

ФИЗИОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

УДК 582.232: 57.083.13

ДЕЙСТВИЕ МЕЛАФЕНА НА РОСТ
И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОТРОФНЫХ
И ГЕТЕРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВЕ.Л. Барский, Я.В. Саванина, И.О. Шандиева, А.Ф. Лебедева,
С.Г. Фаттахов*, Е.С. Лобакова

(кафедра физиологии микроорганизмов; e-mail: gene_b@mail.ru)

Синтетический регулятор роста растений мелафен в диапазоне концентраций 10^{-8} — 10^{-6} М стимулирует на 30—80% рост периодических культур цианобактерий *Anacystis nidulans* и *Anabaena variabilis* и зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris*. При более низкой концентрации мелафен неэффективен, а при более высокой — подавляет их рост. Развитие культуры зеленой микроводоросли *Dunaliella maritima* стимулируется, а рост клеток гетеротрофной бактерии *Pseudomonas diminuta* подавляется в широком диапазоне увеличивающихся концентраций мелафена. Этот агент усиливает также рост диализных культур цианобактерий и микроводорослей, стимулирует образование гетероцистов и вегетативных клеток в нитях цианобактерии *Anabaena variabilis*, увеличивает редокс-потенциал среды, но снижает выделение углеводов из клеток фототрофных микроорганизмов. Предполагается, что мелафен активирует фотосинтез и фиксацию атмосферного азота.

Ключевые слова: цианобактерии, зеленые микроводоросли, гетеротрофные бактерии, мелафен.

Физиологические ответы клеточных культур цианобактерий, микроводорослей и гетеротрофных бактерий на действующие факторы среды в значительной степени зависят от условий их культивирования. Наиболее простой метод — периодическое суспензионное культивирование, при котором в динамике развития популяций наблюдаются все фазы жизненного цикла и накопления биомассы. Метод диффузионного культивирования в отличие от периодического основан на отделении исследуемой суспензионной культуры клеток от внешнего объема среды полупроницаемой мембраной, через которую осуществляется диффузия веществ. Клетки микроорганизмов концентрируются в диализном мешке, который погружен в 5—10-кратный объем “внешней среды”, что обеспечивает свободное выведение продуктов обмена и поступление субстратов. Метод позволяет анализировать развитие культур микроорганизмов и их обменные процессы в условиях, более соответствующих естественным, чем при периодическом культивировании (Саванина и др., 2008). К числу особенностей диффузионной или диализной культуры относится повышенная устойчивость к неблагоприятным факторам среды и накопление высоких концентраций биомассы с сохранением физиологической активности

клеток в течение длительного времени (Гусев и др., 1997; Лебедева и др., 2002).

Мелафен — меламинавая соль бис(оксиметил)-фосфиновой кислоты является синтетическим регулятором роста нового типа для высших культурных растений (Фаттахов и др., 2002), увеличивая не только урожай, но также энергию прорастания семян (Фаттахов и др., 2007). Мелафен стимулирует развитие проростков ячменя и экспрессию ядерного гена *Elip2*, участвующего в регуляции синтеза хлорофилла и биогенезе хлоропластов (Осипенкова и др., 2008), усиливает перенос электронов и окислительное фосфорилирование в растительных митохондриях (Жигачева и др., 2007), увеличивает накопление биомассы клеточных культур цианобактерий и зеленых микроводорослей (Шандиева и др., 2008). Мелафен в водном растворе в области концентраций 10^{-10} — 10^{-4} М существует в виде супрамолекулярных полимерных наносистем, размер и свойства которых нелинейно зависят от концентрации агента (Коновалов и др., 2008).

Целью настоящей работы является исследование эффекта мелафена на рост культур цианобактерий *Anacystis nidulans* и *Anabaena variabilis*, зеленых микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Dunaliella maritima*, гетеротрофной бактерии *Pseudomonas dimi-*

* Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН, г. Казань, ул. Арбузова, 8.

nuta на такие физико-химические факторы среды, как pH и редокс-потенциал (E_h), а также на выделение клетками углеводов в динамике развития периодических и диализных культур.

