

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

SOIL SCIENCE



УДК 579.222.3

Оригинальное эмпирическое исследование

Изменение культивируемости почвенных бактерий при внесении ростовых факторов

Ф.Ю. Токарева , А.В. Горовцов 

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ mbflavia1999@mail.ru

Аннотация

Введение. В настоящее время культивированию в лабораторных условиях поддается около 1 % всех существующих бактерий. Отсутствие возможности получения чистых культур многих микроорганизмов создает серьезные трудности в фундаментальных и прикладных исследованиях. Особенно данная необходимость касается почвенных бактерий, в связи с богатым видовым разнообразием прокариот в данной природной среде. Вследствие данных фактов остро стоит вопрос поиска способов культивирования новых штаммов, в том числе разработка новых питательных сред и модификация существующих путем внесения ростовых факторов. Целью настоящей работы является изучение возможности повышения культивируемости бактерий путем внесения в среду R2A таких ростовых факторов, как гем и гуamat калия, а также замены агар-агара на желлановую камедь.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись почвы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Было исследовано влияние ростовых факторов на культивируемость почвенных бактерий, путем подсчета общего числа колоний на универсальной питательной среде, а также отдельного учета быстрорастущих и медленнорастущих штаммов. Обработка полученных данных проводилась в программе Statistica Star Soft.

Результаты исследования. Согласно полученным результатам, гуamat калия оказывает стимулирующее действие в низких концентрациях и ингибирующее в высоких. Гем увеличивает скорость быстрорастущих штаммов, однако одновременно с этим происходит подавление медленнорастущих бактерий. Желлановая камедь показала улучшение культивируемости медленнорастущих штаммов в одном из вариантов.

Обсуждение и заключение. В связи с неоднозначностью результатов исследования действия желлановой камеди и гема необходимы дальнейшие эксперименты с данными компонентами. В то же время, гуamat калия оказал стимулирующее действие на рост бактерий. В связи с полученными данными можно сделать вывод, согласно которому при внесении ростовых факторов станет возможно культивировать ранее некультивируемые почвенные бактерии. Таким образом, данная тема является перспективным направлением в экспериментальной микробиологии и требует дальнейших схожих исследований.

Ключевые слова: некультивируемые микроорганизмы, ростовые факторы, почвенные бактерии, агар R2A, гуamat калия, гем, желлановая камедь

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение к статье и указанные замечания, которые позволили повысить ее качество.

Для цитирования. Токарева Ф.Ю., Горовцов А.В. Изменение культивируемости почвенных бактерий при внесении ростовых факторов. *Продовольственная безопасность и биоэкономика*. 2026;1(1):33–41.

Changing the Cultivability of Soil Bacteria with the Addition of Growth Factors

Flaviya Yu. Tokareva , Andrey V. Gorovtsov 

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ mbflavia1999@mail.ru

Abstract

Introduction. Currently, approximately 1% of all known bacteria can be cultivated under laboratory conditions. The inability to obtain pure cultures of many microorganisms creates significant challenges for fundamental and applied research. This is particularly true for soil bacteria because of the high diversity of prokaryotic species in this environment. These findings highlight the need to develop methods for cultivating new strains, including the development of new culture media and modification of existing media by adding growth factors. The aim of this study is to investigate the possibility of increasing bacterial cultivability by adding growth factors such as heme and potassium humate to the R2A medium, as well as replacing agar-agar with gellan gum.

Materials and Methods. The study involved soils from anthropogenic landscapes in the Rostov Region. The effects of growth factors on the cultivability of soil bacteria were investigated by counting the total number of colonies on a universal culture medium and separately recording fast-growing and slow-growing strains. The data obtained were processed using Statistica.

Research Results. According to the results, potassium humate has a stimulating effect at low concentrations and an inhibitory effect at high concentrations. Heme increases the growth rate of fast-growing strains while simultaneously inhibiting slow-growing bacteria. Gellan gum improved the cultivability of slow-growing strains in one experimental variant.

Discussion and Conclusion. Given the ambiguous results regarding the effects of gellan gum and heme, further experiments with these components are needed. However, potassium humate stimulated bacterial growth. Based on these data, it can be concluded that the addition of growth factors may enable the cultivation of previously uncultivated soil bacteria. Thus, this topic is a promising area in experimental microbiology and requires further similar research.

Keywords: uncultivated microorganisms, growth factors, soil bacteria, R2A agar, potassium humate, heme, gellan gum

Acknowledgments. The authors thank the editorial board and the reviewers for their careful consideration of the manuscript and for their comments, which helped improve its quality.

