

**ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
MEDUSOMYCES GISEVII**

© В.В. Рогожин, Ю.В. Рогожин

Якутская государственная сельскохозяйственная академия,
677002, Российская Федерация, Республика Бурятия, г. Якутск, ул. Красильникова, 15.

При использовании искусственно созданной модельной системы, нами была изучена роль бактериальной целлюлозы в деятельности симбиотического сообщества микроорганизмов *Medusomyces gisevii*. Показано, что во время культивирования *Medusomyces gisevii* во всех вариантах, в условиях присутствия и отсутствия бактериальной целлюлозы в культуральной среде, отмечается понижение величин pH и возрастание значений электропроводности, на изменение которых влияла природа экстрактов питательной среды. Величины коэффициентов корреляции во всех вариантах имели высокие значения и изменялись в пределах от -0,88 до -0,99. В условиях присутствия бактериальной целлюлозы проявлялось резкое понижение pH и, соответственно, возрастание электропроводности культуральной среды. Наличие БЦ способствовало активизации деятельности симбиотического сообщества микроорганизмов и проявлялось в значительном снижении величин pH на 22,0–24,3% и возрастании электропроводности на 106–169%. Данный эффект обусловлен тем, что присутствие БЦ на поверхности культуральной жидкости способствует иммобилизации микроорганизмов в структуре гель-пленки, которая обеспечивает их доступность к питательному субстрату и возможности в дальнейшем последовательного превращения его до уксусной кислоты. Полученные данные свидетельствуют о том, что для нормального функционирования *Medusomyces gisevii* крайне необходима бактериальная целлюлоза, которая может выполнять роль консолидирующей матрицы, служащей местом совместной метаболической деятельности различных видов микроорганизмов.

Ключевые слова: *Medusomyces gisevii*, Quorum sensing, бактериальная целлюлоза, биопленки, культуральные среды, симбиотические сообщества, микроорганизмы, электропроводность, кислотность среды.

Формат цитирования: Рогожин В.В., Рогожин Ю.В. Влияние бактериальной целлюлозы на продуктивность *Medusomyces gisevii* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, N 2. С. 77–85. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-77-85

**THE EFFECT OF BACTERIAL CELLULOSE ON THE PRODUCTIVITY
OF MEDUSOMYCES GISEVII**

© V.V. Rogozhin, Yu.V. Rogozhin

Yakut State Agricultural Academy,
15, ul. Krasilnikova, Yakutsk, 677002 Buryat Republic, Russia

Using an artificially created model system, we have studied the role of bacterial cellulose in the activity of the symbiotic community of microorganisms *Medusomyces gisevii*. It was shown that during the cultivation of *Medusomyces gisevii* in all variants, in the presence and absence of bacterial cellulose (BC) in the culture medium, there was a decrease in pH and an increase in electrical conductivity values, the change of which was influenced by the nature of the nutrient medium extracts. The values of correlation coefficients in all variants were high and varied from -0.88 to -0.99. In the presence of BC there was a sharp decrease in pH and, accordingly, an increase in the electrical conductivity of the culture medium. The presence of BC contributed to the activation of the symbiotic community of microorganisms and manifested itself in a significant decrease in pH values by 22.0–24.3% and the increase in electrical conductivity by 106–169%. This effect is due to the fact that the presence of BC on the surface of the culture fluid promotes immobilization of microorganisms in the structure of the gel film, which ensures their availability to the nutrient substrate and the possibility of its further sequential conversion to acetic acid. The data obtained indicate that for the normal functioning of *Medusomyces gisevii*, bacterial cellulose is extremely necessary, which can serve as a consolidating matrix serving as a

place of joint metabolic activity of various types of micro-organisms.

Keywords: *Medusomyces gisevii*, Quorum sensing, bacterial cellulose, biofilms, culture media, a symbiotic community of microorganisms, conductivity, KIS-Iotnost environment

For citation: Rogozhin V.V., Rogozhin Yu.V. The effect of bacterial cellulose on the productivity of *Medusomyces gisevii*. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya I Biotekhnologiya* [Proceedings Chemistry and Biotechnology]. 2018. T. 8, N. 2. C. 77–85. (in Russian) DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-77-85

