

6. Сергеев, Н. С. Центробежно-роторные измельчители «ИЛС» для переработки фуражного зерна и семян рапса / Н. С. Сергеев // Зоотехния. – 2007. – № 5. – С. 27-29.
7. Сергеев, Н. С. Центробежно-роторные измельчители фуражного зерна: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Сергеев Николай Степанович. – Челябинск, 2008. – 236 с.
8. Труфанов, В. В. Исследование влияния конструктивных и технологических параметров на процесс измельчения в измельчителе ударно-центробежного типа / В. В. Труфанов, В. М. Опришко, Р. А. Дружинин // Вестник Мичуринского филиала Российского университета кооперации. – 2011. – № 2. – С. 62-67.
9. Труфанов, В. В. Совершенствование устройства для измельчения сыпучих материалов ударно-центробежного типа / В. В. Труфанов, В. М. Опришко, Р. А. Дружинин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1(28). – С. 39-41.

УДК 664.931.3:577.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАПАИНА И БРОМЕЛАЙНА ДЛЯ КОНТРОЛЯ НЕЖНОСТИ ТУШЕНОГО МЯСА: ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ

Захарова И. А.

УО «Гродненский государственный аграрный университет»

г. Гродно, Республики Беларусь

***Аннотация.** В настоящее время нежность мяса остается одним из ключевых показателей качества тушеных мясных продуктов. Энзиматическое воздействие протеазных ферментов, таких как папаин и бромелайн, представляет собой перспективный путь управления структурой мышечной ткани. В работе рассмотрены механизмы действия ферментов, их влияние на физико-химические свойства белка, а также представлены результаты исследований по оптимизации времени ферментативной обработки мяса.*

***Summary.** At present, meat tenderness remains one of the key quality indicators of stewed meat products. The enzymatic action of proteolytic enzymes such as papain and bromelain represents a promising approach to controlling the structure of muscle tissue. This paper examines the mechanisms of enzyme action, their influence on the physicochemical properties of proteins, and presents the results of studies aimed at optimizing the duration of enzymatic treatment of meat.*

Ключевые слова: папаин, бромелайн, ферментативная обработка, нежность мяса, тушеное мясо, протеолитические ферменты, миофибриллярные белки, коллаген, влагоудерживающая способность, оптимизация времени обработки, текстурные характеристики, мясные технологии.

Key words: papain, bromelain, enzymatic treatment, meat tenderness, stewed meat, proteolytic enzymes, myofibrillar proteins, collagen, water-holding capacity, optimization of treatment time, textural characteristics, meat processing technology.

Современные потребительские ожидания в отношении качества мясных продуктов включают высокую нежность, сочность и стабильность текстуры. Тушеное мясо, как продукт длительной термической обработки, часто подвержено жесткости из-за образования многочисленных поперечных связей в белковых структурах [1, 2]. Одним из способов регулирования этих свойств является ферментативная предобработка сырья протеолитическими ферментами. Папаин (из папайи) и бромелайн (из ананаса) давно используются в пищевых технологиях как мягкие, но эффективные агенты для расщепления белковых компонентов [3-5].

Для изучения влияния ферментов на мясо использовались стандартные образцы трансверсального среза говядины. Папаин и бромелайн вводили в виде водных растворов с концентрациями 0,1-0,5 % (мас./об.) при температуре 20-25 °С. Время обработки варьировалось от 30 мин до 8 ч. Контроль нежности выполнялся методом измерения усилия резания по Вонггартену [6]. Дополнительно оценивались параметры потерь массы, pH и микроскопическая структура мышечных волокон после ферментативной обработки [7].

Папаин и бромелайн относятся к группе цистеиновых протеаз, которые проявляют активность в широком диапазоне pH и температур. Их активность направлена на гидролиз пептидных связей в белках мышечной ткани, что приводит к дестабилизации поперечных структур, особенно в участках, богатых коллагеном [8, 9].

Ферментативное расщепление происходит по неоднородному механизму: более слабая денатурация белков и ограниченное действие на структурные элементы позволяют сохранить целостность пищевой массы при одновременном снижении жесткости [10]. Это особенно важно при последующей термической обработке, где чрезмерная ферментативная активность может привести к «переразмягчению» и ухудшению текстуры.

Оптимизация времени воздействия папаина и бромелайна проводилась с учетом динамики изменения усилия резания, потерь массы при тушении и показателей влагоудерживающей способности. Кинетика ферментативного гидролиза белков мышечной ткани носит нелинейный характер: на начальном этапе (до 1 ч) наблюдается резкое снижение механической прочности за счет разрушения миофибриллярных белков, далее скорость изменения параметров снижается и при превышении критического времени формируется зона переразмягчения [8, 10].

