

УДК 637.3:636.52

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ АНТИМИКРОБНЫХ ПИЩЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА И УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ХРАНЕНИЯ МЯСА ПТИЦЫ

© 2024 г. Л. Г. Стоянова<sup>1</sup>, \*, М. А. Дибирасулаев<sup>2</sup>, Д. М. Дибирасулаев<sup>2</sup>,  
Л. Б. Умиралиева<sup>3</sup>, М. Х. Искаков<sup>3</sup>, И. Д. Филатов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
“Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова”, Биологический факультет,  
Москва, 119991 Россия

<sup>2</sup>ВНИИХИ-филиал ФГБНУ “ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова” РАН, Москва, 109316 Россия

<sup>3</sup>ТОО “Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности”,  
Алматы, 050060 Казахстан

\*e-mail: stoyanovamsu@mail.ru

Поступила в редакцию 19.07.2024 г.

После доработки 08.09.2024 г.

Принята к публикации 25.09.2024 г.

Сохранение качества, повышение безопасности и увеличение сроков хранения продуктов питания является одним из приоритетных направлений развития здорового питания. Для продления сроков хранения продукции используется технология холодильной обработки и содержание при пониженной температуре, что позволяет увеличить срок годности продуктов и снизить потери их массы. Однако охлажденное мясо имеет ограниченный срок годности. Одним из эффективных способов сохранения качества и уменьшения потерь массы при хранении в охлажденном виде является обработка поверхности продуктов защитными пищевыми пленкообразующими составами (ППС) на основе поверхностно-активных и антимикробных веществ. Проведены исследования по оценке эффективности влияния молочной кислоты разной концентрации (0.5–2.0%) и бактериоцина низина (0.1%) в составе ППС на снижение общей обсемененности и контаминацию патогенами полутушек цыплят-бройлеров при хранении в охлажденном виде. Определены значения активной кислотности и окислительно-восстановительного потенциала в растворах разного состава ППС на рост и развитие потенциальных контаминантов пищевого сырья. С помощью микроскопии изучены изменения целостности структуры ППС в процессе хранения. Полученные данные позволят оптимизировать использование защитных пленкообразующих составов для создания биотехнологии обработки птицы с целью сохранения качества и увеличения срока годности мяса птицы при хранении в охлажденном виде.

**Ключевые слова:** тушки цыплят-бройлеров, хранение в охлажденном виде, психротрофы, контаминанты, биобезопасность, пищевые пленкообразующие составы (ППС), моноглицериды, молочная, лимонная кислоты, бактериоцин низин, микроструктура ППС

DOI: 10.56304/S0234275824050119

В настоящее время во всем мире большое значение имеет проблема качества продуктов животного происхождения. Это вызвано возрастающим влиянием техногенных факторов на окружающую среду, сельскохозяйственные культуры и продуктивное животноводство. Повысились требования

к ассортименту, качеству и срокам хранения продукции. Значительно расширился и стал более конкурентоспособным отечественный рынок продукции птицеводства. По прогнозу Продовольственной и сельскохозяйственной организации [1] производство мяса птицы в год составляет около 127 млн тонн, что является крупнейшими поставками этого продукта в мире, а к 2030 г. на его долю будет приходиться 41% всего белка из мясных источников. Однако, выше упомянутое увеличение производства и потребления мяса птицы коррелирует и с большими потерями этого продукта из-за его порчи при хранении.

*Список сокращений* FAO – The Food and Agriculture Organization (Продовольственная и сельскохозяйственная организация); МКБ – молочнокислые бактерии; ЖКТ – желудочно-кишечный тракт, ППС – пищевые пленкообразующие составы; КОЕ – колониеобразующая единица; КМАФАнМ – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов; МЕ/мл – международная единица, МК – молочная кислота, ЛК – лимонная кислота.

Искусственное охлаждение сырья животного происхождения является распространенным приемом торможения автолитических процессов в мясе, ведущих к глубокому распаду его компонентов, а также средством предупреждения развития контаминантной микробиоты, способной вызывать пищевые токсикоинфекции [2]. Существующие традиционные технологии физической или химической обработки при получении и хранении мяса птицы, его безопасности, разработанные в середине XX в., заметно устарели и требуют дальнейшего совершенствования до уровня современных достижений науки. Активно формируется новое научно-практическое направление — разработка рецептур пищевых ингредиентов, обладающих полезными для организма человека свойствами.

Пищевые пленки и покрытия с добавлением природных противомикробных препаратов являются многообещающей биотехнологией консервирования сырого и обработанного мяса и птицы, поскольку они обеспечивают барьер против контаминации патогенными микробами и процессов порчи [3]. Антимикробные пленкообразующие составы могут быть получены на основе белков, липидов, полисахаридов с включением в их состав органических кислот и бактериоцинов. Протеиновые пленки хорошо прилипают к мясным гидрофильным поверхностям и обеспечивают барьер против проникновения кислорода и углекислого газа, но не противостоят диффузии воды [2]. Для получения пищевых пленок и покрытий на основе липидов используется широкий спектр гидрофобных соединений, включая животные и растительные масла и жиры (арахисовое, кокосовое, пальмовое, какао, сало, жирные кислоты и моно-, ди- и триглицериды), эмульгаторы и поверхностно-активные вещества (лецитин, спирты и жирные кислоты). Все эти соединения могут улучшить гидрофобность, когезионность (внутреннюю связь между одинаковыми молекулами структуры пленки на объеме поверхности) и гибкость, создавая превосходные барьеры для влаги, что приводит к сохранению свежести, цвета, аромата, нежности и микробиологической стабильности [3, 4].

