

4. Парханеева В.Ю., Корсунова Т.М. Эффективность использования вермикомпостов в цветоводстве // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Ижевск, 2002. – С. 210–214.
5. ЭМ – надежда планеты. – Улан-Удэ, 1998. – 23 с.
2. Imeskenova Je.G., Ishigenov I.V., Haban M. Problemy i perspektivy razvitija organicheskogo sel'skogo hozjajstva v RF // Organicheskoe sel'skoe hozjajstvo i agroturizm: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Ulan-Udje: Izd-vo BGSNA, 2014. – S. 45–48.

Literatura

1. Vlijanie vermikomposta i reguljatorov rosta na razvitie, urozhajnost' i kachestvo sel'skohozjajstvennyh i dekorativnyh rastenij / T.M. Korsunova, D.B. Dondokova, V.Ju. Tatarnikova [i dr.]. – Ulan-Udje: Izd-vo BGSNA, 2008. – 139 s.
3. Korsunova T.M. Biotehnologija konversii organicheskikh othodov vermikul'turoj i primenenie biogumusa // Vestnik KrasGAU. – 2014. – № 5. – S. 55–57.
4. Parhaneeva V.Ju., Korsunova T.M. Jefferktivnost' ispol'zovanija vermikompostov v cvetovodstve // Tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Izhevsk, 2002. – S. 210–214.
5. JeM – nadezhda planety. – Ulan-Udje, 1998. – 23 s.

УДК 574.4+574.5

Т.И. Письман, Л.А. Сомова

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗВЕНЬЕВ В ВОДНОЙ И НАЗЕМНОЙ ЭКОСИСТЕМЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ

Т.И. Pisman, L.A. Somova

FEATURES OF INTERACTION OF THE LINKS IN AQUATIC AND TERRESTRIAL ECOSYSTEMS DEPENDENT ON THE CONTENT OF CARBON DIOXIDE IN THE ATMOSPHERE

Т.И. Письман – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. экологической информатики Института биофизики СО РАН, г. Красноярск. E-mail: pech@ibp.ru

Л.А. Сомова – д-р биол. наук, вед. науч. сотр. лаб. экологической информатики Института биофизики СО РАН, г. Красноярск. E-mail: lidsomova@mail.ru

T.I. Pisman – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Ecological Informatics, Institute of Biophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk. E-mail: pech@ibp.ru

L.A. Somova – Dr. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Lab. of Ecological Informatics, Institute of Biophysics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk. E-mail: lidsomova@mail.ru

В работе проведено сравнительное изучение водной системы «водоросли – дрожжи», замкнутой по газу, и наземной системы «растение – ризосферные микроорганизмы» при повышенном содержании диоксида углерода в атмосфере в лабораторных условиях. В качестве автотрофного звена использованы зеленые микроводоросли *Chlorella vulgaris* и в качестве гетеротрофного звена – дрожжи *Candida utilis* и *Candida guilliermondii*. Культивирование хлореллы и дрожжей осуществляли в отдельных ферментерах, замкнутых между собой по газу. Проток воздуха осуществляли с

помощью компрессора, освещение хлореллы – лампами дневного света. Пшеница *Triticum aestivum* выращивалась в герметичных камерах при нормальном (0,03 %) и повышенном (0,06 %) содержании углекислого газа. Камеры в течение 28 дней продувались воздухом из газгольдеров. Содержание углекислого газа контролировали газоанализатором. Температуру поддерживали около 20–23°C. Растения освещали круглосуточно люминесцентными лампами. Стерильные семена пшеницы инокулировали ризосферными бактериями *Pseudomonas putida*. Затем семена проращивали

вали двое суток в чашках Петри и стерильно высевали в вегетационные сосуды. В качестве субстрата использовали стерильный речной песок, который поливали средой Кноппа. Показано, что в водной системе «автотроф – гетеротроф» при замыкании по газу хлореллы и одного вида дрожжей их биомасса возрастала по сравнению с биомассой при культивировании без замыкания. Увеличение содержания углекислого газа за счет использования в качестве гетеротрофного звена двух видов дрожжей приводит к увеличению биомассы хлореллы до 3,4 г/л. Исследование наземной системы «растение – ризосферные микроорганизмы» при повышении диоксида углерода в атмосфере до 0,06 % показало, что биомасса пшеницы и бактерий на корнях растений также возрастает.

