

Научная статья

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)

УДК 637.5.035

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

Ирина Сергеевна Патракова¹, Галина Васильевна Гуринович²,
Ольга Михайловна Мышалова³, Сергей Александрович Серегин⁴,
Марина Викторовна Патшина⁵

1, 2, 3, 4, 5 Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹ isp78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6147-0899>

² ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

³ mismeat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8664-9657>

⁴ sergeyas76@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3070-7755>

⁵ m.patshina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3644>

Аннотация. В формировании качества пищевых продуктов и стабильности их при хранении важное значение имеют окислительно-восстановительные реакции, развитие которых можно оценить измерением окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Значение ОВП мясных продуктов зависит от многих факторов, включая природу сопряженных окислительно-восстановительных пар, температуру, концентрацию про- и антиоксидантов. Цель исследований заключалась в изучении процесса посола мяса с различным содержанием пигментов посолочными составами с пониженным содержанием натрия и влиянии их на ОВП соленого сырья, интенсивность окисления липидов и белков. Исследования выполнены на охлажденном сырье – длиннейшей мышце спины свинины и курином филе, выделенном из бедренной части. Посол мясного сырья осуществляли пищевой солью (К) и посолочной смесью (А), состоящей из 70 % хлорида натрия +15 % хлорида калия +15 % хлорида кальция. Результаты исследования свидетельствуют о том, что процесс посола мясного сырья, как хлоридом натрия, так и составами с пониженным содержанием натрия, сопровождается снижением окислительно-восстановительного потенциала, что способствует стабилизации процессов окисления пигментов. Уменьшение количества хлорида натрия в составе посолочной смеси способствует ингибированию окислительных изменений липидов исследуемых видов сырья.

Ключевые слова: окислительно-восстановительный потенциал, pH, хлорид натрия, хлорид калия, хлорид кальция, пигменты мяса, окисление липидов, ТБЧ, посолочные составы, посол мяса.

Для цитирования: Окислительно-восстановительный потенциал как показатель стабильности мясных систем / И.С. Патракова, Г.В. Гуринович, О.М. Мышалова и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 66–73. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009

Original article

OXIDATION- REDUCTION POTENTIAL AS AN INDICATOR OF THE STABILITY OF MEAT SYSTEMS

Irina S. Patrakova¹, Galina V. Gurinovich², Olga M. Myshalova³,
Sergei A. Seregin⁴, Marina V. Patshina⁵

1, 2, 3, 4, 5 Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹ isp78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6147-0899>

² ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

³ mismeat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8664-9657>

⁴ sergeyas76@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3070-7755>

⁵ m.patshina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3644>

Abstract. Reduction-oxidation (redox) reactions, the development of which can be assessed by measuring the redox potential (ORP), are important for the formation of the quality of food products and their stability during storage. The ORP value of meat products depends on many factors, including the nature of the coupled redox pairs, temperature and the concentration of pro- and antioxidants. The aim of the research was to study the process of curing of meat with different pigment content with curing compositions with a low sodium content and their effect on the ORP of salted raw materials, the intensity of lipid and protein oxidation. The studies were carried out on chilled raw materials – the longissimus dorsi of pork and chicken fillet, isolated from the haunch. Curing of raw meat was carried out with edible salt (K) and a curing mixture (A), consisting of 70 % sodium chloride plus 15 % potassium chloride plus 15 % calcium chloride. The results of the study indicate that the process of curing of meat raw materials both with sodium chloride and with compounds of low sodium content is accompanied by a decrease in the redox potential, which contributes to the stabilization of pigment oxidation processes. A decrease in the amount of sodium chloride in the composition of the curing mixture helps to inhibit oxidative changes in lipids of the studied raw materials.

Keywords: oxidation-reduction potential, pH, sodium chloride, potassium chloride, calcium chloride, meat pigments, lipid oxidation, TBCH, curing compositions, meat salting.

