

ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ АНТИМИКРОБНОГО ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ТОМАТОВ СВЕЖИХ

Ю.Н. Чернявская ¹⁾, Т.В. Яковлева ²⁾, Д.В. Котвицкая ³⁾

1) аспирант, младший научный сотрудник, Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», г. Краснодар, Россия; yulya19992011@mail.ru

2) канд. техн. наук, доцент, Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», г. Краснодар, Россия; Yakovkeva_YU@mail.ru

3) аспирант, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», г. Краснодар, Россия; daryakotvitskaya@gmail.com

Аннотация. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки эффективных средств защиты томатов свежих от микробиологической порчи, обеспечивающих дифференцированное воздействие на различные группы патогенных микроорганизмов. Цель работы – обоснование концентраций функциональных компонентов антимикробного пленкообразующего покрытия для томатов свежих гибрида «Бурый Саладет F1» и сорта «Супергол Малиновый» на основе дифференцированного подхода к подавлению бактерий и плесневых грибов. На основании изучения микробиологического профиля поверхности плодов томатов свежих обоснован выбор компонентов, эффективно подавляющих развитие грамположительных бактерий *Bacillus* sp., грамотрицательных бактерий *Pseudomonas* sp. и плесневых грибов *Rhizopus* sp. Установлено, что комбинированное применение молочной и лимонной кислот обеспечивает синергический эффект в отношении *Bacillus* sp. и эффективное подавление *Pseudomonas* sp. Введение низина (0,0025 %) позволяет снизить численность *Bacillus* sp. на 98,5-98,7 % (до уровня естественной обсемененности). Добавление сорбата калия (0,1 % для гибрида и 0,2 % для сорта) в комбинации с лимонной кислотой (0,5 %) обеспечивает снижение доли пораженных плодов плесневыми грибами рода *Rhizopus* sp. на 43-47 % по сравнению с контролем. Для стабилизации эмульсии типа «масло в воде» обоснована концентрация эмульгатора Твин 80 (0,5 %). Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения

антимикробных пленкообразующих покрытий с обоснованными концентрациями функциональных компонентов для снижения микробиологической порчи и увеличения сроков годности томатов свежих.

Ключевые слова: томаты свежие, антимикробное пленкообразующее покрытие, молочная кислота, лимонная кислота, низин, сорбат калия, Твин 80, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Rhizopus* sp.

SUBSTANTIATION OF CONCENTRATIONS OF FUNCTIONAL COMPONENTS OF ANTIMICROBIAL FILM-FORMING COATING FOR FRESH TOMATOES

Y.N. Chernyavskaya ¹⁾, T.V. Yakovleva ²⁾, D.V. Kotvitskaya ³⁾

1) Postgraduate student, junior researcher, Krasnodar Scientific Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-making», Krasnodar, Russia; yulya19992011@mail.ru

1) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Krasnodar Scientific Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Products – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-making», Krasnodar, Russia; Yakovkeva_YY@mail.ru

2) Postgraduate student, Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Wine-making», Krasnodar, Russia; daryakotvitskaya@gmail.com

Annotation. The relevance of the work is due to the need to develop effective means of protecting fresh tomatoes from microbiological spoilage, providing differentiated effects on various groups of pathogenic microorganisms. The aim of the work is to substantiate the concentrations of functional components of an antimicrobial film-forming coating for fresh tomatoes of the hybrid «Buryy Saladet F1» and the variety «Supergol Malinovyy» based on a differentiated approach to the suppression of bacteria and mold fungi. Based on the study of the microbiological profile of the surface of fresh tomatoes, the choice of components that effectively inhibit the development of Gram-positive bacteria *Bacillus* sp., Gram-negative bacteria *Pseudomonas* sp. and mold fungi *Rhizopus* sp. It was found that the combined use of lactic and citric acids provides a synergistic effect against *Bacillus* sp. and effective suppression of *Pseudomonas* sp. The introduction of nisin (0,0025 %) reduces the number of *Bacillus* sp. by 98,5-98,7 % (to the level of natural contamination). The addition of potassium sorbate (0,1 % for the hybrid and 0.2% for the variety) in combination with citric acid (0,5 %) reduces the proportion of affected fruits by mold fungi of the genus *Rhizopus* sp. by 43-47 % compared with the control. To stabilize an oil-in-water emulsion, the concentration of Twin 80 emulsifier (0,5 %) is justified. The results obtained