For citation. Tokareva FYu, Gorovtsov AV. Changing the Cultivability of Soil Bacteria with the Addition of Growth Factors. *Food Security and Bioeconomy*. 2026;1(1):33–41.

Введение. В настоящий момент большинство микроорганизмов известно лишь по данным метагеномного анализа, благодаря которому было открыто большое количество неизвестных ранее групп бактерий. Метагеномика — раздел молекулярной генетики, изучающий генетический материал, полученный из образцов окружающей среды. Благодаря метагеномному анализу было выявлено значительное количество неизвестных ранее групп микроорганизмов на уровне филумов [1]. Для получения культур некультивируемых ранее микроорганизмов необходимо разрабатывать новые способы культивирования. На культивируемость микроорганизмов влияет множество факторов, таких как температура, влажность, pH, количество кислорода, состав питательных субстратов и так далее. Большинство микроорганизмов, особенно грамотрицательных, прекращают процессы, связанные с ростом и размножением из-за различных факторов окружающей среды. Такие микроорганизмы получили название некультивируемых форм [2]. Иногда в стрессовых ситуациях микроорганизмы переходят в некультивируемое состояние. Данный факт может представлять серьезную угрозу безопасности пищевых продуктов и здоровью населения, так как, несмотря на некультивируемость, клетки остаются жизнеспособными и могут размножаться [3]. В существующих на данный момент питательных средах может наблюдаться нехватка некоторых питательных веществ или быть соотношения, мешающие росту некоторых бактерий. Таким образом, при неблагоприятных условиях среды микроорганизм может переходить в некультивируемое состояние. Также при избытке питательных веществ наблюдается ускоренный рост быстрорастущих штаммов, которые перерабатывают и загрязняют метаболитами субстрат, что может ингибировать рост медленно растущих бактерий. Данные факты создают двоякую ситуацию: с одной стороны, питательных веществ в субстрате может не хватать, с другой — быть избыточное количество. Именно по данной причине в качестве базового субстрата была выбрана среда R2A — олиготрофная среда, предназначенная для культивирования многих групп микроорганизмов. В связи с олиготрофностью проще изучать действие ростовых факторов, поскольку среда не вызывает разрастания быстрорастущих групп бактерий.

На субстратах, содержащих большое количество питательных веществ, может происходить ингибирование медленнорастущих видов более быстрорастущими. Данное явление происходит вследствие того, что быстрорастущие бактерии перерабатывают большую часть питательного субстрата, а также вследствие чувства кворума. В ином случае, высокая концентрация питательных веществ в составе среды способна оказывать токсическое действие на олиготрофные группы бактерий.

Выбор таких ростовых факторов, как гуamat калия, гем обусловлен рядом причин. Гуминовые кислоты являются неотъемлемой частью большинства почв. В связи с тем, что в почве наблюдается наибольшее видовое разнообразие микроорганизмов, имеется предположение, согласно которому именно гуминовые вещества являются основным питательным компонентом для почвенной микробиоты. Гуamat калия также является одним из наиболее распространенных удобрений для растений. Вследствие данных фактов была выдвинута гипотеза о возможном стимулирующем действии названного вещества на бактерии. Отмечено, что гуматы в рекомендованных для промышленного применения концентрациях ингибируют рост *Pseudomonas* spp. и *Bacillus subtilis*. В то же время, при понижении концентрации ингибирование прекращалось [4].

Другой причиной, по которой гуamat был выбран в качестве ростового фактора, является способность данного соединения повышать высеваемость аминотрофов и олиготрофных групп микроорганизмов. Данный эффект может быть обусловлен тем, что эта группа микроорганизмов способна утилизировать многие низкомолекулярные органические вещества, образующиеся в ходе деятельности других групп микроорганизмов. На численность азотфиксирующих бактерий и актиномицетов обработка гуматами не оказала статистически значимого влияния [5].

Гуминовые вещества могут оказывать влияние не только на бактерии, но и на дрожжи *Trichosporon moniliforme*. Отмечается, что использование гуминовых веществ торфа дает большее время генерации и наибольший прирост биомассы [6]. В другой статье сказано об обнаружении генов деградации гуминовых кислот у штамма *Pseudomonas* sp., полученного из почв субарктической тундры [7].

Выбор гема для настоящего исследования обусловлен тем, что некоторые микроорганизмы обладают способностью перерабатывать прокариотический гем в эукариотический. Особенно данная способность характерна для патогенных микроорганизмов. Следовательно, при использовании гема в качестве добавки к питательным средам, гем может выступать в качестве компонента дыхательной цепи, что может усиливать метаболизм и ускорять рост бактерий на чашках Петри, а также способствовать появлению колоний труднокультивируемых и медленнорастущих штаммов. Имеется гипотеза, согласно которой гем может оказать стимулирующее действие на почвенные микроорганизмы, так как, согласно 10 литературным источникам, *Escherichia coli* способна поглощать гемин из окружающей среды при внесении данной добавки в питательную среду [8]. Также имеются данные, согласно которым гем применяется для восстановления угнетенных и поврежденных культур.