For citation: Patrakova, I.S., Gurinovich, G.V., Myshalova, O.M., Seregin, S.A. & Patshina, M.V. (2021). Oxidation-reduction potential as an indicator of the stability of meat systems. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 66–73. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009

В формировании свойств биологических систем, к которым относятся пищевые продукты, большое значение имеют окислительно-восстановительные реакции, степень активности электронов, в которых характеризует окислительно-восстановительный потенциал (ОВП).

Развитие окислительно-восстановительных процессов в биологических системах имеет свои особенности, что обусловлено действием не только кислорода и его активных форм, но и продуктов превращения липидов, белков, а также ферментов, в том числе обладающих антиоксидантной активностью. Результатом совокупных окислительно-восстановительных реакций является перераспределение электронов в молекулах, изменение их структуры за счет негидролитического расщепления отдельных связей, образования новых, изомеризации углеродного

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 1 2021

скелета и др. [1]. Окислительно-восстановительный потенциал используют в качестве меры таких процессов, как гликолиз, окислительное фосфорилирование и дегидрогеназное окисление жирных кислот [2].

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. Согласно современной классификации, аэробные микроорганизмы активно растут при окислительно-восстановительном потенциале от +500 мВ до +300 мВ; факультативные анаэробы +300 мВ до –100 мВ; и анаэробные от +100 мВ до менее –250 мВ [3]. Добавлением аскорбиновой кислоты и снижением ОВП можно вызвать рост анаэробных бактерий в присутствии воздуха, и, наоборот,

можно вызвать рост аэробов в анаэробных условиях, повысив ОВП среды [4]. Morris, J.G. с соавторами выдвинули несколько гипотез о влиянии окислительно-восстановительного потенциала и кислорода на рост анаэробных микроорганизмов, согласно одной из которых анаэробы способны активно расти и размножаться в средах с низким значением окислительно-восстановительного потенциала от минус 150 мВ до минус 400 мВ при рН 7,0 и в присутствии свободного кислорода [5].

В мясных системах на величину ОВП и интенсивность роста микроорганизмов оказывают влияние такие процессы, как измельчение и перемешивание сырья с вработыванием кислорода воздуха, использование различных пищевых добавок, посол сырья, тепловая обработка. Например, анаэробные *Clostridium perfringens* могут расти при ОВП, близком к +200 мВ, но в присутствии высоких концентраций пищевой соли диапазон роста увеличивается [1].

В неорганических системах для исследования ионного состава различных сопряженных окислительно-восстановительных пар используются окислительно-восстановительные электроды на основе инертного металла – платины. Через платину осуществляется обмен электронами между восстановленной и окисленной формами в сопряженных окислительно-восстановительных парах.

Для характеристики окислительно-восстановительных свойств биологических сопряженных пар вместо стандартных значений потенциалов E , которые соответствуют рН 0 или рН 14, используют нормальные значения восстановительных потенциалов E , измеренные при 1 М концентрации компонентов и при рН 7,0 и при постоянной температуре 37 °С.

В целом природные сопряженные окислительно-восстановительные пары мяса, включая пигменты, антиоксиданты имеют потенциалы в области значений $-0,42$ В до $+0,82$ В, характеризующих электрохимическую устойчивость воды [2].

При этих условиях значение потенциала водородного электрода $E(2H + /H_2) = -0,42$ В, а соотношение между значениями нормального и стандартного восстановительных потенциалов: $E = E - 0,42$.

На значение окислительно-восстановительного потенциала влияет не только природа сопряженной окислительно-восстановительной пары и температура, но и соотношение активностей окисленной и восстановленной форм в растворе.

Таким образом, величину окислительно-восстановительного потенциала можно свя-

зать, с одной стороны, с химическими превращениями в продукте, т. е. с устойчивостью пищевой системы, с другой стороны, с концентрацией компонентов, способных принимать или отдавать электроны.