Ключевые слова: водные и наземные экосистемы, хлорелла, дрожжи, пшеница, ризосферные микроорганизмы, диоксид углерода.

*In the study comparative research of water system «seaweed – yeast», closed on gas, and land system «a plant – rizosphere microorganisms» was carried out at the raised content of carbon dioxide in the atmosphere in vitro. As an autotrophic link green microseaweed of *Chlorella vulgaris* and as a heterotrophic link – *Candida utilis* and *Candida guilliermondii* yeast were used. The cultivation of a hlorella and yeast was carried out in the separate fermenters closed among them on gas. The channel of air was carried out by means of the compressor; the illumination was from fluorescent lamps. *Triticum aestivum* wheat was grown up in tight chambers at normal (0.03 %) and raised (0.06 %) content of carbon dioxide. Chambers within 28 days were blown by air from gas-holders. The carbon dioxide content was controlled by a gas analyzer. The temperature was maintained by about 20–23°C. Plants were lit with luminescent lamps for 24 hours. Sterile seeds of wheat were inoculated with rizosphere bacteria of *Pseudomonas putida*. Then seeds were couched for two days in Petri's cups and sterilely sowed in vegetative vessels. As a sterile river sand watered with Knopp's circle substratum was used. It was shown that «an autotroph – heterotroph» at short circuit on gas of a hlorella and one type of yeast their biomass increased in water system in comparison with bio-*

mass at cultivation without short circuit. The increase in the carbon dioxide content was due to the use of a heterotrophic link of two types of yeast led to increase in biomass of a hlorella to 3.4 g/l. The research of land system "a plant – rizosphere microorganisms" at increase of carbon dioxide in the atmosphere to 0.06 % showed that biomass of wheat and bacteria on roots of plants also increased.

Keywords: water and land ecosystems, hlorella, yeast, wheat, rizosphere microorganisms, carbon dioxide.

Введение. В настоящее время возросло отрицательное влияние человечества на биосферу Земли, а также на отдельные экосистемы. При этом много внимания уделяется проблеме глобального изменения климата в связи с увеличением содержания углекислого газа в атмосфере и его воздействия на природные экосистемы. Поэтому одной из важных проблем является изучение функционирования водных и наземных экосистем и исследование причин замыкания звеньев в биотические циклы.

Первые модели водных замкнутых экосистем, состоящих из микроорганизмов, созданы в 60-х годах прошлого века [1]. Созданы микрокосмы, запаянные в стеклянных сосудах [2]. Затем последовали модели водных экспериментальных экосистем с включением многоклеточных организмов [3]. В результате была показана возможность создания микроэкосистем и возможность их длительного существования. Далее необходимо понять, по каким законам происходит организация простейшего цикла, как открытые системы «стыкуются» в замкнутый цикл.

Приближением к пониманию данной проблемы явились исследования по наземным экосистемам. Ранее нами было показано положительное влияние микробной ассоциации на рост корней проростков пшеницы при воздействии ингибитора (цинка) [4]. В литературе существует немало данных о влиянии повышенного содержания диоксида углерода в атмосфере на экосистемы [5]. Выяснено многообразие откликов наземных экосистем на повышение углекислого газа: повышение урожайности, изменение биоразнообразия и отсутствие откликов. Различия в реакциях сложных природных экосистем, по-

видимому, связаны с большим количеством взаимодействующих элементов системы.

В наземных экосистемах диоксид углерода атмосферы примерно на 25–40 % имеет почвенное происхождение [6]. Многие виды из рода ризосферных бактерий известны своей способностью стимулировать ростовые процессы растений, повышать фотосинтетическую активность и урожайность зерновых культур [7]. Эти эффекты объясняются многими причинами, но конкретные механизмы действия до сих пор не выяснены.