ВВЕДЕНИЕ

Medusomyces gisevii J. Lindau представляет собой сообщество микроорганизмов, состоящего преимущественно из различных видов бактерий и дрожжей. Основу *Medusomyces gisevii* составляет зооглея, представляющая слоистую биопленку, которая формируется и локализуется на поверхности культуральной жидкости [1]. В структуре зооглеи располагается колония уксуснокислых бактерий *Acetobacterium xylinum*, которые осуществляют синтез бактериальной целлюлозы, используя в процессе полимеризации моносахариды [2]. Культуральная жидкость и зооглея являются составными частями, где осуществляется совместная деятельность уксуснокислых бактерий и дрожжей. При этом дрожжи окисляют, находящиеся в среде углеводы, до этилового спирта и CO₂, а уксуснокислые бактерии завершают процесс окисления этанола до уксусной кислоты [3]. Последняя в процессе деятельности бактерий накапливается в культуральной среде, оказывает влияние на величину pH и электропроводность [4]. Закисление культуральной среды свидетельствует об активном расходовании питательного субстрата. Этот процесс зависит от температуры и присутствия в питательной среде различных экстрактов, с индивидуальным спектром биогенных молекул.

Состав симбиотического сообщества микроорганизмов может сильно варьироваться и зависит от состава питательных компонентов культуральной среды, наличия активаторов, ингибиторов и кислотности, а также места и времени культивирования *Medusomyces gisevii* [5].

Основу биопленки составляет бактериальная целлюлоза (БЦ), характеризующаяся высокой чистотой и отсутствием в своем составе лигнина, гемицеллюлозы и других примесей, которые присутствуют в растительной целлюлозе [6]. Поэтому биопленка может служить матрицей для иммобилизации различных неорганических соединений (ионов серебра, селена, магния, кобальта, марганца и др.), а также биогенных молекул (пептидов, аминокислот, белков, ферментов, витаминов, гормонов, антибиотиков и др.).

В составе биопленки кроме полисахаридов, могут содержаться липиды, витамины, белки, ферменты и другие биогенные молекулы. Спектр их очень разнообразен и зависит от видового состава симбиотического сообщества микроорганизмов [7]. Биогенные молекулы

БЦ находятся в гидратированном состоянии, так как около 88–98% объема биопленки занимает вода.

Внутренняя часть БЦ представляет собой многослойную структуру из волокон целлюлозы, в которой за счет диффузии могут перемещаться питательные субстраты, ферменты, регуляторные молекулы, бактерии, продукты метаболизма симбионта и кислород. В матриксе БЦ может формироваться индивидуальный видовой состав колониального сообщества микроорганизмов. В настоящее время установлено, что более 90% изученных видов таксономического домена *Bacteria* способны формировать биопленки [8]. Поэтому симбиотические сообщества микроорганизмов, деятельность которых осуществляется в структуре БЦ, могут представлять примитивную циркулирующую живую систему, отдаленно напоминающую организацию высших организмов, представленных совокупностью дифференцированных тканей, составляющих основу многоклеточного организма (Quorum sensing) [9]. В целом «quorum sensing» представляет собой механизм, который предназначен для выполнения согласованного действия симбиотического сообщества микроорганизмов. В симбиотическом организме «quorum sensing» выполняет роль регулятора качественного и количественного состава микроорганизмов, осуществляет контроль за протеканием метаболических процессов в сообществе и продуцированием сигнальных молекул, индуцирующих специфические действия бактерий и их межклеточные взаимодействия. В развитии симбиотического сообщества можно выделить несколько этапов:

- 1) первичное закрепление бактерий, синтезирующих БЦ, на поверхности культуральной жидкости, образование ассоциатов;

- 2) инициирование процесса биосинтеза БЦ, который вначале проявляется в формировании точечных структурных образований на поверхности питательной среды;

- 3) разрастание на поверхности среды точечных образований биоцеллюлозы в единую структуру, заполняющую всю поверхность культуральной среды;

- 4) формирование многослойного образования БЦ, в структуре которой появляются проводные каналы с заселенными в них микроорганизмами и различными биогенными молекулами;

- 5) осуществление активной согласованной

деятельности симбиотического сообщества микроорганизмов, продуцирующих в окружающую среду продукты своей жизнедеятельности.

В этой симбиотической системе наблюдается последовательное превращение метаболических субстратов и происходит накопление в среде конечных продуктов метаболизма микроорганизмов, в частности, органических кислот, среди которых преобладает уксусная кислота. В результате этих действий среда закисляется и активность симбионта понижается, изменяется и качественно-количественный состав симбионта.

Биопленка защищает симбионты от действия УФ облучения, закисления среды, осмотического шока, высыхания, действия антибактериальных средств и других физических, химических и биологических факторов, обеспечивая, таким образом, выживание бактерий в экстремальных условиях среды через состояние метаболического покоя. Фильтрующая способность биопленки способствует замедлению диффузии антибактериальных веществ в матрикс зооглеи [10].