Помимо внесения ростовых факторов повысить высеваемость может замена агар-агара на альтернативные желирующие агенты, а именно- на желлановую камедь. Было установлено, что применение желлановой камеди при культивировании морских бактерий влияет на разнообразие культивируемых видов, способствуя росту видов, не поддающихся культивированию на субстратах на основе агара [9]. Высокая термостабильность желлановой камеди делает ее идеальной средой для роста нескольких термофилов, таких как 9 термофильные *Bacillus* sp., *Methanobacterium* sp. и *Methanobrevibacter* sp., а также бактерий, принадлежащих к роду *Thermotogales* [10].

Исходя из проанализированных литературных данных была выдвинута гипотеза о способности вышеописанных компонентов повышать высеваемость почвенных бактерий на среде R2A и поставлена цель протестировать влияние гумата калия, гема и желлановой камеди на общее число колоний почвенных бактерий. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: отобрать образцы почв с антропогенных ландшафтов г. Ростова-на-Дону, произвести посев на среду R2A с разными желирующими агентами и ростовыми факторами, учесть результаты посевов и статистически обработать полученные данные.

Материалы и методы. Объект исследования в настоящей работе — микробиом почв Ботанического сада Южного федерального университета, урбопочвы г. Ростова-на-Дону, почва с сельскохозяйственных полей окрестностей г. Ростова-на-Дону. Все исследованные почвы являются черноземом обыкновенным.

Отбор почвенных образцов проводился на пробных площадках методом конверта. Часть исследуемой территории характеризовалась однородным рельефом, однородной структурой почвы и растительным покровом. Одна пробная площадка размером 25 м закладывалась на площади 100 м². Далее на пробной площадке отбирались точечные пробы- материал, отобранный из одного слоя почвенного профиля, типичный для данного горизонта. Отбор точечных проб проводился из одного или нескольких слоев методом конверта: выкапывали шурф 0,3 м на 0,3 м, глубиной 0,2 м, поверхность стенок шурфа очищалась стерильным ножом. Далее из стенки вырезался почвенный образец, размер которого был обусловлен заданной навеской. 200 г почвы = 20 см × 3 см × 3 см; 500 г = 20 см × 5 см × 3 см. Далее составляли объединенную пробу путем смешивания нескольких точечных проб, которые были отобраны на одной площадке.

Для исследования влияния уплотнителей и добавочных компонентов в качестве базовой среды применялась среда R2A, разбавленная в 100 раз. Агар R2A — олиготрофная среда для учета микроорганизмов в условиях более длительной инкубации, по сравнению с другими средами общего назначения. Низкая концентрация пептона, глюкозы и дрожжевого экстракта препятствует подавлению медленно растущих групп бактерий быстро-растущими. В представленном исследовании был сделан выбор в пользу разбавленной олиготрофной среды с целью отслеживания улучшения культивируемости почвенных бактерий при внесении разнообразных добавок.

Экстракция гема из человеческой крови осуществлялась по следующей методике:

- 1) отделение эритроцитарной массы путем центрифугирования при 10000 оборотах в течение 20 минут;
- 2) гемолиз эритроцитов в дистиллированной воде;
- 3) отделение гема в подкисленном ацетоне: раствор гемолизированных эритроцитов смешивали с ацетоном в соотношении 1:4. Добавляли небольшое количество аскорбиновой кислоты. При дальнейшем центрифугировании происходило осаждение глобинов и выход гема в супернатант;
- 4) испарение ацетона на часовых стеклах;
- 5) отделение сухого осадка от часовых стекол и хранение в герметичной таре. В базовый субстрат были добавлены такие концентрации гема, как 25 мг/л и 75 мг/л.

Из литературных источников была получена информация, согласно которой гуamat калия может оказывать разнообразный эффект в зависимости от концентрации. Исходя из данного факта было принято решение провести серию экспериментов с высокими и низкими концентрациями исследуемого ростового фактора. 0,01 %; 0,02 %; 0,05 %; 0,1 %; 0,001 %; 0,0002 %; 0,001 %.

Учет колоний методом подсчета проводился на третьи, седьмые и десятые сутки. Это связано с тем, что различные группы бактерий имеют не одинаковую скорость роста, а ростовые факторы и желирующие агенты могут изменять не только количественный, но и качественный состав высеваемых микроорганизмов.