Цель работы. Сравнительное изучение протистых водных и наземных циклов, звенья которых взаимодействуют по типу «автотроф – гетеротроф», в зависимости от содержания диоксида углерода в воздухе в лабораторных условиях.

В качестве водного цикла исследовано взаимодействие хлореллы и дрожжей, замкнутых по газу, в качестве наземной системы – взаимодействие пшеницы и ризосферных микроорганизмов.

Объекты и методы исследования

Водные экосистемы. В качестве автотрофного звена – источника кислорода – использованы зеленые микроводоросли *Chlorella vulgaris* и в качестве гетеротрофного звена – источника диоксида углерода – дрожжи *Candida utilis* и *Candida guilliermondii*.

Для культивирования дрожжей использовали среду Ридер, для хлореллы – среду Тамия. Биомассу сухих клеток дрожжей и водорослей определяли по стандартной методике [8]. Культивирование хлореллы и дрожжей осуществляли в отдельных ферментерах, замкнутых между собой по газу. Проток воздуха осуществляли с помощью компрессора, освещение хлореллы – лампами дневного света.

Наземные экосистемы. Пшеница *Triticum aestivum* выращивалась в герметичных камерах при нормальном и повышенном содержании углекислого газа [7]. Камеры в течение 28 дней продувались воздухом из газгольдеров. Содержание углекислого газа контролировали газоанализатором. Температуру поддерживали около 20–23°C. Растения освещали круглосуточно люминесцентными лампами.

Стерильные семена пшеницы инокулировали ризосферными бактериями *Pseudomonas putida* для создания системы «растения – микроорганизмы». Затем семена проращивали двое суток в чашках Петри и стерильно высевали в вегетационные сосуды. В качестве субстрата использовали стерильный речной песок, который поливали средой Кноппа [8]. Бактерии, которыми инокулировали семена растений, предварительно культивировали на минеральной среде в колбах на качалке. Ежедневно сосуды с растениями взвешивали и по убыли веса доливали раствор Кноппа. Каждые 7 дней определяли биомассу надземной части растений, корней и биомассу микроорганизмов на корнях.

Результаты исследования

Водная система. Первой задачей было замыкание по газу автотрофного (хлореллы) и гетеротрофного звеньев в систему, где гетеротрофное звено представлено одним видом дрожжей *C. utilis* (рис. 1 и 2).

Замыкание привело к более быстрому росту биомассы хлореллы (рис. 1) и дрожжей (рис. 2) в первые двое суток по сравнению с ростом биомассы отдельно культивируемых звеньев. Это связано со снятием лимита по диоксиду углерода для хлореллы и по кислороду – для дрожжей. При этом рост хлореллы и дрожжей в замкнутой по газу системе продолжался более 9 суток и достиг 1 г/л, что почти в два раза превысило биомассу хлореллы и дрожжей, культивируемых без замыкания по газу.

Замыкание по газу хлореллы и смеси двух видов дрожжей (*C. utilis* и *C. guilliermondii*) привело к быстрому увеличению биомассы дрожжей в течение суток до 1 г/л (рис. 3). Ранее было показано, что интенсивный рост данных видов дрожжей в смеси связан с положительным метаболическим взаимодействием [9]. В результате в течение суток произошло быстрое выделение углекислого газа от 0,03 до 0,5 %. В течение следующих 13 суток, вследствие потребления углекислого газа хлореллой, его остаточное содержание держалось на уровне 0,06 %. При этом биомасса хлореллы увеличилась до 3,4 г/л.

