

## Использование флуоресценции при определении глубины просаливания крупнокускового цельномышечного мяса индейки



Н. С. Моисеева\*, Г. П. Чекрыга, О. К. Мотовилов, О. В. Голуб

Сибирский федеральный научный центр агробихотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

Дата поступления в редакцию: 21.12.2020

Дата принятия в печать: 01.03.2021



\*e-mail: [Natasha555@mail.ru](mailto:Natasha555@mail.ru)

© Н. С. Моисеева, Г. П. Чекрыга, О. К. Мотовилов, О. В. Голуб, 2021

### Аннотация.

**Введение.** В настоящее время одним из перспективных методов исследований качества пищевых продуктов считается флуоресценция. Динатриевая соль флуоресцеина используется в диагностике различных отраслей (медицинской, пищевой и др.). Актуальными являются исследования, направленные на применение указанного флуорофора при определении глубины просаливания продукции из бескостных частей тушки индейки.

**Объекты и методы исследования.** Образцы мяса индейки (грудка, бедра), выдержанные в рассолах. Использовали общепринятые и стандартные (макро- и микроскопические, статистические) методы исследования, а также оригинальный способ определения глубины проникновения рассола хлорида натрия в мышцы индейки с использованием флуоресценции.

**Результаты и их обсуждение.** Для определения глубины посола мяса индейки использовали рассол, состоящий из соли пищевой, сахара белого, воды и динатриевой соли флуоресцеина. В качестве контроля использовали рассол без флуорофора. Независимо от концентрации хлорида натрия в рассоле, видимые и измеренные по свечению динатриевой соли флуоресцеина изменения глубины просаливания мышечной ткани грудки индейки, подвергшейся посолу в течение 5 мин, меньше в 8 раз, 12 ч – в 3 раза, 24 ч – в 4 раза. Полное просаливание мышц грудки индейки наступает через 36 ч. Это подтверждается визуальными и измеренными по свечению флуорофора исследованиями. При посоле мяса бедра индейки наблюдается меньшая площадь проникновения рассола хлорида натрия. Визуально видимая часть меньше измеренной по свечению динатриевой соли флуоресцеина через 5 мин просаливания в 3 раза, 12 ч и 24 ч – 2 раза, 36 ч – полное просаливание.

**Выводы.** Доказана возможность использования флуоресценции при определении глубины просаливания бескостных частей тушки индейки.

**Ключевые слова.** Посол, мясо, флуоресценция, флуорофор, анализ

**Для цитирования:** Использование флуоресценции при определении глубины просаливания крупнокускового цельномышечного мяса индейки / Н. С. Моисеева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 209–219. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-209-219>.

Original article

Available online at <http://fppt.ru/eng>

## Fluorescence Method in Measuring the Degree of Brine Penetration into Boneless Whole-Muscle Turkey Meat

Natalia S. Moiseeva\*, Galina P. Chekryga, Oleg K. Motovilov, Olga V. Golub

Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies  
of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

Received: December 21, 2020

Accepted: March 01, 2021



\*e-mail: [Natasha555@mail.ru](mailto:Natasha555@mail.ru)

© N.S. Moiseeva, G.P. Chekryga, O.K. Motovilov, O.V. Golub, 2021

### Abstract.

**Introduction.** Fluorescence is one of the most promising methods of food quality tests. Fluorescein disodium salt is used as a

means of diagnostics in medicine and food production. In particular, fluorophore can determine the ripening stage of boneless turkey meat during brining by defining the penetration depth of the brine.

*Study objects and methods.* The present research featured samples of brined turkey breast and thigh meat. The experiment was based on standard research methods, e.g. macro- and microscopy, statistical method, etc. It also included an original fluorescence method for determining the penetration depth of sodium chloride brine into turkey muscles.

*Results and discussion.* The experimental brine consisted of food salt, white sugar, water, and fluorescein disodium salt, while brine without fluorophore served as control. Regardless of sodium chloride concentration, the changes in the ripening depth of the turkey breast samples were 8 times lower after 5 min, 3 times – after 12 h, and 4 times after 24 h. Complete ripening occurred after 36 h, which was confirmed by visual and fluorophore measurements. The thigh meat samples showed a smaller area of sodium chloride penetration: 8 times lower – after 5 min, 2 times – after 12 and 24 h. Complete salting was also registered after 36 h of brining.

*Conclusion.* The fluorescence method proved quite effective in determining the ripening of boneless turkey parts meat.

**Keywords.** Brine, meat, fluorescence, fluorophore, analysis

**For citation:** Moiseeva NS, Chekryga GP, Motovilov OK, Golub OV. Fluorescence Method in Measuring the Degree of Brine Penetration into Boneless Whole-Muscle Turkey Meat. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):209–219. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-209-219>.

## Введение

Традиционным мясом птиц, потребляемым российским населением, является мясо кур [1]. В последние годы, в связи с популяризацией здорового образа жизни, все больший интерес среди потребителей приобретает мясо индейки [2]. Мясо индейки содержит большое количество полноценных белков (от 19,1 до 22,9 г/100 г), ненасыщенных жирных кислот (68,3 % от суммы жирных кислот), разнообразные минеральные вещества (кальций, магний, фосфор, железо и т. д. – 0,7, 0,05, 89,7 и 1,8 % соответственно) и другие необходимые для организма человека нутриенты [3]. Из мяса индейки вырабатывается широкий ассортимент продукции как массового, так и специализированного назначения [2, 4–6].