indicate the prospects of using antimicrobial film-forming coatings with reasonable concentrations of functional components to reduce microbiological spoilage and increase the shelf life of fresh tomatoes.

Keywords: fresh tomatoes, antimicrobial film-forming coating, lactic acid, citric acid, nizin, potassium sorbate, Twin 80, *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Rhizopus* sp.

«Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МПИ-25.1/3».

«The research is carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation in the framework of the scientific project Num. MPI-25.1/3».

Введение. Томаты свежие являются одним из наиболее востребованных видов плодоовощной продукции, однако характеризуются ограниченными сроками годности вследствие высокого содержания влаги, а также активного развития микробиологической порчи в процессе хранения [1-3]. Основными возбудителями микробиологической порчи плодов томатов свежих при хранении являются бактерии родов *Bacillus* sp. и *Pseudomonas* sp., вызывающие мокрую гниль, а также плесневые грибы родов *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. и *Rhizopus* sp., приводящие к плесневению плодов [4, 5]. Традиционные методы защиты не всегда обеспечивают необходимую эффективность в подавлении патогенной микрофлоры и могут негативно влиять на качество продукции [6-8]. Одним из перспективных направлений является применение антимикробных пленкообразующих покрытий [9, 10]. Анализ научно-технической литературы показывает, что существующие исследования, как правило, не предусматривают комплексного воздействия к подавлению грамположительных и грамотрицательных бактерий, а также плесневых грибов в составе одного покрытия [11-13]. В связи с этим актуальной задачей является разработка антимикробного пленкообразующего покрытия, обеспечивающего комплексную защиту плодов томатов свежих за счет комбинирования антимикробных агентов с различными механизмами действия. Цель работы – обоснование концентраций функциональных компонентов антимикробного пленкообразующего покрытия для томатов свежих гибрида «Бурый Саладет F1» и сорта «Супергол Малиновый» на основе дифференцированного подхода к подавлению бактерий и плесневых грибов.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являлись плоды томатов свежих гибрида «Бурый Саладет F1» и сорта «Супергол Малиновый». Искусственное заражение плодов проводили суспензиями клеток бактерий *Bacillus* sp. и *Pseudomonas* sp. из расчета 1×10^3 КОЕ/см², а также суспензией спор *Rhizopus* sp. из расчета 1×10^3 спор/см². Концентрации кислот варьировали в диапазоне 0,5-1,5 % с учетом

сортовых особенностей: для гибрида «Бурый Саладет F1» – 0,5; 1,0 и 1,5 %, для сорта «Супергол Малиновый» – 0,5 и 1,0 %. Оценку стабильности проводили методом термостатирования при 60 °С в течение 72 часов.

Результаты и обсуждение. Ранее было установлено, что на поверхности здоровых плодов томатов доминируют грамположительные бактерии рода *Bacillus* sp., *Micrococcus* sp. (для сорта «Супергол Малиновый»), а также грамотрицательные бактерии *Pseudomonas* sp. В связи с этим, первым этапом работы стало обоснование эффективности органических кислот (молочной (E270) и лимонной (E330)) в отношении бактерий родов *Bacillus* sp. и *Pseudomonas* sp. на поверхности плодов томатов свежих при искусственном заражении.

Анализ результатов показал, что на плодах без обработки площадь поражения составляла 72,2-75,8 % для бактерий рода *Bacillus* sp. и 78,0-82,0 % для бактерий рода *Pseudomonas* sp., численность микроорганизмов достигала $(1,90-2,40) \times 10^4$ и $(2,00-2,90) \times 10^4$ КОЕ/см², соответственно.