Ведется активный поиск новых технологий, альтернативных синтетическим и химическим консервантам. Биоконсервирование является методом, в котором микроорганизмы или их антимикробные метаболиты используются для продления срока хранения продуктов. В качестве защитных культур активно применяются молочнокислые бактерии (МКБ) [5–7]. Их антимикробный эффект, в основном, обусловлен снижением pH, конкуренцией за питательные вещества и выработкой ингибирующих метаболитов. МКБ синтезируют бактериоцины белковой природы, которые абсолютно безопасны и в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) распадаются под действием протеаз до отдельных аминокислот, полезных для макроорганизма, и

тем самым препятствуя развитию резистентности патогенов [8, 9].

Бактериоцины разделены на классы и отличаются по спектру антимикробного действия, активности, механизму действия, генетическому контролю, биохимическим свойствам [8]. Один из этих классов — лантибиотики, в состав которых входят необычные тиоэфирные аминокислоты — лантионин и  $\beta$ -метиллантионин, образованные в результате посттрансляционных модификаций предшественников, синтезируемых на рибосоме. Гены, кодирующие продукцию бактериоцинов, могут иметь как хромосомную, так и плазмидную локализацию. Иногда их можно обнаружить в таких мобильных генетических элементах, как транспозонподобные элементы или в ДНК — фаге. Механизм биологического действия ряда бактериоцинов связан с нарушением проницаемости цитоплазматических мембран.

Наиболее изученным бактериоцином является низин — единственный из антибиотиков, который с 1998 г. имеет статус “GRAS” (Generally Recognized As Safe), установленный Европейским парламентом и разрешенный для использования в пищевой промышленности как пищевая добавка (индекс E234) более чем в 40 странах мира, включая США, Австралию, Южную Африку, Россию и Индию. Он применяется в качестве противомикробного агента в различных пищевых продуктах и используется в РФ [8, 10, 11].

Проведено множество исследований по применению разных бактериоцинов, но низин, составляющий основу коммерческих препаратов, таких как Низаплин (Даниско, Копенгаген, Дания), Кризин® (Крис Хансен, Хорсхольм, Дания) и Delvo® Nis (DSM, Делфт, Нидерланды), по-прежнему остается наиболее востребованным биоконсервантом, используемым в пищевых продуктах, включая и мясные продукты. Вышеуказанные препараты содержат 2.5% активного компонента низина с антибиотической активностью 1000 МЕ/мг (МЕ — международная единица). Производят этот биоконсервант путем ферментации среды селекционным штаммом *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* [8–10]. Однако низин эффективен только против грамположительных бактерий, а контаминантная микробиота желудочно-кишечного тракта и пищевого сырья в условиях длительного хранения содержит, в основном, грамотрицательные бактерии, дрожжи и плесени. Исследовательский интерес к бактериоцинам (как альтернатива антибиотикам и консервантам) сохраняется на протяжении последних лет, поскольку необходимы новые, более эффективные биопрепараты для решения как биологических, медицинских, так и экономических проблем.

Комбинация различных физических, химических и микробных консервантов является важным фактором в “барьерной концепции” для консерви-

рования продуктов. В качестве антимикробных компонентов широко используются органические кислоты, которые в сочетании с другими противомикробными агентами играют важную роль в поддержании микробиологического качества мяса и мясных продуктов. Установлено, что добавление солей органических кислот (лактата, ацетата, пропионата) и бактериоцина низина в пленкообразующие составы могут усилить ингибирующий эффект препарата, например, подавить рост и размножение *Listeria monocytogenes* и *Salmonella enterica Typhimurium* за 28 дней хранения мяса при 4°C [4, 9, 11].

В последнее время при разработке рецептур пищевых ингредиентов предпочтение отдается натуральным добавкам, способным оказать выраженное позитивное воздействие на организм человека. Стабильность и безвредность большинства пищевых продуктов основана на применении комбинированных консервирующих факторов, т.е. так называемой барьерной технологии. Многокомпонентность защитных покрытий связана с применением принципов этой технологии. Наиболее важными барьерными факторами, используемыми для сохранения пищевых продуктов, являющиеся температура, активная кислотность среды (рН), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), активность воды (aw) и др. Минимальные значения рН, необходимые для роста характерных для мяса и мясных продуктов микроорганизмов при холодильном хранении представлены в табл. 1.

Показано, что для роста молочнокислых микроорганизмов, характерных для хранения птицы и птицепродуктов в вакуумной упаковке, минимальное значение активной кислотности среды составляет 3.2. Среднее значение активной кислотности среды (рН), ограничивающее развитие микробиоты на поверхности мяса птицы составляет 4.4. При выборе и обосновании состава пищевых покрытий и их концентраций необходимо учитывать эти требования к значениям рН. Окислительно-восстановительные реакции, развитие которых можно оценить путем измерения окислительно-восстановительного потенциала Eh, также имеют значение для формирования качества пищевых продуктов и их стабильности при хранении.