Биосинтез бактериальной целлюлозы, в случае благоприятной температуры и насыщенности питательной среды, может инициироваться уже на вторые сутки культивирования *Medusomyces gisevii* и наиболее активно протекает в среднем в течение 7–10 сут [4]. Активная деятельность микроорганизмов может осуществляться в присутствии в среде различных углеводов: сахарозы, глюкозы, фруктозы, глицерина и др. Активаторами *Acetobacter xylinum* являются этанол, а также лимонная и аскорбиновая кислоты. Кроме того, активность уксуснокислых бактерий возрастает при наличии в питательной среде сульфата аммония, гидрофосфата натрия, сульфата магния и др. солей [11].

Качественно-количественный состав биогенных молекул биопленки обуславливает ее использование в медицинской, фармацевтической и косметологической практике. Так, биопленки насыщенные различными элементами и биогенными молекулами, могут использоваться для лечения ожогов и язв, а также послеоперационных, гнойных и травматических ран [12]. Поэтому биопленки с иммобилизованными веществами могут найти применение в космето-

логии, для оздоровления и восстановления эластичности кожи. Биоцеллюлоза находит широко применение в технических и химических производствах, в частности, в целлюлозно-бумажной, лакокрасочной и тонкой химической промышленности, электронике.

Культуральную жидкость используют в пищевой промышленности при производстве различных напитков [13], а также в качестве добавки при выпечке хлебобулочных изделий [14].

Широкое использование биопленок в различных производствах, обуславливает актуальность проводимых исследований по разработке технологий получения бактериальной целлюлозы, изучение ее физико-химических свойств и возможностей применения в различных отраслях народного хозяйства.

Цель – изучить роль бактериальной целлюлозы в деятельности симбиотического сообщества микроорганизмов *Medusomyces gisevii*.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования по определению электропроводимости (W) были выполнены на кондуктометре COM-100, фирмы НМ Digital (Южная Корея), а pH растворов измеряли на pH-метре ОР-211/1 (Венгрия). В экспериментах использовалась искусственная питательная среда объемом 0,4 л, с содержанием 25% инокулята. В качестве углевода в среду культивирования микроорганизмов добавляли сахар (100 г/л), а также экстракты черного или зеленого чаев (2 г/л) или кофе (2 г/л). Все экстракты были приготовлены на дистиллированной воде. Значения pH и W исходных растворов питательных сред и инокулятов показаны в таблице 1. Для калибровки кондуктометра использовали растворы KCl. В измерениях электропроводимости растворов использовались величины ppm (мг/л).

В качестве инокулятов использовались симбиотические культуры *Medusomyces gisevii*, выращенные на сахаре в соответствующем экстракте. Все исследования проводились при 25 °С в течение 30 и 60 сут. В первом варианте в течение 30 сут (зеленый чай 1, черный чай 1 и кофе 1) во время культивирования симбиотических культур формировалась бактериальная целлюлоза. Во втором варианте (60 сут: черный чай 1,1, кофе 2,1 и зеленый чай 3,1) в течение

Таблица 1
Величины pH и электропроводимости (W) исходных растворов и инокулятов
Table 1
pH and electroconductivity (W) of initial solutions and inoculums

Компонент среды	Исходные растворы		Инокуляты	
	pH	W	pH	W
Зеленый чай	6,10	43	2,20	1040
Черный чай	5,43	49	2,28	846
Кофе	5,3	92	2,21	1260

первых 30 сут нами три раза в сутки механически удалялась с поверхности культуральной жидкости бактериальная целлюлоза, а затем на 31–60 сут опыт продолжался как в первом варианте. Все биологические эксперименты были выполнены в четырех аналитических повторностях. Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью программы «Statistica».

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 1 и 2 показаны кривые изменения pH и электропроводимости от времени культивирования *Medusomyces gisevii*. Видно, что во всех вариантах в течение всего времени культивирования *Medusomyces gisevii* наблюдается понижение величин pH и возрастание значений электропроводимости, что обусловлено накоплением в культуральной среде органических

кислот, и прежде всего, уксусной кислоты.

