

# ИССЛЕДОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ И ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЯСА ГОВЯДИНЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Ловкис З.В., Почицкая И.М.,\* Комарова Н.В.

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,  
Минск, Республика Беларусь

**Ключевые слова:** термическая обработка, обжарка, меланоидинообразование, цветовое различие

## Аннотация

В статье представлены результаты исследований изменения ароматического профиля и цветовых характеристик мяса говядины при различных режимах термической обработки. Установлено более 120 летучих веществ. В образцах подвергнутых краткосрочной и незначительной тепловой обработке обнаружены в значительных количествах 2-метил-бутен, этилгексаноат. В образцах подвергнутых длительной обжарке при небольшой температуре, а также в образцах, подвергнутых более высокотемпературной обработке, но меньшее время были обнаружены 3,5-диметил-4-октанон. Анализ изменения цветовых характеристик показал, что с увеличением температуры нагревания наблюдается существенное потемнение образцов. Максимальная температура нагревания 210 °С оказала наиболее существенное влияние на изменение цвета. После нагревания более 30 минут происходило обугливание образцов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что контролируя температуру и длительность процесса нагревания, можно получать желаемый цвет готового продукта.

Original scientific paper

# THE STUDY OF ODOR PROFILE AND COLOR CHARACTERISTICS IN BEEF DURING HEAT TREATMENT

Zenon V. Lovkis, Irina M. Pochitskaya,\* Natallia V. Komarova

The Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Key words:** heat treatment, roasting, melanoidin forming, color difference

## Abstract

The article presents the study results of changes in the odor profile and color characteristics in beef under various heat treatment conditions. More than 120 volatile substances are identified. In samples subjected to short-term and minor heat treatment, 2-methyl-butene and ethyl hexanoate were found in significant amounts. In samples subjected to prolonged roasting at low temperature, as well as in samples subjected to processing at higher temperature for less time period, was found 3,5-dimethyl-4-octanone. Analysis of changes in color characteristics showed that increase in heating temperature results in significant darkening of the samples. The maximum heating temperature of 210 °C had the most significant effect on the color change. After heating for more than 30 minutes, carbonization of the samples occurred. The results indicate that controlling the temperature and duration of heat treatment helps to obtain the finished product of desired color.

## Введение

В процессе технологической тепловой обработки пищевых продуктов часто наблюдается изменение их органолептических характеристик (окраски, вкуса и аромата) вследствие образования окрашенных веществ в результате реакции меланоидинообразования, взаимодействия редуцирующих сахаров и свободных аминокислот, реакции неферментативного потемнения, впервые описанной французским ученым Майяром в 1912 г. Данная реакция может проходить в продуктах животного и растительного происхождения, поскольку все они содержат определенное количество редуцирующих сахаров и свободных аминокислот [1,2,3,4].

Процесс меланоидинообразования оказывает определенное влияние на потребительские свойства и качество пищевых продуктов, т. к. наряду с улучшением органолептических показателей и образованием веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, при этом наблюдается накопление токсичных веществ, снижение пищевой ценности вследствие расходования аминокислот [5,6]. В связи с этим исследование данного химического превращения является важным аспектом создания инновационных пищевых продуктов.

Процесс покоричневения (браунинг) во многих продуктах улучшает органолептические показатели,

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Ловкис З.В., Почицкая И.М., Комарова Н.В. Исследование ароматического профиля и цветовых характеристик мяса говядины при термической обработке. Теория и практика переработки мяса. 2018; 3(4): 38–48. DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-4-38-48

**FOR CITATION:** Lovkis Z.V., Pochitskaya I.M., Komarova N.V. The study of odor profile and color characteristics in beef during heat treatment. Theory and practice of meat processing. 2018;3(4): 38–48. (In Russ.). DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-4-38-48

поскольку при этом продукты приобретают привлекательный золотистый или коричневый цвет (хлебная корочка, кофейные зерна), что повышает на них потребительский спрос [6,7,8,9].

