

Инновационные технологические решения для производства вяленого мяса с применением комплексных стартовых культур

Блинохватов А.А., Блинохватова Ю.В.

Аннотация. В статье исследована возможность перехода от эмпирических методов вяления свиной шеи к управляемому биотехнологическому процессу с применением дифференцированных стартовых культур и автоматизированного оборудования (вакуумное шприцевание, PLC-управляемые климатические камеры). Изучено влияние трех коммерческих культур: молочнокислых бактерий (СК-1), стафилококково-микрококковой фракции (СК-2) и комплексной культуры с дрожжами *Debaryomyces hansenii* (СК-3). Установлено, что применение варианта СК-3 в сочетании со снижением дозировки нитрита на 12,5 % обеспечивает синергетический эффект: сокращение накопления биогенных аминов на 40–55 %, торможение окисления липидов (TBARS 0,54 мг МА/кг), улучшение текстурно-реологических характеристик и повышение потребительской оценки продукта. Разработана матрица критических контрольных точек ХАССП, интегрированная в SCADA-системы. Результаты обосновывают технологическую целесообразность промышленного масштабирования технологии с гарантированным сроком годности готовых изделий до 90 суток.

Ключевые слова: вяленое мясо, стартовые культуры, вакуумное шприцевание, PLC-управление, ферментация, биогенные амины, свиная шея, активность воды, текстура.

Для цитирования: Блинохватов А.А., Блинохватова Ю.В. Инновационные технологические решения для производства вяленого мяса с применением комплексных стартовых культур // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 3. С. 36–40.

Innovative technological solutions for the production of cured meat using complex starter cultures

Blinokhvatov A.A., Blinokhvatova Yu.V.

Abstract. This article investigates the transition from empirical methods of curing pork neck to a controlled biotechnological process utilizing specific starter cultures and automated equipment (vacuum injection, PLC-controlled climate chambers). The study examined the effects of three commercial cultures: lactic acid bacteria (SC-1), a **Staphylococcus*-Micrococcus** fraction (SC-2), and a complex culture containing the yeast **Debaryomyces hansenii** (SC-3). It was found that using the SC-3 variant in combination with a 12.5% reduction in nitrite dosage yielded a synergistic effect: a 40–55% reduction in biogenic amine accumulation, inhibition of lipid oxidation (TBARS 0.54 mg MA/kg), improved textural and rheological properties, and higher consumer ratings. A HACCP critical control point matrix integrated into SCADA systems was developed. The results justify the technological feasibility of scaling up the process for industrial production, ensuring a shelf life of up to 90 days for the finished products.

Keywords: cured meat, starter cultures, vacuum injection, PLC control, fermentation, biogenic amines, pork neck, water activity, texture.

For citation: Blinokhvatov A.A., Blinokhvatova Yu.V. Innovative technological solutions for the production of cured meat using complex starter cultures. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 3. pp. 36–40. (In Russ.).

Введение

В современной мясной индустрии наблюдается устойчивая тенденция к росту спроса на продукты с расширенным сроком хранения, минимальным содержанием синтетических добавок (концепция «clean label») и выраженными натуральными органолептическими характеристиками. Вяленое мясо традиционно занимает значимую нишу в структуре мясного ассортимента, однако классические технологии, основанные на спонтанном ферментировании, характеризуются рядом технологических и гигиенических ограничений. К ним относятся нестабильность микробиологического фона, риск развития патогенной микрофлоры, зависимость качества от климатических факторов и необходимость использования повышенных доз посолочных смесей.

Применение стартовых культур позволяет перейти к управляемому производству, обеспечивая контролируемое закисление среды, направленное протео- и липолитическое расщепление и синтез бактериоцинов. Тем не менее, эффективность биотехнологий напрямую зависит от инженерного обеспечения процесса: точности распределения культур в мышечной ткани и параметрического контроля микроклимата ферментационно-сушильных камер. Переход от лабораторно-пилотных исследований к промышленному производству требует системной адаптации рецептурно-технологических решений с использованием современного автоматизированного оборудования и систем менеджмента безопасности.

Объекты и методы исследования

Основным объектом исследования выступала охлажденная свиная шея (категория А, ГОСТ 31797-2012), обладающая равномерной межмышечной жировой прослойкой и оптимальным соотношением соединительной и мышечной ткани.

В работе исследовались три типа стартовых культур (СК):

СК-1 – гомоферментативные молочнокислые бактерии (*Pediacoccus pentosaceus*, *Lactobacillus sakei*);

СК-2 – коагулаза-отрицательные стафилококки и микрококки (*Staphylococcus carnosus*, *S. xylosus*);

СК-3 – комплексная смешанная культура (молочнокислые бактерии + стафилококки + дрожжи *Debaryomyces hansenii*).