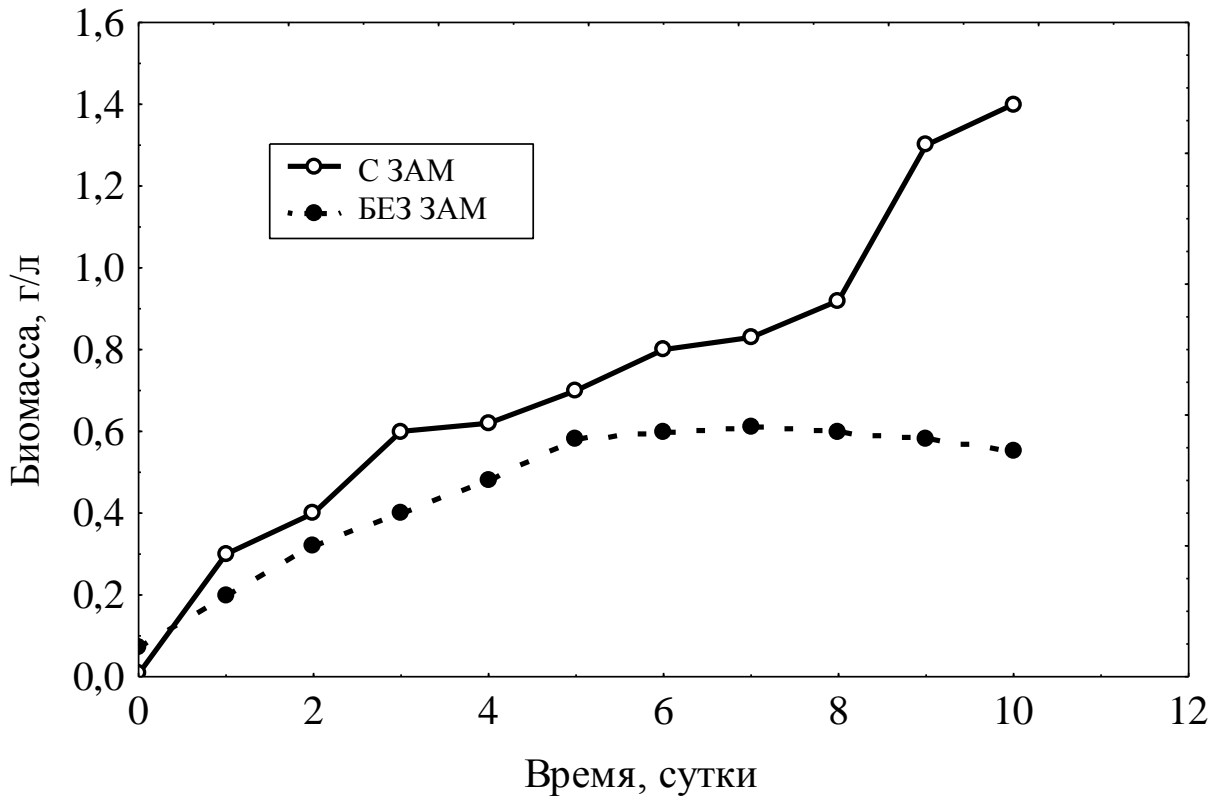


Рис. 1. Динамика накопления биомассы хлореллы в замкнутой по газу системе «автотроф – гетеротроф»