В начальный период времени (2–12 сут) практически на всех кривых отмечается появление лаг-периодов. В этот интервал времени происходит активная деятельность уксуснокислых бактерий, осуществляющих биосинтез бактериальной целлюлозы. При этом на поверхности культуральной жидкости вначале происходит формирование структур биопленки в виде единичных точечных образований, которые через некоторое время сливаются, образуя единую поверхностную многослойную биопленку. Скорость образования бактериальной целлюлозы зависит от природы используемых экстрактов. Так, на рис. 1 и 2 видно, что в период формирования биопленки отмечается очень незначительное изменение величин pH и электропроводимости. Это обусловлено тем, что в этот период закисление среды осуществляется толь-

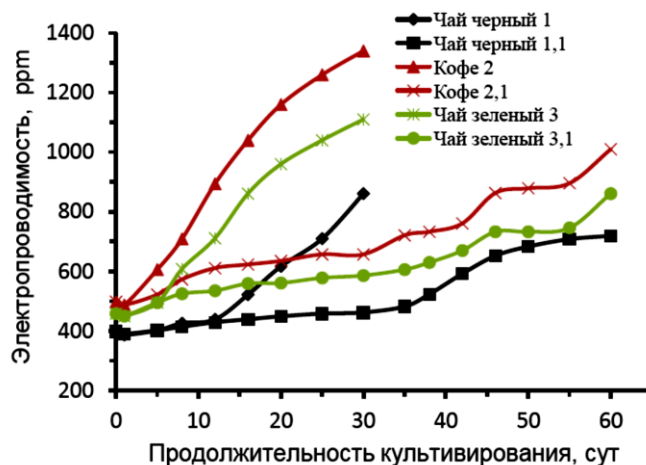


Рис. 1. Динамика электропроводимости от времени культивирования *Medusomyces gisevii* в различных питательных средах

Fig. 1. Electroconductivity changes versus time of *Medusomyces gisevii* cultivation in different nutrient medium

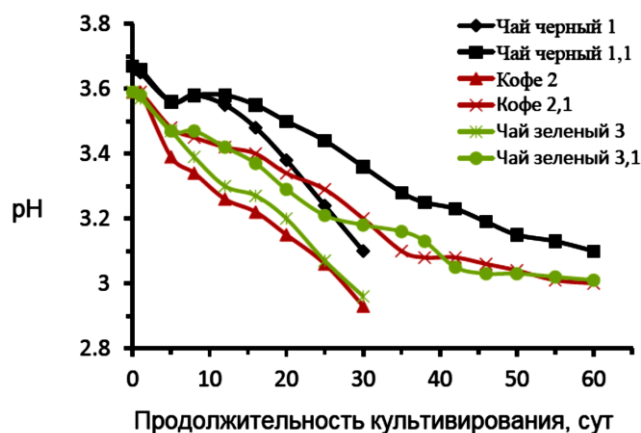


Рис. 2. Динамика pH от времени культивирования *Medusomyces gisevii* в разных питательных средах

Fig. 2. pH changes versus time of *Medusomyces gisevii* cultivation in different nutrient medium

ко за счет деятельности бактерий культуральной среды. Особенно это проявляется при использовании экстрактов черного чая. Активность молекул экстракта черного чая очень низка в начальный период, что наблюдается при формировании биопленки в течение первых 10–12 сут. При использовании экстрактов зеленого чая активный период образования биопленки сокращается до 4–5 сут, а при применении экстрактов кофе – до 2–3 сут.

Формирование биопленки очень важно для функционирования симбиотического сообщества микроорганизмов, так как бактериальная целлюлоза служит местом активной деятельности симбиотического сообщества микроорганизмов. Это видно из динамики pH и электро-

проводимости в течение первых 30 сут культивирования *Medusomyces gisevii* в условиях образования биопленки и при ее отсутствии, показанных на рисунках 1-6. Видно, что в присутствии бактериальной целлюлозы наблюдается резкое понижение величин pH в течение 30 сут с 3,59–3,67 до 2,98–3,10 (15–25,5%) и повышение электропроводности с 398–498 до 861–1340 ppm (216,3–242,4%). При этом наибольший эффект снижения pH отмечается при добавлении в питательную среду экстрактов кофе и зеленого чая. Это обусловлено тем, что в экстрактах кофе и зеленого чая содержится спектр веществ, способных активировать деятельность симбиотического сообщества микроорганизмов.

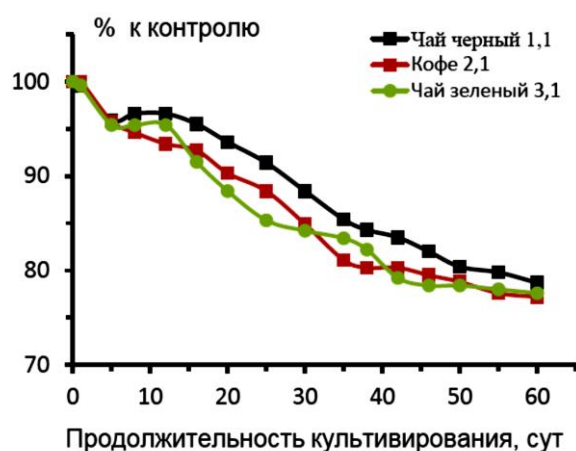


Рис. 3. Динамика процента к контролю величин pH от времени культивирования *Medusomyces gisevii* в условиях образования бактериальной целлюлозы

