

Глюконат цинка как ингибитор роста и биоплёнкообразования *Escherichia coli*

© Князева^{1,2*+} Ольга Александровна, Мусина² Лиана Рустамовна,
Аседулина¹ Маргарита Шамилевна, Иванов² Кирилл Сергеевич,
Осипова¹ Ангелина Сергеевна, Конкина^{2*} Ирина Григорьевна

¹ Кафедра генетики и химии. Башкирский государственный педагогический университет имени
М. Акмуллы. ул. Октябрьской революции, 3-а. г. Уфа, 450077. Республика Башкортостан. Россия.

Тел.: +7 (917) 774 8856. E-mail: olga_knyazeva@list.ru

² Уфимский институт химии – обособленное структурное подразделение Федерального
государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского
центра Российской академии наук. г. Уфа, 450054. Республика Башкортостан. Россия.

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: глюконат цинка, *Escherichia coli*, минимальная ингибирующая концентрация, биоплёнка, антибактериальная активность, токсичность в отношении бактерий.

Аннотация

Соединения цинка проявляют антимикробную активность при относительно низкой токсичности для эукариотических клеток, что делает их перспективными для разработки новых терапевтических средств, направленных на борьбу с бактериальными инфекциями, в том числе, осложнёнными формированием биоплёнок.

Цель данной работы – оценка антибактериальной активности глюконата цинка в отношении планктонной культуры *Escherichia coli* ATCC 25922 и его влияния на процесс формирования бактериальной биоплёнки в сравнении с глюконатом кальция и сульфаниламидом.

Пороговую концентрацию ингибирования (ПКИ) определяли диско-диффузионным методом на агаре Мюллера-Хинтон. Количественную оценку влияния на биоплёнкообразование проводили с помощью окрашивания кристаллическим фиолетовым в 96-луночных планшетах с последующим измерением оптической плотности при 570 нм.

Установлено, что ПКИ глюконата цинка для планктонных форм *E. coli* составляет 15.6 мкг/мл. Выявлен пороговый характер ингибирования формирования биоплёнки: при концентрациях 31.25, 250 и 500 мкг/мл. При 15.6, 62.5, 125 и 1000 мкг/мл глюконат цинка не оказывал существенного влияния на биоплёнкообразование. Отсутствие дозозависимости может быть связано с горметическим характером действия ионов цинка на биоплёночные сообщества, а также с особенностями взаимодействия цинка с компонентами внеклеточного матрикса биоплёнки.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности глюконата цинка как агента, активного в отношении планктонных и биоплёночных форм бактерий, а также обосновывают необходимость дальнейших исследований его механизмов действия и комбинированного применения с антибиотиками.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Князева О.А., Мусина Л.Р., Аседулина М.Ш., Иванов К.С., Осипова А.С., Конкина И.Г. Глюконат цинка как ингибитор роста и биоплёнкообразования *Escherichia coli*. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №9. С.131-137. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-131

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Князева О.А., Мусина Л.Р., Аседулина М.Ш., Иванов К.С., Осипова А.С., Конкина И.Г. Глюконат цинка как ингибитор роста и биоплёнкообразования *Escherichia coli*. *Бутлеровские сообщения* С. 2026. Т.14. №3. Id.21. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-131/ROI-jbc-C/26-14-3-21 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Olga A. Knyazeva, Liana R. Musina, Margarita Sh. Asedulina, Kirill S. Ivanov, Angelina S. Osipova, Irina G. Konkina. Zinc gluconate as an inhibitor of growth and biofilm formation of *Escherichia coli*. *Butlerov Communications* C. 2026. Vol.14. No.3. Id.21. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-131/ROI-jbc-C/26-14-3-21