В настоящее время определены принципы, лежащие в основе традиционных методов консервирования, и установлены пределы их эффективности для роста, выживания и гибели микроорганизмов. В связи с этим, представляется необходимой разработка научно обоснованных технологий переработки мяса птицы, которые бы являлись безвредными для здоровья человека и отличались максимальными сроками хранения

Целью работы является исследование влияния пищевых покрытий на основе моноглицеридов с

**Таблица 1.** Минимальные значения рН, необходимые для роста микроорганизмов [12]

**Table 1.** Minimum pH values required for microbial growth [12]

№ п/п	Название микроорганизма	Значения рН
1	<i>Lactobacillus</i> spp.	>3.2
2	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	>4.0
3	<i>Salmonella</i> spp.	>4.4
4	<i>Staphylococcus aureus</i>	>4.6
5	<i>Pseudomonas</i> spp.	>4.7
6	<i>Clostridium botulinum</i>	>4.7

включением в их состав молочной кислоты и бактериоцина низина на сохранность тушек птицы при хранении в охлажденном виде.

### УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования являлись полу-тушки куриных цыплят-бройлеров производства АО «Петелинская птицефабрика» ГОСТ 31962-2013 [13], приобретенные в магазине «Ашан» (продукция по термическому показателю относилась к категории «Охлажденная»). Отбор проб для проведения микробиологических, физико-химических и органолептических исследований проводили согласно гигиеническим требованиям безопасности СанПиН 2.3.2.1078-01 [15]. В качестве консерванта использовали пищевой пленкообразующий состав (ППС) производства Нижегородского масложирового комбината (Россия) на основе моноглицеридов дистиллированных [16] и ацетилованных моноглицеридов дистиллированных [17].

В 3%-ный раствор ППС вносили молочную кислоту с концентрацией: 0.5; 1.0; 1.5, 2.0% (ГОСТ 490-2006 производства АО «СКИМК», Россия) и 0.1%-ный раствор низина по ГОСТ Р 57646-2017 [11]. Рецептура, микробиологическая и органолептическая характеристики ППС на основе моноглицеридов промышленного производства приведены в табл. 2 и 3.

Нагретые до  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  растворы ППС, содержащие молочную или лимонную кислоты, глицерин, и низин и их комбинации, наносили на поверхность тушек птицы методом распыления с помощью ручного пульверизатора (Gigant 500 мл IAG-013, Россия).

При проведении экспериментов по оптимизации концентрации молочной кислоты (МК) в составе пленкообразующего состава ППС использовали по 5 полу-тушек цыплят-бройлеров. Контрольные (с покрытием ППС без включения компонентов) и опытные образцы тушек птицы хранили при температуре  $0-2^\circ\text{C}$  и относительной влажности 85–90% в течение 5 сут.

**Таблица 2.** Состав пищевого пленкообразующего покрытия ППС  
**Table 2.** Composition of food film-forming coating FFC

Наименование сырья	Расход, кг на 100 кг пищевого покрытия ( $p \leq 0.5$ )
Пищевой пленкообразующий состав ППС	3.0*
Моноглицериды дистиллированные	0.84
Эмульгатор вспомогательный по СТП 020500-59-86	0.48
Калий сорбиновокислый или сорбиновая кислота	0.06
Ацетилированные моноглицериды дистиллированные	1.32
Глицерин дистиллированный	0.3
Молочная кислота	2.0
Вода питьевая	95.0

Примечание: \* – в пересчете на сухое вещество.  
 Note. – in terms of dry matter.

**Таблица 3.** Органолептические и микробиологические показатели пищевого пленкообразующего покрытия на основе моноглицеридов  
**Table 3.** Organoleptic and microbiological indicators of food film-forming coating based on monoglycerides

Наименование показателя	Характеристика показателей для приготовления покрытия
Консистенция	Однородная эмульсия
Цвет	От белого до кремового
Запах	Без запаха
Содержание сухих веществ в пищевом покрытии, %	3.0
Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в 1 г. пищевого покрытия на выходе из форсунок (перед нанесением на тушки птицы), не более	$1 \times 10^2$
Бактерии группы кишечной палочки в 0.01г. пищевого покрытия	Не допускаются
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	Не допускаются

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) определяли согласно ГОСТ 7702.2.1–2017 [18]. Исследовали смывы с поверхности тушки до обработки ППС, после обработки и в динамике хранения.

Санитарно-бактериологическое состояние образцов изучали в соответствии с СанПиН 2.3.2.1078-01 [15] на наличие патогенных микроорганизмов, включая бактерии группы кишечной палочки (БГКП), *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enterica*, бактерий рода *Proteus* [19–23].

Для каждой из указанных концентраций ППС были рассчитаны средние величины колоний мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) и психротрофных микроорганизмов после обработки тушек птицы и в процессе их хранения.

Одним из существенных показателей пищевых пленкообразующих составов является способность образования покрытий, стойких при хранении. С целью изучения стабильности пищевых покрытий были исследованы новые композиции пленкообразующих составов на основе моноглицеридов, разрешенных к применению в пищевой промышленности Российской Федерации. В модельных опытах изучали целостность покрытия и наличие микропор сразу после нанесения на стерильные и обезжиренные предметные стекла в виде стекающего слоя и через 10 сут хранения при температуре  $0 + 2^\circ\text{C}$ . Просмотр пленок производили с помощью светового микроскопа (Микромед, фирма ЛОМО, СПб, РФ) и электронного сканирующего микроскопа (СЭМ, Hitachi SU-8010, Япония).

