

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИМЕТИКОНА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

DOI: 10.17691/stm2023.15.1.02

УДК 579:615.454

Поступила 12.10.2022 г.



Т.А. Савинова, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии;  
Ю.А. Бочарова, к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории молекулярной микробиологии;  
Н.А. Маянский, д.м.н., профессор РАН, зав. Центром лабораторной диагностики  
Российской детской клинической больницы;  
И.В. Чеботарь, д.м.н., зав. лабораторией молекулярной микробиологии

Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова,  
117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, 1

Поиск новых модификаций питательных сред, направленный на пролонгацию культивирования, является необходимым условием прогресса микробиологической диагностики.

**Цель исследования** — оценить возможности использования диметикона (полидиметилсилоксана) в качестве барьера между поверхностью агара и атмосферой, предотвращающего высыхание плотной питательной среды и обеспечивающего сохранение ее полезных свойств.

**Материалы и методы.** Изучали динамику потери воды (массы) питательными средами, применяемыми в микробиологии, и влияние на этот процесс диметикона, который наслаивали на поверхность питательной среды. Исследовали влияние диметикона на рост и размножение быстрорастущих (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium, *Burkholderia cenocepacia*) и медленнорастущих (*Mycobacterium avium*) бактерий, а также на подвижность бактерий (*Pseudomonas aeruginosa* и *Escherichia coli*) в полужидких агарах.

**Результаты.** Динамика потери воды питательными средами показала, что через сутки снижение массы всех сред без диметикона (контроль) было статистически значимым ( $p < 0,05$ ), через 7–8 сут они теряли 50% массы, через 14 сут — примерно 70%. Масса сред под диметиконом на протяжении всего срока наблюдения существенно не снижалась. Показатели роста быстрорастущих бактерий (*S. aureus*, *E. coli*, *S. Typhimurium*, *B. cenocepacia*) на контрольных питательных средах без наслоения какой-либо субстанции и на питательных средах под диметиконом не имели статистически значимых различий. Видимый рост *M. avium* на шоколадном агаре в контроле регистрировали на 19-е сутки, под диметиконом — на 18–19-е сутки. Количество колоний через 19 сут культивирования на среде под диметиконом примерно в 10 раз превышало контрольные показатели. Показатели подвижности *P. aeruginosa* и *E. coli* на полужидком агаре под диметиконом через 24 ч были значительно выше, чем в контрольных условиях ( $p < 0,05$  в обоих случаях).

**Заключение.** Исследование подтвердило выраженные ухудшения свойств питательных сред в условиях пролонгированной инкубации. Предлагаемая технология защиты ростовых свойств питательных сред при помощи диметикона показала позитивные результаты.

**Ключевые слова:** рост и размножение бактерий; подвижность бактерий; питательные среды; культивирование микроорганизмов; диметикон.

**Как цитировать:** Savinova T.A., Bocharova Y.A., Mayansky N.A., Chebotar I.V. Application of dimethicone to prevent culture media from drying in microbiological diagnostics. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2023; 15(1): 14, <https://doi.org/10.17691/stm2023.15.1.02>

Для контактов: Чеботарь Игорь Викторович, e-mail: nizarnn@yandex.ru

## Application of Dimethicone to Prevent Culture Media from Drying in Microbiological Diagnostics

**T.A. Savinova**, PhD, Leading Researcher, Laboratory of Molecular Microbiology;  
**Y.A. Bocharova**, MD, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Molecular Microbiology;  
**N.A. Mayansky**, MD, DSc, Professor of the Russian Academy of Sciences,  
 Head of the Center for Laboratory Diagnostics, Russian Children Clinical Hospital;  
**I.V. Chebotar**, MD, DSc, Head of the Laboratory of Molecular Microbiology

Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovityanova St., Moscow, 117997, Russia

The search for novel modifications of culture media aimed at culture prolongation is a prerequisite for microbiological diagnostic progress.