В технологиях производства продукции из мяса индейки, как и продукции из других видов мяса, довольно часто используют посол [7–9]. В процессе посола происходит созревание сырья с последующим приобретением специфических особенностей соленых изделий, которое сопровождается изменением цвета, консистенции, запаха и вкуса. Поэтому перед началом разработки новой или модернизации существующей продукции из мяса индейки необходимо определить условия (параметры и режимы) технологической операции – посола.

В настоящее время разработан ряд способов контроля глубины проникновения соли в мясо в процессе посола.

Специалистами ГНУ СибФТИ Россельхозакадемии (р.п. Краснообск Новосибирского района Новосибирской области) предложен «Способ оценки уровня инъекции мясного сырья и устройство для его осуществления», основанный на воздействии электрическим током. В нем определяют напряжение приэлектродной поляризации мясного сырья (патент RU 2469318 С1). В качестве недостатка отмечается

отсутствие возможности установления глубины проникновения (распределения) солевого раствора. Можно проконтролировать лишь количество его введения.

Специалистами Московского государственного университета прикладной биотехнологии предложен «Способ контроля качества мяса». Способ заключается в сканировании образца для получения цветовых характеристик (светлость, краснота, желтизна) мышечных тканей, обработанных по специальной программе на компьютере (патент RU 2426115 С2). Однако данным способом можно определить только свежесть мяса.

Специалистами Южно-Уральского государственного университета предложен способ установления проникновения соли в мясо птицы. Он позволяет определить методом химического анализа, основанном на титровании ионов хлора, количественное содержание в мясе ионов серебра, выделенных из него, в нейтральной среде в присутствии хромовокислого калия в качестве индикатора [10]. Недосток этого способа заключается в том, что для определения глубины проникновения необходимо делать множественное количество срезов с образца, что является трудоемким и длительным процессом.

При анализе различных источников научной и нормативной информации выявлено отсутствие регламентирующих параметров посола мяса индейки.

В настоящее время флуоресценция, основанная на поглотительной способности световой энергии определенной длины волны многих органических веществ (хинина, эозина, метилового зеленого и др.) с последующим испусканием света с большей длиной волны, находит широкое применение в различных областях жизнедеятельности человека [11–13]. Специалисты отмечают значительный рост использования флуоресценции в исследованиях

качества пищевых продуктов. R. Liu с соавторами разработали простой флуоресцентный аптасенсор для быстрого и чувствительного обнаружения *Listeria monocytogenes* в пище [14]. O. Monago-Maraña и др. выработан метод (путем комбинирования флуоресценции и хемотрии) количественного определения капсаициноидов в образцах острой пищи, обеспечивающий значения единиц тепла Сковилла, которые хорошо согласуются со значениями, полученными с помощью анализа ВЭЖХ [15]. S. O. Tümay с соавторами предложен метод, основанный на «включающей» флуоресценции модифицированной пиреном нанокристаллической целлюлозы, для быстрого определения  $Cd^{2+}$  в пищевых продуктах [16].

Одним из флуорофоров является динатриевая соль флуоресцеина (уранин; химическая формула  $C_{20}H_{10}O_5Na_2$ ). Она обладает хорошей растворимостью в воде с достаточно сильной зеленой флуоресценцией. Динатриевую соль флуоресцеина используют в качестве красителя: в теплосетях и водопроводах для обнаружения утечек; геологоразведочных работах для определения направления течения вод; для моющих средств, шампуней, тканей; при определении антигенов и антител в биологических исследованиях; при создании спасательных комплектов летного состава и др. [17]. В последние годы продолжают исследования в области использования динатриевой соли флуоресцеина. Y. Zhang и др. разработаны люминесцентные композиты для обнаружения антибиотиков в воде на основе металлоорганического каркаса, т. е. цеолитного имидазолатного каркаса-8, наполненного красителями родамина В и динатриевой солью флуоресцеина [18]. R. Romero-Díez с соавторами при определении антиоксидантной активности винного осадка используют метод оценки антиоксидантной способности конкретного вещества, разработанный американскими специалистами [19]. Метод испанских ученых основан на тушении флуоресценции соли натрия флуоресцеина после воздействия 2,2-азобис (2-амидинопропан) дигидрохлорид, который генерирует кислородные радикалы с постоянной скоростью [20].

Цель работы – исследование возможности использования динатриевой соли флуоресцеина при определении глубины просаливания крупнокускового цельномышечного мяса индейки.

#### Объекты и методы исследования

Объекты исследований – образцы охлажденного до температуры  $4 \pm 2$  °С мяса грудки и бедра индейки 1 сорта массой  $200 \pm 5$  г, соответствующие по своим качественным характеристикам ГОСТ 31473-2012, выдержанные в рассолах.

На рисунке 1 представлена схема проведения исследований.

Рассолы готовились с использованием:

- каменной соли поваренной пищевой молотой без добавок сорта «Экстра» с гранулометрическим составом частиц до 0,8 мм не менее 75,0 %, свыше 0,8, но до 1,2 мм, не более 25 %, соответствующей по своим качественным характеристикам ГОСТ Р 51574-2018;
- белого свекловичного мелкокристаллического сахара сорта «Экстра» с размерами кристаллов до 0,5 мм, соответствующего по своим качественным характеристикам ГОСТ 33222-2015;
- динатриевой соли флуоресцеина в виде кристаллического порошка краснокирпичного цвета, хорошо растворимого в воде с чрезвычайно сильной желто-зеленой флуоресценцией (ООО «Русский Химик», Россия), соответствующего по своим качественным характеристикам ТУ 2463-289-00204197-2003.