Литература

- [1] M.P. Cuajungco, M.S. Ramirez, E.M. Tolmasky, *et al.* Zinc: Multidimensional Effects on Living Organisms. *Biomedicines*. **2021**. Vol.9. No.2. P.208. DOI: 10.3390/biomedicines9020208
- [2] M.R. Blundell, D.G. Wild. Inhibition of bacterial growth by metal salts. A survey of effects on the synthesis of ribonucleic acid and protein. *Biochemical Journal*. **1969**. Vol.115. No.2. P.207-212.
- [3] L. Hall-Stoodley, J.W. Costerton, P. Stoodley. Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology*. **2004**. Vol.2. No.2. P.95-108. DOI: 10.1038/nrmicro821
- [4] L. Kadirvelu, S.S. Sivaramalingam, D. Jothivel, *et al.* A review on antimicrobial strategies in mitigating biofilm-associated infections on medical implants. *Current Research in Microbial Sciences*. **2024**. Vol.6. P.100231. DOI: 10.1016/j.crmicr.2024.100231
- [5] G.A. O'Toole. Microtiter dish biofilm formation assay. *Journal of Visualized Experiments*. **2011**. No.47. P.e2437. DOI: 10.3791/2437
- [6] Князева О.А., Уразаева С.И., Конкина И.Г. Глюконаты 3d-металлов: влияние на окислительный и иммунный гомеостаз, использование в терапии иммунодефицита. *Москва: Издательский дом Академии Естествознания*. **2021**. 122 с. DOI: 10.17513/np.448 [О.А. Knyazeva, S.I. Urazaeva, I.G. Konkina. 3d-Metal gluconates: effect on oxidative and immune homeostasis, use in therapy of immunodeficiency. *Moscow: Publishing House of the Academy of Natural Science*. **2021**. 122p. DOI: 10.17513/np.448 (Russian)]
- [7] Князева О.А., Киреева Е.А., Уразаева А.И., Конкина И.Г. Противоопухолевый эффект глюконатов марганца, меди и цинка на модели миеломы Sp2/0 Ag14 у мышей BALB/c. *Вопросы онкологии*. **2024**. Т.70. №1. С.62-68. DOI: 10.37469/0507-3758-2024-70-1-62-68. [О.А. Knyazeva, E.A. Kireeva, A.I. Urazaeva, I.G. Konkina. Antitumor effect of manganese, copper and zinc gluconates on the model of myeloma Sp2/0 Ag14 in BALB/c mice. *Problems of Oncology*. **2024**. Vol.70. No.1. P.62-68. DOI: 10.37469/0507-3758-2024-70-1-62-68. (Russian)]
- [8] Князева О.А., Киреева Е.А., Уразаева А.И., Уразаева С.И., Конкина И.Г. Антистрессовые и противоопухолевые свойства глюконатов 3d-металлов на модели стрессового расстройства у мышей BALB/c с миеломой. *Вопросы онкологии*. **2025**. Т.71. №4. С.844-852. DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-4-OF-2226. [О.А. Knyazeva, E.A. Kireeva, A.I. Urazaeva, S.I. Urazaeva, I.G. Konkina. Antistress and antitumor properties of 3d-metal gluconates in a model of stress disorder in BALB/c mice with myeloma. *Problems of Oncology*. **2025**. Vol.71. No.4. P.844-852. DOI: 10.37469/0507-3758-2025-71-4-OF-2226 (Russian)]
- [9] S. Stepanović, D. Vuković, V. Hola, *et al.* Quantification of biofilm in microtiter plates: overview of testing conditions and practical recommendations for assessment of biofilm production by staphylococci. *APMIS*. **2007**. Vol.115. No.8. P.891-899. DOI: 10.1111/j.1600-0463.2007.apm_630.x
- [10] Конкина И.Г., Иванов С.П., Князева О.А., Муринов Ю.И. и др. Физико-химические свойства и фармакологическая активность глюконатов Mn (II), Fe (II), Co (II), Cu (II) и Zn (II). *Хим.-фарм. журн.* **2002**. №1. С.18. [I.G. Konkina, S.P. Ivanov, O.A. Knyazeva, Yu.I. Murinov, *et al.* Physicochemical properties and pharmacological activity of Mn (II), Fe (II), Co (II), Cu (II) and Zn (II) gluconates. *Chem. Pharm. J.* **2002**. No.1. P.18. (Russian)]
- [11] Y. Xie, Y. He, P.L. Irwin, *et al.* Antibacterial activity and mechanism of action of zinc oxide nanoparticles against *Campylobacter jejuni*. *Applied and Environmental Microbiology*. **2011**. Vol.77. No.7. P.2325-2331. DOI: 10.1128/AEM.02491-10
- [12] R.M. Donlan. Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*. **2002**. Vol.8. No.9. P.881-890. DOI: 10.3201/eid0809.020063
- [13] G.M. Teitzel, M.R. Parsek. Heavy metal resistance of biofilm and planktonic *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied and Environmental Microbiology*. **2003**. Vol.69. No.4. P.2313-2320. DOI: 10.1128/AEM.69.4.2313-2320.2003
- [14] L. Shkodenko, I. Kassirov, E. Koshel. Metal oxide nanoparticles against bacterial biofilms: perspectives and limitations. *Microorganisms*. **2020**. Vol.8. No.10. P.1545. DOI: 10.3390/microorganisms8101545
- [15] Olga A. Knyazeva, Liana R. Musina, Margarita Sh. Asedulina, Kirill S. Ivanov, Angelina S. Osipova, Irina G. Konkina. Zinc gluconate as an inhibitor of growth and biofilm formation of *Escherichia coli*. *Butlerov Communications C*. **2026**. Vol.14. No.3. Id.21. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-131/ROI-jbc-C/26-14-3-21
- [16] Князева О.А., Мусина Л.Р., Аседулина М.Ш., Иванов К.С., Осипова А.С., Конкина И.Г. Глюконат цинка как ингибитор роста и биоплёнкообразования *Escherichia coli*. *Бутлеровские сообщения C*. **2026**. Т.14. №3. Id.21. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-131/ROI-jbc-C/26-14-3-21 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/26-14-3-21