В программе Statistica 12 (StatSoft, США) был произведен дисперсионный анализ имеющихся данных, построены графики для оценки полученных результатов.

Результаты исследования. Результаты учета роста бактерий на желлановой камеди оказались неоднозначными. Исследование проводилось в разные сезоны- в марте, конце июня и середине октября. Был проведен отдельный учет общего числа колоний, а также колоний, выросших с 1 по 3 сутки (быстрорастущие) и с 3 по 10 сутки (медленнорастущие). Результаты учета общего числа колоний представлены на рис. 1.

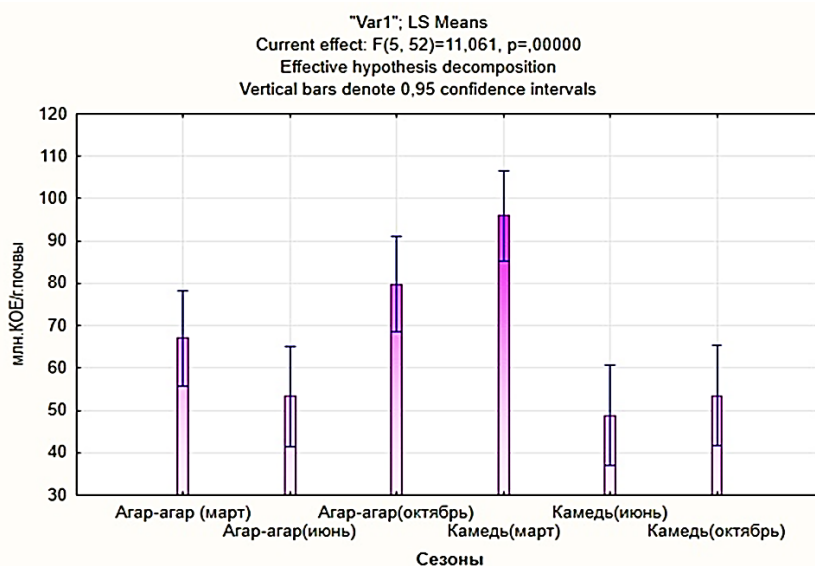


Рис. 1. Влияние желирующего агента на общее число колоний в разные сезоны

Согласно графику, результаты различались в зависимости от сезона. В марте наибольшее число колоний наблюдалось на среде с желлановой камедью, в октябре же микроорганизмы лучше росли на среде с агар-агаром, в июле не наблюдается статистически значимой разницы между разными желирующими агентами. Далее был проведен учет быстрорастущих штаммов (рис. 2).

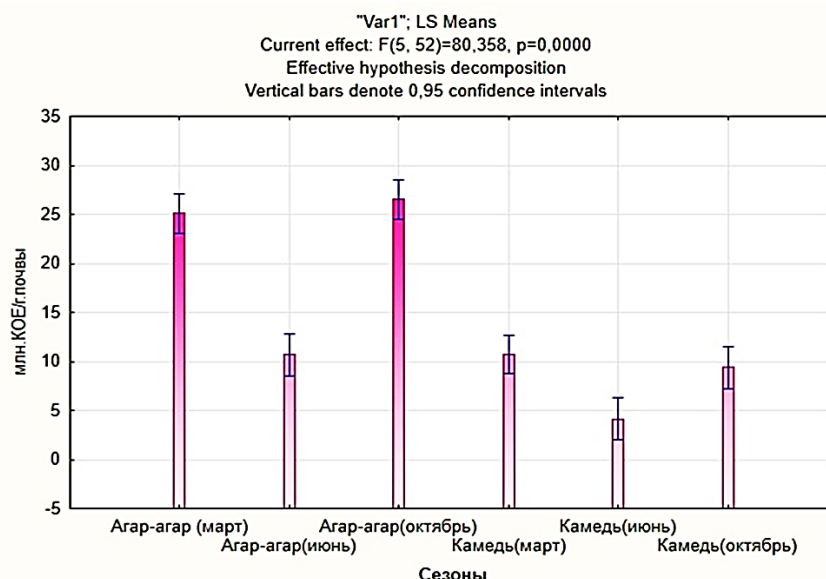


Рис. 2. Влияние желирующего агента на рост быстрорастущих штаммов в разные сезоны

Наибольший рост колоний наблюдался в октябре и марте. В июне почвы сильно дегидратированы, следовательно, численность колоний снижается. Предположительно, быстрорастущие штаммы являются зимогенными — требующими высоких концентраций питательного субстрата. В период активного естественного увлажнения наблюдается наибольшее поступление органических веществ, в этот период зимогенные штаммы преобладают в почве при достаточном увлажнении и обилии растительных остатков. Также согласно графику, желлановая камедь оказывает угнетающее действие на быстрорастущие штаммы.