Объекты и методы исследования

В работе использованы аксеничные культуры: цианобактерия *Anacystis nidulans* и *Anabaena variabilis*, зеленые микроводоросли *Chlorella vulgaris* и *Dunaliella maritima*, гетеротрофная бактерия *Pseudomonas diminuta* (из коллекции кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ). Клетки *A. nidulans* характеризуются мелкими размерами, сопоставимыми с бактериями из рода *Pseudomonas* и в отличие от большинства цианобактерий чехла не образуют. Клетки *A. variabilis* собраны в нитевидные структуры, практически сопоставимые по размерам с эукариотными микроводорослями и обладают развитыми слизистыми чехлами. Клетки *C. vulgaris* крупные, неподвижные, с развитой клеточной оболочкой; клетки *D. maritima* — крупные подвижные, лишены целлюлозной оболочки, внешняя мембрана обладает повышенной устойчивостью к низким значениям pH и высоким концентрациям солей.

Все исследуемые культуры выращивали на минеральной среде "С" (Kratz, Myers, 1955) с добавлением для *D. maritima* 2%-го NaCl, а для *P. diminuta* — 0,1%-го глюкозо-пептона. Опыты с *A. variabilis* проводили в присутствии или в отсутствие минерального азота в среде. В периодических культурах клетки выращивали в люминостате при круглосуточном освещении 1500 лк, температуре 25–27° в конических колбах с объемом среды 100 или 250 мл.

Диализное культивирование проводили в мешках фирмы "Serva" (Германия), диаметром 25 мм и с размерами пор, пропускающих соединения с молекулярной массой до 15 кДа. Мешки, завязанные с одной стороны, подвешиваются в качалочных колбах на стеклянной трубке, которую закрывают ватно-марлевой пробкой. Полученный двойной сосуд заполняется средой: 50 мл в мешке, 200 мл вокруг мешка и стерилизуется в течение 1 ч при 1 атм. Клетки помещали внутрь диализного мешка и выращивали в люминостате при круглосуточном освещении (1500 лк) и температуре 25–27°.

Содержание углеводов определяли с антроновым реактивом (Методы..., 1967). Плотность клеточных суспензий определяли нефелометрически при 540 нм. Величины pH и E_h среды культивирования измеряли на электрометре фирмы "Cole-Parmer" (США), модель DigipHase. pH определяли с помощью комбинированного стеклянного электрода с двойным Ag/AgCl электродом сравнения фирмы "Radiometer" (Голландия); для определения

E_h использовали Pt-электрод, а в качестве электрода сравнения — Ag/AgCl (оба электрода российского производства). Потенциал электрода сравнения относительно нормального водородного электрода, измеренный, как в работе Е.Л. Барского и В.Д. Самуилова (Barsky, Samuilov, 1979), составляет 225 ± 10 мВ. Ошибки измерений оптической плотности, содержания углеводов, величин pH и E_h не превышали 12%.

Результаты и их обсуждение

Как видно из рис. 1, кривая роста периодической культуры зеленой микроводоросли *C. vulgaris* представляет собой S-образную кривую, включающую лаг-период длительностью менее 5 сут, экспоненциальную и стационарную фазу роста (кривая 1). Добавление мелафена в концентрации 1–10 нМ не оказывает существенного влияния на характер кривой роста (кривые 2–4). В концентрации 0,1 мкМ мелафен сдвигает кривую роста к области лаг-фазы и значительно увеличивает накопление биомассы в экспоненциальной и стационарной фазе роста культуры (кривая 4). При дальнейшем увеличении концентрации мелафена его стимулирующий эффект снижается и переходит в ингибирующий (кривые 5–7). При этом значительно увеличивается длительность лаг-периода. Сходный эффект мелафен оказывает на рост цианобактерии *A. nidulans* и *A. variabilis* (данные не представлены).

На рис. 2 изображены зависимости содержания клеток в культурах *A. nidulans*, *A. variabilis* и *C. vulgaris* от концентрации мелафена. Зависимости имеют сходный характер: стимулирующий эффект мелафена нарастает, достигая максимума при кон-