Окислительно-восстановительный потенциал мяса изменяется в зависимости от рН, количества гемсодержащих белков и продуктов окисления липидов, от ферментативной активности в мышцах, продолжительности автолиза, а также от уровня микробной обсемененности, вида и способа упаковки, парциального давления кислорода в среде хранения, состава продукта, присутствия таких ингредиентов, как аскорбиновая кислота, нитрит натрия, редуцирующие сахара, а также окисления катионов, ионной силы и т. д. [1, 6].

Известны работы о влиянии тепловой обработки мясных продуктов на величину окислительно-восстановительного потенциала. Установлено, что низкие значения ОВП в сыром мясе обусловлены наличием активных дыхательных ферментных систем мясное сырье после тепловой обработки характеризуется более высоким значением показателя [7].

Измерение окислительно-восстановительного потенциала мяса и мясных продуктов открывает широкие возможности в оценке влияния технологических параметров и способов обработки на характер и интенсивность изменений свойств сырья и продукции в процессе созревания, переработки и хранения.

Одним из наиболее значимых технологических процессов является посол мясного сырья с добавлением хлорида натрия. Проксидантный эффект хлорида натрия обусловлен его влиянием на целостность клеточных мембран и более быстрым взаимодействием с белками и липидами, снижением каталитической активности антиоксидантных ферментов и образованием метмиоглобина, ускоряющего процесс окисления. Наличие примесей, таких как соли железа и меди, может оказать дополнительный прооксидантный эффект [8]. Puolanne и Halonen выявлен специфический механизм прооксидантного воздействия соли на мышечные белки [9]. Указанные факты свидетельствуют о том, что посол сырья усиливает тенденцию к окислению.

Цель исследования изучить влияние посолочных составов с частичной заменой хлорида натрия на направленность окислительно-восстановительных реакций в процессе посола мясного сырья.

Традиционно для посола мясного сырья применяется пищевая соль (хлорид натрия),

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

которая является источником жизненно необходимого для организма человека натрия. В то же время, чрезмерное потребление натрия повышает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний. В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения рекомендуемая норма потребления натрия соответствует 5 г пищевой соли в сутки.

Количество хлорида натрия, добавляемого в большинство мясных продуктов, изменяется от 1,7 до 4 %. Учитывая, что отрицательное действие соли на организм человека заключается в накопительном эффекте, снижение количества пищевой соли, а, следовательно, натрия, в полной мере отвечает современным тенденциям в области здорового питания.

В этой связи для посола мясного сырья использовали пищевую соль (К) и посолочную смесь (70 % хлорид натрия +15 % хлорида калия +15 % хлорида кальция) – (А).

Для посола использовали охлажденное сырье: мясо кур (филе, выделенное из бедренной части), свинину (длиннейшая мышца). Охлажденное мясо птицы и свинину измельчали до размеров частиц 2–3 мм и перемешивали с исследуемыми посолочными ингредиентами – солью и посолочной смесью. Уровень введения сухих посолочных составов – 3 % от массы сырья.

Смешанное с посолочными ингредиентами сырье выдерживали в течение 48 часов при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Определение окислительно-восстановительного потенциала, рН, количества пигментов и тиобарбитурового числа (ТБЧ) проводили через 48 часов посола.

Активную кислотность (рН) определяли потенциометрическим методом, основанным на измерении электродвижущей силы элемента, состоящего из хлорсеребряного электрода, и электрода сравнения с известной величиной потенциала.

ОВП определяли с помощью иономера с платиновым электродом, в качестве электрода сравнения – хлорсеребряный электрод. Платиновый электрод плотно помещали в пробу измельченного мяса (100 г) и измерения проводили через 2 минуты после погружения [10].