Все опыты имели не менее 3 повторностей, обеспечивающих получение воспроизводимых и досто-

**Таблица 4.** Изменение количества психротрофных микроорганизмов при обработке ППС и последующем хранении контрольных и опытных образцов (полу-тушки птицы)**Table 4.** Composition of commercial food film-forming coating FFC and subsequent storage of control and experimental samples (poultry half-carasses)

Время хранения		КОЕ/г					
		Контроль 1*	Концентрация молочной кислоты в растворе ППС, для обработки опытных образцов, %				
			0.5	1.0	1.5	контроль 2.0*	2.0
Начало опыта (0 сут)	До обработки	$2.3 \pm 0.27 \times 10^2$	$2.3 \pm 0.27 \times 10^2$	$2.3 \pm 0.27 \times 10^2$	$2.3 \pm 0.27 \times 10^2$	$2.3 \pm 0.27 \times 10^2$	$2.3 \pm 0.27 \times 10^2$
	После обработки	$2.0 \pm 0.32 \times 10^2$	$1.8 \pm 0.22 \times 10^1$	$1.5 \pm 0.12 \times 10^1$	$1.1 \pm 0.13 \times 10^1$	$1.2 \pm 0.13 \times 10^1$	$1.0 \pm 0.11 \times 10^1$
3 сут.		$3.0 \pm 0.35 \times 10^3$	$2.8 \pm 0.20 \times 10^2$	$2.5 \pm 0.18 \times 10^2$	$1.8 \pm 0.12 \times 10^1$	$2.2 \pm 0.21 \times 10^2$	$1.3 \pm 0.14 \times 10^1$
5 сут.		$4.9 \pm 0.47 \times 10^4$	$4.3 \pm 0.49 \times 10^4$	$4.0 \pm 0.33 \times 10^4$	$3.2 \pm 0.18 \times 10^3$	$3.5 \pm 0.39 \times 10^3$	$2.7 \pm 0.14 \times 10^2$

Примечание: Контроль 1\* – образцы без нанесения ППС.

Контроль 2\* – образцы, обработанные 2%-ным раствором молочной кислоты в воде.

Note: Control 1\* – samples without application of FFC.

Control 2\* – samples treated with a 2% solution of lactic acid in water.

верных данных. Результаты, полученные в ходе эксперимента, обрабатывали с помощью статических методов с использованием программы Microsoft Excel, Statsoft Statistica 6.0 (USA). Достоверность статистической разницы между средними величинами определяли с использованием критерия Стьюдента ( $p \leq 0.05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мясо птицы и продукты из него являются благоприятной питательной средой для размножения многих микроорганизмов. Анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросу доброкачественности мяса позволил установить, что основной причиной порчи мяса являются микробные загрязнители – источник опасных для населения болезней пищевого происхождения [1, 2, 12]. Среди опасных загрязнителей – возбудителей болезней, связанных с потреблением продуктов из мяса птицы и создающих возможные риски для здоровья человека, являются *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и др. [6, 12, 13]. В научном аспекте для предотвращения вызванных ими инфекций представляет интерес комбинирование влияния низкой положительной температуры хранения и нанесение эффективных пищевых покрытий, включающих нетоксичные антимикробные компоненты, рекомендованные для хранения пищевого сырья. В литературе описано влияние МК различной концентрации и бактерицида низина на рост психротрофных микроорганизмов и безопасность мяса птицы в процессе хранения при низких температурных режимах [2, 5, 10, 25]. Установлено, что если тушки птицы после первичной обработки не

охлаждать, то на их поверхности могут быстро развиваться мезофильные и психротрофные бактерии, при этом количество микроорганизмов на 1 см<sup>2</sup> площади поверхности тушки кур может колебаться в широких пределах [12, 23].

В наших экспериментах начальное количество психротрофных микроорганизмов в тушках птицы до обработки составляло приблизительно  $2.3 \times 10^2$  колониеобразующих единиц на грамм (КОЕ/г). После пятичасового инкубационного периода в образцах, обработанных ППС с включением различных концентраций МК (от 0.5 до 2.0%), отмечено снижение уровня обсемененности на порядок, в то время как в контрольных образцах, не обработанных пищевым покрытием, уровень обсемененности практически не меняется (табл. 4). Такая же закономерность наблюдается в изменении количества психротрофных микроорганизмов после трех и пяти суток хранения. Сравнительный анализ полученных данных развития микроорганизмов (психротрофных и КМАФАнМ) показывает, что при одинаковой концентрации молочной кислоты (2%) в воде и в составе ППС эффективность влияния МК на степень ингибирования развития микроорганизмов в составе ППС на порядок выше, чем в воде, т.е. имеет место синергетический эффект (табл. 5).

Включение молочной кислоты в пищевые покрытия для тушек птицы снизило количество психротрофных, мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в процессе хранения мяса. Результаты исследований подтверждают потенциал пищевых покрытий, усиленных молочной кислотой, в повышении микробной безопасности и увеличении срока годности птицы.