Измерение браунинга можно проводить визуальными наблюдениями или при помощи спектрофотометра. Спектрометрическое определение цветности при длине волны 420–460 нм позволяет получать вполне удовлетворительные результаты при измерении изменения цветности экстрактов пищи или модельных систем. Визуальной оценки цвета зачастую бывает недостаточно, поскольку она весьма субъективна и зависит от физиологического состояния человека. В этой связи актуальным является исследование изменения цвета продуктов питания под влиянием различного температурного и временного воздействия с использованием современных компьютерных технологий.

Цель работы — исследование ароматического профиля и цветовых характеристик мяса говядины при термической обработке.

### Материалы и методы

Для исследования влияния термообработки на ароматобразующие компоненты и цветовые характеристики использовано мясо говядины от длиннейшей мышцы спины (*L. dorsi*), предварительно измельченное на мясорубке. Обжарку проводили в сушильном шкафу марки Binder FD–53 с принудительной конвекцией с автоматической регистрацией температуры внутри шкафа, с точностью 2 °С. Фарш формовали в виде изделий круглой формы диаметром 50 мм, высотой 5 мм, масса каждого изделия составляла около 5 г. Для соблюдения временного режима использовался секундомер С–01. Измерения проводили при температурах 120, 150, 180 и 210 °С с интервалом времени 10 минут на протяжении 2 ч. Для исследования цветовых характеристик образцов проводили фотосъемку в одних условиях для всех образцов: при источнике освещения D65 (стандартный дневной свет), с углом наблюдения не более 2°, каждое измерение проводили однократно; фотоаппарат Canon EOS 750D; объектив Canon EF-S 17–55mm f/2.8 IS USM; режим съемки: ISO 400, f 5.6, выдержка 1/60. Фотографии анализируемых образцов обрабатывали в графическом редакторе Adobe Photoshop CS6.

Цветовое различие (англ. Color difference), формула цветового различия, цветоразность, или цветовое расстояние (расстояние между цветами) — математическое представление, позволяющее численно выразить различие между двумя цветами в колориметрии. Для определения различий двух образцов по координатам цвета существуют несколько формул. Результаты, полученные по этим формулам, в некоторых случаях не согласуются с результатами визуальной оценки. Международной комиссией по

освещению (МКО) для общего пользования рекомендованы следующие расчетные формулы: CIE76, в системе координат цвета  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , CIE94, в цветовом пространстве LCH ( $L^*C^*h$ ) и CIEDE2000, включающая поворот цветового угла тона, компенсацию для нейтральных цветов, светлоты, насыщенности цвета и тона [10,11,12].

В работе, с целью количественной и наиболее точной оценки цветового различия или цветового расстояния термически обработанных образцов мяса, использован онлайн-калькулятор «CIE2000 Calculator», позволяющий рассчитать цветоразницу в различных цветовых координатах по стандартам CIEDE2000 [13].

Для получения цветовых характеристик испытуемых образцов используется их фотоизображение с последующей обработкой в графическом редакторе Adobe Photoshop, в котором возможно получить цветовые характеристики. Для оценки изменения окраски используется характеристика  $\Delta E$  — цветовое различие — которая определяется как разница между двумя цветами в одном из равноконтрастных цветовых пространствах. С помощью инструмента «пипетка» (инструмента для определения цвета) программы Adobe Photoshop считывали шестнадцатеричное значение цвета и координаты цвета в системе RGB. RGB — широко используемая аддитивная цветовая модель. Цветовая модель RGB может использовать разные оттенки основных цветов, разную цветовую температуру (задание «белой точки»), и разный показатель гамма-коррекции.

### Результаты и обсуждение

Результаты исследования изменения цвета исследуемых образцов в зависимости от различных температурно-временных режимах представлены на Рис. 1. Переход от красного цвета контрольного образца к светло серому через бежевый объясняется денатурацией миоглобина. Дальнейший нагрев образцов приводил к их браунингу. Образование меланоидиновых пигментов происходило тем интенсивнее, чем выше была температура. Причем, даже длительное воздействие температуры 120 °С не приводило к существенному изменению цвета исследуемых образцов. При температуре 180 °С наблюдалось достаточно заметное изменение окраски, причем уже начиная с 30 минут нагревания. Затем, с увеличением температуры до 210 °С независимо от длительности нагревания происходило обугливание исследуемых образцов [14,15].