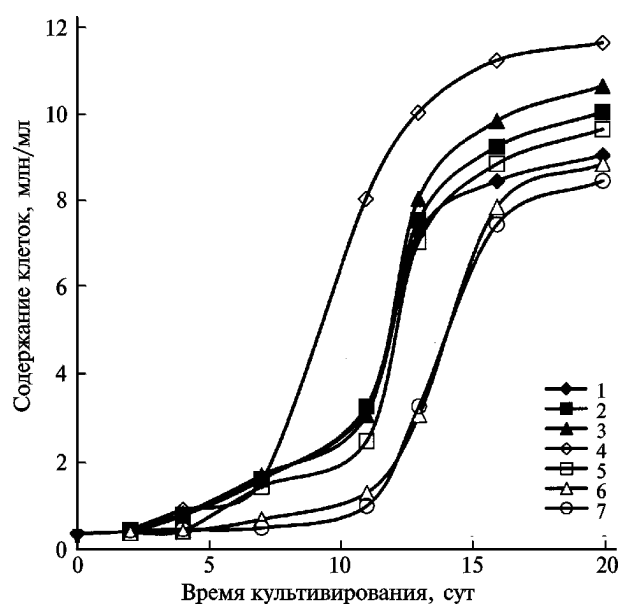


Рис. 1. Эффект мелафена на содержание клеток в культуре зеленой микроводоросли *C. vulgaris*. 1 — без добавок; 2–6: 10^{-9} , 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-2} М мелафена соответственно

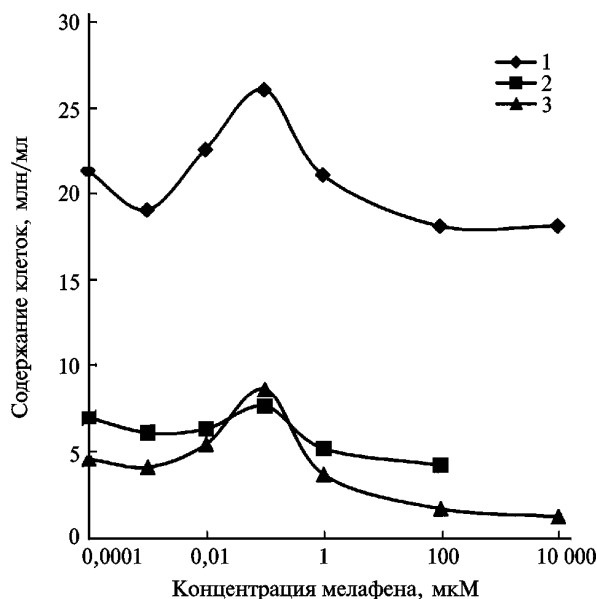


Рис. 2. Содержание клеток цианобактерии *A. nidulans* (1), *A. variabilis* (2) и зеленой микроводоросли *C. vulgaris* (3) на 10-й день культивирования в зависимости от концентрации мелафена

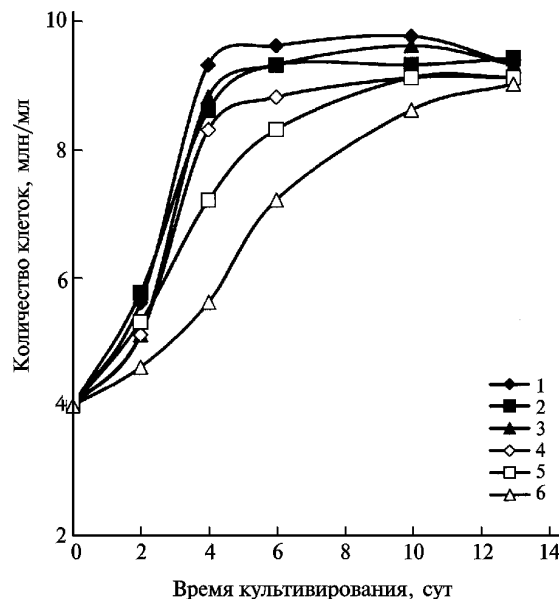


Рис. 4. Эффект мелафена на содержание клеток в культуре гетеротрофной бактерии *P. diminuta*. 1 — без добавок; 2–6: 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-2} М мелафена соответственно

центрации 10^{-7} М, и затем спадает. Иная картина наблюдается при определении действия мелафена на рост клеток зеленой микроводоросли *D. maritima* (рис. 3) и гетеротрофной бактерии *P. diminuta* (рис. 4). Содержание клеток микроводоросли и скорость роста возрастают, начиная с середины экспоненциальной фазы, в широком диапазоне увеличивающихся концентраций мелафена, тогда как содержание клеток *P. diminuta* и скорость роста в экспоненциальной фазе с увеличением концентраций мелафена существенно снижается.