Содержание общего количества пигментов в образцах мясного сырья определяли методом [11], основанным на экстрагировании пигментов мяса водным раствором ацетона и последующим измерении оптической плотности экстракта на спектрофотометре спектрофотометра ПЭ-5400УФ

(«ЭКРОСХИМ», Россия) при длине волны 640 нм в отношении солянокислого ацетона

Содержание метмиоглобина определяли по методу Krzywicki и др. [12], основанному на экстракции пигментов с последующим измерением оптической плотности раствора при длинах волн 525 нм, 545 нм, 565 нм, 572 нм.

Величину тиобарбитурового числа определяли дистилляционным методом Tarladgis [13] с использованием тиобарбитуровой кислоты.

Для каждого из видов мясного сырья результаты получены на 5-ти сериях измерений, проверенных на однородность, повторность измерений каждого из показателей внутри серии трехкратная. Обработка данных осуществлялась стандартными методами математической статистики. Результаты измерений представлены в виде среднего \pm SD (стандартное отклонение) при доверительной вероятности $p < 0,05$.

Процесс посола мясного сырья сопровождается изменением его функционально-технологических и потребительских свойств, изменением состояния белковой и липидной фракции. Направленность всех этих изменений может быть оценена, в т. ч. величиной ОВП.

Согласно полученным данным, значение ОВП для исходного охлажденного сырья составляет для свинины 124,3 мВ, для мяса птицы – 60,6 мВ. Полученные результаты следует объяснять рядом факторов, среди которых на наш взгляд, существенное влияние оказывают ионы железа Fe^{+2} и Fe^{+3} , входящие в состав гемовых пигментов, содержание которых в мясе птицы минимально и меньше, чем в свинине в 1,86 раза (таблица 1).

Значение рН свинины ниже рН мяса птицы на 0,95 ед. рН. Полученные результаты согласуются с имеющимися данными о том, что между значением рН и ОВП существует обратная зависимость [14].

Установлено, что посол мясного сырья пищевой солью (образец К) и последующая выдержка в течение 48 часов приводит к повышению ОВП. Так, в свинине, посоленной пищевой солью (образец К), значение ОВП уменьшилось на 8,5 % относительно несоленого сырья, в аналогичном образце из мяса птицы – на 8,0 %. Введение в мясное сырье хлорида натрия приводит к повышению рН среды в исследуемых образцах, что согласуется с известными зависимостями.

Полученные значения ОВП согласуются с динамикой рН сырья в процессе посола [7, 14].

Величина рН оказывает влияние на

направленность окислительно-восстановительных реакций, так при повышении pH и снижении ОВП создаются благоприятные условия для восстановительных реакций.

Таким типом реакций, протекающих при посоле мясного сырья, является превращение пигментов мяса, то есть миоглобина.

Посол хлоридом натрия приводит к уве-

личению количества метмиоглобина в мясном сырье на фоне постоянного содержания общих пигментов. Установлено, что количество метмиоглобина в свинине через 48 часов посола увеличилось относительно несоленого сырья на 31,0 % и на 35,4 % для мяса птицы.

Таблица 1 – Влияние условий посола на свойства мясного сырья (p < 0,05)

Table 1 – Influence of salting conditions on the properties of raw meat (p < 0,05)

Образец	pH	ОВП, мВ	количество пигментов, мг/100г		ТБЧ, мгМА/кг
			общее	метмиоглобина,	
Свинина (длиннейшая мышца)					
сырье (n = 15)	5,35 ± 0,03 ^{bc}	124,3 ± 3,31 ^{bc}	108,3 ± 0,15 ^c	50,1 ± 0,16 ^{bc}	0,315 ± 0,08 ^c
сырье +К (n = 15)	5,60 ± 0,04 ^{ac}	113,7 ± 2,89 ^{ac}	108,9 ± 0,30 ^{ac}	65,8 ± 0,17 ^{ac}	0,362 ± 0,06 ^{ac}
сырье +А (n = 15)	5,47 ± 0,06 ^{ab}	110,5 ± 2,04 ^{ab}	109,4 ± 0,26 ^{ab}	59,4 ± 0,12 ^{ab}	0,322 ± 0,09
Мясо кур (филе бедренной части)					
сырье (n = 15)	6,30 ± 0,02 ^{bc}	60,6 ± 1,21 ^{bc}	58,2 ± 0,11 ^{bc}	23,4 ± 0,13 ^{bc}	0,167 ± 0,04
сырье +К (n = 15)	6,54 ± 0,05 ^{ac}	55,7 ± 1,48 ^{ac}	59,6 ± 0,12 ^{ac}	31,7 ± 0,10 ^{ac}	0,186 ± 0,05
сырье +А (n = 15)	6,39 ± 0,02 ^{ab}	50,8 ± 1,62 ^{ab}	58,7 ± 0,14 ^{ab}	28,7 ± 0,12 ^{ab}	0,179 ± 0,03