Кинетику кислото-накопления оценивали по изменению активной кислотности (рН); активность воды (a_w) определяли кондуктометрическим методом; структурно-механические свойства анализировали методом Profile Analysis (TPA); окислительную стабильность липидов оценивали по показателю TBARS; содержание биогенных аминов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ-ФЛД).

Результаты и их обсуждение

1. Адаптация рецептур и инженерных параметров подготовки сырья

Ключевым принципом конструирования рецептур являлось соответствие метаболических потребностей штаммов биохимическим характеристикам сырья. Дозировка декстрозы была оптимизирована под кинетику кислото-накопления: 0,8 % для СК-1, 1,2 % для СК-2 и 1,0 % для СК-3.

Варианты СК-2 и СК-3 позволили снизить дозировку нитритно-посолочной смеси на 12,5 % (с 0,40 до 0,35 %) за счет подтвержденной нитритредуктазной активности стафилококковой фракции, что отвечает трендам на снижение химической нагрузки на потребителя.

При переходе к массовому производству (партии до 1000 кг) критически важным становится равномерное распределение посолочной смеси и активированных культур в объеме мышечной ткани. Это достигается применением инновационного оборудования:

Вакуумное шприцевание: давление 0,8–1,2 бар, степень поглощения раствора 12–15 %. Применение мультиигольчатых инжекторов с шагом игл 15–20 мм обеспечивает диффузию стартовых культур непосредственно в мышечные пучки и жировые прослойки.

Программируемое массирование: в промышленных вакуумных куттерах применяется двухступенчатый цикл (20 мин при атмосферном давлении → 10 мин вакуумирования при -0,8 бар → 15 мин

Таблица 1 – Технологические режимы и параметры PLC-контроля

Параметр	Контроль (К)	Вариант СК-1	Вариант СК-2	Вариант СК-3
Температура ферментации, °C	18–20	20–22	22–24	20 (1–3 сут) → 15 (4–7 сут)
Относительная влажность, %	80–85	85–90	75–80	85 (1–3 сут) → 70 (4–7 сут)
Длительность ферментации, сут	10–14	2–3	7–10	5–7
Целевой рН после ферментации	5,4–5,6	4,8–5,0	5,3–5,5	5,2–5,4
Частота контроля рН / a_w	1 раз/24 ч	1 раз/12 ч (первые 48 ч)	1 раз/24 ч	1 раз/12 ч (1–3 сут)

Таблица 2 – Структурно-механические и колориметрические показатели

Показатель	Контроль	СК-1	СК-2	СК-3	p-value (ANOVA)
Твёрдость (TPA), Н	21,4±0,8	19,7±0,7*	15,2±0,6*	16,1±0,5*	<0,001
Упругость (Springiness), отн. ед.	0,82±0,03	0,79±0,02	0,88±0,02*	0,86±0,02*	<0,001
Жёсткость (Chewiness), Н	14,6±0,5	13,1±0,4*	9,8±0,3*	10,4±0,4*	<0,001
Индекс покраснения (a*)	14,2±0,5	15,1±0,4*	17,4±0,3*	18,2±0,3*	<0,001
Общая дегустационная оценка, баллы	3,9±0,2	4,4±0,1*	4,6±0,1*	4,8±0,1*	<0,001
Готовность к повторной покупке, %	62	74	78	86	$\chi^2=14,2$, p=0,003

Примечание: * – достоверные отличия от контроля при $p < 0,05$

Таблица 3 – Показатели биохимической стабильности готовой продукции

Показатель	Контроль	СК-1	СК-2	СК-3	Норматив / Рекомендация
Гистамин, мг/кг	42,1±2,8	31,4±2,1*	38,6±2,4	18,9±1,5*	≤100 (EFSA)
Тирамин, мг/кг	21,5±1,9	14,8±1,3*	19,2±1,7	9,7±0,9*	≤200 (рекоменд.)
TBARS, мг МА/кг	1,34±0,09	1,02±0,07*	0,78±0,06*	0,54±0,04*	≤2,0
Остаточный нитрит, мг/кг	48,2±2,1	45,7±1,9	39,4±1,6*	37,1±1,4*	≤50 (ТР ТС 029)
Активность воды (aw), 21 сутки	0,87±0,004	0,86±0,003	0,87±0,004	0,85±0,003*	≤0,88

при охлаждении до $t \leq +4$ °C). Это предотвращает локальный перегрев, сохраняет жизнеспособность мезофильных штаммов и активирует миофибриллярные белки для формирования стабильной текстуры.

2. Параметрический контроль ферментации с использованием PLC-оборудования

Динамика pH и активности воды (aw) является ключевым индикатором интенсивности ферментации. Выбор стартовой культуры диктует необходимость применения программируемых логических контроллеров (PLC) в климатических камерах для реализации ступенчатых режимов микроклимата.