Фотографии анализируемых образцов представлены на Рис. 1.

Результаты изучения цветоразницы, визуальные и числовые характеристики изменения цвета исследуемого мяса говядины, обжаренного при различных температурно-временных программах представлены в Табл. 1.





Рис. 1. Образцы мяса говядины, подвергнутого тепловой обработке при температуре: а) — 120 °С, б) — 150 °С, в) — 180 °С, г) — 210 °С

Визуальное восприятие образцов, подвергнутых термообработке, показало, что при температуре 120 °С и 150 °С цвет образцов практически не изменяется. Однако, сравнение числовых значений цвета позволяет отметить происходящие изменения в образцах.

Значения в системе Red — Green — Blue (красный — зелёный — синий) изменялись соответственно изменению цвета при нагревании.

Наиболее существенные изменения претерпевала цветовая разница, так, уже после 10 минут нагревания она в сравнении с контролем изменилась более, чем в 2 раза. Термообработка образцов при темпе-

ратуре 180 °С показала, что увеличение температуры приводило к более интенсивному цвету. В сравнении с контролем при температуре 180 °С отмечалось более существенное изменение значений в системе Red — Green — Blue. Отмечено значительное снижение значения Blue в течение всего периода термообработки, его величина в сравнении с контролем после выдержки 120 минут снизилась в 2 раза.

Максимальная температура нагревания 210 °С оказала наиболее существенное влияние на изменение цвета. После нагревания более 30 минут происходило обугливание образцов.

Таблица 1. Анализ изменения цвета мяса говядины при различных температурно-временных программах

Характеристика цвета	Контроль	Продолжительность обжарки, мин											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<i>Температура 120 °С</i>													
Шестнадцатеричное значение цвета	ас4f47	е0b7a4	ссаa96	b48f74	af8e73	805c42	755738	8d704f	876b4c	917042	8b6e41	8a6436	916c3f
Образец цвета													
Значение в системе Red, Green, Blue	172, 79, 71	224, 183, 164	204, 170, 150	180, 143, 116	175, 142, 115	128, 92, 66	117, 87, 55	141, 112, 79	135, 107, 75	145, 112, 66	139, 110, 65	138, 100, 54	145, 108, 63
Цветоразница (ΔE)	0	28,13	30,15	21,59	31,17	8,18	29,18	12,50	28,73	25,43	24,60	24,19	15,46
<i>Температура 150 °С</i>													
Шестнадцатеричное значение цвета	ас4f47	а88168	825f46	805e43	6d5034	765739	806742	846138	805931	8b6941	8c673a	875d33	583018 ??
Образец цвета													
Значение в системе Red, Green, Blue	172, 79, 71	168, 129, 102	130, 95, 71	128, 94, 67	109, 80, 51	118, 87, 57	128, 103, 66	132, 97, 56	128, 89, 49	139, 105, 65	140, 103, 57	135, 93, 51	88, 48, 24
Цветоразница (ΔE)	0	20,69	14,21	21,06	11,93	28,38	26,84	10,27	21,80	15,83	26,51	22,39	23,13
<i>Температура 180 °С</i>													
Шестнадцатеричное значение цвета	ас4f47	593e31	614534	815b36	8a623a	815732	85512b	7a4727	7a4626	724124	7d4a2a	693b21	6d3e23
Образец цвета													
Значение в системе Red, Green, Blue	172, 79, 71	89, 62, 49	97, 69, 52	129, 91, 54	138, 98, 58	129, 87, 51	133, 81, 43	122, 71, 39	122, 70, 38	114, 65, 36	125, 74, 42	105, 59, 33	109, 62, 35
Цветоразница (ΔE)	0	18,74	3,95	10,04	9,99	22,80	11,11	11,48	18,84	20,00	8,28	18,60	4,10
<i>Температура 210 °С</i>													
Шестнадцатеричное значение цвета	ас4f47	54392a	573f30	4e2c1b	4a2e21	47271d	42261c	422920	3f2821	33241f	31221d	36221a	33201b
Образец цвета													
Значение в системе Red, Green, Blue	172, 79, 71	84, 57, 42	87, 63, 48	78, 44, 27	74, 46, 33	71, 39, 29	66, 38, 28	66, 41, 32	63, 40, 33	51, 36, 31	49, 34, 29	54, 34, 26	51, 32, 27
Цветоразница (ΔE)	0	12,60	17,93	24,45	24,67	22,02	21,45	21,27	26,56	25,26	28,14	25,27	30,59