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-9-131/ROI-jbc-C/26-14-3-21

Zinc gluconate as an inhibitor of growth and biofilm formation of *Escherichia coli*

**Olga A. Knyazeva,^{1,*} Liana R. Musina,² Margarita Sh. Asedulina,¹
Kirill S. Ivanov, Angelina S. Osipova,¹ Irina G. Konkina^{2,*}**

¹ Department of Genetics and Chemistry. Bashkir State Pedagogical University Named after M. Akmulla. October Revolution St., 3-a. Ufa, 450077. Republic of Bashkortostan. Russia.

Phone: +7 (917) 774 8856. E-mail: olga_knyazeva@list.ru

² Laboratory of Physico-Chemical Methods of Analysis. Branch of the Ufa Institute of Chemistry. Ufa Federal Research Centre, RAS. October Ave., 71. Ufa, 450054. Republic of Bashkortostan. Russia.

*Supervising author; + Corresponding author

Keywords: zinc gluconate, *Escherichia coli*, minimum inhibitory concentration, biofilm, antibacterial activity, toxicity against bacteria.

Abstract

Zinc compounds exhibit antimicrobial activity with relatively low toxicity to eukaryotic cells, making them promising for the development of new therapeutic agents aimed at combating bacterial infections, including those complicated by biofilm formation.

The aim of this work is to evaluate the antibacterial activity of zinc gluconate against planktonic culture of *Escherichia coli* ATCC 25922 and its effect on the process of bacterial biofilm formation in comparison with calcium gluconate and sulfanilamide.

The threshold inhibitory concentration (TIC) was determined by the disk diffusion method on Mueller-Hinton agar. Quantitative assessment of the effect on biofilm formation was performed using crystal violet staining in 96-well plates followed by measurement of optical density at 570 nm.

It was established that the TIC of zinc gluconate for planktonic forms of *E. coli* is 15.6 µg/mL. A threshold character of inhibition of biofilm formation was revealed: at concentrations of 31.25, 250, and 500 µg/mL. At 15.6, 62.5, 125, and 1000 µg/mL, zinc gluconate had no significant effect on biofilm formation. The absence of dose-dependence may be related to the hormetic character of the action of zinc ions on biofilm communities, as well as to the specific features of zinc interaction with components of the biofilm extracellular matrix.

The obtained results indicate the potential of zinc gluconate as an agent active against planktonic and biofilm forms of bacteria, and also justify the need for further studies of its mechanisms of action and combined use with antibiotics.