*Приготовление раствора с динатриевой солью флуоресцеина.* Навеску динатриевой соли флуоресцеина в количестве 0,005 г вносили в небольшое количество воды (250 мл) температурой  $22 \pm 2$  °С, подогревали на водяной бане до 30 °С до полного растворения и доводили объем раствора дистиллированной водой (рН = 6,0).

В охлажденный до температуры  $4 \pm 2$  °С раствор с динатриевой солью флуоресцеина добавляли соль пищевую и сахар белый в количестве, представленном в таблице 1. Ингредиентный состав рассола, представленный в таблице 1, подобран на основе ранее проведенных исследований. После внесения всех ингредиентов проводили интенсивное перемешивание раствора в течение 3–5 мин до полного растворения

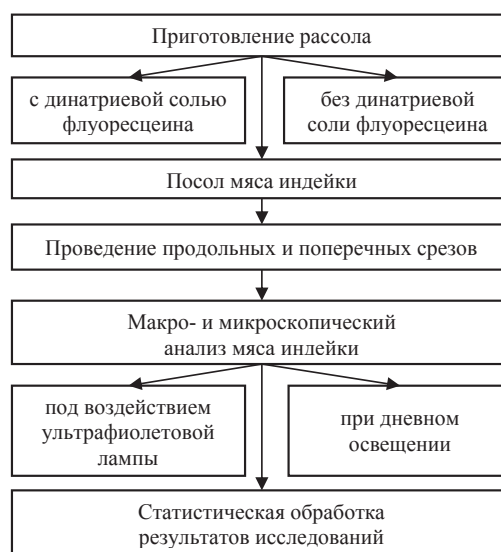


Рисунок 1. Схема проведения исследований

Figure 1. Research scheme

Таблица 1. Ингредиентный состав рассола

Table 1. Brine formulation

Ингредиенты	№ образца рассола											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вода, %	94,5	89,0	83,5	94,5	89,0	83,5	94,5	89,0	83,5	94,5	89,0	83,5
Соль, %	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0
Сахар, %	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
Длительность посола, ч	0,083	0,083	0,083	12,0	12,0	12,0	24,0	24,0	24,0	36,0	36,0	36,0

всех компонентов. Полученный рассол с динатриевой солью флуоресцеина представлял собой прозрачную жидкость желто-зеленого цвета при дневном свете, без осадка, механических и других примесей. Под воздействием источника ультрафиолетового света такой рассол отличался ярко-выраженным желто-зеленым свечением (флуоресценцией). Явление флуоресценции раствора происходило в результате перехода электронов атомов флуорофоров (элементов динатриевой соли флуоресцеина, способных к флуоресценции) в возбужденное состояние при поглощении энергии ультрафиолетового света, их перемещений между энергетическими уровнями и возвращении в обычное состояние.

*Приготовление раствора без динатриевой соли флуоресцеина.* В подготовленную питьевую воду температурой  $4 \pm 2$  °C добавляли соль пищевую и сахар белый в количестве «варианта рассола № 2», представленном в таблице 1. После внесения всех ингредиентов проводили интенсивное перемешивание рассола в течение 3–5 мин до полного растворения всех компонентов. Полученный рассол представлял собой прозрачную жидкость без осадка, механических и других примесей.

*Посол образцов мяса индейки.* Образцы мяса индейки раскладывали в емкости для посола из пищевого нержавеющей материала и заливали рассолом так, чтобы он полностью покрывал сырье. Выдерживали образцы в рассоле в холодильной камере при температуре  $4 \pm 2$  °C. По истечении 5 мин, 12, 24 и 36 ч из каждой емкости разных вариантов рассолов отбирали по одному образцу мяса грудки и бедра индейки для дальнейшего макроскопического анализа срезов мяса. В таблице 2 представлено распределение образцов мяса индейки в емкости рассолов разных рецептур.

*Макроскопический анализ.* Для макроскопического анализа отбиралось 56 срезов мяса индейки. Из них по 24 продольных и поперечных срезов мяса грудки и бедра индейки, выдержанных в рассолах с динатриевой солью флуоресцеина, и 8 поперечных срезов (по 4 на каждый тип мяса) без нее.

Исследование изменений цвета в образцах срезов мяса индейки, выдержанных в рассолах без динатриевой соли флуоресцеина (8 образцов), проводили в помещении (освещенность 397 лк) невооруженным глазом с помощью штангенциркуля в 3–5 точках для вычисления средней величины изменения цвета от края среза мяса. В результате действия рассола на мясо грудки и бедра индейки произошли изменения цвета: от розового до бледно-желтого и от красного до бледно-красного соответственно.

Измерения глубины свечения в образцах срезов мяса индейки, выдержанных в рассолах с динатриевой солью флуоресцеина (48 образцов), проводили в темном помещении под воздействием источника ультрафиолетового света невооруженным глазом с помощью штангенциркуля в 3–5 точках для вычисления средней величины. Под действием флуоресцирующего вещества происходило желто-зеленое свечение, характеризующее глубину проникновения.

*Микроскопический анализ.* Гистологические срезы мяса индейки рассматривали при помощи световой микроскопии с оптическим 8-кратным увеличением трансфокатора микроскопа.

Толщина срезов, взятых на макро- и микроскопические исследования, равнялась  $5,0 \pm 2,0$  и  $0,3 \pm 0,1$  см соответственно. Срезы для макроскопических исследований осуществляли ножом ветеринарным малым по ГО-10-23-01-46-07, для

Таблица 2. Распределение образцов мяса индейки в емкости рассолов разных рецептур

Table 2. Distribution of turkey meat samples in containers with brines of different formulations

Вид мяса	№ варианта рассола с использованием динатриевой соли флуоресцеина			№ варианта рассола без использования динатриевой соли флуоресцеина
	1	2	3	
Мясо грудки индейки	1	2	3	2
Мясо бедра индейки	1	2	3	2

гистологических исследований – микротомом замораживающим МЗ-2.