В отношении грамположительных бактерий *Bacillus* sp. более выраженное антибактериальное действие проявлял раствор молочной кислоты. При увеличении концентрации до 1,5 % (для гибрида «Бурый Саладет F1») наблюдалось снижение площади поражения до 9,8 % и численности до $0,12 \times 10^4$ КОЕ/см². Высокая эффективность молочной кислоты объясняется ее способностью подавлять синтез внеклеточных полисахаридов и белков [14].

В отношении грамотрицательных бактерий *Pseudomonas* sp. более высокую эффективность проявила лимонная кислота. При концентрации 1,5 % пораженность снижалась до 8,5 %, тогда как обработка молочной кислотой в той же концентрации – лишь до 18,5 %. Данное различие обусловлено двойным механизмом действия лимонной кислоты: подкислением поверхности и хелатированием двухвалентных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}), стабилизирующих липополисахаридный слой внешней мембраны грамотрицательных бактерий [15].

Наиболее выраженный эффект был достигнут при применении комбинированных составов органических кислот. Площадь пораженной поверхности снизилась до 6,5-8,5 % (для гибрида «Бурый Саладет F1») и до 9,0-14,5 % (для сорта «Супергол Малиновый»), а численность бактерий – до $(0,08-0,11) \times 10^4$ КОЕ/см². Для грамположительных *Bacillus* sp. комбинированные составы проявляли синергический эффект, что объясняется повышением проницаемости клеточной стенки под действием лимонной кислоты, облегчающим проникновение молочной кислоты к цитоплазматической мембране. Для *Pseudomonas* sp. комбинированные составы не превосходили по эффективности 1,5 % раствор лимонной кислоты.

На основании полученных результатов для дальнейшей разработки выбраны следующие концентрации органических кислот: для сорта «Супергол Малиновый» – комбинация 1,0 % молочной + 0,5 % лимонной кислот; для гибрида «Бурый Саладет F1» – комбинация 0,5 % молочной +

0,5 % лимонной кислот.

Для усиления подавления грамположительных бактерий рода *Bacillus* sp. изучали влияние водного раствора низина (Е 234) в концентрациях 0,001; 0,0025 и 0,005 %. Установлено, что низин проявляет выраженную антибактериальную активность в отношении *Bacillus* sp., возрастающую с увеличением концентрации. При концентрации 0,005 % снижение численности бактерий достигало 75-76,3 % относительно контроля.

Для последующих исследований выбрана концентрация низина 0,0025 %, обеспечивающая снижение численности бактерий на 60 %, что соответствует принципу использования пищевых добавок в минимально необходимых количествах (ТР ТС 029/2012).

При комбинированной обработке низином (0,0025 %) и составами на основе органических кислот достигнут максимальный эффект: численность *Bacillus* sp. снижалась на 98,5-98,7 %, достигая уровня $2,5-3,0 \times 10^2$ КОЕ/см², что сопоставимо с естественной обсемененностью здоровых плодов. Совместное применение дает эффект, превышающий сумму эффектов каждого компонента в отдельности, что объясняется повышением проницаемости мембран под действием органических кислот, облегчающим доступ низина к цитоплазматической мембране [16].

Для подавления развития плесневых грибов (модельный объект – *Rhizopus* sp.) изучали эффективность сорбата калия (Е 202) в концентрациях 0,05; 0,1; 0,2 и 0,5 %. Установлено, что концентрация 0,05 % не обеспечивает статистически значимого подавления, в то время как 0,1 % достоверно снижает долю пораженных плодов до 65-70 %, а 0,5 % – до 25-30 %.