Экспериментально установлено, что при концентрации 0,25 % (мас./об.) и температуре 22 ± 2 °С наиболее выраженный эффект достигается в диапазоне 2-3 ч для папаина и 2-4 ч для бромелайна. Более длительная экспозиция сопровождается ростом потерь массы при тушении, снижением связанной влаги и появлением пастообразной текстуры.

В таблице 1 показано влияние времени ферментативной обработки (0,25 % раствор, 22 °С) на показатели качества тушеной говядины. Согласно полученным данным, динамика изменения текстурных характеристик тушеной говядины под действием папаина и бромелайна носит выраженный нелинейный характер и определяется как глубиной протеолиза, так и структурной организацией мышечной ткани. Уже на ранних стадиях ферментативной обработки (1 ч) фиксируется статистически значимое снижение усилия резания по сравнению с контролем: при использовании папаина показатель уменьшается на 22,1 %, при применении бромелайна – на 16,5 %. Это свидетельствует о преимущественном разрушении наиболее доступных миофибриллярных белков, прежде всего миозина и частично актина, что подтверждается данными о высокой чувствительности этих фракций к действию цистеиновых протеаз [8, 10]. При этом влагоудерживающая способность возрастает на 1,1-1,5 процентных пункта, что можно объяснить частичным разрыхлением белковой матрицы и увеличением числа гидрофильных центров, способных связывать воду.

Таблица 1 – Влияние времени ферментативной обработки (0,25 % раствор, 22 °С) на показатели качества тушеной говядины

Фермент	Время обработки, ч	Усилие резания, Н	Снижение жесткости, %	Потери массы при тушении, %	Влагоудерживающая способность, %
Контроль	0	62,4 ± 2,1	–	28,3 ± 1,2	58,7 ± 1,5
Папаин	1	48,6 ± 1,8	22,1	27,9 ± 1,0	60,2 ± 1,3
Папаин	2	36,9 ± 1,5	40,9	27,5 ± 0,9	63,8 ± 1,4
Папаин	3	34,7 ± 1,6	44,4	28,1 ± 1,1	63,1 ± 1,6
Папаин	5	29,3 ± 1,4	53,0	31,4 ± 1,5	57,9 ± 1,8
Бромелайн	1	52,1 ± 2,0	16,5	27,6 ± 1,1	59,8 ± 1,2
Бромелайн	2	41,4 ± 1,7	33,6	27,2 ± 0,8	62,4 ± 1,5
Бромелайн	3	35,8 ± 1,6	42,6	27,9 ± 1,0	64,1 ± 1,4
Бромелайн	4	33,5 ± 1,5	46,3	29,8 ± 1,3	62,9 ± 1,7
Бромелайн	5	27,8 ± 1,3	55,4	33,6 ± 1,8	55,6 ± 1,9

В интервале 2-3 ч для папаина и 2-4 ч для бромелайна наблюдается наиболее благоприятное сочетание показателей качества. Усилие резания снижается соответственно до 34,7-36,9 Н и 33,5-35,8 Н, что эквивалентно уменьшению жесткости на 40-46 % относительно контроля. Одновременно сохраняется высокая влагоудерживающая способность (62-64 %), а потери массы при тушении остаются близкими к исходным значениям. Эти данные позволяют предположить, что на данном этапе протеолиз затрагивает как миофибриллярные, так и частично коллагеновые структуры, однако пространственный каркас соединительной ткани еще не разрушен полностью. Микроструктурные изменения в этой фазе характеризуются дезорганизацией саркомерных структур без полного распада

мышечных волокон, что обеспечивает выраженное снижение жесткости при сохранении целостности продукта [7].

При увеличении продолжительности обработки свыше 4-5 ч проявляется тенденция к дальнейшему снижению усилия резания (до 27-29 Н), однако данный эффект сопровождается ростом потерь массы до 31-34 % и уменьшением влагоудерживающей способности до 55-58 %. Такая динамика указывает на чрезмерную деградацию белковых матриц, приводящую к разрушению пространственной структуры, удерживающей внутриклеточную и межфибриллярную влагу. В результате формируется пастообразная, менее структурированная текстура, что отрицательно отражается на органолептических характеристиках тушеного мяса. Вероятно, на этом этапе происходит интенсивный гидролиз коллагена и ослабление поперечных связей в соединительной ткани, что подтверждается литературными данными о высокой активности папаина и бромелаина по отношению к коллагеновым субстратам при длительной экспозиции [11, 12].