Макро- и микроскопический анализ осуществлялся специалистами отдела научных направлений комплексной переработки сельскохозяйственного сырья Сибирского научно-исследовательского и технологического института Сибирского федерального научного центра агроботехнологий Российской академии наук. Они прошли отбор с учетом индивидуальной чувствительности и способности устанавливать специфические различия в цвете, вкусе, запахе (аромате) и консистенции проб мясных продуктов в соответствии с ГОСТ ISO 8586-2015.

*Статистический анализ.* Для исследования наличия или отсутствия, а также взаимодействия влияния факторов («А» – концентрация хлорида натрия в рассоле, %; «В» – продолжительность посола, ч; «С» – вид среза; «D» – наличие/отсутствие динатриевой соли флуоресцеина; «F» – часть тушки) на изменение исследуемого результативного признака (средняя величина изменения цвета от края среза мяса) проводили дисперсионный анализ экспериментальных данных методами математической статистики (достоверность результатов  $P \leq 0,05$ )

с использованием персонального компьютера и программы SNEDECOR. При сравнении измерений видимой глубины проникновения 10 %-ного солевого рассола с динатриевой солью флуоресцеина и без нее в мясо грудки и бедра индейки использовали двухфакторный дисперсионный анализ (факторы «В» и «D»). При сравнении измерений видимой глубины проникновения рассола с динатриевой солью флуоресцеина в мышечные ткани индейки на продольных и поперечных срезах использовали многофакторный дисперсионный анализ (факторы «А», «В», «С», «F»).

В процессе работы использовано следующее оборудование: лампа ультрафиолетовая бактерицидная Т8-30W (Китай), цифровой фотоаппарат Canon PowerShot SX430 IS (Япония), компьютер AMD Socet 754 (США), принтер Samsung SCX 4220 (Южная Корея), шкаф холодильный фармацевтический Позис ХФД-280 (Россия), баня водяная Biosan WB-4MS (Латвия), штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 (Россия), микроскоп Carl Zeiss Stereo Discov-ery V8 (Германия) с камерой Axio Cam ICc 5 (Германия) и программным обеспечением ZEN; микротом МЗ-3 (Россия).

Таблица 3. Глубина проникновения рассола без динатриевой соли флуоресцеина в мышечные ткани индейки

Table 3. Penetration depth of brine without fluorescein disodium salt into turkey muscle tissue

Фактор «В»	Фактор «А»	Проникновение в ткани мяса индейки, мм			
		Фактор «С»			
		грудки		бедра	
		продольный срез	поперечный срез	продольный срез	поперечный срез
0,083	5	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03
	10	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03
	15	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03	0,50 ± 0,03
12	5	2,10 ± 0,06	2,00 ± 0,02	3,00 ± 0,03	3,00 ± 0,05
	10	3,00 ± 0,03	2,70 ± 0,04	4,00 ± 0,06	4,00 ± 0,04
	15	4,10 ± 0,06	3,70 ± 0,06	5,10 ± 0,03	4,90 ± 0,04
24	5	3,20 ± 0,06	3,20 ± 0,05	4,10 ± 0,06	4,00 ± 0,05
	10	4,10 ± 0,06	4,00 ± 0,04	4,10 ± 0,06	4,10 ± 0,05
	15	5,10 ± 0,09	5,00 ± 0,06	5,20 ± 0,03	4,90 ± 0,04
36	5	4,20 ± 0,03	4,10 ± 0,03	5,20 ± 0,06	5,20 ± 0,05
	10	5,10 ± 0,03	5,00 ± 0,02	5,20 ± 0,06	5,30 ± 0,06
	15	6,00 ± 0,07	6,00 ± 0,05	6,00 ± 0,06	5,90 ± 0,06
Влияние фактора, %		A = 10,50 B = 84,56 C = 0,10 AB = 4,64 AC = 0,00 BC = 0,12		A = 4,59 B = 91,56 C = 0,02 AB = 3,70 AC = 0,07 BC = 0,02	
НСР <sub>0,5</sub> , %		A = 5,95 B = 6,87 C = 4,86		A = 4,72 B = 5,45 C = 3,85	

Фактор «А» – концентрация хлорида натрия в рассоле, %; фактор «В» – продолжительность посола, ч; фактор «С» – вид среза.

Factor “A” – concentration of sodium chloride in brine, %; factor “B” – salting time, h; factor “C” – type of cut.



### Результаты и их обсуждение

Проведены исследования возможности использования динатриевой соли флуоресцеина при определении параметров посола крупнокускового цельномышечного мяса индейки. В таблице 3 представлены результаты исследований глубины проникновения рассола без динатриевой соли флуоресцеина в мышечные ткани индейки.

Рассол с различной концентрацией хлорида натрия имеет разную скорость распространения от поверхности вглубь мышечной ткани: чем выше концентрация, тем быстрее его проникновение. При погружении мяса на 5 мин движущей силой процесса являлась разница концентраций веществ в системе «мясо – рассол»: чем она больше, тем интенсивнее диффузия между тканями и рассолом. Этим объясняется быстрое проникновение соли и окисление миоглобина при 5 мин погружении мяса в рассол.

Установлено, что в продольных и поперечных срезах грудки и бедра индейки при погружении в рассол на 5 мин глубина проникновения была одинаковой – 0,5 мм (табл. 3).