**The aim of the study** was to assess the possibilities of applying dimethicone (polymethylsiloxane) as a barrier between the agar surface and atmosphere to prevent drying of solid and semisolid culture medium providing the retention of its useful properties.

**Materials and Methods.** We studied the dynamics of water (volume) loss of culture media used in microbiology, and the effect of dimethicone on the process. Dimethicone was arranged in layers on culture medium surface. The effect of dimethicone on growth and generation of fast-growing (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium, *Burkholderia cenocepacia*) and slow-growing (*Mycobacterium avium*) bacteria was studied, as well as on bacterial mobility (*Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*) in semisolid agars.

**Results.** The dynamics of water loss in culture media showed the weight loss in all media without dimethicone (control) in 24 h to be statistically significant ( $p < 0.05$ ); 7–8 days later, they lost 50% of weight, and 14 days later they lost approximately 70%. The weight of media under dimethicone underwent no significant changes during the observation period. Growth index of fast-growing bacteria (*S. aureus*, *E. coli*, *S. Typhimurium*, *B. cenocepacia*) on control culture media without applying any substance, and on culture media under dimethicone had no significant differences. Visible *M. avium* growth on chocolate agar in controls was recorded on day 19, under dimethicone — on days 18–19. The number of colonies on culture day 19 under dimethicone tenfold exceeded the control values. The mobility indices of *P. aeruginosa* and *E. coli* on semisolid agar under dimethicone 24 h later were significantly higher than under control conditions ( $p < 0.05$  in both cases).

**Conclusion.** The study confirmed marked deterioration of culture media properties under prolonged cultivation. The suggested protection technology of culture media growth properties using dimethicone showed beneficial effects.

**Key words:** bacteria growth and generation; bacterial mobility; culture media; microorganism cultivation; dimethicone.

### Введение

Верная идентификация возбудителя (или возбудителей) — важнейшее условие для успешной диагностики и терапии заболеваний инфекционной природы. Качество микробиологической диагностики определяется полнотой видового спектра микроорганизмов, обнаруженных при исследовании биологического материала. Полнота выявления микробов зависит не только от корректного подбора питательных сред, но и от условий культивирования, к которым относятся температура, газовый состав атмосферы и длительность. Особое значение эти факторы приобретают в случае пролонгированного культивирования микроорганизмов, которое необходимо для качественной диагностики некоторых инфекционных заболеваний.

Патогены человека можно условно разделить на быстрорастущие и медленно растущие. Первоначально такое деление было предложено для нетуберкулезных микобактерий во второй половине

XX в. [1]. Считается, что к медленно растущим относятся бактерии, которые дают видимый рост в сроки, превышающие 7 сут. Существуют и другие трактовки термина «медленный рост», основанные на определении скорости размножения клеток в жидкой среде. Однако в клинической практике методы измерения скорости размножения в бульоне применяются нечасто, поэтому для медицины более актуальными являются методы культивирования на конвенциональных питательных средах. В настоящее время термин «медленно растущие» применяется не только к микобактериям, но и к бактериям из других таксонов. Например, бактерии *Mycoplasma spp.* дают видимый рост на агаризованных средах в сроки до 14 дней [2]. Более того, медленный рост может быть свойством штаммов внутри вида, принадлежащего к типовым быстрорастущим бактериям. Примерами таких штаммов могут быть различные формы бактерий со сниженным или остановленным метаболизмом, являющиеся продуктом адаптации к антимикробным препаратам [3].

Полноценное выявление полного спектра присутствующих в материале бактерий на питательных средах может потребовать длительного культивирования. Кроме того, пролонгированная инкубация используется в ряде научных методик, например при изучении подвижности флагеллярных бактерий в полужидких агарх.