**Таблица 5.** Изменение количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) при обработке ППС и последующем хранении контрольных и опытных образцов (полу-тушки птицы)  
**Table 5.** Changes in the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (QMAFAnM) during the processing of FFC and subsequent storage of control and experimental samples (poultry half-carcasses)

Время хранения		КОЕ/г					
		Контроль 1*	Концентрация молочной кислоты в растворе ППС для обработки опытных образцов, %				
			0.5	1.0	1.5	контроль 2*	2.0
Начало опыта (0 сут)	До обработки	$3.6 \pm 0.41 \times 10^3$	$3.6 \pm 0.41 \times 10^3$	$3.6 \pm 0.41 \times 10^3$	$3.6 \pm 0.41 \times 10^3$	$3.6 \pm 0.41 \times 10^3$	$3.6 \pm 0.41 \times 10^3$
	После обработки	$3.5 \pm 0.28 \times 10^3$	$3.3 \pm 0.42 \times 10^3$	$3.1 \pm 0.23 \times 10^3$	$2.7 \pm 0.18 \times 10^2$	$2.6 \pm 0.18 \times 10^2$	$2.3 \pm 0.21 \times 10^2$
3 сут.		$4.4 \pm 0.56 \times 10^4$	$4.2 \pm 0.47 \times 10^4$	$4.0 \pm 0.29 \times 10^4$	$3.6 \pm 0.27 \times 10^3$	$3.3 \pm 0.26 \times 10^3$	$3.0 \pm 0.27 \times 10^3$
5 сут.		$5.8 \pm 0.49 \times 10^5$	$5.5 \pm 0.35 \times 10^5$	$5.3 \pm 0.49 \times 10^5$	$4.8 \pm 0.32 \times 10^4$	$4.6 \pm 0.45 \times 10^4$	$8.6 \pm 0.48 \times 10^3$

*Примечание:* Контроль 1\* – образцы, обработанные раствором ППС без включения молочной кислоты.

Контроль 2\* – образцы, обработанные 2%-ным раствором молочной кислоты в воде.

*Note:* Control 1\* – samples treated with FFC solution without lactic acid inclusion.

Control 2\* – samples treated with 2% lactic acid solution in water.

В проведенных экспериментах концентрация МК 0.5% взята по рекомендации авторов статьи [5], а 2% – как предельно допустимая, поскольку при увеличении концентрации молочной кислоты в растворе ППС выше 2% отмечается изменение цвета кожи птицы (появление белых пятен, ухудшающих товарный вид).

Совместное развитие мезофильных и психротрофных микробов приводит к быстрой порче мяса, особенно, если преобладают бактерии рода *Proteus* или психротрофные бактерии рода *Pseudomonas* [24]. Имеются данные, что количество психротрофных бактерий на мясе до охлаждения не превышает 10% общего количества контаминантов, в то время как на мясе, поступающем к потребителю, количество их увеличивается до 80% и более [25]. В ППС с добавлением низина наблюдалась тенденция по снижению КМАФАнМ, но после 5 сут хранения несколько повышается количество психротрофов, что может быть следствием особенности бактериоцина низина.

Известно, что остаточная активность низина падает примерно на 70% в течение 4 сут хранения при 5°C обработанных им образцов. Диффузия низина в продукты неполная, и он может подвергаться гидролизу протеолитическими ферментами. Кроме того, низин взаимодействует с фосфолипидами, присутствующими в мясе, что снижает его активность. Свои свойства низин сохраняет в диапазоне pH 3.5–8.0, под действием пищевых ферментов разных классов, включая протеолитические ферменты (панкреатин, трипсин, α-хи-

молитрипсин и пр.) теряет активность, но устойчив к сычужным ферментам. Низин термостабилен, особенно при низких значениях pH, что особенно важно при его применении в пищевой промышленности с термообработкой продуктов [8, 9].

Исследования показали, что ни в одном из образцов патогенные бактерии рода *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* не были обнаружены. Но были обнаружены бактерии из рода *Pseudomonas* – грамотрицательные палочки, которые в ультрафиолетовом свете на мясопептонном агаре дают характерное зеленое свечение, при росте в мясопептонном бульоне вызывали помутнение и образовывали пленку, на среде Рессель изменяли цвет косяка полускошенного агара без образования газа [24].

Включение молочной кислоты в пищевые покрытия при обработке тушек птицы так же эффективно снижает количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов при хранении. Согласно данным табл. 3 и 4 по определению влияния на микробиологические изменения различных концентраций молочной кислоты в составе ППС уже при ее концентрации 0.5% наблюдалось значительное ингибирование развития психротрофных микроорганизмов, в то время как для КМАФАнМ аналогичный эффект замечен лишь при концентрации 1.5%.

С увеличением концентрации МК в составе покрытия при низкотемпературном хранении обсемененность психротрофными микроорганизмами снижалась. Наибольший эффект отмечен в образцах, содержащих 2.0% молочной кислоты. Ан-

**Таблица 6.** Влияние консервантов в составе раствора ППС на изменение значений pH и Eh  
**Table 6.** The influence of preservatives in the composition of FFC on the change in pH and Eh values

№	Наименование составов	pH		Eh, mV	
		исходное	после добавления консерванта	исходное	после добавления консерванта
1.	Контроль (вода)	7.43 ± 0.28	–	0.53 ± 0.06	–
2.	ППС 3% + МК 2%	7.85 ± 0.23	2.67 ± 0.13	1.05 ± 0.13	158 ± 5.0
3.	МС 5% + глиц. 10% + МК 2% + ЛК 0.2%	4.75 ± 0.15	3.17 ± 0.27	0.32 ± 0.05	129 ± 4.0
4.	МС 5% + глиц. 10% + МК 2% + ЛК 0.2% + + 0.1% низин	4.45 ± 0.25	3.05 ± 0.09	0.33 ± 0.03	140 ± 5.0

*Примечание:* МК – молочная кислота; МС – молочная сыворотка; глиц. – глицерин; ЛК – лимонная кислота.  
*Note:* LA – lactic acid; DW – dairy whey; glyc. – glycerin; CA – citric acid.