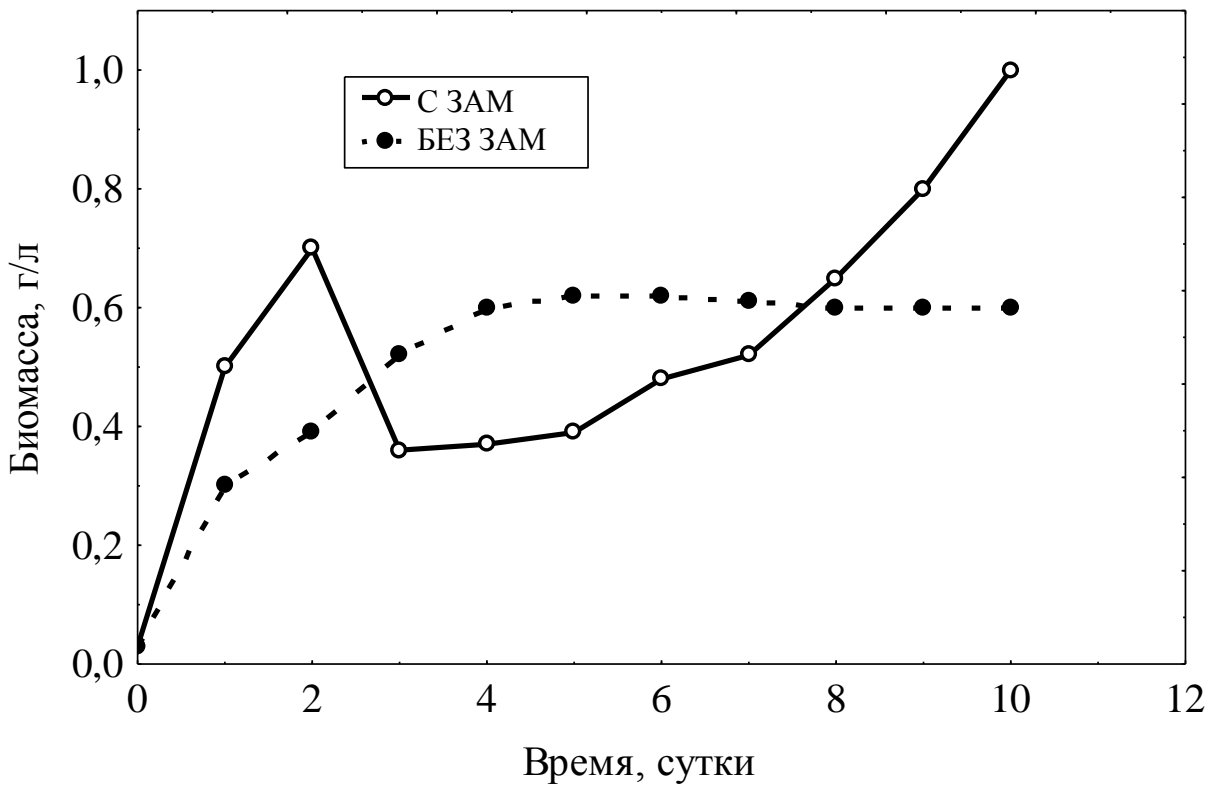


Рис. 2. Динамика накопления биомассы дрожжей *S. utilis* в замкнутой по газу системе «автотроф – гетеротроф»

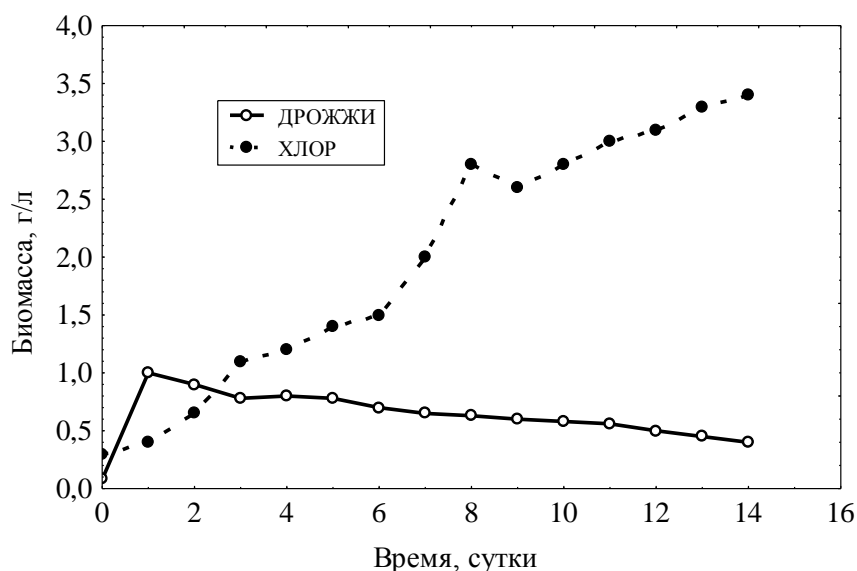


Рис. 3. Динамика накопления биомассы хлореллы и смеси двух видов дрожжей (*S. utilis* и *S. guilliermondii*) в замкнутой по газу системе «автотроф – гетеротроф»

Наземная экосистема. Увеличение диоксида углерода от 0,03 до 0,06 % в наземной системе «пшеница – ризосферные микроорганизмы», так же как и в водной системе, привело к увеличению биомассы обоих звеньев: пшеницы и микроорганизмов *Ps. putida* (рис. 4 и 5). Величина биомассы растений при повышенной концентрации диоксида углерода в атмосфере увеличилась на 15 % (рис. 4).