С учетом того, что эффективность сорбата калия возрастает в кислой среде, исследовали комбинации с лимонной кислотой (0,5 %). Добавление лимонной кислоты к 0,1 % раствору сорбата калия снижало долю пораженных плодов гибрида с 65,0 % до 55,0 %, а для сорта – с 70,0 % до 60,0 %. При комбинации 0,2 % сорбата калия с 0,5 % лимонной кислоты поражение снижалось для гибрида с 50,0 % до 38,0 %, для сорта – с 55,0 % до 45,0 %.

На основании полученных данных выбраны следующие концентрации в комбинации с 0,5 % лимонной кислоты: для гибрида «Бурый Саладет F1» – 0,1 % сорбата калия; для сорта «Супергол Малиновый» – 0,2 % сорбата калия.

Для стабилизации эмульсии типа «масло в воде» в качестве эмульгатора выбран Твин 80 (Е 433), что обусловлено его высокой поверхностно-активной способностью, химической инертностью по отношению к компонентам покрытия и устойчивостью в кислой среде [17]. Исследовали концентрации Твин 80 0,3; 0,4 и 0,5 % при содержании карнаубского воска 1,8 % масс. для гибрида «Бурый Саладет F1» и 1,5 % масс. для сорта «Супергол Малиновый».

Установлено, что концентрация Твин 80 0,5 % обеспечивает 100 % стабильность эмульсии на протяжении всего периода наблюдения для обоих

составов кислот. При концентрации 0,4 % наблюдалось снижение стабильности к 72 часам до 78-85 %, а при 0,3 % – до 60-72 %, причем повышение концентрации молочной кислоты оказывало дестабилизирующее воздействие.

Заключение. На основании проведенных исследований обоснованы дифференцированные концентрации функциональных компонентов антимикробных пленкообразующих покрытий для томатов свежих гибрида «Бурый Саладет F1» и сорта «Супергол Малиновый». Установлено, что оптимальные концентрации органических кислот составляют: для гибрида – 0,5 % молочной + 0,5 % лимонной, для сорта – 1,0 % молочной + 0,5 % лимонной, обеспечивающие синергический эффект в отношении бактерий родов *Vacillus* sp. и *Pseudomonas* sp. Низин в концентрации 0,0025 % эффективен для усиления подавления грамположительных бактерий. Сорбат калия в комбинации с 0,5 % лимонной кислоты (для гибрида – 0,1 %, для сорта – 0,2 %) обеспечивает эффективное подавление плесневых грибов рода *Rhizopus* sp. Для стабилизации эмульсии обоснована концентрация эмульгатора Твин 80 – 0,5 %. Установленные концентрации функциональных компонентов обеспечивают снижение численности *Vacillus* sp. на 98,5-98,7 % (до уровня естественной обсемененности), эффективное подавление *Pseudomonas* sp. и снижение доли пораженных плесневыми грибами плодов на 43-47 % по сравнению с контролем, что свидетельствует о перспективности их применения для увеличения сроков годности и сохранения качества томатов свежих.

Список использованных источников:

1. Ayuso-Yuste, M. C., González-Cebrino, F., Lozano-Ruiz, M., Fernández-León, A. M. & Bernalte-García, M. J. Influence of ripening stage on quality parameters of five traditional tomato varieties grown under organic conditions. *Horticulturae*, 2022, 8(4), 313. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040313>
2. Antala, P. A., Chakote, A., Varshney, N., Suthar, K., Singh, D., Narwade, A. & Karmakar, N. Phytochemical and metabolic changes associated with ripening of *Lycopersicon esculentum*. *Scientific Reports*, 2025, 15(1), 10692. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95255-9>
3. Панфилова, О. Ф., & Пильщикова, Н. В. Физиологические аспекты созревания и продления срока хранения сочных плодов. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 2023, (4), 75-94. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-75-94>
4. Danaski, A. I., Shugaba, A., Milala, M. A., Ndirimbula, J. B., & Gidado, A. Isolation, identification and pathogenicity study of the microbes causing tomato post-harvest spoilage in Maiduguri Metropolis, Maiduguri, Nigeria. *Nigerian Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2022, 37(4), 303-313.
5. Dike, K. S., & Onuoha, N. Diversity of Microorganisms Associated

with Deteriorated Tomatoes Sold by Vendors in Major Markets in Owerri. *World News of Natural Sciences*, 2024, 54, 123-132.