На практике длительное культивирование на плотных питательных средах осложняется техническими трудностями. Главная из проблем — высыхание плотной питательной среды, происходящее в результате синерезиса (или потери гелем воды), приводящего к уменьшению объема и ухудшению ростовых качеств среды. Высыхание может быть причиной искажения результатов микробиологического анализа [4], поэтому для длительного культивирования обычно применяют среды с влагоудерживающими компонентами (глицерин, белки в высокой концентрации и др.) либо проводят культивирование в условиях высокой влажности [5]. Мы считаем наиболее перспективными для предотвращения высыхания плотных питательных сред подходы, основанные на создании блокирующих испарение барьеров между поверхностью агара и атмосферой.

**Цель настоящей работы** — оценить возможности использования диметикона (полидиметилсилоксана) в качестве барьера между поверхностью агара и атмосферой, предотвращающего высыхание плотной питательной среды и обеспечивающего сохранение ее полезных свойств, в целях повышения качества микробиологической диагностики.

## Материалы и методы

**Дизайн исследования.** Исследование включало четыре этапа. На первом этапе изучали динамику потери воды (массы) питательными средами, часто применяемыми в микробиологической практике, а также влияние на этот процесс гидрофобной жидкости диметикона, который наслаивали на поверхность питательной среды. Второй этап — поиск подтверждений того, что диметикон не оказывает подавляющего влияния на рост и размножение актуальных быстрорастущих бактерий (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium, *Burkholderia cepacia*) на конвенциональных плотных питательных средах, включая селективные и хромогенные агары. На третьем этапе исследовали возможности роста и размножения медленно растущих бактерий (на модели *Mycobacterium avium*) в условиях длительного культивирования под диметиконом. В ходе четвертого этапа оценивали влияние диметикона на подвижность бактерий (*Pseudomonas aeruginosa* и *Escherichia coli*) в полужидких агарх.

**Оценка динамики потери воды питательными средами.** Потери воды оценивали путем определения изменения массы для сред Эндо (Liofilchem S.r.l., Италия), UriSelect 4 Agar (Bio-Rad Laboratories Inc.,

США), CHROMagar B. cepacia (CHROMagar, Франция), шоколадного агара на основе среды Левинтала (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., Индия). На поверхность питательных сред в чашке Петри диаметром 90 мм наслаивали по 9,0 мл диметикона (XIAMETER™ PMX-200 Silicone Fluid 350 cSt; Dow, США). В качестве контроля использовали нативные питательные среды без наслоения какой-либо субстанции. Первое измерение массы питательной среды проводили через 6 ч после ее приготовления, последующие измерения — через каждые 24 ч в течение 14 сут. Чашки со средами при этом хранились в термостате при 35°C. Результаты выражали в виде процента от массы среды, полученной при первом взвешивании.

**Бактериальные штаммы.** В исследовании использовали референсные штаммы из Американской коллекции типовых культур (American Type Culture Collection — ATCC): *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium (ATCC 14028), *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213). Штамм *Burkholderia cepacia* 182/2 имел клиническое происхождение, его геном был зарегистрирован в базе данных GenBank (accession number JAKCPP000000000). Штамм *Mycobacterium avium* 018 был клиническим изолятом, видовая принадлежность которого подтверждена при помощи MALDI-TOF-масс-спектрометрии (станция Microflex LT, программное обеспечение flexAnalysis 3.0 и MALDI Biotyper 3.0 Offline Classification; Bruker Daltonik GmbH, Германия).

**Посев и культивирование.** *S. aureus* и *E. coli* культивировали в смешанной культуре на среде UriSelect 4 Agar в течение 24 ч. *E. coli* и *S. Typhimurium* культивировали в смешанной культуре на среде Эндо в течение 24 ч. *B. cepacia* 182/2 культивировали на среде CHROMagar B. cepacia в течение 48 ч. *M. avium* 018 культивировали на шоколадном агаре до появления колоний, видимых невооруженным глазом, но не более 20 сут.