Ранее было показано, что скорость фотосинтеза растений, инокулированных бактериями *Ps. putida*, возрастает [10]. В ре-

зультате увеличивается количество экссудата, выделенного растениями и потребляемого микроорганизмами. Повышение концентрации диоксида углерода привело к еще большему увеличению скорости фотосинтеза и количества выделенного экссудата. В связи с этим биомасса микроорганизмов при повышенной концентрации диоксида углерода возросла вдвое по сравнению с биомассой микроорганизмов при нормальном содержании диоксида углерода (рис. 5).

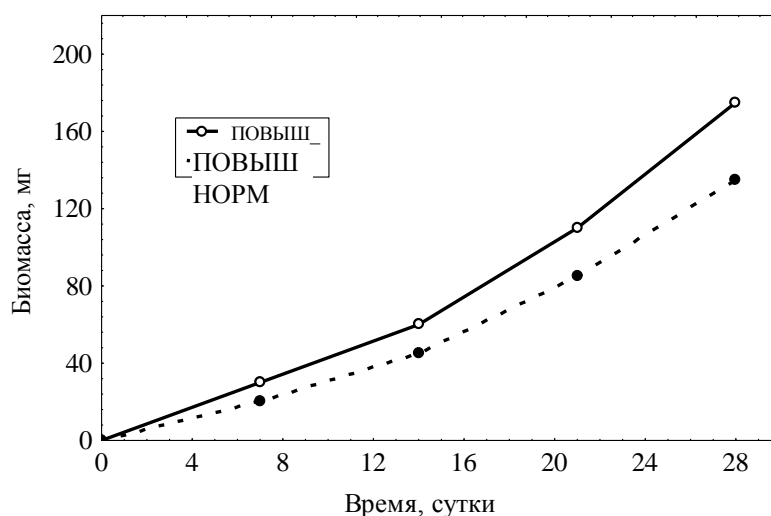


Рис. 4. Динамика роста пшеницы в камере с повышенным (0,06%) и нормальным (0,03%) содержанием диоксида углерода