тимикробная активность молочной кислоты может быть связана с ее способностью снижать pH поверхности продукта, создавая неблагоприятную среду для роста микроорганизмов, и вызывать деградацию клеточных мембран бактерий, приводящих к гибели клеток и, как следствие, подавлению роста контаминантов.

Проведенное исследование позволило предположить, что содержащаяся в продуктах молочная кислота будет сдерживать рост и развитие микромицетов, споровых, сапрофитов, болезнетворных бактерий, переводя их в состояние анабиоза и гибели, что позволит продлить время хранения продукта.

Молочная кислота имеет более низкую константу диссоциации по сравнению с другими кислотами, поэтому при одной и той же концентрации она может обладать более высокой проникающей способностью в клетки, в следствии чего существенно влияет на pH микробной клетки и скорость ферментативной реакции.

Мясо, начавшее подвергаться разложению (гниению), изменяет реакцию среды в сторону нейтральной. Оно приобретает pH 6.4–6.8 и выше в зависимости от степени накопления продуктов распада (главным образом, аммиака), изменения в мышечной ткани, возникающие в процессе хранения [12, 23, 25, 26].

В формировании качества пищевых продуктов и стабильности их при хранении важное значение имеют окислительно-восстановительные реакции, развитие которых можно оценить измерением окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Значение Eh мясных продуктов зависит от многих факторов, включая природу сопряженных окислительно-восстановительных пар, температуру, концентрацию про- и антиоксидантов

[12, 26]. В связи с этим представляло интерес определение изменения значений pH и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) для растворов ППС с введением в их состав разных консервирующих агентов. В табл. 6 приведены данные по влиянию включения консервантов в состав растворов пищевых ППС на основе молочной сыворотки на изменение активной плотности среды (pH) и окислительно-восстановительного потенциала (Eh).

Согласно данным табл. 6 при введении 2% молочной кислоты в раствор ППС на основе моноглицеридов наблюдается значительное падение pH от исходного 7.85 до 2.67, а для ППС на основе молочной сыворотки (МС) с внесением 2% молочной кислоты и 0.25% лимонной кислоты (как антиоксиданта) значения pH снижаются от 4.75 до 3.17, что, по-видимому, связано с низким значением активной кислотности среды молочной сыворотки. Добавление в этот же состав 0.1% бактериоцина низина способствует снижению pH от 4.45 до 3.05. Согласно полученным результатам исследований значения pH разработанных пленкообразующих составов (2.67 и 3.05) меньше минимальных значения pH (3.2–4.7), необходимых для роста микроорганизмов, контаминирующих поверхность мяса и вызывающих порчу мяса и мясных продуктов при холодильном хранении, как указано в ранее проведенных исследованиях (табл. 1). Величина pH оказывает влияние на направленность окислительно-восстановительных реакций, так при повышении pH и снижении Eh создаются благоприятные условия для восстановительных реакций. Окислительно-восстановительный потенциал мяса изменяется в зависимости от pH, количества гемсодержащих белков и продуктов окисления липидов, от ферментатив-



**Рис. 1.** Микрофотография покрытия ППС в модельных опытах сразу после нанесения (световой микроскоп, увеличение  $\times 400$ ).

**Fig. 1.** Microphotograph of the FFC coating in model experiments immediately after application (light microscope, magnification  $\times 400$ ).

ной активности в мышцах, продолжительности автолиза, а также от уровня микробной обсемененности, вида и способа упаковки, парциального давления кислорода в среде хранения, присутствия таких ингредиентов, как кислоты, редуцирующие сахара, а также окисления катионов, ионной силы и т. д. [12, 26].

Способность молочной кислоты снижать pH и Eh раствора ППС, а, следовательно, и на границе покрытия и поверхности продукта, создает неблагоприятную среду для роста микроорганизмов, вызывает деструкцию клеточных мембран бактерий, приводя к гибели клеток и, как следствие, общее подавлению роста контаминантов. Результаты исследования свидетельствуют о том, что при включении в состав пищевых покрытий органических кислот имеет место повышение Eh. Эффект влияния включения органических кислот в ППС на степень уменьшения Eh зависит от состава композиции. От величины окислительно-восстановительного потенциала зависит скорость роста микроорганизмов. При этом диапазон значений потенциала, при котором наблюдается интенсивный рост микроорганизмов, варьирует в зависимости от их отношения к кислороду. Аэробные микроорганизмы активно растут при окислительно-восстановительном потенциале от +500 мВ до +300 мВ. Полученные в экспериментах данные показывают, что значение Eh различных компо-

зиций пищевых покрытий, используемых для нанесения на поверхность тушек птицы, значительно меньше и способствует снижению роста микроорганизмы при хранении. Чем ниже значение Eh, тем выше стабильность пищевых продуктов при хранении из-за уменьшения скорости окисления липидов и белков [26].