и в различных питательных средах

Fig. 3. pH changes (in percent to control) versus time of *Medusomyces gisevii* cultivation in condition of bacterial cellulose formation

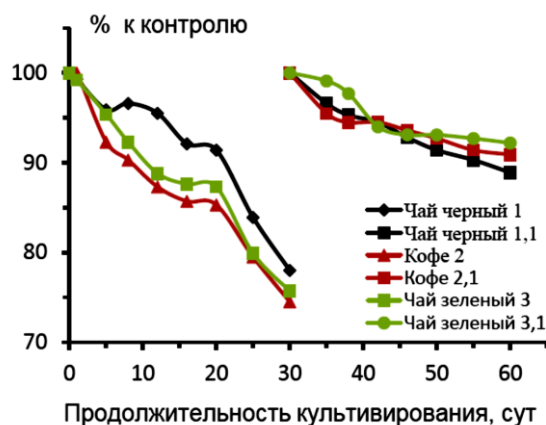


Рис. 4. Динамика процента к контролю величин pH от времени культивирования *Medusomyces gisevii* в условиях отсутствия (0–30 сут) и присутствия (30–60 сут) бактериальной целлюлозы, в различных питательных средах

Fig. 4. pH changes (in percent to control) versus time of *Medusomyces gisevii* cultivation in absence (0–30 days) and presence (30–60 days) of bacterial cellulose in different nutrient medium

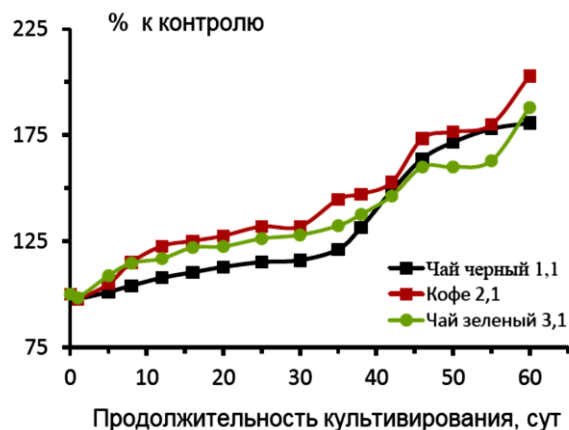


Рис. 5. Динамика процента к контролю величин электропроводимости от времени культивирования *Medusomyces gisevii* в условиях образования бактериальной целлюлозы и в различных питательных средах

Fig. 5. Electroconductivity changes (in percent to control) versus time of *Medusomyces gisevii* cultivation in condition of bacterial cellulose formation and in different nutrient medium

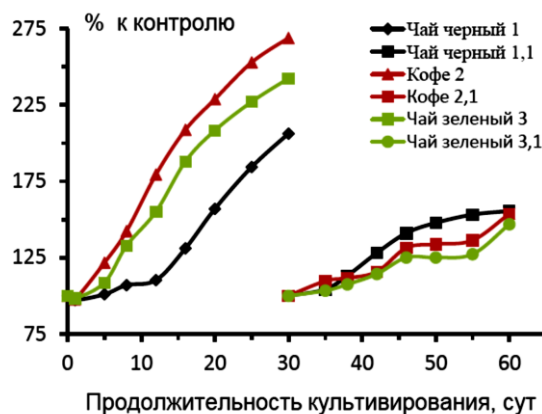


Рис. 6. Динамика процента к контролю величин электропроводимости от времени культивирования *Medusomyces gisevii* в условиях отсутствия (0–30 сут) и присутствия (30–60 сут) бактериальной целлюлозы, в различных питательных средах

Fig. 6. Electroconductivity changes (in percent to control) versus time of *Medusomyces gisevii* cultivation in absence (0–30 days) and presence (30–60 days) of bacterial cellulose in different nutrient medium

Таким образом, наличие бактериальной целлюлозы крайне важно для деятельности *Medusomyces gisevii*, так как наличие биопленки позволяет иммобилизовать на ее поверхности микроорганизмы и за счет создания условий для синхронизации деятельности и доступности субстратов активизировать функционирование симбиотического сообщества, способствуя возрастанию продуктивности микроорганизмов в 5,2–7,3 раза.