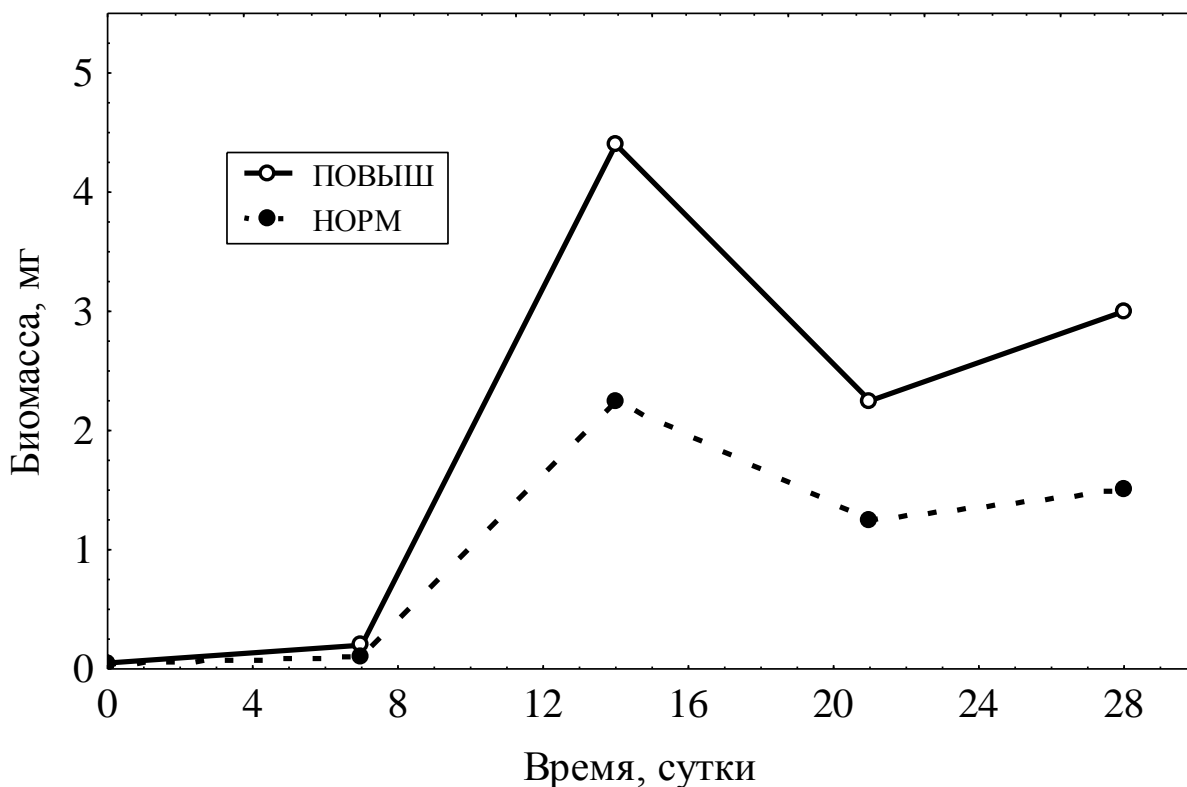


Рис. 5. Динамика ризосферных микроорганизмов на корнях пшеницы, выращенной в камерах с повышенным (0,06%) и нормальным (0,03%) содержанием диоксида углерода

Выводы

1. Замыкание по газу автотрофного и гетеротрофного звеньев в водной системе «хлорелла – дрожжи» приводит к увеличению биомассы звеньев вследствие снятия лимитирующего фактора по диоксиду углерода для хлореллы и по кислороду – для дрожжей.

2. В наземной системе «пшеница – ризосферные микроорганизмы» повышение диоксида углерода в атмосфере от 0,03 до 0,06 % также приводит к увеличению биомассы обоих звеньев вследствие усиления выделения экссудатов растениями.

Литература

1. Taub E.B. A biological model of a fresh water community: a gnotobiotic ecosystem // *Limnol. Oceanogr.* – 1969. – V. 14. – P. 136–142.
2. Фиштейн Г.Н., Ковров Б.Г. Микроэкосистемы и опыт их использования для изучения

жизни простейших в сообществе микроскопических организмов // *Общая биология.* – 1985. – Т. 16, № 3. – С. 136–143.

3. Kersting K. The use of Microsystems for the evaluation of the effect of toxicants // *Hydrobiological Bulletin.* – 1975. – V. 9, Issue 3. – P. 102–108.
4. Письман Т.И., Сомова Л.А. Модель взаимодействия корней проростков пшеницы и микробной ассоциации при воздействии солей тяжелых металлов (цинка) // *Вестник КрасГАУ.* – 2011. – № 8. – С. 64–68.
5. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2010. – 50 с.
6. Кудеяров В.Н. Вклад почвы в баланс CO₂ атмосферы на территории России // *Докл. РАН. Общая биология.* – 2006. – Т. 375. – С. 211–215.
7. Печуркин Н.С., Сомова Л.А., Полонский В.И. [и др.]. Влияние ризосферных бактерий на рост молодых растений пшеницы в условиях полного минерального питания и