Также был проведен учет медленнорастущих штаммов (с 3 по 10 сутки). Результаты данного эксперимента представлены на графике (рис. 3).

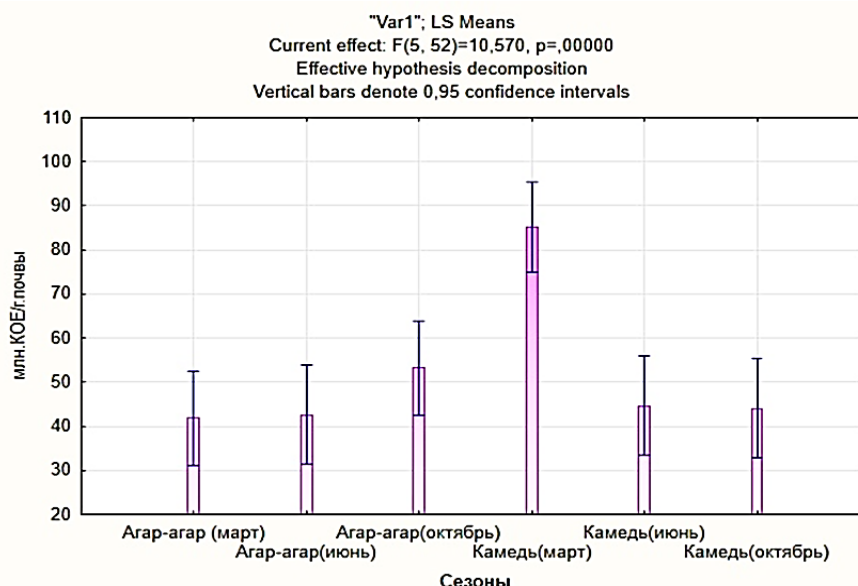


Рис. 3. Влияние желирующего агента на медленнорастущие штаммы

Как наглядно представлено на графике, желлановая камедь способствует улучшению культивируемости только в одном варианте. В остальных не наблюдается статистически значимой разницы. Исходя из полученных данных можно предположить, что медленнорастущие штаммы являются автохтонными- питающимися высоко-трансформированной почвенной органикой, вследствие чего их численность стабильнее, а сезонные колебания сглажены.

При добавлении в базовый субстрат высоких концентраций гумата калия были получены результаты, представленные на рис. 4.

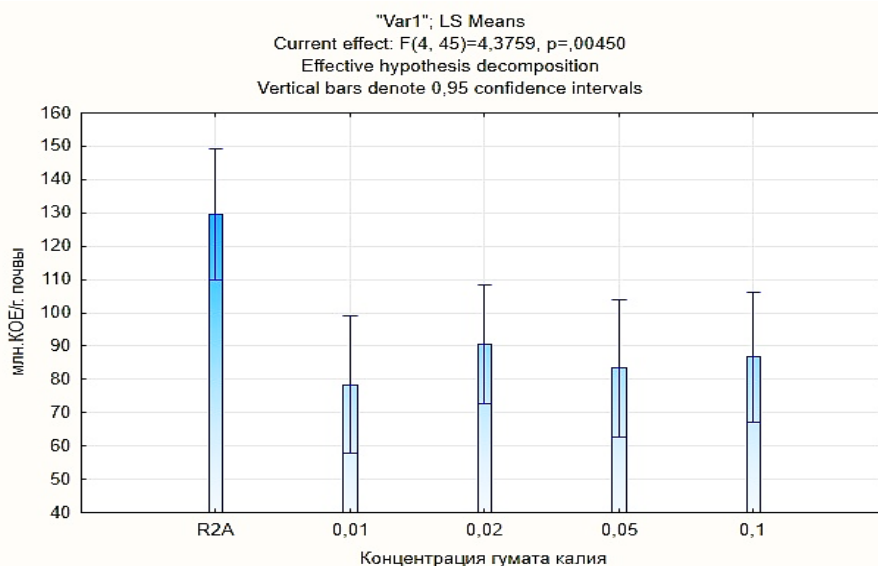


Рис. 4. Ингибирующее действие высоких концентраций гумата калия. Концентрация гумата калия выражена в г/литр

Согласно представленным на графике данным, все концентрации ингибируют рост колоний на чашках Петри. Результат подтверждает данные из литературных источников о схожем действии высоких концентраций гуматов. Вследствие присутствия повышенных концентраций питательных веществ в среде у некоторых микроорганизмов происходит разбалансировка метаболизма, что в конечном итоге может привести к гибели или снижению скорости роста.