При выдерживании образцов в рассоле в течение 12, 24 и 36 ч изменение глубины проникновения хлорида

натрия составило по всем образцам около 1,0 мм. В продольных срезах грудки индейки наблюдали следующую закономерность: глубина проникновения 10,0 %-ного рассола хлорида натрия при 12 ч выдержке равна глубине проникновения 5,0 %-ного рассола хлорида натрия при 24 ч выдержке – 3,0 мм. Глубина проникновения 15,0 %-ного рассола хлорида натрия при 12 ч выдержке соответствовала глубине проникновения 10,0 %-ного рассола хлорида натрия при 24 ч выдержке – 4,0 мм и т. д. Максимальную глубину проникновения отмечали при 15 % концентрации рассола хлорида натрия и 36 ч длительности посола – 6,0 мм и т. д.

При 12 ч выдержке в рассоле разница в продольных срезах мяса бедра индейки, в зависимости от концентрации хлорида натрия в рассоле, составила 1,0 мм. При 24 ч выдержке образцов в рассоле глубина проникновения последнего составила 4,1 мм как при 5 %, так и при 10 %-ной концентрации хлорида натрия в рассоле. Глубина проникновения увеличилась только при 15 %-ной концентрации хлорида натрия – до 5,2 мм.

Как видно из данных испытаний таблицы 3, на поперечном срезе с увеличением длительности посола и увеличением концентрации хлорида натрия в рассоле

Таблица 4. Глубина проникновения рассола с динатриевой солью флуоресцеина в мышечные ткани индейки

Table 4. Depth of penetration of brine with fluorescein disodium salt into turkey muscle tissue

Фактор «В»	Фактор «А»	Проникновение в ткани мяса индейки, см			
		грудки		бедра	
		Фактор «С»			
		продольный срез	поперечный срез	продольный срез	поперечный срез
0,083	5	0,40 ± 0,03	0,30 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,10 ± 0,03
	10	0,40 ± 0,03	0,30 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,10 ± 0,03
	15	0,40 ± 0,03	0,30 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,10 ± 0,03
12	5	1,00 ± 0,06	1,00 ± 0,02	0,30 ± 0,03	0,20 ± 0,05
	10	2,10 ± 0,03	1,60 ± 0,04	0,40 ± 0,06	0,30 ± 0,04
	15	3,00 ± 0,06	2,20 ± 0,06	0,50 ± 0,03	0,30 ± 0,04
24	5	1,60 ± 0,06	1,20 ± 0,05	0,90 ± 0,06	0,70 ± 0,05
	10	2,30 ± 0,06	2,10 ± 0,04	1,00 ± 0,06	0,80 ± 0,05
	15	3,10 ± 0,09	2,90 ± 0,06	1,20 ± 0,03	0,90 ± 0,04
36	5	Полное свечение	Полное свечение	Полное свечение	Полное свечение
	10	Полное свечение	Полное свечение	Полное свечение	Полное свечение
	15	Полное свечение	Полное свечение	Полное свечение	Полное свечение
Влияние фактора, %		A = 18,68 B = 63,54 C = 2,11 AB = 13,10 AC = 0,00 BC = 0,11		A = 2,37 B = 87,15 C = 6,55 AB = 2,12 AC = 0,30 BC = 1,21	
НСР <sub>0,5</sub> , %		A = 30,70 B = 30,70 AB = 25,06		A = 3,78 B = 3,78 C = 3,09	

Фактор «А» – концентрация хлорида натрия в рассоле, %; фактор «В» – продолжительность посола, ч; фактор «С» – вид среза.

Factor “A” – concentration of sodium chloride in brine, %; factor “B” – salting time, h; factor “C” – type of cut.

скорость насыщения последним мышечных тканей грудки индейки снижалась. Вследствие этого глубина его проникновения увеличивалась. При 12 ч выдержке мяса в рассоле с увеличением концентрации хлорида натрия глубина его проникновения увеличилась. Аналогичная тенденция наблюдалась и при 24 и 36 ч выдержке мяса в рассоле. Однако при 12 ч выдержке мяса в рассоле с увеличением концентрации хлорида натрия на 5 % увеличивается его глубина проникновения на 0,7 и 1,0 мм, а при 24 ч – 0,8 и 1,0 мм.

Выявлена закономерность глубины проникновения рассола в поперечных срезах бедра мяса индейки. При 24 и 36 ч выдержке в рассоле разница глубины его проникновения при 5 и 10 %-ной концентрации хлорида натрия практически отсутствовала и составляла 0,1 мм. При увеличении концентрации хлорида натрия еще на 5 %, т. е. в образце с 15 %-ной концентрацией соли, произошли изменения в сторону увеличения глубины его проникновения в мышцы при 24 ч выдержке на 0,8 мм и при 36 ч на 0,6 мм.

При анализе значимости факторов, влияющих на глубину проникновения рассола в мышцы грудки индейки при визуальном наблюдении, установлено, что концентрация хлорида натрия рассола (фактор «А») определял 10,5 % вариации изучаемого признака, длительность посола (фактор «В») – 84,54 %, а вид среза (фактор «С») – только 0,10 % (табл. 3). Подобное наблюдали и при анализе значимости факторов, влияющих на глубину проникновения рассола в мышцы бедра индейки при визуальном наблюдении: концентрация хлорида натрия рассола (фактор «А») определял 4,59 % вариации изучаемого признака, длительность посола (фактор «В») – 91,56 %, а вид среза (фактор «С») – 0,02 %.