Значения в системе Red — Green — Blue при данной температуре были максимально низкими, стремились к нулю (абсолютно черный цвет) в сравнении со всеми остальными вариантами. Цветовая разница с увеличением длительности температурного воздействия изменялась незначительно.

Идентификация ароматобразующих соединений осуществлялась сравнением экспериментальных масс спектров со спектрами библиотеки NIST (National Institute of Standards and Technology) [16]. Соединения идентифицировались на основании высокой степени подобия масс спектров и с учетом порядка выхода соединений в соответствии с индексом Ковача. Общее содержание компонентов и содержания отдельных групп компонентов рассчитывали суммированием площадей пиков отдельных компонентов. Относительное содержание отдельных компонентов и их групп рассчитывалось относительно общего содержания компонентов и выражалось в процентах от суммы площадей всех пиков, за исключением фоновых и не идентифицированных пиков.

В ходе исследований было обнаружено более 150 летучих веществ, из которых идентифицировано было 115 и которые вносят существенный вклад в аромат мясного фарша и мясного фарша при термической обработке. В основном, это карбонильные соединения и спирты, сложные эфиры и некоторые другие соединения. Так было обнаружено: 11 эфиров, 14 гетероциклических соединений, 3 непредельных углеводорода, 5 терпенов, 9 спиртов, 4 кислоты, 19 альдегидов из которых 9 непредельных и 4 азосоединения.

При термической обработке проводимой при температуре 120 °С в течении 60–90 минут и при температурной обработке при 150 °С в течении 30–60 минут был обнаружен пропен–2-амин–1 в значительных концентрациях. При термической обработке при 120 °С были обнаружены гексаналь и метоксифенилосим, которые не были обнаружены при других температурных режимах обработки мясного фарша.

2-этил–6-метил пиразин и 1-метил-пирролидон–2 были обнаружены при длительной среднетемпературной обработке мясного фарша.

3-этил–2,5-диметил пиразин был обнаружен при коротко временной и длительной среднетемпературной обработке мясного фарша, тогда как 2-пентил-пиридин был обнаружен в значительных количествах в образцах, прошедших высокотемпературную обработку при 180–210 °С.

В ходе анализа были обнаружены следующие группы веществ:

- альдегиды: гексаналь, гептаналь, октаналь, нонаналь, деканаль, декадиеналь–2,4, бензальдегид, бензацетальдегид;
- кетоны: бутанон–2, гептанон–2, октандион–4,5, октанон–2, нонанон–2, деканон–2, 2,3-гександион;

- спирты: бутанол–1, фурфуроловый спирт, гептанол–1, пропен–2-ол–3, октен–1-ол–3, гексен–1-ол–3, 2-этилгексанол–1, октанол–1, 2-метил пропанол–2;
- терпены: лимонен;
- азо- и серу- содержащие соединения: 1,1-диметилэтил диазен, пропен–2-амин–1,1,3, 2-этилпиридин, 2,4,4-триметил 2-пентанамин, 2-этилпиридин, 2,5-диметилпиримидин, тетразол–5-амин, 2-этил–6-метил пиразин, 1-метил-пирролидон–2, 3-этил–2,5-диметил пиразин, 2-гексил тиофен;
- фурановые: 2-фуранметанол, 2-пентил фуран.