- при дефиците азота // Микробиология. – 1997. – Т.66, № 4. – С. 553–557.
8. *Нетрусов А.И., Егорова М.А., Захарчук Л.М.* Практикум по микробиологии: учеб. пособие. – М.: Академия, 2005. – 608 с.
 9. *Pisman T.I., Pechurkin N.S., Sarangova A.B.* [et al.]. Experimental models of small closed systems with spatially separated unicellular organism-based components // *Life Support and Biosphere Science.* – 1999. – V.6. – P. 133–139.
 10. *Письман Т.И., Сомова Л.А., Печуркин Н.С.* Математическая модель взаимодействия звеньев в системе «растение – ризосферные микроорганизмы» при повышенном содержании диоксида углерода в биосфере // *Биофизика.* – 2002. – № 47. – С. 920–925.
4. *Pis'man T.I., Somova L.A.* Model' vzaimodejstvija kornej prorostkov pshenicy i mikrobnaj asociacii pri vozdejstvii solej tjazhelyh metallov (cinka) // *Vestnik KrasGAU.* – 2011. – № 8. – S. 64–68.
 5. *Kurganova I.N.* Jemissija i balans dioksida ugljeroda v nazemnyh jekosistemah: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. – М., 2010. – 50 s.
 6. *Kudejarov V.N.* Vklad pochvy v balans SO₂ atmosfery na territorii Rossii // *Dokl. RAN. Obshhaja biologija.* – 2006. – Т. 375. – S. 211–215.
 7. *Pechurkin N.S., Somova L.A., Polonskij V.I.* [i dr.]. Vlijanie rizosfernyh bakterij na rost molodyh rastenij pshenicy v uslovijah polnogo mineral'nogo pitaniija i pri deficite azota // *Mikrobiologija.* – 1997. – Т.66, № 4. – S. 553 – 557.
 8. *Netrusov A.I., Egorova M.A., Zaharchuk L.M.* Praktikum po mikrobiologii: ucheb. posobie. – М.: Akademiija, 2005. – 608 s.
 9. *Pisman T.I., Pechurkin N.S., Sarangova A.B.* [et al.]. Experimental models of small closed systems with spatially separated unicellular organism-based components // *Life Support and Biosphere Science.* – 1999. – V.6. – P. 133–139.
 10. *Pis'man T.I., Somova L.A., Pechurkin N.S.* Matematicheskaja model' vzaimodejstvija zven'ev v sisteme «rastenie – rizosfernye mikroorganizmy» pri povyshennom soderzhanii dioksida ugljeroda v biosfere // *Biofizika.* – 2002. – № 47. – S. 920–925.

Literatura

1. *Taub E.B.* A biological model of a fresh water community: a gnotobiotic ecosystem // *Limnol. Oceanogr.* – 1969. – V. 14. – P. 136–142.
2. *Fishtejn G.N., Kovrov B.G.* Mikrojekosistemy i opyt ih ispol'zovanija dlja izuchenija zhizni prostejshih v soobshhestve mikroskopicheskikh organizmov // *Obshhaja biologija.* – 1985. – Т. 16, № 3. – S. 136–143.
3. *Kersting K.* The use of Microsystems for the evaluation of the effect of toxicants // *Hydrobiological Bulletin.* – 1975. – V. 9, Issue 3. – P. 102–108.

УДК 582. 6/9

И.В. Бумов

СОСУДИСТЫЕ РАСТЕНИЯ СУПРАЛИТОРАЛИ ОСТРОВОВ МАЛОЙ КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ

I.V. Butov

THE SUPRALITTORAL VASCULAR PLANTS OF ISLANDS OF THE LESSER KURIL RIDGE

И.В. Бумов – асп., мл. науч. сотр. лаб. экологии шельфовых сообществ Национального научного центра морской биологии ДВО РАН, г. Владивосток. E-mail: ivanbutov-91@mail.ru

I.V. Butov – Postgraduate Student, Junior Staff Scientist, Lab. of Ecology of Shelf Communities, National Scientific Center of Sea Biology, FEB Russian Academy of Sciences, Vladivostok. E-mail: ivanbutov-91@mail.ru

Супралиitoralь, или зона заплеска, – участок суши на границе с морем, который расположен выше уровня максимального прилива.

Здесь преобладает значительная засоленность субстрата в результате приливно-отливных процессов, выражены суточные, не-