Гумат калия показал наиболее эффективные результаты в концентрации 0,001 %, стимулируя рост как быстрорастущих, так и медленно растущих бактерий. Полученные результаты представлены на графике (рис. 5).

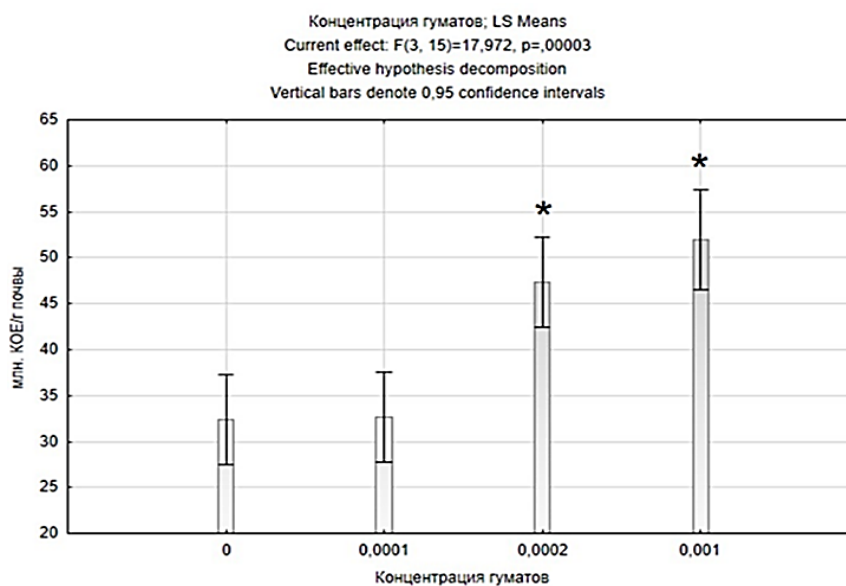


Рис. 5. Изменение численности колоний на чашках Петри при внесении гумата калия. Концентрация гумата калия выражена в г/литр

Концентрации ниже 0,001 % не оказывали значительного стимулирующего эффекта на рост почвенных бактерий.

При добавлении в агар R2A человеческого гема в концентрации 25 мг/л, 75 мг/л, были получены результаты, согласно которым гем не оказывает значительного влияния на общее число колоний, выделенных из урбопочв г. Ростова-на-Дону, однако стимулирует рост быстрорастущих штаммов, что показано на рис. 6.

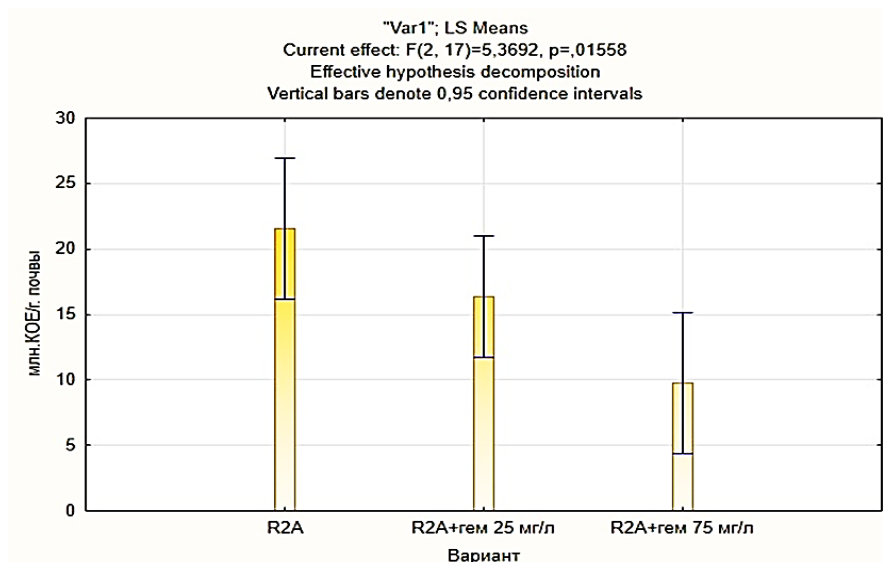


Рис. 6. Влияние гема на культивируемость бактерий урбопочв города Ростова-на-Дону, быстрорастущие штаммы

При учете медленнорастущих штаммов, напротив, происходит статистически значимое снижение численности бактерий. Очевидно, быстрорастущие штаммы перерабатывают большую часть субстрата и тем самым подавляют медленнорастущие.

Подобные данные были получены при исследовании влияния гема на сельскохозяйственную почву с полей окрестностей города Ростова-на-Дону. Результаты представлены на графике (рис. 7).