При замене 30 % хлорида натрия на смесь хлорида калия и хлорида кальция в соотношении 1 : 1 получены следующие зависимости исследуемых показателей. Через 48 часов посола показатель pH соленой свинины и мяса птицы повысился, но оказался ниже, чем значения аналогичных образцов с пищевой солью на 0,13 ед и 0,15 ед соответственно. Полученные результаты следует объяснять увеличением концентрации ионов калия и кальция в исследуемом посолочном составе.

В результате снижения pH наблюдается незначительное падение ОВП. Так, снижение ОВП в образце А из свинины относительно образца К составило 2,8 %, из мяса птицы – 8,8 % соответственно.

Снижение ОВП в опытных образцах создает благоприятные условия для стабилизации гемовых пигментов, поскольку при более низком значении потенциала, интенсивность окисления миоглобина снижается, что обеспечивает сохранность розово-красного цвета, присущего исходному сырью. Обусловлено это тем, что в присутствии хлорида калия и хлорида кальция, проявляющих свойства слабых восстановителей, происходит уменьшение концентрации ионов железа Fe³⁺ и увеличение количества ионов Fe²⁺, сопровождающееся снижением ОВП. Определен-

ную роль в стабилизации исходного цвета может играть карбоксимиоглобин, образованию которого способствует снижение ОВП [6].

Экспериментальные данные свидетельствуют об уменьшении количества метмиоглобина в образцах мяса, обработанного составами с пониженным содержанием хлорида натрия. Количество метмиоглобина в свинине (образец А) относительно контрольного образца уменьшилось на 9, %, а в мясе птицы, соответственно на 9,4 %. Полученные результаты согласуются с визуальной оценкой опытных образцов, цвет которых расценивался как более привлекательный.

Полученные экспериментальные данные подтверждаются исследованиями James R. Claus, Holownia K. и др. которые установили, что добавление 1 % хлорида натрия при посоле индейки способствует понижению ОВП и созданию благоприятных восстановительных условий для образования розового цвета в вареной грудке индейки, в результате сохранения миоглобина в нативной форме [15, 16].

Аналогичные результаты получены и Jong Youn Jeong [17], свидетельствующие о том, что увеличение концентрации хлорида натрия при посоле куриной грудке от 1 % до 3 % и последующая выдержка в течение

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

3 суток способствует снижению ОВП, препятствуя окислению миоглобина.

Ismail Hesham и др. сообщают о том, что посол мяса индейки 2,5 % хлорида натрия способствовало снижению ОВП, при этом продолжительность посола не повлияла на изменение исследуемого показателя [18]. Исследования Morris J.G. [19] свидетельствуют о том, что увеличение концентрации соли при посоле сельди способствует повышению значений ОВП.

Процесс посола влияет не только формированием функционально-технологических свойств мясного сырья, но и провоцирует окисление липидов, что приводит к ухудшению качества.

Интенсивность процессов окисления оценивали по величине тиобарбитурового числа (ТБЧ), характеризующего количество образовавшегося малонового альдегида. Согласно полученным данным (таблица 2), посол сырья хлоридом натрия провоцирует процессы окисления липидов как в свинине, так и в мясе птицы (образцы К). Установлено, что величина ТБЧ относительно несоленого сырья увеличилось на 14,9 % и 11,3 % соответственно для свинины и мяса птицы.