### Заключение

В ходе исследований влияния термообработки на ароматобразующие компоненты и цветовые характеристики образцов животного (мясо говядины) происхождения было установлено более 120 летучих веществ: карбонильные соединения и низшие жирные кислоты, спирты, сложные эфиры и некоторые серосодержащие соединения. При краткосрочной и незначительной тепловой обработке установлены в больших количествах 2-метил-бутен, этилгексаноат. В образцах подвергнутых длительной обжарке при и небольшой температуре, а также в образцах, подвергнутых более высокотемпературной обработке, но меньшее время были обнаружены 3,5-диметил–4-октанон. Карвон был установлен в образцах подвергнутых длительной низкотемпературной обработке или менее продолжительной более высокотемпературной обработке. Во многих образцах было обнаружено значительное количество фурфурола и бензальдегида и фенилэтилового спирта, что хорошо совпадает с данными, описанными в литературных источниках.

Анализ изменения цветовых характеристик показал, что с увеличением температуры нагревания наблюдается существенное потемнение образцов. Если, при температуре 120 °С наблюдается еще незначительное изменение цвета даже после 2-х часового воздействия температуры, то при увеличении температуры до 180–210 °С уже за первые 10 минут цвет образца темнеет и в последующем меняется незначительно.

Оценка цвета образцов с использованием компьютерных технологий в качестве технического зрения показала, что максимальная температура нагревания 210 °С оказывала наиболее существенное влияние на изменение цвета. После нагревания более 30 минут происходило обугливание образцов. Значения в системе Red — Green — Blue при данной температуре были максимально низкими, стремились к нулю (абсолютно черный цвет) в сравнении со всеми остальными вариантами.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что контролируя температуру и длительность процесса нагревания, можно получать желаемый цвет готового продукта, что важно для создания продуктов с заданными органолептическими характеристиками.



## Introduction

During the technological heat treatment of food products, their organoleptic characteristics (color, taste and odor) often change due to the formation of colored substances, melanoidins, as a result of reducing sugars interaction with free amino acids, i.e. the reaction of non-enzymatic browning first described by the French scientist Maillard in 1912. This reaction takes place in products of animal and vegetable origin, since all of them contain a certain amount of reducing sugars and free amino acids [1,2,3,4].

The process of melanoidin forming has a certain effect on consumer properties and food quality, because along with the improvement of sensory properties and the formation of substances with antioxidant properties, accumulation of toxic compounds and decrease in nutritional value occur due to utilization of amino acids [5,6]. In this regard, the study of this chemical transformation is important for development of innovative food products.

The process of browning improves sensory properties of various products, since their color transforms into attractive golden or brown (bread crust, coffee beans), which increases consumer demand for them [6,7,8,9].

Browning measurement may be carried out by visual observation or using a spectrophotometer. Spectrometric color determination at a wavelength of 420–460 nm makes it possible to obtain quite satisfactory results when assessing the change in color of food extracts or model systems. Visual color evaluation is often not enough, since it is very subjective and depends on a physiological state of the person. In this regard, it is relevant to study the change in food color under various temperature and heat treatment duration using modern computer technology.

The purpose of the work is to study the odor profile and color characteristics of beef during heat treatment.

## Materials and methods

To study the effect of heat treatment on odor forming components and color characteristics, L. dorsi beef muscle previously minced in a meat grinder was used. Roasting was performed in Binder FD–53 drying chamber with forced convection and automatic recording of the temperature inside the chamber, with an accuracy of 2 °C. Minced meat was molded in round-shaped products with a diameter of 50 mm and a height of 5 mm; the weight of each product was about 5 g. For duration measurement, C–01 stop watch was used. The measurements were carried out at temperatures of 120, 150, 180, and 210 °C with periods of 10 minutes for 2 hours. To study the color characteristics, photographs were taken under the same conditions for all samples: D65 light source (standard daylight), viewing angle of not more than 2°, each measurement was performed once; Canon EOS 750D camera; Canon EF-S 17–55mm f/2.8 IS USM lens; ISO 400, f 5.6, shutter speed 1/60. Images of the analyzed samples were processed in Adobe Photoshop CS6 graphic editor.

Color difference is a mathematical representation that allows to numerically express the difference between two colors in colorimetry. To determine the difference in color values between two samples, there are several equations. The results obtained from these equations are in some cases inconsistent with the results of visual assessment. The following general equations are recommended for use by the International Commission on Illumination (CIE): CIE76 in L\*, a\*, b\* values, CIE94 in LCH (L\*C\*h) color coordinate system and CIEDE2000 including the rotation of the tone angle, compensation for neutral colors, lightness, saturation and tone [10,11,12].