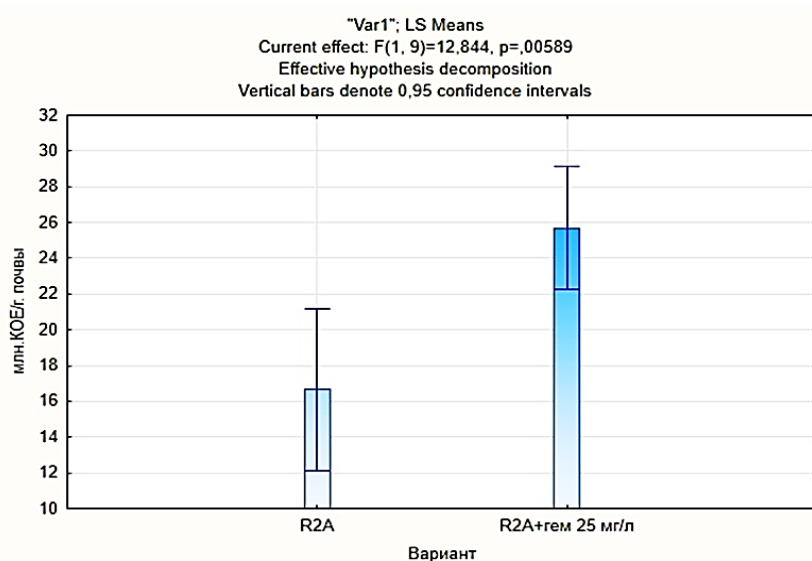


Рис. 7. Влияние гема на быстрорастущие штаммы из сельскохозяйственных почв

Аналогично урбопочвам при исследовании сельскохозяйственных почв добавление гема повышает культивируемость быстрорастущих штаммов, но в меньшей степени — 25 мг на литр. На медленнорастущие штаммы из данной почвы гем не оказывает статистически значимой разницы. Данный и предыдущий эксперименты, где выявлено положительное влияние гема на скорость роста быстрорастущих штаммов, подтверждают способность ростового фактора усиливать рост некоторых бактерий.

Обсуждение и заключение. В ходе серии экспериментов было выяснено, что при применении желлановой камеди в качестве альтернативного агар-агару железирующего агента в некоторых случаях наблюдается увеличение числа колоний почвенных бактерий на чашках Петри. Медленнорастущие штаммы бактерий показывают лучший рост на среде с желлановой камедью. Колонии быстрорастущих лучше высеваются на среде с агар-агаром. Однако в связи с неоднозначными результатами в некоторых экспериментах применение желлановой камеди требует дальнейших исследований с разными почвами и в разные сезоны.

Выбранные ростовые факторы действительно повышают культивируемость почвенных бактерий при добавлении в агар R2A. Гумат калия в концентрации 0,001 % статистически значимо повышает численность колоний

как быстрорастущих, так и медленно растущих бактерий, что подтверждает гипотезу о том, что гуминовые вещества оказывают стимулирующее действие на почвенную микробиоту, которая, в свою очередь, повышает количество питательных веществ в почве, что стимулирует рост растений.

Гем оказывает стимулирующее действие преимущественно на быстрорастущие штаммы микроорганизмов. При учете медленно растущих видов результаты не идентичны для двух почв: в случае почвы с сельскохозяйственных почв не наблюдается значительной разницы, в то время как при исследовании урбопочвы гем оказывает ингибирующее действие на рост колоний.

Исходя из всех результатов работы, исследованные ростовые факторы могут применяться в качестве стимуляторов культивируемости, однако требуются дальнейшие эксперименты в связи с неоднозначностью результатов для желатиновой камеди и гема.