Однозначного объяснения механизма влияния хлорида натрия на окисления липидов на сегодняшний день не существует. Одной из возможных причин рассматривается нарушение целостности клеточных мембран в присутствии хлорида натрия, что делает липиды доступными катализаторам процессов окисления. Другой причиной является участие соли в процессе превращения миоглобина в метмиоглобин, который является прооксидантным фактором. Еще одной возможной причиной является способность пищевой соли снижать активность антиоксидантных ферментов, таких как каталаза, пероксидаза и глутатионпероксидаза [20, 21].

При посоле свинины и мяса птицы посолочной смесью с хлоридом калия и хлоридом кальция взамен хлорида натрия выявлена тенденция к снижению ТБЧ. При посоле мясного сырья посолочной смесью с пониженным содержанием хлорида натрия (образцы А) значение ТБЧ уменьшилось относительно контрольного образца для свинины на 11,0 % и мяса птицы на 3,8 % соответственно. Полученные результаты могут быть объяснены с одной стороны уменьшение количества ионов натрия, которые способны вытеснять ионы железа из гемсодержащих белков, а с другой стороны уменьшением количества в посолочных составах ионов хлора, действующего на липиды как окислитель.

На интенсивность окисления липидов оказывает влияние изменение ОВП. Известно [5], повышение ОВП мясного сырья, выдержанного в посоле, способствует увеличению количества метмиоглобина и, как следствие, интенсифицирует процессы окисления липидов, что выражается в увеличении значения ТБЧ.

Полученные экспериментальные собственные данные свидетельствуют о том, что процесс посола мясного сырья сопровождается интенсификацией процессов окисления, на фоне снижения ОВП. При этом уменьшение количества хлорида натрия способствует стабилизации окислительных изменений липидов при одновременном снижении ОВП. Полученные результаты можно объяснить тем, что определяющими факторами, влияющими на интенсивность окисления липидной фракции, являются вид сырья, его жирнокислотный состав, наличие пищевых добавок, в т. ч. хлорида натрия, и в меньшей степени – ОВП.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет утверждать, что замена 30 % хлорида натрия на смесь KCl + CaCl₂ в соотношении 1 : 1 в процессе посола способствует снижению ОВП мясного сырья. В свою очередь, это приводит к ингибированию процессов окисления липидной фракции и пигментов и улучшению цвета мяса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lund, B.L. The microbiological safety and quality of food / B.L. Lund, A.C. Baird-Parker and G.W. Gould. – Gaithersburg (MD): Aspen, 2000.
2. Прадедова, Е.В. Редокс-процессы в биологических системах / Е.В. Прадедова, О.Д. Нимаева, Р.К. Саляев // Физиология растений. – 2017. – Т. 64. – № 6. – С. 433–445.
3. Ray, B. Fundamental food microbiology / B. Ray. – Boca Raton FL: CRC Press, 1996.
4. Rodel, W. Zur Beziehung von Redoxpotenzial und Keimwachstum (Teil 2) / W. Rodel, R. Schener // Fleischwirtschaft. – 2003. – Vol. 83. – P. 127–131.
5. O'Brien, R.W. Oxygen and the Growth and Metabolism of *Clostridium acetobutylicum* / R.W. O'Brien, J.G. Morris // Journal of General Microbiology. – 1971. – Vol. 68. – P. 307–318.
6. Wójciak, K.M. The Influence of Different Levels of Sodium Nitrite on the Safety, Oxidative Stability, and Color of Minced Roasted Beef / K.M. Wójciak, D.M. Stasiak, P. Keska // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – № 14. – P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11143795>.
7. Factors that Influence Microbial Growth / Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2003. – Vol. 2 (Supplement). – P. 21–32.
8. Bess, K.N. Effects of various salt purity levels on lipid oxidation and sensory characteristics of

ground turkey and pork / K.N Bess – Urbana, Ill.: Univ. of Illinois at Urbana Champaign, 2011.