Видимая часть измененного цвета мышц индейки за счет окисления миоглобина под воздействием хлорида натрия в процессе посола не является фактически видимой глубиной просаливания. В процессе посола из-за диффузионных процессов снижается концентрация хлорида натрия в мышечных тканях. Это приводит к снижению возможности визуализации изменения окраски последних и контролю просаливания.

В таблице 4 представлены результаты исследований глубины проникновения рассола с динатриевой солью флуоресцеина в мышечные ткани индейки, которая определялась по присутствию свечения флуорофора в срезах.

Установлено, что при 5 мин погружении образцов мяса индейки в рассол с динатриевой солью флуоресцеина глубина проникновения не зависела от концентрации хлорида натрия в рассоле, а влияние оказывал только тип мышц.

Как видно из данных рисунков 2 и 3, в грудке индейки проникновение рассола выше, чем в бедре: на продольном срезе в 2 раза, а на поперечном срезе в 3 раза. Связано это с тем, что мышечные ткани грудки более плотные и в них меньше соединительной ткани, препятствующей проникновению рассола. Поэтому наблюдалось равномерное распределение его по всему образцу без видимых изменений (рис. 2). В мышечной ткани бедра много плотной соединительной ткани, в том числе рыхлой жировой. На рисунке 3 четко просматриваются участки набухания мышечной ткани перетянутые соединительной. Это свидетельствует о препятствующей функции последней для прохождения рассола по всему образцу независимо от продолжительности посола бедра индейки. Значимость факторов, влияющих на глубину



Рисунок 2. Микроструктура мышц продольного среза грудки индейки после посола (концентрация хлорида натрия 10 % в течение 24 ч)

Figure 2. Microstructure of the longitudinal section of turkey breast muscles after brining (sodium chloride concentration = 10%, brining time – 24 h)

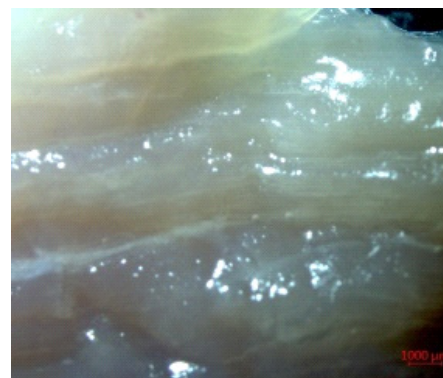


Рисунок 3. Микроструктура мышц продольного среза бедра индейки после посола (концентрация хлорида натрия 10 % в течение 24 ч)

Figure 3. Microstructure of the longitudinal section of turkey thigh muscles after brining (sodium chloride concentration = 10%, brining time – 24 h)



Рисунок 4. Пример глубины проникновения 10 %-ного рассола хлорида натрия с динатриевой солью флуоресцеина в мышцы грудки индейки (поперечный срез) (×2)

Figure 4. Penetration depth of 10% sodium chloride brine with fluorescein disodium salt into turkey breast muscles (cross section) (×2)

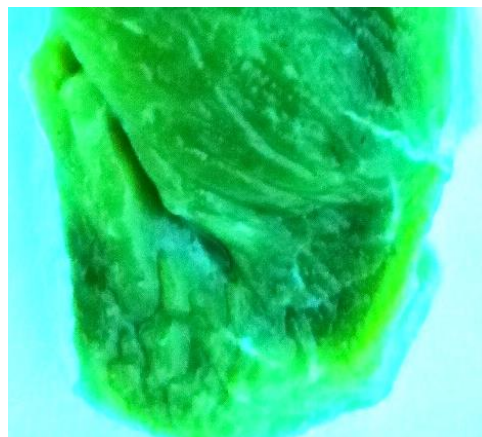


Рисунок 5. Пример глубины проникновения 10 %-ного рассола хлорида натрия с динатриевой солью флуоресцеина в мышцы бедра индейки (поперечный срез) (×2)

Figure 5. Penetration depth of 10% sodium chloride brine with fluorescein disodium salt into turkey thigh muscles (cross section) (×2)

проникновения рассола в мышечные ткани индейки, можно проранжировать следующим образом: грудка – концентрация хлорида натрия в рассоле (фактор «А») > продолжительность посола (фактор «В») > вид среза (фактор «С»); бедра – продолжительность посола (фактор «В») > вид среза (фактор «С») > концентрация хлорида натрия в рассоле (фактор «А»). Необходимо отметить, что значимость концентрации хлорида натрия в рассоле (фактор «А») для мышечных тканей бедра индейки снизился в 8 раз по сравнению с грудными мышцами.

При анализе значимости факторов на глубину проникновения рассола с динатриевой солью флуоресцеина в мышцы грудки индейки по свечению флуорофора под воздействием источников УФ-спектра установлено, что концентрация хлорида натрия в рассоле (фактор «А») определяла 18,68 %

вариации изучаемого признака, длительность посола (фактор «В») – 63,54 %, а тип среза (фактор «С») – только 2,11 %.

Аналогичная тенденция отмечена и при анализе значимости факторов, влияющих на глубину проникновения рассола с динатриевой солью флуорофора под воздействием источников УФ-спектра: концентрация хлорида натрия в рассоле (фактор «А») определяла 2,37 % вариации изучаемого признака, длительность посола (фактор «В») – 87,15 %, а тип среза (фактор «С») – 6,55 %.