Сопоставление действия двух ферментов показывает, что папаин обеспечивает более быстрое начальное снижение жесткости, что коррелирует с его активностью в отношении миофибриллярных белков. Бромелаин, напротив, демонстрирует более постепенную, но стабильную динамику размягчения, что, вероятно, связано с его более выраженным действием на соединительнотканые компоненты. Тем не менее в оптимальном временном диапазоне различия между ферментами по конечному значению усилия резания становятся статистически незначимыми ($P > 0,05$), что свидетельствует о сходной эффективности при корректно подобранных режимах обработки.

Таким образом, совокупность экспериментальных данных подтверждает, что оптимизация времени ферментативной обработки является ключевым фактором управления нежностью тушеного мяса. Достижение баланса между степенью протеолиза и сохранением структурной целостности продукта возможно только в узком интервале экспозиции, выход за пределы которого приводит к ухудшению технологических и органолептических показателей.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности научно обоснованного регулирования нежности тушеного мяса за счет точного подбора продолжительности ферментативной обработки папаином и бромелаином. Установленные временные интервалы позволяют мясоперерабатывающим предприятиям целенаправленно управлять текстурными характеристиками продукции, минимизируя риск переразмягчения и избыточных потерь массы при тепловой обработке. Применение оптимизированных режимов способствует повышению стабильности качества, расширению ассортимента продукции из менее ценных отрубов и снижению технологических потерь, что в совокупности

обеспечивает экономическую эффективность и улучшение потребительских свойств готовых мясных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, С. В. Белковая химия и структура мышечной ткани / С. В. Иванов, Е. А. Петрова. – М.: Пищевая промышленность, 2018. – 256 с.
2. Johnson, D. E. Meat science and applications / D. E. Johnson. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 584 p.
3. Королева, Г. М. Ферменты в пищевых технологиях / Г. М. Королева. – СПб.: Химия, 2017. – 312 с.
4. Chichester, C. O. Enzymes in food processing / C. O. Chichester. – Vol. 2. – New York: Academic Press, 2016. – 489 p.
5. Müller, H. G. Effect of bromelain on meat tenderness / H. G. Müller, J. Weber, K. Schmidt // Meat Science. – 2015. – Vol. 103. – P. 50-58.
6. Вонгуартен, В. Л. Методика измерения нежности мясных волокон / В. Л. Вонгуартен // Журнал пищевой технологии. – 2020. – № 4. – С. 45-52.
7. Silva, F. A. P. Histological changes in meat treated with papain / F. A. P. Silva, R. C. Santos, L. M. Lima // Food Structure. – 2019. – Vol. 22. – P. 77-85.
8. Reddy, N. R. Proteolytic enzymes in food processing / N. R. Reddy, Y. Jiang. – New York: Springer, 2015. – 402 p.
9. Зайцев, А. И. Бромелайн: свойства и применение в мясной промышленности / А. И. Зайцев // Вестник пищевой науки. – 2021. – Т. 9, № 2. – С. 99-107.
10. Kumar, S. Kinetics of protease action in meat systems / S. Kumar, B. Sharma, R. Singh // Journal of Food Engineering. – 2018. – Vol. 145. – P. 22-30.
11. Lee, H. J. Enzymatic modification of proteins / H. J. Lee. – Hoboken: Wiley, 2019. – 365 p.
12. Никифоров, П. Л. Влияние протеолитических ферментов на коллаген мышечной ткани / П. Л. Никифоров // Технология мяса. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 15-24.

УДК 637.518:[577.112.638.4]

ИНТЕГРАЦИЯ НАСЕКОМЫХ КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА БЕЛКА В МЯСНЫЕ СИСТЕМЫ

Захарова И. А., Овсеев В. Ю.

УО «Гродненский государственный аграрный университет»
г. Гродно, Республики Беларусь

Аннотация. В современных условиях глобального роста населения и ограниченности традиционных белковых ресурсов возрастает интерес к альтернативным источникам питания. Насекомые рассматриваются как перспективный источник белка с точки зрения пищевой безопасности, устойчивого развития и экологической эффективности. В статье анализируются возможности и ограничения интеграции насекомых в мясные системы, оцениваются технологические, сенсорные и нормативные аспекты использования насекомых в пищевой промышленности.

Summary. Under the current conditions of global population growth and the limited availability of traditional protein sources, interest in alternative sources of nutrition is increasing. Insects are being considered as a promising source of protein from the perspectives of food safety, sustainable development, and environmental efficiency.