Зависимость содержания клеток от концентрации мелафена (рис. 5) монотонно нарастает для

D. maritima (кривая 1) и снижается для *P. diminuta* (кривая 2). Эти данные свидетельствуют о том, что стимулирующий эффект мелафена на рост клеток *D. maritima* имеет механизм, отличный от такового для культур *A. nidulans*, *A. variabilis* и *C. vulgaris*, поскольку стимулирующие рост этих микроорганизмов концентрации мелафена расположены в узком диапазоне от 10^{-8} до 10^{-6} М. В других областях концентраций мелафен либо неэффективен, либо ингибирует рост клеток. Что касается культуры *D. maritima*, то мелафен стимулирует рост клеток во всем исследуемом диапазоне его концентраций. Возмож-

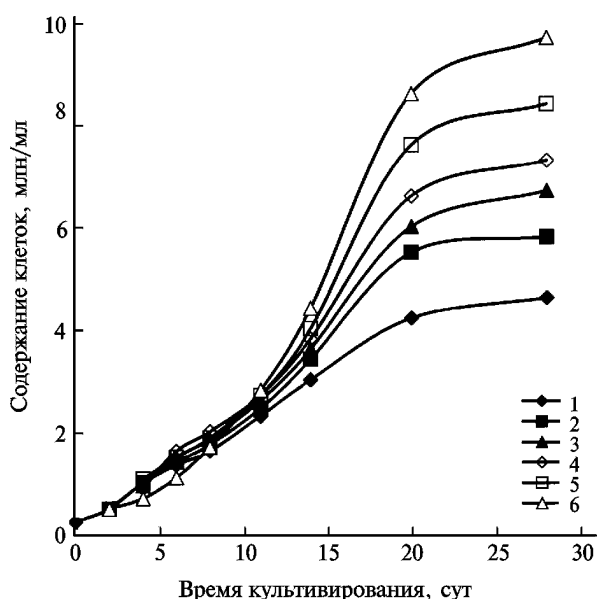


Рис. 3. Эффект мелафена на рост клеток периодической культуры зеленой микроводоросли *D. maritima*. 1 — без добавок; 2–6: 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-4} , 10^{-2} М мелафена соответственно

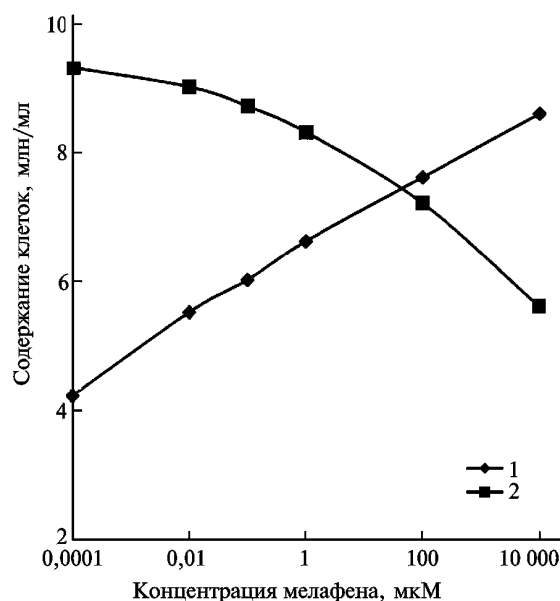


Рис. 5. Содержание клеток зеленой микроводоросли *D. maritima* на 20-й день (1) культивирования и гетеротрофной бактерии *P. diminuta* на 4-й день (2) культивирования в зависимости от концентрации мелафена

но, это связано с тем, что *D. maritima* не содержит развитой клеточной стенки и устойчива к высоким концентрациям солей, в том числе тяжелых металлов (Гусев и др., 1997). В последующих опытах с культурами цианобактерий и зеленых микроводорослей мы использовали действующую концентрацию мелафена 10^{-7} М.

Как было показано ранее, диализные культуры по сравнению с периодическими накапливают более высокие концентрации клеток (Лебедева и др., 2002). В наших опытах получены сходные результаты. Как видно из табл. 1, мелафен значительно эффективнее стимулирует рост клеток периодических культур зеленых микроводорослей, чем культур цианобактерий. Однако картина меняется при

диализном культивировании: стимулирующий эффект мелафена менее выражен для культур зеленых микроводорослей по сравнению с таковым для цианобактерии *A. nidulans*. Возможно это связано с более низкими уровнями накопления клеток в периодических культурах зеленых микроводорослей. Следует отметить, что мелафен в большей степени стимулирует рост нитчатой цианобактерии *A. variabilis*, культивируемой в среде без азота.