Для посева использовали суспензии бактерий, стандартизированные по оптической плотности. Для этого суспензии с мутностью 0,5 по McFarland разводили в 10 000 раз изотоническим раствором натрия хлорида. Посев проводили на чашки Петри (диаметр — 90 мм) при помощи автоматического устройства посева клеточных культур EasySpiral® Pro (Interscience, Франция) в режиме экспоненциальной спирали и дозирования по 50,0 мкл. После посева чашки в течение 15 мин выдерживали при комнатной температуре. Затем на центральную часть поверхности питательной среды наслаивали 9,0 мл диметикона, который равномерно растекался по всей поверхности чашки; толщина слоя диметикона в итоге составляла примерно 1,5 мм.

В качестве контроля использовали: 1) чашки с посевом без наслоения какой-либо субстанции (далее — контроль); 2) питательную среду, на которую аналогично диметикону наслаивали минеральное

масло (Microgen Bioproducts Ltd., Великобритания). Культивировали в естественной атмосфере при 35°C. Каждый эксперимент повторяли в триплетах не менее трех раз.

**Исследование влияния диметикона на подвижность бактерий.** Влияние диметикона на подвижность бактерий оценивали по изменению площади роста *E. coli* и *P. aeruginosa* на полужидком агаре. Основу полужидкого агара составлял бульон Difco LB Broth, Lennox (Becton Dickinson and Company, США), содержащий 0,26% бактериологического агара (Liofilchem S.r.l., Италия). В центр чашки Петри диаметром 90 мм с 25,0 мл полужидкого агара уколочком вводили 0,1 мл взвеси бактерий (*E. coli* или *P. aeruginosa*) с концентрацией примерно  $2 \cdot 10^3$  кл./мл. На центральную часть поверхности питательной среды наслаивали 9,0 мл диметикона, в качестве контроля использовали образцы без наслаивания какой-либо субстанции.

**Оценка результатов.** Результаты роста *S. aureus*, *E. coli*, *S. Typhimurium* рассматривали через 24 ч, *B. ceposerasia* 182/2 — через 48 ч. Рост *M. avium* регистрировали каждые 24 ч до появления видимого роста, при обнаружении видимых колоний выполняли их подсчет.

Оценку подвижности *E. coli* и *P. aeruginosa* проводили через 24 ч на основе определения площади их роста.

**Статистический анализ данных** выполняли в программе SPSS 20.0 (IBM SPSS Statistics, США). Оценку характера распределения данных проводили на основе критерия Шапиро–Уилка. В случае нормального распределения определяли среднее арифметическое и стандартное отклонение ( $M \pm \sigma$ ). Если распределение отличалось от нормального, средние значения характеризовали в виде медианы и значений 25-го и 75-го квартилей ( $Me$  [25%; 75%]), для определения статистической значимости различий использовали U-тест Манна–Уитни. Значения  $p \leq 0,05$  расценивали как показатель статистической значимости различий.

## Результаты

Динамика потери воды питательными средами отображена в табл. 1. Уже через сутки снижение массы для всех сред без диметикона (контроль) было статистически значимым ( $p < 0,05$ ). На 7–8-е сутки среды в контрольных экспериментах теряли 50% массы. Через 14 сут наблюдения масса контрольных сред уменьшилась примерно на 70%. Масса сред под диметиконом на протяжении всего срока наблюдения существенно не снижалась, изменяясь лишь в конце срока наблюдения не более чем на 3% ( $p > 0,05$ ).

Показатели роста быстрорастущих бактерий (*S. aureus*, *E. coli*, *S. Typhimurium*, *B. ceposerasia* 182/2) на контрольных питательных средах без наслаивания какой-либо субстанции и на питательных средах