In current work, in order to quantitatively and most accurately assess the color difference of heat-treated meat samples, the online calculator, «CIE2000 Calculator», was used that allows to calculate the color difference in various color coordinates according to CIEDE2000 standards [13].

To obtain the color characteristics of the studied samples, their photo images are used followed by processing in Adobe Photoshop graphic editor, in which color characteristics may be determined. To estimate the change in color,  $\Delta E$  parameter (color difference) is used, which is defined as the difference between two colors in uniform color space. Using the eyedropper tool (color determination tool) in Adobe Photoshop, the hexadecimal color value and color coordinates in RGB were obtained. RGB is a widely used additive color model. RGB color model may use various shades of primary colors, various color temperatures («white point» setting), and various gamma-correction values.

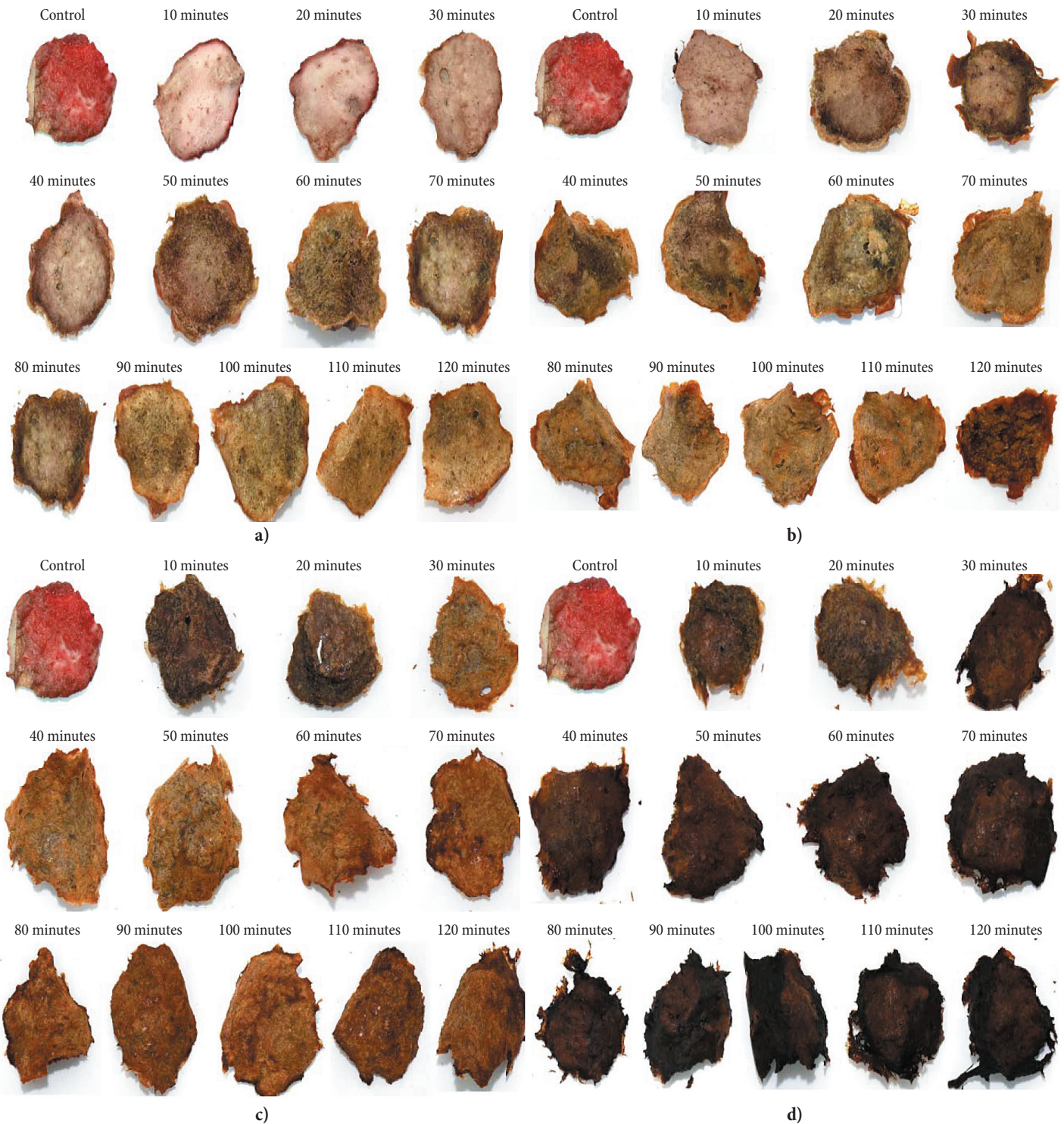
## Results and discussion

The study results for the color change in the samples depending on the different temperature and duration are presented in Figure 1. The change from red in the control sample to light gray through beige is due to myoglobin denaturation. Further heating of the samples led to their browning. The higher the temperature was the more intensely melanoidin pigments formed. Moreover, even prolonged exposure to a temperature of 120 °C did not lead to a significant change in the color of the studied samples. At a temperature of 180 °C, a significant change in color was observed even during 30 minutes of heating. Then, with an increase in temperature up to 210 °C, carbonization of the samples occurred regardless of heating duration [14,15].

Images of the analyzed samples are shown in Figure 1.