Особенно наглядно эффект действия бактериальной целлюлозы проявлялся, если в течение первых 30 сут с поверхности культуральной жидкости механическим путем удалялись фрагменты формирующейся биопленки (рис. 1–6). Видно, что в отсутствие бактериальной целлюлозы может происходить снижение

величин pH и повышение значений электропроводности, но изменение этих параметров происходит очень незначительно. При этом динамика кривых приобретает линейный характер. Так, в течение первых 30 сут в пробах без биопленки величины pH понижаются в экстракте зеленого чая с 3,67 до 3,36 (11,6%), в экстракте кофе – с 3,59 до 3,20 (15,1%), а экстрактах зеленого чая – с 3,59 до 3,18 (15,8%). Электропроводность в экстрактах черного чая возрастала всего на 16%, с 398 до 462 ppm, в экстрактах кофе – на 31,9% (с 498 до 657 ppm), а в экстрактах зеленого чая – на 27,9% (с 458 до 586 ppm). Низкая продуктивность *Medusomyces gisevii* обусловлена тем, что в отсутствие биопленки деятельность симбионта проявляется только за

счет высокоподвижных микроорганизмов культуральной жидкости. При этом подвижность микроорганизмов обусловлена диффузионным процессом в культуральной жидкости, что нарушает синхронность действия микроорганизмов и доступность питательных субстратов.

Кроме того, была изучена возможность восстановления процессов синтеза бактериальной целлюлозы в опытных образцах после первых 30 сут их культивирования без биопленки еще в течение 30 сут (рис. 1–6). Видно, что после 30 сут также наблюдается понижение величин pH и возрастание значений электропроводности. Однако в этих образцах процесс синтеза биопленки осуществляется симбионтом в условиях более кислой среды, что сильно сказывается на его деятельности. При этом величины pH экстрактов черного чая понижались с 3,36 до 3,10 (11,1%), экстрактов кофе – с 3,20 до 3,0 (9,1%), а экстрактов зеленого чая – с 3,18 до 3,01 (7,8%). Однако электропроводность этих образцов изменялась в ~1,4–1,6 раз. Так, в экстрактах черного чая отмечалось возрастание электропроводности с 462 до 719 ppm

(55,6%), экстрактов кофе – с 657 до 1010 ppm (53,7%), а экстрактов зеленого чая – с 586 до 861 ppm (46,9%).

Таким образом, высокая кислотность культуральной среды, обусловленная накоплением органических кислот, несколько понижает активность симбионта, но неспособна полностью подавить его деятельность.

Данные корреляционного анализа величин pH и электропроводности для культуральных жидкостей *Medusomyces gisevii*, которые содержались в различных питательных средах, показаны в табл. 2. Видно, что между величинами pH и электропроводности наблюдается взаимосвязь, проявляемая в обратной зависимости, характеризующая высокими значениями коэффициентов корреляции. Величины показателей корреляции свидетельствуют о том, что в процессе культивирования *Medusomyces gisevii* в культуральной среде накапливаются заряженные частицы, преимущественно карбоновые кислоты, возрастание которых проявляется в закислении среды, сопровождаемое понижением pH и увеличением электропроводности.

Таблица 2
Данные корреляционного анализа pH и электропроводности для культуральных жидкостей *Medusomyces gisevii* в различных питательных средах

Table 2
Correlation analysis of pH and electroconductivity of *Medusomyces gisevii* culture liquids in different nutrient medium

Параметр	Экстракт черного чая			Экстракт кофе			Экстракт зеленого чая		
	с БЦ 0–30 сут	без БЦ 0–30 сут	с БЦ 31–60 сут	с БЦ 0–30 сут	без БЦ 0–30 сут	с БЦ 31–60 сут	с БЦ 0–30 сут	без БЦ 0–30 сут	с БЦ 31–60 сут
Коэффициент корреляции	-0,94	-0,88	-0,99	-0,97	-0,93	-0,90	-0,95	-0,95	-0,97
Статистическая ошибка коэффициента	0,131	0,183	0,069	0,093	0,129	0,182	0,118	0,116	0,106
Достоверность корреляции	0,000019	0,00201	0,00001	0,00002	0,00017	0,002262	0,00009	0,00008	0,0001
Критерий Стьюдента	7,115	4,78	14,16	10,41	7,226	4,93	8,084	8,205	9,08

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время культивирования *Medusomyces gisevii* во всех вариантах, в условиях присутствия и отсутствия БЦ в культуральной среде, отмечается понижение величин pH и возрастание значений электропроводности, на изменение которых влияла природа экстрактов питательной среды. Причем между этими величинами всегда устанавливается обратная (отрицательная) связь. При этом меньшие значения pH соответствуют большим величинам электропроводности. Коэффициент корреляции приобретает отрицательные величины, значение которых варьируются в пределах от -0,88 до -0,99,

что является высоким по значению для биологических систем и может служить показателем их статистической достоверности.