9. Puolanne, E. Theoretical aspects of water holding in meat / E. Puolanne, M. Halonen // *Meat Sci.* – 2010. – Vol. 86. – № 1. – P. 151–165. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.04.038.

10. Kim, Y.H. Color, Oxidation-Reduction Potential, and Gas Production of Irradiated Meats from Different Animal Species / Y.H. Kim, K.C. Nam, D.U. Ahn // *Journal of food science.* – 2002. – Vol. 67. – № 5. – P. 1692–1695.

11. Lee, B.J. A comparison of carnosine and ascorbic acid on color and lipid stability in a ground beef pattie model system / B.J. Lee, D.G. Hendricks, D.P. Cornforth // *Meat Science.* – 1999. – Vol. 51. – № 3. – P. 245–253.

12. Krzywicki, K. The determination of haem pigment in meat / K. Krzywicki // *Meat Science.* – 1982. – Vol. 7. – № 1. – P. 29–36.

13. Tarladgis, B.G. Distillation method for the de-termination of malonaldehyde in rancid foods / B.G. Tarladgis, B.M. Watts, M. Yonatha // *J. of American Oil Chemistry Society.* – 1960. – Vol. 37. – № 1. – P. 44–48.

14. Хисматуллина З.Н. Сущность, направление и роль окислительно-восстановительных реакций в биологии и медицине // *Вестник Казанского технологического университета.* – № 19. – С. 35–41, 2011.

15. Claus, J.R. Processing conditions and endpoint temperature effects on development of pink defect without pink-generating ligands in cooked ground turkey breast / J.R. Claus, J.Y. Jeong // *Poultry Science.* – 2018. – Vol. 97. – № 2. – P. 667–675. <https://doi.org/10.3382/ps/pex168>.

16. Holownia, K. Cooked chicken breast meat conditions related to simulated pink defect / K. Holownia, M.S. Chinnan, A.E. Reynolds // *J. Food Sci.* – 2004. – Vol. 69. – № 3. – P. 194–199.

17. Jeong, J.Y. Effects of Short-Term Presalting and Salt Level on the Development of Pink Color in Cooked Chicken Breasts / J.Y. Jeong // *Korean Journal for Food Science of Animal Resources.* – 2017. – Vol. 37. – № 1. – P. 98–104.

18. Ismail, H.A. Fat Content Influences the Color, Lipid Oxidation and Volatiles of Irradiated Ground Beef / H.A. Ismail, E.J. Lee, K.Y. Ko and D.U. Ahn // *Journal of food science.* – 2009. – Vol. 74. – № 6. – P. 432–440.

19. Moiseev, I.V. Treatments for prevention of persistent pinking in dark-cutting beef patties / I.V. Moiseev, D.P. Cornforth // *Journal of Food Science.* – 1999. – Vol. 64. – № 4. – P. 738–743.

20. Min, B. Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products – A Review / B. Min, D.U. Ahn // *Food Sci. Biotechnol.* – 2005. – Vol. 14. – № 1. – P. 152–163.

21. Rhee, K.S. Prooxidant effects of NaCl in controlled and uncontrolled microbial beef and chicken / K.S. Rhee and Y.A. Ziprin // *Meat Science.* – Vol. 57. – № 1. – P. 105–112. 2001. – [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00083-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00083-8).

Информация об авторах

И. С. Патракова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

Г. В. Гуринович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

О. М. Мышалова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

С. А. Серегин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

М. В. Патшина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Lund, B.L. Baird-Parker, G.W. & Gould, A.C. (2000). *The microbiological safety and quality of food.* Gaithersburg (MD): Aspen.

2. Pradedova, E.V., Nimaeva, O.D. & Salyaev, R.K. (2017). Redox processes in biological systems. *Plant Physiology*, 64(6), 433–445. (In Russ.).