The results of the color difference study, the visual and numerical characteristics of the color change in the studied beef samples roasted at various temperatures and time periods are presented in Table 1.

The visual perception of the samples subjected to heat treatment showed that at a temperature of 120 °C and 150 °C sample color practically did not change. However, comparison of color numerical values makes it possible to determine the changes occurring in the samples.



**Figure 1.** Beef samples subjected to heat treatment at a temperature of: a) — 120°C, b) — 150°C, c) — 180°C, d) — 210°C

The values in Red Green Blue system changed according to the change in color during heating.

The most significant changes were noted in color difference, i.e. after 10 minutes of heating, it changed by more than 2 times compared to the control. Heat treatment at a temperature of 180°C showed that an increase in temperature led to more intense color. At a temperature of 180°C, a more significant change was observed in the values of Red Green Blue system compared to the control. A significant decrease in Blue value during the entire period of heat treatment was noted, and after 120 minutes its value decreased by 2 times in comparison with the control.

The maximum heating temperature of 210°C had the most significant effect on color change. After heating for more than 30 minutes, carbonization of the samples occurred.

The values in Red Green Blue system at this temperature were as low as possible, tending to zero (absolutely black color) in comparison with all other treatments. Increased duration of temperature exposure slightly effected the color difference.

Odor forming compounds were identified by comparing the test mass spectra with the reference spectra of the NIST (National Institute of Standards and Technology)

Table 1. Analysis of the color change in beef samples roasted at various temperatures and time periods