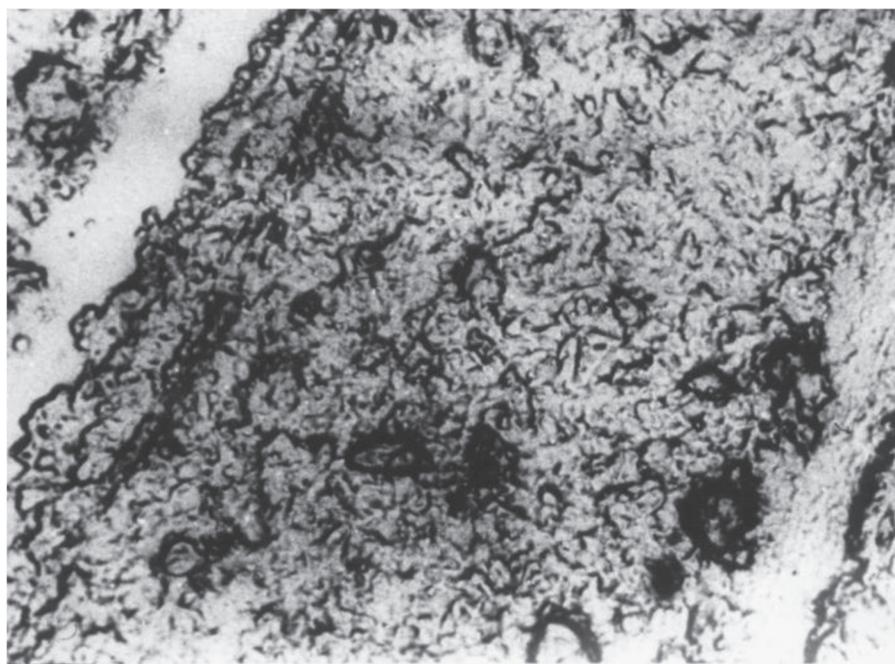
Одним из существенных показателей пищевых пленкообразующих составов является способность образования стойких при хранении покрытий. На следующем этапе исследований проведены опыты по изучению структуры поверхности ППС с целью определения целостности покрытия и определение возможного наличия микропор. Изучение поверхности покрытия ППС в световом и электронном сканирующем микроскопе подтверждают целостность структуры пленки сразу после нанесения (рис. 1, 2) и ее частичное разрушение после 10 сут хранения при  $0-2^{\circ}\text{C}$  (рис. 3).

Таким образом, результаты проведенных исследований демонстрируют потенциал пищевых покрытий, усиленных молочной кислотой и низином, в повышении микробной безопасности и увеличении срока годности птицы. При этом у всех образцов без обработки отмечено не только доминирование грамотрицательных палочковидных форм бактерий, но и повышение общей численности микробов-контаминантов.



**Рис. 2.** Поверхность пленки ППС в модельных опытах сразу после нанесения состава (электронный сканирующий микроскоп, увеличение  $\times 5000$ ).

**Fig. 2.** The surface of the FFC film in model experiments immediately after applying the composition (electronic scanning microscope, magnification  $\times 5000$ ).



**Рис. 3.** Микрофотография покрытия ППС в модельных опытах через 10 сут хранения при 0–2°C (световой микроскоп, увеличение  $\times 900$ ).

**Fig. 3.** Microphotograph of the FFC in model experiments coating after 10 days of storage at 0–2°C (light microscope, magnification  $\times 900$ ).