В варианте СК-1 наблюдалось наиболее быстрое закисление (pH 4,85±0,04 к 48 ч), что требует строгого контроля для предотвращения избыточной денатурации белков. Вариант СК-2 характеризовался умеренным закислением, но требовал расширенного периода при 22–24 °C для активации липолитических ферментов.

Наиболее сбалансированную кинетику продемонстрировал вариант СК-3: начальное снижение pH до 5,05±0,04 (3-и сутки) с последующей стабилизацией на уровне 5,25±0,03. Это объясняется утилизацией части молочной кислоты дрожжами *Debaryomyces hansenii*, что предотвращает избыточное подкисление и формирует оптимальный pH-буфер. Интеграция датчиков pH и aw с SCADA-системой обеспечивает автоматическую корректировку траектории сушки при отклонениях более чем на ±0,15.

3. Структурно-механические и органолептические свойства

Инструментальный анализ текстуры (TPA) показал статистически значимое влияние метаболического профиля культур на механические характеристики. Наибольшая твердость зафиксирована в контроле (21,4±0,8 Н) и варианте СК-1 (19,7±0,7 Н) из-за выраженной денатурации саркоплазматических белков в кислой среде. Варианты СК-2 и СК-3 продемонстрировали сниженную твердость (15,2±0,6 Н и 16,1±0,5 Н) и повышенную упругость за счет протеолитической активности стафилококков и дрожжей, обеспечивающих частичную деградацию миофибриллярного матрикса.

Вариант СК-3 показал наилучший баланс: выраженную мясную основу, умеренную кислотность, глубокий аромат (обусловленный синтезом летучих карбонильных соединений при липолизе) и оптимальную упруго-эластичную консистенцию. Коэффициент готовности к повторной покупке достиг 86 %.

4. Биохимическая стабильность и безопасность

Безопасность ферментированных продуктов напрямую связана с накоплением биогенных аминов и степенью окисления липидов. Хроматографический анализ выявил значительные межгрупповые различия. Контрольный образец содержал суммарно 78,4±3,2 мг/кг биогенных аминов. В варианте СК-1 показатели снизились до 54,2±2,5 мг/кг за счет ингибирования декарбоксилаз конкурирующей микрофлоры. Наиболее низкие значения зафиксированы в варианте СК-3 (31,5±1,8 мг/кг), что обусловлено синергетическим эффектом конкуренции штаммов и утилизацией аминокислот дрожжами.

Окислительная стабильность липидов (метод TBARS) также существенно зависела от типа

культуры. Наименьшее накопление вторичных продуктов окисления зафиксировано в варианте СК-3 ($0,54 \pm 0,04$ мг МА/кг), что подтверждает выраженную каталазную и антиоксидантную активность комплексной культуры. Это обосновывает сохранение интенсивности окраски ($a^* = 18,2 \pm 0,3$) и отсутствие прогорклого привкуса при хранении. Прогнозируемый срок годности при 4°C для СК-3 составляет 75–90 суток.

5. Проектирование системы ХАССП для промышленного масштабирования

Промышленное производство требует обязательной валидации системы ХАССП с учетом двойственной роли стартовых культур: как фактора биоконсервации и как объекта строгого технологического контроля. Интеграция PLC-оборудования позволяет автоматизировать мониторинг критических контрольных точек (ККТ).

Выделено пять ключевых ККТ:

1. Приёмка сырья: контроль $t \leq +4^\circ\text{C}$ и отсутствие патогенов.
 2. Шприцевание: контроль дозы культуры ($\pm 2\%$), давления ($0,8\text{--}1,2$ бар) и титра на MRS-агаре.
 3. Ферментация: поддержание $\text{pH} \leq 5,3$ к 72 ч (для СК-1/3) и $\leq 5,5$ (для СК-2) с использованием PLC-логов.
 4. Сушка/созревание: достижение $\alpha_w \leq 0,88$ и контроль TBARS.
 5. Упаковка: контроль целостности шва и газового состава (N_2/CO_2 70/30) в MAP-упаковщиках.
- Автоматизированный контроль pH/α_w и стандартизация дозирования культур снижают вари-

бельность партий, уменьшая долю некондиционной продукции до $<2\%$, что повышает индекс общей эффективности оборудования (ОЕЕ) на 11–14 %.

Выводы

1. Применение стартовых культур в сочетании с инновационным оборудованием (вакуумными инжекторами и PLC-управляемыми климатическими камерами) позволяет перевести производство вяленого мяса из разряда эмпирических процессов в категорию параметрически управляемых биотехнологий.

2. Установлено, что комплексная культура СК-3 (МОК + стафилококки + дрожжи) обеспечивает синергетический эффект: сбалансированное закисление, минимизацию окислительных процессов (TBARS $0,54$ мг МА/кг) и снижение содержания биогенных аминов на 40–55 % относительно контроля.