Таблица 5. Значимость динатриевой соли флуоресцеина (фактор «D») при определении глубины проникновения рассола в мышечные ткани индейки, %

Table 5. Significance of fluorescein disodium salt (factor “D”) in determining the depth of brine penetration into turkey muscle tissue, %

Фактор «F»	Фактор «C»	Динатриевая соль флуоресцеина в рассоле (фактор «D»)	
		отсутствует	присутствует
Грудка	продольный	23,60	39,48
	НСР <sub>0,5</sub>	13,12	6,52
	поперечный	33,11	47,39
	НСР <sub>0,5</sub>	17,81	2,11
Бедро	продольный	15,86	73,85
	НСР <sub>0,5</sub>	1,01	12,85
	поперечный	24,03	44,93
	НСР <sub>0,5</sub>	0,74	2,22

Фактор «F» – часть тушки индейки; фактор «D» – наличие/отсутствие динатриевой соли флуоресцеина; фактор «C» – вид среза.

Factor “F” – part of the turkey carcass; factor “D” – presence/absence of fluorescein disodium salt; factor “C” – type of cut.



На рисунках 4 и 5 представлены примеры макроскопических поперечных срезов глубины проникновения 10 %-ного рассола с динатриевой солью флуоресцеина. Интенсивность свечения флуорофора уменьшалась от периферии к центру, поэтому верхняя точка измерения – край образца.

В таблице 5 представлены данные, подтверждающие надежность и объективность использования флуорофора для определения глубины проникновения рассола с хлоридом натрия в крупнокусковое цельномышечное мясо индейки.

Установлено, что, независимо от части тушки (фактор «F») и вида среза (фактор «С»), присутствие динатриевой соли флуоресцеина в рассоле, предназначенном для посола мяса индейки, способствовало точному определению глубины проникновения рассола в мясо индейки.

#### **Выводы**

В результате проведенных исследований доказана возможность использования динатриевой соли флуоресцеина при определении одного из основных параметров посола крупнокускового цельномышечного мяса индейки (продолжительности).

Использование указанного флуорофора позволяет легко (не требует дополнительного обучения персонала, дорогостоящего оборудования, реактивов и т. д.), быстро (порядка 30 мин) и достоверно определить просаливание мяса индейки. Это необходимо при разработке и/или модернизации продукции.

На основании проведенных исследований получен патент на изобретение № 2740386 «Способ установления глубины проникновения рассола в цельномышечные куски мяса индейки».

Разработанный способ по установлению глубины проникновения рассола, содержащего разные концентрации хлорида натрия, с использованием флуорофора является перспективным в определении глубины просаливания и для других видов мяса, поскольку апробация проведена на различных типах мышц индейки, имеющих различия в тканевом комплексе.

#### **Критерии авторства**

Г. П. Чекрыга руководила работой. Все авторы принимали участие в исследованиях и обработке данных, написании текстов.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Contribution**

G.P. Chekryga supervised the project. All the authors are equally responsible for the research procedure, data processing, and manuscript.

#### **Conflict of interest**

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

#### **Список литературы**

1. Буяров А. В., Буяров В. С. Роль отрасли птицеводства в обеспечении продовольственной безопасности России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 7. С. 84–95.
2. Мясо индейки в продуктах специализированного питания / И. Л. Стефанова [и др.] // Мясная индустрия. 2019. № 3. С. 37–39.
3. Мясо индейки: производство, состав и свойства / В. В. Насонова [и др.] // Мясная индустрия. 2019. № 11. С. 36–40.
4. Morphological, textural and physico-chemical characterization of processed meat products during their shelf life / E. Melro [et al.] // Food Structure. 2020. Vol. 26. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2020.100164>.
5. Потипаева Н. Н., Мышалова О. М., Лютина А. С. Ветчинные изделия из мяса индейки // Мясная индустрия. 2014. № 10. С. 18–20.
6. Моисеева Н. С., Мотовилов О. К. Разработка и исследование показателей качества копчено-запеченного продукта из мяса индейки // Индустрия питания. 2020. Т. 5. № 1. С. 44–49. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-1-5>.
7. Совершенствование технологии посола ферментированных продуктов из мяса маралов / О. М. Мышалова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 4. С. 66–72. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-66-72>.
8. Прокопенко И. А. Интенсификация процесса посола мяса птицы с помощью высокого гидростатического давления // Птица и птицепродукты. 2019. № 4. С. 23–25. <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2019-21-4-23-25>.
9. Yalçın M. Y., Şeker M. Effect of salt and moisture content reduction on physical and microbiological properties of salted, pressed and freeze dried turkey meat // LWT – Food Science and Technology. 2016. Vol. 68. P. 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.032>.
10. Потороко И. Ю., Цирульниченко Л. А. Исследование кинетических закономерностей посола мяса птицы с использованием кавитационно активированных жидких сред // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2014. Т. 2. № 3. С. 21–28.