Таблица 1

Динамика потери воды питательными средами

| Тип среды, условия эксперимента | Через 6 ч | Масса питательной среды (процент от массы среды при первом взвешивании, Мг±σ) на разных сроках хранения (сутки) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |
|---------------------------------|-----------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|                                 |           | 1-е   | 2-е       | 3-и       | 4-е       | 5-е       | 6-е       | 7-е       | 8-е       | 9-е       | 10-е      | 11-е      | 12-е      | 13-е      | 14-е     |
| Эндо                            | Контроль  | 94,7±0,8  | 85,8±1,2  | 77,6±2,3  | 70,8±3,7  | 64,4±3,6  | 59,4±3,3  | 53,9±4,3  | 50,4±0,7  | 45,9±1,7  | 40,8±1,4  | 36,0±1,7  | 33,5±1,6  | 32,1±0,5  | 31,4±0,3 |
|                                 | Диметикон | 100,0±0,1   | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,2 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,3 | 100,0±0,3 | 100,0±0,4 | 100,0±0,3 | 98,1±1,3 |
| UriSelect 4 Agar                | Контроль  | 95,2±0,9  | 86,3±1,1  | 79,5±2,4  | 73,2±4,9  | 67,1±5,3  | 61,5±3,0  | 55,4±3,3  | 49,9±4,0  | 44,4±4,0  | 39,0±2,7  | 34,8±2,2  | 30,2±0,2  | 29,4±0,3  | 28,7±0,1 |
|                                 | Диметикон | 100,0±0,1   | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,3 | 100,0±0,3 | 100,0±0,8 | 98,8±1,5  | 98,0±1,0  | 97,1±1,7 |
| CHROMagar B. seracia            | Контроль  | 94,4±0,7  | 87,4±1,3  | 80,7±3,4  | 74,4±5,3  | 68,0±5,3  | 62,7±4,2  | 57,2±4,4  | 52,4±3,4  | 46,8±3,3  | 40,5±2,8  | 34,4±2,3  | 32,2±1,0  | 30,9±0,5  | 30,5±0,3 |
|                                 | Диметикон | 100,0±0,1   | 100,0±0,1 | 100,0±0,2 | 100,0±0,2 | 100,0±0,2 | 100,0±0,2 | 100,0±0,2 | 100,0±0,2 | 100,0±0,2 | 100,0±0,9 | 100,0±1,5 | 99,2±1,0  | 99,0±0,9  | 99,2±1,3 |
| Шоколадный агар                 | Контроль  | 94,8±0,3  | 90,4±1,2  | 86,5±5,4  | 80,5±7,4  | 74,6±6,9  | 68,2±6,4  | 62,2±5,6  | 56,0±5,4  | 48,1±4,2  | 42,2±4,3  | 36,1±3,1  | 34,1±1,3  | 29,9±0,8  | 29,2±0,4 |
|                                 | Диметикон | 100,0±0,1   | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,1 | 100,0±0,2 | 100,0±0,4 | 100,0±0,4 | 98,1±1,5  | 98,1±1,4  | 97,4±1,2 |

под диметиконом не имели статистически значимых различий (табл. 2).

Типовые изображения роста быстрорастущих бактерий в контроле и под диметиконом показаны на рисунке.

В экспериментах, когда в качестве контроля использовали среду с наслоением минерального масла, было установлено, что это масло полностью блокирует рост бактерий: признаков появления колоний *S. aureus*, *E. coli* и *S. Typhimurium* на питательных средах не наблюдалось в течение 24 ч, *B. ceposerasia* 182/2 — в течение 48 ч, *M. avium* 018 — в течение 20 сут.

Через 7 сут на контрольных чашках с посевами

*M. avium* без наслоения какой-либо субстанции появились видимые признаки высыхания шоколадного агара. Видимый рост *M. avium* в контроле регистрировали на 19-е сутки. На агаре под диметиконом видимый рост появлялся на 18–19-е сутки. Количество колоний через 19 сут культивирования на среде под диметиконом примерно в 10 раз превышало контрольные показатели (см. табл. 2).