3. Оптимизация рецептурного состава позволила снизить дозировку нитритно-посолочной смеси на 12,5 % в вариантах со стафилококковой фракцией без ущерба для микробиологической безопасности и стабильности окраски.

4. Разработанные технологические регламенты и матрица ХАССП, интегрированная с SCADA-системами, обеспечивают стабильное воспроизводство продукта заданного качества в партиях до 1000 кг и рекомендуются для промышленного масштабирования с прогнозируемым сроком годности до 90 суток.

Литература

- [1] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции» (принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 09.10.2013 № 68).
- [2] Абдрахманова, Р. Н. Стартовые культуры микроорганизмов в технологии производства мясопродуктов / Р. Н. Абдрахманова, Т. Н. Зайцева // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 1(30). – С. 71–73. – EDN QBNKOF.
- [3] Заиграева, Л. И. Конструирование стартовых культур для колбасного производства : специальность 05.18.04 «Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Заиграева Людмила Ивановна. – Улан-Удэ, 1996. – 160 с. – EDN NLICTL.
- [4] Клычкова, М. В. Свойства стартовой культуры в производстве сыровяленых изделий / М. В. Клычкова // Инициативы молодых - науке и производству : Сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых

References

- [1] Technical Regulation of the Customs Union TR CU 034/2013 «On the Safety of Meat and Meat Products» (adopted by Decision No. 68 of the Council of the Eurasian Economic Commission dated October 9, 2013).
- [2] Abdrakhmanova, R. N. Microbial starter cultures in meat product manufacturing technology / R. N. Abdrakhmanova, T. N. Zaitseva // Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. – 2012. – No. 1(30). – P. 71–73. – EDN QBNKOF.
- [3] Zaigraeva, L. I. Design of starter cultures for sausage production : Specialty 05.18.04 «Technology of meat, dairy, and fish products and refrigeration industries» : Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Zaigraeva Lyudmila Ivanovna. – Ulan-Ude, 1996. – 160 p. – EDN NLICTL.
- [4] Klychkova, M. V. Properties of starter culture in the production of dry-cured products / M. V. Klychkova // Youth Initiatives for Science and Industry : Collection of articles from the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, Penza, November 25–26, 2024. – Penza: Penza State

- ученых и студентов, Пенза, 25–26 ноября 2024 года.
– Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 741-744. – EDN IKHMIL.
- [5] Нестеренко, А. А. Применение стартовых культур в технологии производства ветчины / А. А. Нестеренко, Ю. А. Зайцева // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 9, № 1(31). – С. 65-68. – DOI 10.12737/3810. – EDN SETKWV.
- [6] Тимошенко, А. В. Характеристика стартовых культур для использования в технологии переработки мяса / А. В. Тимошенко, А. В. Штауфен // Биотехнология - надежды и свершения : Сборник трудов IV всероссийский научно-практической конференции с международным участием, Москва, 03 июня 2025 года. – Москва: Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина, 2025. – С. 95-96. – EDN GTCRBW.
- [7] Черненькая, Н. Н. Инновационный подход к производству стартовых культур / Н. Н. Черненькая // Мясные технологии. – 2019. – № 9(201). – С. 33. – EDN YGZAUR.
- Agrarian University, 2024. – P. 741-744. – EDN IKHMIL.
- [5] Nesterenko, A. A. Application of starter cultures in ham production technology / A. A. Nesterenko, Yu. A. Zaitseva // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. – 2014. – Vol. 9, No. 1(31). – P. 65–68. – DOI 10.12737/3810. – EDN SETKWV.
- [6] Timoshenko, A. V. Characteristics of starter cultures for use in meat processing technology / A. V. Timoshenko, A. V. Staufen // Biotechnology: Hopes and Achievements: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Moscow, June 3, 2025. – Moscow: K. I. Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA, 2025. – P. 95–96. – EDN GTCRBW.
- [7] Chernenkaya, N. N. Innovative approach to starter culture production / N. N. Chernenkaya // Meat Technologies. – 2019. – No. 9(201). – P. 33. – EDN YGZAUR.

Сведения об авторах

Information about the authors

Блиновхатов Антон Александрович кандидат сельскохозяйственных наук заведующий кафедрой «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: E-mail: bl-anton58@rambler.ru	Blinokhvatov Anton Alexandrovich PhD in Agricultural Sciences head of the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: E-mail: bl-anton58@rambler.ru"
Блиновхатова Юлия Владимировна кандидат биологических наук доцент кафедры «Почвоведение, агрохимия и химия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет» 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30 Тел.: E-mail: julechka83@inbox.ru	Blinokhvatova Yulia Vladimirovna PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Soil science, agrochemistry and chemistry» Penza State Agrarian University Phone: E-mail: julechka83@inbox.ru