Способность выделять в среду низкомолекулярные соединения является одним из важнейших показателей физиологического состояния культур цианобактерий и микроводорослей: в норме возрастает общее и снижается удельное выделение метаболитов в процессе культивирования. Общая экскреция внеклеточного органического вещества фитопланктоном оценивается в 7–50% от всего фиксированного углерода, его происхождение связано с размножением клеток, реассимиляцией и процессом автолиза; цианобактерии *Nostoc muscorum* выделяют до 0,5 г внеклеточных метаболитов на 1 г сухой биомассы (Adhikary, 1998). Клетки цианобактерий и микроводорослей в процессе культивирования выделяют в среду, наряду с металтионеинами и гликолатом (Гусев и др., 1997), углеводы, максимальное количество которых выделяется клетками *A. nidulans* в конце экспоненциальной фазы роста (Лебедева и др., 2002).

В соответствии с данными табл. 1 содержание углеводов несколько снижается под действием мелафена и практически не зависит от природы объекта и способа культивирования. Снижение уровня углеводов в среде под действием мелафена, в то время как он стимулирует рост клеток, может быть обусловлено повышенным потреблением метаболитов клеток, в том числе углеводов, на биосинтетические процессы при более интенсивном накоплении биомассы.

Физико-химические свойства среды культивирования, такие как pH и редокс-потенциал (E_h) среды, в определенной степени отражают физиологическое состояние культур. pH в лаг-фазный период увеличивается от 7 до 10–11 единиц. Значительное снижение величины E_h в лаг-фазный период культивирования цианобактерий и гетеротрофных бактерий обусловлено образованием и выделением из клеток тионеинподобных низкомолекулярных белков и гамма-Glu-Cys-пептидов, включая глутатион, содержащих остаток цистеина (Барский и др., 1999; Саванина и др., 2003). Интенсивное образование низкомолекулярных тиолов, по-видимому, обусловлено перестройкой метаболизма в клетках микроорганизмов в период лаг-фазы и началом их интенсивного роста. pH среды для всех исследуемых культур фототрофных микроорганизмов меняется под действием мелафена незначительно (табл. 1), что не позволяет судить о наличии какого-либо эффекта мелафена на этот параметр. Однако увели-

Таблица 1

Эффект мелафена в концентрации 0,1 мкМ на количество клеток, содержание углеводов, а также величины pH и E_h среды в культурах *A. nidulans*, *C. vulgaris*, *D. maritima* и *A. variabilis*

№ п/п	Варианты опыта	Содержание клеток, млн/мл	Содержание углеводов, мкг/мл	pH среды	E_h среды, мВ
1	<i>A. nidulans</i> (периодическая)	32	42	10,9	260
2	1 + мелафен	36,8	35,7	11,3	265
3	<i>A. nidulans</i> (диализная)	96	105	10,8	300
4	3 + мелафен	134,4	92	11,4	310
5	<i>C. vulgaris</i> (периодическая)	3,2	20	10,8	285
6	5 + мелафен	7,9	17,8	11,1	295
7	<i>C. vulgaris</i> (диализная)	16	35	11,0	280
8	7 + мелафен	23,2	31,5	10,9	295
9	<i>D. maritima</i> (периодическая)	4,2	7	10,5	300
10	9 + мелафен	6,3	8,4	10,7	305
11	<i>D. maritima</i> (диализная)	12,1	17	10,5	290
12	11 + мелафен	15,6	14,5	10,3	304
13	<i>A. variabilis</i> (периодическая)	10,2	8	11,4	310
14	13 + мелафен	11,7	6,9	11,3	316
15	<i>A. variabilis</i> (периодическая без азота)	12,8	15	11,0	315
16	15 + мелафен	17,5	13,5	10,8	340

Примечание. Содержание клеток *A. nidulans*, *C. vulgaris* и *A. variabilis* определяли на 10-е сут, а содержание клеток *D. maritima* — на 20-е сут культивирования; содержание углеводов и величину pH среды определяли на 12-е сут, а величину E_h — на 2–4-е сут культивирования (период лаг-фазы).

