиоксидантной системы растений.

Литература

1. Савельева Е.И., Зенкевич И.Г., Кузнецова Т.А., Радилов А.С., Пшеничная Г.В. Исследование продуктов превращений фосфорорганических отравляющих веществ методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии // Российский химический журнал. 2002. Т. XLVI. № 6. С. 82 – 91.

2. Кононова С.В., Несмеянова М.А. Фосфонаты и их деградация микроорганизмами // Биохимия. 2002. Т. 67. Вып. 2. С. 220 – 233.

3. Quinn J. P., Peden J. M. M., Dick R. E. Carbon-phosphorus bond cleavage by grampositive and gram-negative soil bacteria // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1989. V. 31. P. 283–287.

4. Schowanek D., Verstraete W. Phosphonate utilization by bacterial cultures and enrichments from environmental samples // Appl. Environ. Microbiol. 1990. V. 56. P. 895–903.

5. Громов Б.В. Ультраструктура синезелёных водорослей. Л.: Наука, 1976. 95 с.

6. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Ашихмина Т.Я., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Фокина А.И. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязнённых средах // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28.

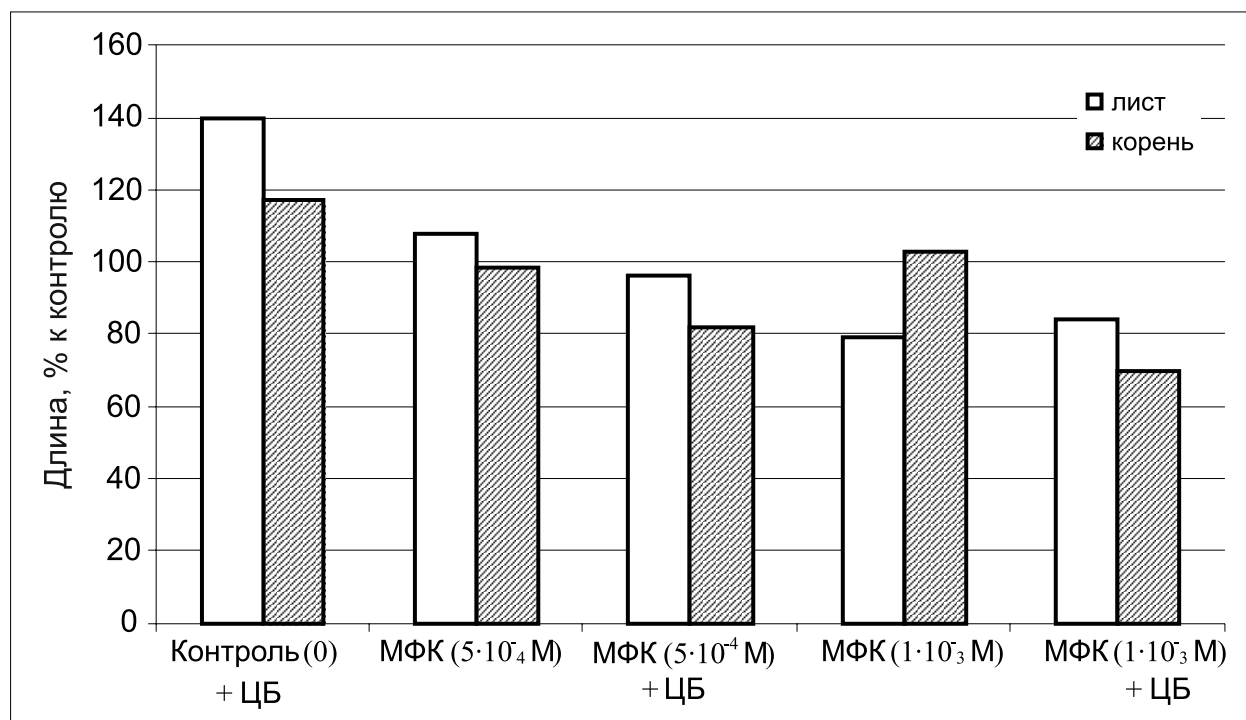


Рис. Влияние метилфосфоновой кислоты (моль/л) и ЦБ *N. muscorum* на линейный рост органов растений ячменя.

7. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.
8. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. Institute of Marine Research. Norway: 2000. 25 p.
9. ГОСТ 12039-82 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения жизнеспособности.
10. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зелёных листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154 – 171.
11. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1973. 343 с.
12. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода. – М.: КДУ, 2007. 140 с.
13. Огородникова С.Ю., Головки Т.К., Ашихмина Т.Я. Реакции растений на фосфорорганический ксенобиотик – метилфосфоновоую кислоту. Сыктывкар: 2004. 24 с.
14. Трефилова Л.В. Использование цианобактерий в агробиотехнологии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов. 2008. 26 с.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми
Республиканский центр обеспечения функционирования особо охраняемых
природных территорий природопользования
Министерство охраны окружающей среды Финляндии
Институт окружающей среды Финляндии (SYKE)
Проект ВРАН – сеть охраняемых природных территорий в Баренцевом регионе

Международное рабочее совещание
**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УГРОЗЫ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ВИДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ
СТАТУСА УЯЗВИМОСТИ, ОСНОВАННЫЕ НА IUCN-КРИТЕРИЯХ,
ДЛЯ КРАСНЫХ КНИГ БАРЕНЦЕВА РЕГИОНА,
посвящённое 50-летию создания Красного списка IUCN**
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
29 сентября – 4 октября 2014 г.
г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Рабочая программа совещания предусматривает пленарную сессию, секционные заседания, круглый стол «Возможности создания базы данных по редким и охраняемым видам Баренцева региона» и тренинги для российских экспертов по использованию системы критериев IUCN.

Вся актуальная информация о рабочем совещании размещена на сайте Института биологии Коми научного центра УрО РАН по адресу: <http://ib.komisc.ru/>.