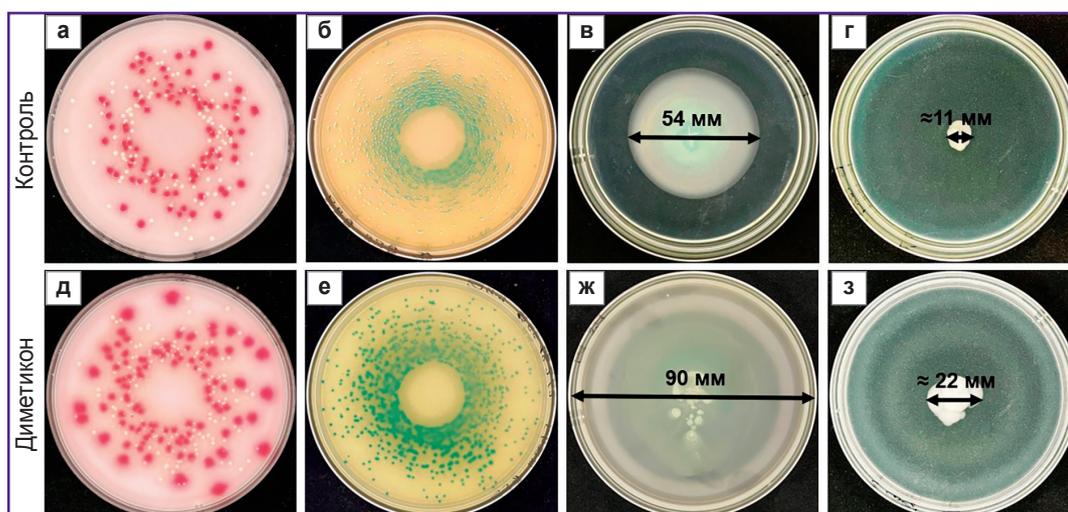
Площадь роста *P. aeruginosa* на полужидком агаре в контроле через 24 ч составляла  $22,1 \pm 9,3$  см<sup>2</sup>, под диметиконом поверхность чашки Петри (63,6 см<sup>2</sup>) зарастала полностью (рисунок, в, ж). Значения имели статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ). Площадь

Таблица 2

**Показатели роста бактерий на плотных питательных средах без диметикона (контроль) и с его наслоением**

| Вариант посева   | Условия эксперимента | Вид                   | Количество колоний, Ме [25%; 75%] | Статистическая значимость различий с контролем |
|--|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|
| Смешанная культура <i>E. coli</i> (ATCC 25922) + <i>S. aureus</i> (ATCC 292130) на среде UriSelect 4 | Контроль             | <i>E. coli</i>        | 87 [75; 115]                      | NA   |
|  |                      | <i>S. aureus</i>      | 89 [73; 117]                      | NA   |
|  | Диметикон            | <i>E. coli</i>        | 92 [75; 110]                      | $p > 0,05$                                     |
|  |                      | <i>S. aureus</i>      | 97 [86; 118]                      | $p > 0,05$                                     |
| Смешанная культура <i>E. coli</i> (ATCC 25922) + <i>S. Typhimurium</i> (ATCC 14028) на среде Эндо    | Контроль             | <i>E. coli</i>        | 110 [87; 140]                     | NA   |
|  |                      | <i>S. Typhimurium</i> | 155 [117; 192]                    | NA   |
|  | Диметикон            | <i>E. coli</i>        | 101 [73; 137]                     | $p > 0,05$                                     |
|  |                      | <i>S. Typhimurium</i> | 158 [110; 201]                    | $p > 0,05$                                     |
| Монокультура <i>B. ceposerasia</i> 182/2 на среде CHROMagar B. серасиа                               | Контроль             | <i>B. ceposerasia</i> | 501 [413; 596]                    | NA   |
|  | Диметикон            | <i>B. ceposerasia</i> | 487 [390; 564]                    | $p > 0,05$                                     |
| Монокультура <i>M. avium</i> 018 на шоколадном агаре   | Контроль             | <i>M. avium</i>       | 21 [11; 29]*                      | NA   |
|  | Диметикон            | <i>M. avium</i>       | 280 [230; 311]*                   | $p < 0,05$                                     |

Примечание: NA — не применимо (not applicable); \* результаты на 19-е сутки наблюдения.