чение E_h среды под действием мелафена в значительной части опытов на 10–15 мВ свидетельствует, по нашим оценкам (Барский и др., 1999), о снижении концентрации низкомолекулярных тиолов в среде на 30–50%. Это наряду со стимулирующим эффектом мелафена на рост культур может быть обусловлено началом их более интенсивного роста. Особый интерес представляют данные по E_h в опытах с нитчатой азотфиксирующей цианобактерией *A. variabilis*, культивируемой в отсутствие азота в среде.

Увеличение E_h под действием мелафена на 20–25 мВ соответствует снижению концентрации тиолов в среде в 2–3 раза.

При дефиците азота в среде нитчатая цианобактерия *A. variabilis* образует специализированные клетки — гетероцисты, участвующие в фиксации атмосферного азота. Как видно из табл. 2, в отсутствие азота в среде культивирования содержание гетероцист в нитях *A. variabilis* составляет 9–11%, тогда как в присутствии азота гетероцисты не определяются или их содержание крайне незначительно. При этом мелафен на 20–25% увеличивает среднее количество вегетативных клеток и гетероцист в одной нити.

Таким образом, представленные в таблицах данные по культуре *A. variabilis* могут свидетельствовать о влиянии мелафена на активизацию фиксации атмосферного азота этой культурой. В то же время данные таблиц и рисунков предполагают, что мелафен активирует фотосинтез в клетках цианобактерий и микроводорослей и (или) биогенез фотосинтетических мембран (Осипенкова и др., 2008).

* * *

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 07–03–12046).

Таблица 2

Действие мелафена в концентрации 10^{-7} М на содержание вегетативных клеток и гетероцист в нитях 14- и 21-суточных популяций клеток *A. variabilis*, культивируемых на среде с азотом и без него

№ п/п	Варианты опыта	Среднее содержание клеток в одной нити	
		вегетативных	гетероцист
14-суточная культура <i>A. variabilis</i>			
1	Среда с азотом	8,1	—
2	Среда без азота	9,2	0,85
3	1 + мелафен	9,8	—
4	2 + мелафен	11,5	1,16
21-суточная культура <i>A. variabilis</i>			
5	Среда с азотом	6,1	0,02
6	Среда без азота	6,4	0,67
7	5 + мелафен	7,5	0,13
8	6 + мелафен	8,3	0,89

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Барский Е.Л., Лебедева А.Ф., Саванина Я.В. 1999. Изменения окислительно-восстановительного потенциала среды культивирования устойчивой к тяжелым металлам бактерии *Pseudomonas diminuta*: взаимосвязь с выделением из клеток металлотионеинподобных белков // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 2. 11–15.

Гусев М.В., Барский Е.Л., Лебедева А.Ф., Саванина Я.В. 1997. Устойчивость культуры цианобактерии *Anacystis nidulans* и микроводоросли *Dunaliella maritima* к токсическому действию ванадия. Влияние фосфата, железа и цистеина // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 3. 12–17.

Жигачева И.В., Фаткуллина Л.Д., Шугаев А.Г., Генерозова И.П., Фаттахов С.Г., Резник В.С., Коновалов А.И. 2007. Функциональное состояние мембран митохондрий корнеплода сахарной свеклы при действии препарата мелафен // Физиол. раст. 54. № 5. 672–677.

Коновалов А.И., Рыжкина И.С., Муртазина Л.И., Тимошева А.П., Шагидуллин Р.Р., Чернова А.В., Аввакумова Л.В., Фаттахов С.Г. 2008. Супрамолекулярные системы на основе дигидрата меламиновой соли бис(оксиметил)фосфиновой кислоты (мелафена) и поверхностно-активных веществ. Сообщение 1. Строение и самоассоциа-

ция мелафена в воде и хлороформе // Изв. РАН. Сер. Химия. № 6. 1207–1214.

Лебедева А.Ф., Саванина Я.В., Барский Е.Л. 2002. Изменения редокс-потенциала и содержания углеводов в среде при периодическом и диализном культивировании цианобактерии *Anacystis nidulans* и бактерии *Pseudomonas diminuta* // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 2. 24–29.

Методы химии углеводов. 1967 / Под ред. Н.К. Кочеткова. М.

Осипенкова О.В., Ермохина О.В., Белкина Г.Г., Олескина Ю.П., Фаттахов С.Г., Юрина Н.П. 2008. Влияние мелафена на экспрессию генов белков светового стресса хлоропластов *Elip1* и *Elip2* у ячменя // Прикладная биохимия и микробиология. 44. № 6. 701–708.