Стабильность и безвредность большинства пищевых продуктов основана на применении комбинированных консервирующих факторов. В связи с этим, представляется необходимой разработка научно обоснованных технологий переработки мяса птицы, которые бы являлись безвредными для здоровья человека и отличались максимальными сроками хранения.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по бюджетной программе 217 “Развитие науки”, подпрограмме 102 “Грантовое финансирование научных исследований”, специфике 154 “Оплата услуг по исследованиям” в рамках выполнения проекта AP19678940 “Разработка новой технологии хранения охлажденного мяса птицы и птицепродуктов с применением биологических методов консервирования в сочетании с холодом” на 2023–2025 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FAO (The Food and Agriculture Organization). FAOSTAT. 2020. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (accessed on 3 June 2022).
2. Jiang Z., Neetoo H., Chen H. Efficacy of freezing, frozen storage and edible antimicrobial coatings used in combination for control of *Listeria monocytogenes* on roasted turkey stored at chiller temperatures. *Food Microbiol.*, 2011, 28(7), 1394–1401. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.06.015>
3. Cutter C.N. Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat Sci.*, 2006, 74(1), 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.023>
4. Debeaufort F., Voilley A. Lipid based edible films and coatings. In *Edible Films and Coatings for Food Applications*, M. E. Embuscado and K. C. Huber, Eds., pp. 135–168, Springer, New York, NY, USA, 2009.
5. Web L., Ma, L., Lu, X. Impact of lactic acid bacteria on the control of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods. *Food Qual. Saf.*, 2022, 6, 1–11. <https://doi.org/10.1093/fqsaf/fyac045>
6. Fischer S.W., Titzgemeyer F. Protective cultures in food products: from science to market. *Foods*, 2023, 12(7), 1541. <https://doi.org/10.3390/foods12071541>
7. Srivastava R.K. Enhanced shelf life with improved food quality from fermentation processes. *J. Food Technol. Preserv.*, 2018, 2, 8–14.
8. Стоянова Л.Г., Устюгова Е.А., Непрусов А.И. Анти-микробные метаболиты молочнокислых бактерий: разнообразие и свойства (обзор). *Прикладная Биохимия и Микробиология*, 2012, 48(3), 259–275.
9. Choi G.H., Holzapfel W.H., Todorov S.D. Diversity of the bacteriocins, their classification and potential applications in combat of antibiotic resistant and clinically relevant pathogens. *Crit. Rev. Microbiol.*, 2023, 49(5), 578–597. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2022.2090227>
10. Gharsallaoui A., Oulahal N., Joly C., Degraeve P. Nisin as a Food Preservative: Part 1: Physicochemical Properties, Antimicrobial Activity, and Main Uses. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2016, 56, 1262–1274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.763765>
11. ГОСТ Р 57646-2017 Продукция микробиологическая. Добавка пищевая низин. Технические условия.
12. Фейнер Г. Мясные продукты, научные основы, технологии, практические рекомендации. Санкт-Петербург, изд. Профессия, 2010, 719 с.
13. ГОСТ 31962-2013. Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части) Технические условия.
14. Janes M.E., Kooshesh S., Johnson M.G. Control of *Listeria monocytogenes* on the surface of refrigerated, ready-to-eat chicken coated with edible zein film coatings containing nisin and/or calcium propionate. *J. Food Sci.*, 2002, 67(7), 2754–2757. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08810.x>
15. СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.
16. Технические условия. ТУ 9145-357-00334623-2003 Пищевая добавка – моноглицериды дистиллированные (МГД) (Е471).
17. Технические условия. ТУ 7511903-626-93) Пищевая добавка – моноглицериды ацетилированные.
18. ГОСТ Р 7702.2.1-2017 Продукты убоя птицы, продукция из мяса птицы и объекты окружающей производственной среды. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов.
19. ГОСТ Р 54374-2011 “Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты птицы. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)”.
20. ГОСТ Р 51921-2002 “Продукты пищевые. Методы выявления и определения *Listeria monocytogenes*”.
21. ГОСТ 7702.2.7-2013 “Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты птицы. Методы выявления бактерий рода *Proteus*”.
22. ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002) Межгосударственный стандарт продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*.
23. Абдуллаева А.М., Смирнова И.Р., Трохимец Е.В., Губанкова А.А. Микробиологический контроль полуфабрикатов из мяса индеек при холодильном хранении. *Ветеринария*, 2017, 8, 49–53.
24. ГОСТ Р ИСО 13720-2011. Мясо и мясные продукты. Подсчет количества презумптивных *Pseudomonas* spp.
25. Galvez A., Lopez R.L., Abriouel H. Valdivia E., Omar N.B. Application of bacteriocin in the Control of Foodborne Pathogeniv and Spoilage Bacteria. *Crit. Rev. Biotech-*

*not.*, 2008, 28, 125–152.

<https://doi.org/10.1080/07388550802107202>

26. Патракова, И.С., Гуринович Г.В., Мышалова О.М., Серегин С.А., Патишина М.В. Окислительно-вос-

становительный потенциал как показатель стабильности мясных систем. *Ползуновский вестник*, 2021, 1, 66–73.

<https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009>

## Research on the Development and Application of Antimicrobial Food Coatings to Maintain Quality and Increase Shelf Life of Poultry Meat

L. G. Stoyanova<sup>a, #</sup>, M. A. Dibirasulaev<sup>b</sup>, D. M. Dibirasulaev<sup>b</sup>,  
L. B. Umiralieva<sup>c</sup>, M. Kh. Iskakov<sup>c</sup>, and I. D. Filatov<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Moscow State University named after M.V. Lomonosov”, Faculty of Biology, Moscow, 119991 Russia*

<sup>b</sup>*VNIHI-branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “V.M. Gorbatov Federal Scientific Center of Food Systems” of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 109316 Russia*

<sup>c</sup>*LLP “Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry”, Almaty, 050060 Kazakhstan*

<sup>#</sup>*e-mail: stoyanovamsu@mail.ru*

**Abstract**—Preserving the quality improving safety and extending the shelf life of food products is one of the priority directions of healthy nutrition development. To prolong the shelf life of products, the technology of refrigerated processing and maintenance at reduced temperature is used which allows to increase the shelf life of products and reduce their weight loss. However, chilled meat has a limited shelf life. One of the effective ways to preserve quality and reduce weight loss during chilled storage is the treatment of the product surface with protective food film-forming compositions (FFC) based on surface-active and antimicrobial substances. Studies were conducted to evaluate the effectiveness of lactic acid of different concentrations (0.5–2.0%) and bacteriocin nisin (0.1%) in the composition of FFC on the reduction of total contamination and pathogen contamination of broiler chicken half-carcasses during chilled storage. The values of active acidity and redox potential in solutions of different composition of FFC on the growth and development of potential contaminants of food raw materials were determined. By means of microscopy changes in the integrity of the structure of FFC during storage were studied. The obtained data will allow to optimize the use of protective film-forming compositions for creation of biotechnology of poultry processing in order to preserve the quality and increase the shelf life of poultry meat during chilled storage.

**Keywords:** broiler chicken carcasses, refrigerated storage, psychrotrophs, contaminants, biosafety, food film-forming compounds (FPS), monoglycerides, lactic acid, bacteriocin nisin, microscopy of FPS