**Типовые изображения роста бактерий на питательных средах под слоем диметикона и без его наслоения:**

а–г — рост без наслоения диметикона (контроль), д–з — рост под диметиконом; а, д — 24-часовая культура *E. coli* (розовые колонии) и *S. aureus* (белые колонии) на среде UriSelect 4 Agar; б, е — 48-часовая культура *B. ceposerasia* на среде CHROMagar B. серасиа; в, ж и г, з — 24-часовая культура *P. aeruginosa* и *E. coli* соответственно на полужидком агаре; стрелки — диаметр зоны роста бактерий

роста *E. coli* на полужидком агаре в контроле через 24 ч составляла  $1,1 \pm 0,5$  см<sup>2</sup>, под диметиконом —  $3,9 \pm 0,9$  см<sup>2</sup> (рисунок, з, з), значения имели статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ).

## Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют три полезных для практической микробиологии свойства диметикона.

Во-первых, диметикон блокирует высыхание питательных сред, что связано с его высокой гидрофобностью и относительно низкой плотностью ( $969$  кг/м<sup>3</sup>) [6]. Благодаря этим свойствам диметикон не растворяется в питательных средах, которые имеют водную основу, и длительное время остается над их поверхностью. Он создает гидрофобный барьер для испарения воды на границе между средой и атмосферой. Обладая низкой летучестью, диметикон может длительно сохранять свою массу в условиях термостатирования при температурах до  $45^\circ\text{C}$ .

Во-вторых, диметикон не подавляет рост и размножение на плотных питательных средах микробов, которые были протестированы в настоящем исследовании. Более того, в условиях пролонгированного культивирования микобактерий на средах под защитой диметикона наблюдается лучший микробный рост по сравнению с обычными средами. Такой результат может быть обусловлен несколькими причинами, включая сохранение стабильности реологических характеристик и пропорций растворимых и нерастворимых компонентов, заложенных в рецептуру питательной среды; способность диметикона обеспечить газообмен между микробными клетками и окружающей средой; нетоксичность полидиметилсилоксанов в отношении живых клеток. Способность хорошо растворять кислород, углекислый газ, водород и другие газы является важнейшим свойством диметикона [7, 8]. Растворимость кислорода в диметиконе по массе превышает растворимость кислорода в воде примерно в 100 раз. Благодаря высокой растворимости газов диметикон обеспечивает быстрое удаление газообразных продуктов метаболизма, способных ингибировать размножение бактерий, а для аэробных бактерий — полноценную доставку кислорода. Отсутствие токсичности полидиметилсилоксанов подтверждается их использованием в качестве компонентов косметических продуктов и лекарственных препаратов [9, 10]. Наши результаты роста бактерий под диметиконом в целом коррелируют с данными R.H.W. Lam с соавт. [11], которые ранее использовали диметикон в микрофлюидных чипах при культивировании бактерий и клеток млекопитающих.

Третье полезное свойство диметикона касается возможности его использования для исследования подвижности флагоеллярных бактерий в полужидких средах. Опережающий рост *P. aeruginosa* и *E. coli* под диметиконом, вероятнее всего, является следстви-

ем сохранения реологических свойств геля питательной среды. На контрольных средах отставание роста бактерий было связано с высыханием и уплотнением верхних слоев агара.

Обсуждая полученные результаты, необходимо еще раз обратить внимание на быструю скорость высыхания питательных сред: к 8-му дню среды теряли не менее 50% массы, через 2 недели — около 70%. Данный факт означает, что пропорции компонентов среды катастрофически изменялись, приводя к ухудшению ее ростовых свойств, что на практике означает ошибки в микробиологической диагностике. Это еще раз подтверждает важность разработки новых методов, направленных на сохранение качества питательных сред при длительном культивировании микробов. Использование диметикона — перспективный метод микробиологической диагностики.

## Заключение

Поиск новых модификаций питательных сред, направленных на пролонгированное культивирование, является необходимым условием прогресса микробиологической диагностики. Предлагаемая технология сохранения ростовых свойств питательных сред при помощи диметикона показала хорошие результаты. Проведенные исследования послужат дальнейшему изучению свойств других субстанций из семейства полисилоксанов, которые могут быть полезны для культивирования разнообразных микроорганизмов.