В условиях присутствия БЦ проявляется резкое понижение pH и соответственно возрастание электропроводности. Таким образом, наличие БЦ способствует активизации деятельности симбиотического сообщества микроорганизмов, что проявляется в значительном снижении величин pH на 22,0–24,3% и возрастании электропроводности на 106–169%. Данный эффект обусловлен тем, что присутствие БЦ на поверхности культуральной жидкости способствует иммобилизации микроорганизмов в

структуре геля-пленки, обеспечивающей их доступность питательному субстрату и возможности его превращения в следующей последовательности (глюкоза→этанол→ацетальдегид→уксусная кислота). Присутствие в культуральной среде биопленки способствует возрастанию продуктивности сообщества микроорганизмов.

Высокая кислотность среды, обусловленная длительной деятельностью *Medusomyces gisevii*, хотя и понижает активность симбионта

после 30 сут культивирования, однако не может полностью подавить деятельность бактерий синтезирующих БЦ. Это наглядно было показано в течение 60 сут культивирования симбионта в условиях, когда первые 30 сут активность бактерий протекала в условиях отсутствия БЦ, а затем бактерии могли осуществлять биосинтез БЦ. При этом на втором этапе происходило незначительное понижение величин pH на 7,8–11,1% и возрастание значений электропроводимости на 46,9–55,6%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юркевич Д.И., Кутышенко В.П. Медузомицет (Чайный гриб): научная история, состав, особенности физиологии и метаболизма // Биофизика. 2002. N 6. С. 1116–1129.
2. Tabaii M.J., Emtiazi G. Comparison of bacterial cellulose production among different strains and fermented media // Applied food biotechnology. 2016. V. 3, N 1. P. 35–41.
3. Lin S.P., Calvar I.L., Catchmark J.M., Liu J.R., Demirci A., Cheng K.C. Biosynthesis, production and applications of bacterial cellulose // Cellulose. 2013. V. 20. P. 2191–2219.
4. Рогожин Ю.В., Рогожин В.В. Использование кондуктометрического метода для контроля за продуктивностью *Medusomyces gisevii* // Тр. XVI Междунар. научно-практич. конф. «Стратегические направления развития АПК стран СНГ». Барнаул, 2017. С. 518–520.
5. Даниелян Л.Т. Чайный гриб и его биологические особенности. М.: Медицина, 2005. 83 с.
6. Корчагина А.А. Альтернативное сырье для нитроцеллюлозы // Ползуновский вестник. 2016. Т. 1, N 4. С. 157–160.
7. Tokoh C., Takabe K., Sugiyama J., Fujita M. Cellulose synthesized by *Acetobacter xylinum* in the presence of plant cell wall polysaccharides // Cellulose. 2002. V. 9. P. 65–74.
8. Гостев В.В., Сидоренко С.В. Бактериальные биопленки и инфекции // Журнал инфектологии. 2010. Т. 2, N 3. С. 4–15.

9. Афиногенова А.Г. Даровская Е.Н. Микробные биопленки ран: состояние вопроса // Травматология и ортопедия России. 2011. N 3. С. 119–125.
10. Фролова А.В., Сенькович С.А., Плотникова Ф.В. Новые антимикробные агенты, способные разрушать матрикс биопленки // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2015. Т. 14, N 1. С. 41–45.
11. Chao Y., Sugano Y., Shoda M. Bacterial cellulose production under oxygen-enriched air at different fructose concentrations in a 50-liter, internal-loop airlift reactor // Appl Microbiol Biotechnol. 2001. V. 55. P. 673–679.
12. Винник Ю.С., Маркелова Н.М., Шишачкая Е.И., Кузнецов М.Н., Прудникова С.В., Соловьева Н.С. Применение раневого покрытия на основе целлюлозы у больных с гнойными заболеваниями мягких тканей // Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия Биология. 2016. N 9. С. 121–128.
13. Зайнуллин Р.А. Кунакова Р.В., Гаделева Х.К., Данилова О.А., Никитина А.А. Влияние условий культивирования чайного гриба (*Combuch*) на его функциональные свойства в пищевых профилактических напитках // Известия вузов, химическая и пищевая биотехнология. 2010. N 4. С. 29–31.
14. Пат. 2526651 РФ. Способ производства пшеничного хлеба / Р.А. Федорова, В.М. Пономарева, О.В. Головинская. Оpubл. 02.07.2014.