3. Ray, B. (1996). *Fundamental food microbiology.* Boca Raton FL: CRC Press.

4. Rodel, W. & Schener, R. (2003). Zur Beziehung von Redoxpotenzial und Keimwachstum (Teil 2). *Fleischwirtschaft*, (83), 127–131.

5. O'Brien, R.W. & Morris, J.G. (1971). Oxygen and the Growth and Metabolism of *Clostridium acetobutylicum*. *Journal of General Microbiology*, (68), 307–318.

6. Wójciak, K.M., Stasiak, D.M. & Keska P. (2019). The Influence of Different Levels of Sodium Nitrite on the Safety, Oxidative Stability, and Color of Minced Roasted Beef. *Sustainability*, 11(14), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11143795>.

7. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* (2003). *Factors that Influence Microbial Growth*, 2 (Supplement), 21–32.

8. Bess, K.N. (2011). Effects of various salt purity levels on lipid oxidation and sensory characteristics of ground turkey and pork. Urbana, Ill. : Univ. of Illinois at Urbana Champaign.

9. Puolanne, E. & Halonen M. (2010). Theoretical aspects of water holding in meat. *Meat Sci*, 86(1), 151–165. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.04.038.

10. Kim, Y.H., Nam, K.C. & Ahn D.U. (2002). Color, Oxidation-Reduction Potential, and Gas Pro-

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

duction of Irradiated Meats from Different Animal Species. *Journal of food science*, 67(5), 1692–1695.

11. Lee, B.J., Hendricks, D.G. & Cornforth, D.P. (1999). A comparison of carnosine and ascorbic acid on color and lipid stability in a ground beef patty model system. *Meat Science*, 51(3), 245–253.

12. Krzywicki, K. (1982). The determination of haem pigment in meat. *Meat Science*, 7(1), 29–36.

13. Tarladgis, B.G., Watts, B.M. & Yonatha, M. J. (1960). Distillation method for the de-termination of malonaldehyde in rancid foods. *OF American Oil Chemistry Society*, 37(1), 44–48.

14. Khismatullina Z.N. (2011). Essence, direction and role of redox reactions in biology and medicine. *Bulletin of Kazan Technological University*, (19), 35–41.

15. Claus, J.R. & Jeong, J.Y. (2018). Processing conditions and end-point temperature effects on development of pink defect without pink-generating ligands in cooked ground turkey breast. *Poultry Science*. 97(2), 667–675. <https://doi.org/10.3382/ps/pex168>.

16. Holownia, K., Chinnan, M.S., Reynolds A.E. (2004). Cooked chicken breast meat conditions related to simulated pink defect. *J. Food Sci.*, 69(3), 194 – 199.

17. Jeong, J.Y. (2017). Effects of Short-Term Presalting and Salt Level on the Development of Pink Color in Cooked Chicken Breasts. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(1), 98–104.

18. Ismail, H.A., Lee, E.J., Ko K.Y. & Ahn D.U. (2009). Fat Content Influences the Color, Lipid Oxidation and Volatiles of Irradiated Ground Beef. *Journal of food science*, 74(6), 432–440.

19. Moisee, I.V. & Cornforth, D.P. (1999). Treatments for prevention of persistent pinking in

dark-cutting beef patties. *Journal of Food Science*, 64(4), 738–743.

20. Min, B. & Ahn, D.U. (2005). Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products -A Review. *Food Sci. Biotechnol*, 14(1), 152–163.

21. Rhee, K.S. & Ziprin, Y.A. (2001). Prooxidant effects of NaCl in controlled and uncontrolled microbial beef and chicken. *Meat Science*, 57(1), 105–112. [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00083-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00083-8).

Information about the authors

I. S. Patrakova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

G. V. Gurinovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

O. M. Myshalova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

S. A. Seregin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

M. V. Patshina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25.12.2020; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 25 Dec 20; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.