**Благодарности.** Авторы благодарят компанию CHROMagar и ее генерального директора господина Alberto Lerner за предоставленные для исследования питательные среды CHROMagar B. serasia.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №20-15-00235).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература/References

1. Stahl D.A., Urbance J.W. The division between fast- and slow-growing species corresponds to natural relationships among the mycobacteria. *J Bacteriol* 1990; 172(1): 116–124, <https://doi.org/10.1128/jb.172.1.116-124.1990>.
2. Morris C., Lee Y.S., Yoon S. Adventitious agent detection methods in bio-pharmaceutical applications with a focus on viruses, bacteria, and mycoplasma. *Curr Opin Biotechnol* 2021; 71: 105–114, <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.06.027>.
3. Chebotar' I.V., Emelyanova M.A., Bocharova J.A., Mayansky N.A., Kopantseva E.E., Mikhailovich V.M. The classification of bacterial survival strategies in the presence of antimicrobials. *Microb Pathog* 2021; 155: 104901, <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.104901>.
4. Sandle T. Settle plate exposure under unidirectional airflow and the effect of weight loss upon microbial growth. *Eur J Parenter Pharm Sci* 2015; 20(2): 45–50.

5. Лямин А.В., Тонеев И.Р., Козлов А.В., Исмагуллин Д.Д., Жестков А.В., Кондратенко О.В., Ковалёв А.М. *Флакон для культивирования микроорганизмов*. Патент РФ 175134. 2017.

Lyamin A.V., Toneev I.R., Kozlov A.V., Khismatullin D.D., Zhestkov A.V., Kondratenko O.V., Kovalev A.M. *Bottle for the cultivation of micro-organisms*. Patent RU 175134. 2017.

6. XIAMETER™ PMX-200 Silicone Fluid 350 cSt. *Technical Data Sheet*. The Dow Chemical Company; 2017. URL: <https://www.dow.com/en-us/pdp.xiameter-pmx-200-silicone-fluid-350-cst.01013211z.html?productCatalogFlag=1#tech-content>.

7. Cannon P., St. Pierre L.E., Miller A.A. Solubilities of hydrogen and oxygen in polydimethylsiloxanes. *J Chem Eng Data* 1960; 5(2): 236, <https://doi.org/10.1021/je60006a027>.

8. Clark L.C. Jr., Gollan F. Survival of mammals breathing organic liquids equilibrated with oxygen at atmospheric pressure. *Science* 1966; 152(3730): 1755–1756, <https://doi.org/10.1126/science.152.3730.1755>.

9. Nair B.; Cosmetic Ingredients Review Expert Panel. Final report on the safety assessment of stearoxy dimethicone, dimethicone, methicone, amino bispropyl dimethicone, aminopropyl dimethicone, amodimethicone, amodimethicone hydroxystearate, behenoxy dimethicone, C24-28 alkyl methicone, C30-45 alkyl methicone, C30-45 alkyl dimethicone, cetearyl methicone, cetyl dimethicone, dimethoxysilyl ethylenediaminopropyl dimethicone, hexyl methicone, hydroxypropyldimethicone, stearamidopropyl dimethicone, stearyl dimethicone, stearyl methicone, and vinyl dimethicone. *Int J Toxicol* 2003; 22(Suppl 2): 11–35.

10. Moore K., Bolduc S. Prospective study of polydimethylsiloxane vs dextranomer/hyaluronic acid injection for treatment of vesicoureteral reflux. *J Urol* 2014; 192(6): 1794–1800, <https://doi.org/10.1016/j.juro.2014.05.116>.

11. Lam R.H.W., Kim M.C., Thorsen T. Culturing aerobic and anaerobic bacteria and mammalian cells with a microfluidic differential oxygenator. *Anal Chem* 2009; 81(14): 5918–5924, <https://doi.org/10.1021/ac9006864>.