6. Babu, A. C., Rajesh, G. K., & Pandiselvam, R. Sustainable Post-Harvest Processing: Effect of Ozone Treatment on Microbial Decontamination and Nutritional Preservation in Fresh Tomatoes. *Ozone: Science & Engineering*, 2025, 47(5), 489-503. <https://doi.org/10.1080/01919512.2025.2488928>

7. Damdam, A., Al-Zahrani, A., Salah, L., & Salama, K. N. Effect of combining UV-C irradiation and vacuum sealing on the shelf life of fresh strawberries and tomatoes. *Journal of Food Science*, 2023, 88(2), 595-607. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16444>

8. Zhao, Y., Li, L., Gao, S., Wang, S., Li, X., & Xiong, X. Postharvest storage properties and quality kinetic models of cherry tomatoes treated by high-voltage electrostatic fields. *LWT*, 2023, 176, 114497. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114497>

9. Félix-Beltrán, J. E., Ayón-Reyna, L. E., López-López, M. E., López-Velázquez, J. G., Quiroz-Figueroa, F. R., Diaz-Corona, D. A., & Vega-García, M. O. Antifungal effect of a natural coating of carnauba wax–aloe vera emulsion with essential oils: A strategy to control gray mold and extend tomato shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, 2025, 445, 111478. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111478>

10. Ramadoss, A., Poosarla, V. G., Sadiya, S., & Shivshetty, N. A novel active biopolymer coating of pectin, potato starch, and pyrogallol: Impact on postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Food Science*, 2025, 90(4), e70179. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70179>

11. Afedzi, A. E. K., Ahadjie, V., & Quansah, L. Gum arabic and beeswax as edible coatings for extending the postharvest shelf life of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *Ghana Journal of Science*, 2022, 63(2). <https://dx.doi.org/10.4314/gjs.v63i2.4>

12. da Silva, A. C. P., Barbosa, J. R., da Silva Araújo, C., Batista, J. T. S., Neves, E. M. P. X., Cardoso, D. N. P. & Lourenço, L. D. F. H. A new edible coating of fish gelatin incorporated into açai oil to increase the post-harvest shelf life of tomatoes. *Food Chemistry*, 2024, 438, 138047. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138047>

13. Zewdie, B., Shonte, T. T., & Woldetsadik, K. Shelf life and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as affected by neem leaf extract dipping and beeswax coating. *International Journal of Food Properties*, 2022, 25(1), 570-592. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2053709>

14. Jin, T. Z., Fan, X., & Mukhopadhyay, S. Antimicrobial coating with organic acids and essential oil for the enhancement of safety and shelf life of grape tomatoes. *International journal of food microbiology*, 2022, 378, 109827. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109827>

15. Książek, E. Citric acid: properties, microbial production, and applications in industries. *Molecules*, 2023, 29(1), 22.

16. Тюменцева, В. С., Абдуллаева, А. М., & Блинкова, Л. П. Изучение антимикробных свойств низина. *Вестник Марийского*

- государственного университета, 2023, 9(1), 56-62. 14.
<https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-1-56-62>
17. Кушназарова, Р. А., Миргородская, А. Б., Волошина, А. Д., Любина, А. П., Кузнецов, Д. М., Ленина, О. А., & Захарова, Л. Я. Бинарные системы дикарбаматное ПАВ-Твин 80: агрегационное поведение, антимикробная активность и мембранотропные свойства. Жидкие кристаллы и их практическое использование, 2022, 22(2), 6-18.
<https://doi.org/10.18083^СApp1.2022.2.6>