REFERENCES

1. Yurkevich D.I., Kutyshenko V.P. Medusomitset (Kombucha): scientific history, composition, features of physiology and metabolism. *Biofizika* [Biophysics]. 2002, no. 6, pp. 1116–1129. (in Russian)
2. Tabaii M.J., Emtiazi G. Comparison of bacterial cellulose production among different strains and fermented media. *Applied food biotechnology*. 2016, vol. 3, no. 1, pp. 35–41.
3. Lin S.P., Calvar I.L., Catchmark J.M., Liu J.R., Demirci A., Cheng K.C. Biosynthesis, production and applications of bacterial cellulose. *Cellulose*. 2013, vol. 20, pp. 2191–2219.
4. Rogozhin Yu.V., Rogozhin V.V. Using the conductometric method to control the productivity

- of *Medusomyces gisevii*. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG»* [Proc. XVI Intern. Sci. Pract. Conf. «Strategic directions of development of agroindustrial complex of the CIS countries»]. Barnaul, 2017, pp. 518–520. (in Russian)
5. Danielyan L.T. *Chayniy grib i ego biologicheskie osobennosti* [Tea fungus and its biological features]. Moscow: Meditsina Publ., 2005, 83 p.
6. Korchagina A.A. Alternative raw materials for nitrocellulose. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky Vestnik]. 2016, vol. 1, no. 4, pp. 157–160. (in Russian)
7. Tokoh C., Takabe K., Sugiyama J., Fujita

M. Cellulose synthesized by *Acetobacter xylinum* in the presence of plant cell wall polysaccharides. *Cellulose*. 2002, vol. 9, pp. 65–74.

8. Gostev V.V., Sidorenko S.V. Bacterial biofilms and infections. *Zhurnal infektologii* [Journal of Infectology]. 2010, vol. 2, no. 3, pp. 4–15. (in Russian)

9. Afinogenova A.G. Darovskaya E.N. Microbial biofilms of wounds: the state of the matter. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2011, no. 3, pp. 119–125. (in Russian)

10. Frolova A.V., Senkovich S.A., Plotnikova F.V. New antimicrobial agents capable of destroying the matrix of biofilm. *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii* [Bulletin of the Smolensk State Medical Academy]. 2015, vol. 14, no. 1, pp. 41–45. (in Russian)

11. Chao Y., Sugano Y., Shoda M. Bacterial cellulose production under oxygen-enriched air at different fructose concentrations in a 50-liter, inter-

nal-loop airlift reactor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2001, vol. 55, pp. 673–679.

12. Vinnik Yu.S., Markelova N.M., Shishatskaya E.I., Kuznetsov M.N., Prudnikova S.V., Solov'eva N.S. Application of wound coating on the basis of cellulose in patients with purulent soft tissue diseases. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta. Seriya Biologiya* [Journal of the Siberian Federal University. Series Biology]. 2016, no. 9, pp. 121–128. (in Russian)

13. Zainullin R.A. Kunakova R.V., Gadeleva Kh.K., Danilova O.A., Nikitin A.A. Influence of conditions of cultivation of a tea fungus (*Combucha*) on its functional properties in food preventive drinks. *Izvestiya vuzov. Khimicheskaya i pishchevaya biotekhnologiya* [Izvestiya Vuzov, chemical and food biotechnology]. 2010, no. 4, pp. 29–31. (in Russian)

14. Fedorova R.A., Ponomareva V.M., Golovinskaya O.V. *Sposob proizvodstva pshenichnogo khleba* [Method of production of wheat bread]. Patent RF, no. 2526651, 2014.

Критерии авторства

Рогожин В.В. и Рогожин Ю.В. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Рогожин В.В. и Рогожин Ю.В. имеют на статью авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ **Принадлежность к организации**

Рогожин Василий Васильевич
Якутская государственная
сельскохозяйственная академия
Д.б.н., профессор
vrogozhin@mail.ru

Рогожин Юрий Васильевич
Якутская государственная
сельскохозяйственная академия
Аспирант
vrogozhin@mail.ru

Поступила 18.07.2017

Contribution

Rogozhin V.V., Rogozhin Yu.V. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Rogozhin V.V., Rogozhin Yu.V. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

AUTHORS' INDEX **Affiliations**

Vasily V. Rogozhin
Yakut State Agricultural Academy
Doctor of Biology, Professor
vrogozhin@mail.ru

Yury V. Rogozhin
Yakut State Agricultural Academy
Postgraduate
vrogozhin@mail.ru

Received 18.07.2017