Саванина Я.В., Лебедева А.Ф., Барский Е.Л. 2003. Динамика накопления тиоловых соединений, а также изменений активности глутатионпероксидазы и глутатионредуктазы в клетках цианобактерии *Anacystis nidulans* // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 3. 29–37.

Саванина Я.В., Лебедева А.Ф., Барский Е.Л. 2008. Диализное культивирование цианобактерий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Биология. № 2. 16–25.

Фаттахов С.Г., Резник В.С., Коновалов А.И. 2002. Меламинавая соль бис(оксиметил)фосфиновой кислоты (мелафен) как регулятор роста и развития растений нового поколения // Тез. докл. на 13-й Международ. конф. по химии соединений фосфора. СПб.

Фаттахов С.Г., Резник В.С., Коновалов А.И. 2007. Мелафен — перспективный регулятор роста растений для сельского хозяйства и биотехнологии // Сб. мат-лов Всерос. семинара-совещания «Состояние исследований и перспективы применения регулятора роста растений нового поколения “мелафен” в сельском хозяйстве и биотехнологии». Казань.

Шандиева И.О., Саванина Я.В., Фаттахов С.Г., Лебедева А.Ф., Лобакова Е.С., Барский Е.Л. 2008. Синтетический регулятор роста

мелафен: эффект на фотосинтезирующие микроорганизмы // Междунар. конф. “Преобразование энергии света при фотосинтезе”: Тез. докл. на V Съезде Всерос. фото-биол. об-ва. Пушино.

Adhikary S.P. 1998. Polysaccharides from mucilaginous envelope layers of cyanobacteria and their ecological significance // J. Sci. and Ind. Res. **257**. N 8. 454—466.

Barsky E.L., Samuilov V.D. 1979. Blue and red shifts of bacteriochlorophyll absorption band around 880 nm in *Rhodospirillum rubrum* // Biochim. Biophys. Acta. **548**. 448—457.

Kratz W.A., Myers J. 1955. Nutrition and growth of several blue-green algae // Am. J. Bot., **42**. 2282—2287.

Поступила в редакцию
12.03.09

MELAFEN ACTION ON GROWTH AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF PHOTOTROPHIC AND GETEROTROPHIC MICROORGANISMS

E.L. Barsky, Ya.V. Savanina, I.O. Shandieva, A.F. Lebedeva, S.G. Fattakhov, E.S. Lobakova

Growth of periodic cultures of cyanobacteria *Anacystis nidulans*, *Anabaena variabilis* and green microalgae *Chlorella vulgaris* is stimulated by 0,01—10 M concentration range of melafen, synthetic plant growth regulator. Lower melafen concentrations are ineffective, and higher one inhibit their growth. Culture growth of green microalgae *Dunaliella maritima* is stimulated, and cell growth of heterotrophic bacterium *Pseudomonas diminuta* is depressed in the wide incremental range of melafen concentrations. This agent also intensify growth of dialized phototrophic cultures, stimulates heterocysts and vegetative cells formation in cyanobacterium *Anabaena variabilis* filaments, increases redox-potential of cultivation medium, but decreases carbohydrates output by phototrophic microorganisms cells. It is supposed that melafen activates photosynthesis and atmospheric nitrogen fixation.

Key words: *cyanobacteria, green microalgae, heterotrophic bacterium, melafen.*

Сведения об авторах

Барский Евгений Львович — канд. биол. наук, вед. науч. сотр. кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ. Тел. (495)939-41-69; e-mail: gene_b@mail.ru

Саванина Янина Вячеславовна — канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры физиологии микроорганизмов, биологического факультета МГУ. Тел. (495)939-41-69; e-mail: gene_b@mail.ru

Шандиева Индира Оразалиевна — аспирант кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ. Тел. (495)939-41-69; e-mail: gene_b@mail.ru

Лебедева Александра Федоровна — канд. биол. наук, доцент кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ. Тел. (495)939-41-69; e-mail: gene_b@mail.ru

Фаттахов Саитгарей Галяевич — канд. хим. наук, ст. науч. сотр. Института органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН. Тел. 8432-73-18-62; e-mail: mshulaeva@iopc.knc.ru

Лобакова Елена Сергеевна — докт. биол. наук, проф. кафедры физиологии микроорганизмов биологического факультета МГУ. Тел. (495)939-38-07; e-mail: elena.lobakova@rambler.ru