Список литературы/References

1. Равин Н.В., Марданов А.В., Скрыбин К.Г. Метагеномика как инструмент изучения «некультивируемых» микроорганизмов. *Генетика*. 2015;51(5):519. <https://doi.org/10.7868/S0016675815050069>
Ravin NV, Mardanov AV, Skryabin KG. Metagenomics as a Tool for Studying "Uncultivated" Microorganisms. *Genetics*. 2015;51(5):519. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0016675815050069>
2. Веревкина М.Н. Особенности подбора питательных сред для микроорганизмов. В: Труды 19-ой международной научно-методической конференции по патологической анатомии животных «Актуальные вопросы патологии, морфологии и терапии животных», Ставрополь, 20–22 сентября 2017 года. Ставрополь: Издательство «АГРУС»; 2018. С. 400–402.
Verevkin MN. Features of the selection of nutrient media for microorganisms In: Proceedings of the 19th International Scientific and Methodological Conference on Animal Pathological Anatomy "Current Issues in Pathology, Morphology and Therapy of Animals", Stavropol, September 20–22, 2017. Stavropol: AGRUS Publishing House; 2018. P. 400–402. (In Russ.)
3. İzgördü ÖK, Darcan C, Kariptaş E. Overview of VBNC, a Survival Strategy for Microorganisms. *3 Biotech*. 2022;12(11):307. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03371-4>
4. Пищик В.Н., Бойцова Л.В., Воробьев Н.И. Влияние гуминовых веществ на растения и ризосферные микроорганизмы в растительно-микробных системах. *Агрохимия*. 2019;(3):85–95. <https://doi.org/10.1134/S0002188119030116>
Pishchik VN, Boytsova LV, Vorobyov NI. The Influence of Humic Substances on Plants and Rhizosphere Microorganisms in Plant-Microbial Systems. *Agrochemistry*. 2019;(3):85–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0002188119030116>
5. Горовцов А.В., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Попов А.Е. Влияние гуминовых веществ на микробиологическую активность почвы под плодовыми культурами. *Живые и биокосные системы*. 2016;(18):2. URL: <https://jbks.ru/archive/issue-18/article-2> (дата обращения: 14.05.2026).
Gorovtsov AV, Bezuglova OS, Polienko EA, Popov AE. The Influence of Humic Substances on the Microbiological Activity of the Soil Under Fruit Crops. *Living and Bio-Inert Systems*. 2016;(18):2. (In Russ.) URL: <https://jbks.ru/archive/issue-18/article-2> (accessed: 14.05.2026).
6. Гатаулина А.Р., Канарская З.А., Канарский А.В. Использование гуминовых веществ торфа в питательной среде для культивирования дрожжей. В: Труды XIII международной научно-практической конференции «Качество продукции, технологий и образования», Магнитогорск, 30 марта 2018 года. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова; 2018. С. 120–124.
Gataullina AR, Kanarskaya ZA, Kanarsky AV. The use of peat humic substances in a nutrient medium for yeast cultivation In: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference "Product, Technology and Education Quality", Magnitogorsk, March 30, 2018. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2018. P. 120–124. (In Russ.)
7. Kim D., Kim D, Park HJ, Sul WJ, Park H. Transcriptome Analysis of *Pseudomonas* sp. From Subarctic Tundra Soil: Pathway Description and Gene Discovery for Humic Acids Degradation. *Folia Microbiologica*. 2018;63:315–323. <https://doi.org/10.1007/s12223-017-0573-0>
8. Fyrestam J, Östman C. Determination of Heme in Microorganisms Using HPLC MS/MS and Cobalt (III) Protoporphyrin IX Inhibition of Heme Acquisition. In 44 *Escherichia Coli*. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2017;409(30):6999–7010. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0610-5>
9. Rygaard AM, Thøgersen MS, Nielsen KF, Gram L, Bentzon-Tilia M. Effects of Gelling Agent and Extracellular Signaling Molecules on the Culturability of Marine Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 2017;83(9):e00243–17 <https://doi.org/10.1128/AEM.00243-17>
10. Liu YF, Yang L, He QP, Xu YL, Zhu YT, Mi YL. Gelling and Reducing Agents are Potential Carbon and Energy Sources in Culturing of Anaerobic Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*. 2025;91(3):e0227624

Об авторах:

Флавия Юрьевна Токарева, магистрант кафедры биохимии и микробиологии Академии биологии и медицины Южного федерального университета (344090, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1), [ORCID](#), mbflavia1999@mail.ru

Андрей Владимирович Горовцов, кандидат биологических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой биохимии и микробиологии Академии биологии и медицины Южного федерального университета (344090, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), gorovtsov@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Ф.Ю. Токарева: проведение посевов, обработка полученных данных, написание текста статьи.

А.В. Горовцов: научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Flavia Yu. Tokareva, Master's student in the Department of Biochemistry and Microbiology of the Academy of Biology and Medicine of the Southern Federal University (344090, Russian Federation, Rostov-on-Don, Stachki Ave., 194/1), [ORCID](#), mbflavia1999@mail.ru

Andrey V. Gorovtsov, PhD in Biology, Associate Professor, Acting Head of the Department of Biochemistry and Microbiology at the Academy of Biology and Medicine of the Southern Federal University (194/1 Stachki Ave., Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), gorovtsov@gmail.com

Author Contributions:

FYu Tokareva: conducting sowings, processing the obtained data, writing the text of the article.

AV Gorovtsov: scientific supervision, analysis of research results, revision of text, correction of conclusions.

Conflict of interest statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Поступила в редакцию/Received 16.05.2026

Поступила после рецензирования/Reviewed 30.05.2026

Принята к публикации/Accepted 14.06.2026