11. Up-conversion fluorescent labels for plastic recycling: A review / G. Gao [et al.] // *Advanced Sustainable Systems*. 2017. Vol. 1. № 5. <https://doi.org/10.1002/adsu.201600033>.
12. Inorganic fluorescent marker materials for identification of post-consumer plastic packaging / J. Woidasky [et al.] // *Resources, Conservation and Recycling*. 2020. Vol. 161. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104976>.
13. A simple and highly sensitive masking fluorescence detection system for capillary array electrophoresis and its application to food and medicine analysis / W. Yu [et al.] // *Journal of Chromatography A*. 2020. Vol. 1620. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.460968>.
14. Development of a fluorescence aptasensor for rapid and sensitive detection of *Listeria monocytogenes* in food / R. Liu [et al.] // *Food Control*. 2021. Vol. 122. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107808>.
15. Determination of pungency in spicy food by means of excitation-emission fluorescence coupled with second-order chemometric calibration / O. Monago-Maraña [et al.] // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2018. Vol. 67. P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.031>.
16. Fluorescence determination of trace level of cadmium with pyrene modified nanocrystalline cellulose in food and soil samples / S. O. Tümay [et al.] // *Food and Chemical Toxicology*. 2020. Vol. 146. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111847>.
17. Cooksey C. J. Quirks of dye nomenclature. 9. Fluorescein // *Biotechnic and Histochemistry*. 2017. Vol. 92. № 7. P. 506–512. <https://doi.org/10.1080/10520295.2017.1359751>.
18. Highly luminescent sensing for nitrofurans and tetracyclines in water based on zeolitic imidazolate framework-8 incorporated with dyes / Y.-Q. Zhang [et al.] // *Talanta*. 2019. Vol. 204. P. 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.06.019>.
19. A novel method for predicting antioxidant activity based on amino acid structure / A. R. Garrett [et al.] // *Food Chemistry*. 2014. Vol. 158. P. 490–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.102>.
20. Microwave and ultrasound pre-treatments to enhance anthocyanins extraction from different wine lees / R. Romero-Díez [et al.] // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 272. P. 258–266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.016>.

#### References

1. Buyarov AV, Buyarov VS. The role of the poultry industry in ensuring food security in Russia. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2020;(7):84–95. (In Russ.).
2. Stefanova IL, Kulishev BV, Shakhnazarova LV, Timoshenko NV. Turkey in the products of specialized nutrition. *Meat Industry*. 2019;(3):37–39. (In Russ.).
3. Nasonova VV, Tunieva EK, Motovilina AA, Mileenkova EV. Turkey meat: production, composition and properties. *Meat Industry*. 2019;(11):36–40. (In Russ.).
4. Melro E, Antunes F, Cruz I, Ramos PE, Carvalho F, Alves L. Morphological, textural and physico-chemical characterization of processed meat products during their shelf life. *Food Structure*. 2020;26. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2020.100164>.
5. Potipaeva NN, Myshalova OM, Lyutina AS. Ham products from turkey meat. *Meat Industry*. 2019;(10):18–20. (In Russ.).
6. Moiseeva NS, Motovilov OK. Quality and safety indicators development of smoked and baked turkey meat product. *Food Industry*. 2020;5(1):44–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-1-5>.
7. Myshalova OM, Gurinovich GV, Patrakova IS, Seregin SA. Improving the salting technology for fermented maral meat products. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018;48(4):66–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-66-72>.
8. Prokopenko IA. The intensification of the process of salting poultry meat using highhydrostatic pressure. *Poultry and Poultry Processing*. 2019;(4):23–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.30975/2073-4999-2019-21-4-23-25>.
9. Yalçın MY, Şeker M. Effect of salt and moisture content reduction on physical and microbiological properties of salted, pressed and freeze dried turkey meat. *LWT – Food Science and Technology*. 2016;68:153–159. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.032>.
10. Potoroko IYu, Tsurulnichenko LA. Analysis of kinetic regularities of poultry curing with the use of cavitating active liquid media. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2014;2(3):21–28. (In Russ.).
11. Gao G, Turshatov A, Howard IA, Busko D, Joseph R, Hudry D, et al. Up-conversion fluorescent labels for plastic recycling: A review. *Advanced Sustainable Systems*. 2017;1(5). <https://doi.org/10.1002/adsu.201600033>.
12. Woidasky J, Sander I, Schau A, Moesslein J, Wendler P, Wacker D, et al. Inorganic fluorescent marker materials for identification of post-consumer plastic packaging. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020;161. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104976>.
13. Yu W, Yu X, Han X, Wang S, Chen Z, Zhai H. A simple and highly sensitive masking fluorescence detection system for capillary array electrophoresis and its application to food and medicine analysis. *Journal of Chromatography A*. 2020;1620. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.460968>.

14. Liu R, Zhang Y, Ali S, Haruna SA, He P, Li H, et al. Development of a fluorescence aptasensor for rapid and sensitive detection of *Listeria monocytogenes* in food. *Food Control*. 2021;122. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107808>.
15. Monago-Maraña O, Guzmán-Becerra M, Muñoz de la Peña A, Galeano-Díaz T. Determination of pungency in spicy food by means of excitation-emission fluorescence coupled with second-order chemometric calibration. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2018;67:10–18. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.031>.
16. Tümay SO, Şanko V, Demirbas E, Şenocak A. Fluorescence determination of trace level of cadmium with pyrene modified nanocrystalline cellulose in food and soil samples. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;146. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111847>.
17. Cooksey CJ. Quirks of dye nomenclature. 9. Fluorescein. *Biotechnic and Histochemistry*. 2017;92(7):506–512. <https://doi.org/10.1080/10520295.2017.1359751>.
18. Zhang Y-Q, Wu X-H, Mao S, Tao W-Q, Li Z. Highly luminescent sensing for nitrofurans and tetracyclines in water based on zeolitic imidazolate framework-8 incorporated with dyes. *Talanta*. 2019;204:344–352. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.06.019>.
19. Garrett AR, Weagel EG, Martinez AD, Heaton M, Robison RA, O'Neill KL. A novel method for predicting antioxidant activity based on amino acid structure. *Food Chemistry*. 2014;158:490–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.102>.
20. Romero-Díez R, Matos M, Rodrigues L, Bronze MR, Rodríguez-Rojo S, Cocero MJ, et al. Microwave and ultrasound pre-treatments to enhance anthocyanins extraction from different wine lees. *Food Chemistry*. 2019;272:258–266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.016>.