Color characteristic	Control	Roasting duration, min											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<i>Temperature 120 °C</i>													
Hexadecimal color value	ac4f47	e0b7a4	ccaa96	b48f74	af8e73	805c42	755738	8d704f	876b4c	917042	8b6e41	8a6436	916c3f
Color sample													
Value in Red Green Blue system	172, 79, 71	224, 183, 164	204, 170, 150	180, 143, 116	175, 142, 115	128, 92, 66	117, 87, 55	141, 112, 79	135, 107, 75	145, 112, 66	139, 110, 65	138, 100, 54	145, 108, 63
Color difference ( $\Delta E$ )	0	28.13	30.15	21.59	31.17	8.18	29.18	12.50	28.73	25.43	24.60	24.19	15.46
<i>Temperature 150 °C</i>													
Hexadecimal color value	ac4f47	a88168	825f46	805e43	6d5034	765739	806742	846138	805931	8b6941	8c673a	875d33	583018 ??
Color sample													
Value in Red Green Blue system	172, 79, 71	168, 129, 102	130, 95, 71	128, 94, 67	109, 80, 51	118, 87, 57	128, 103, 66	132, 97, 56	128, 89, 49	139, 105, 65	140, 103, 57	135, 93, 51	88, 48, 24
Color difference ( $\Delta E$ )	0	20.69	14.21	21.06	11.93	28.38	26.84	10.27	21.80	15.83	26.51	22.39	23.13
<i>Temperature 180 °C</i>													
Hexadecimal color value	ac4f47	593e31	614534	815b36	8a623a	815732	85512b	7a4727	7a4626	724124	7d4a2a	693b21	6d3e23
Color sample													
Value in Red Green Blue system	172, 79, 71	89, 62, 49	97, 69, 52	129, 91, 54	138, 98, 58	129, 87, 51	133, 81, 43	122, 71, 39	122, 70, 38	114, 65, 36	125, 74, 42	105, 59, 33	109, 62, 35
Color difference ( $\Delta E$ )	0	18.74	3.95	10.04	9.99	22.80	11.11	11.48	18.84	20.00	8.28	18.60	4.10
<i>Temperature 210 °C</i>													
Hexadecimal color value	ac4f47	54392a	573f30	4e2c1b	4a2e21	47271d	42261c	422920	3f2821	33241f	31221d	36221a	33201b
Color sample													
Value in Red Green Blue system	172, 79, 71	84, 57, 42	87, 63, 48	78, 44, 27	74, 46, 33	71, 39, 29	66, 38, 28	66, 41, 32	63, 40, 33	51, 36, 31	49, 34, 29	54, 34, 26	51, 32, 27
Color difference ( $\Delta E$ )	0	12.60	17.93	24.45	24.67	22.02	21.45	21.27	26.56	25.26	28.14	25.27	30.59



database [16]. The compounds were identified on the basis of high similarity of the mass spectra and taking into account the retention time order of the compounds in accordance with the Kovats index. The total content of components and component groups was calculated by summing the peak areas of individual components. The relative content of individual components and their groups was calculated relative to the total content of components and expressed as a percentage of the sum of all peak areas, with the exception of background and unidentified peaks.

In the research, more than 150 volatile substances were detected, of which 115 were identified and which significantly contribute to minced meat odor during heat treatment. These are mainly carbonyl compounds and alcohols, esters, and some other compounds. The following substances were detected: 11 esters, 14 heterocyclic compounds, 3 unsaturated hydrocarbons, 5 terpenes, 9 alcohols, 4 acids, 19 aldehydes including 9 unsaturated aldehydes, and 4 azo compounds.

During heat treatment at a temperature of 120 °C for 60–90 minutes and at a temperature of 150 °C for 30–60 minutes, propen-2-amine-1 was detected in significant concentrations. During heat treatment at 120 °C, hexanal and methoxyphenyl oxime were detected, which were not detected under the other temperature conditions of minced meat processing.

2-ethyl-6-methyl pyrazine and 1-methyl pyrrolidinone-2 were detected after prolonged medium-temperature processing of minced meat.

3-ethyl-2,5-dimethyl pyrazine was detected during short-term and long-term medium-temperature processing of minced meat, whereas 2-pentyl pyridine was detected in significant amounts in samples subjected to high-temperature processing at 180–210 °C.

The analysis revealed the following groups of substances:

- aldehydes: hexanal, heptanal, octanal, nonanal, decanal, decadienal-2,4, benzaldehyde, benzacetaldehyde;
- ketones: butanone-2, heptanone-2, octandion-4,5, octanone-2, nonanon-2, decanon-2, 2,3-hexanedione;
- alcohols: butanol-1, furfuryl alcohol, heptanol-1, propen-2-ol-3, octene-1-ol-3, hexene-1-ol-3, 2-ethylhexanol-1, octanol-1, 2-methyl-propanol-2;
- terpenes: limonene;

- azo- and sulfur-containing compounds: 1,1-dimethylethyl-diazene, propen-2-amine-1,1,3, 2-ethylpyrrole, 2,4,4-trimethyl-2-pentanamine, 2-ethylpyridine, 2,5-dimethylpyrimidine, tetrazol-5-amine, 2-ethyl-6-methyl-pyrazine, 1-methyl-pyrrolidon-2, 3-ethyl-2,5-dimethyl-pyrazine, 2-hexyl-thiophene;
- furans: 2-furanmethanol, 2-pentyl-furan.

### Conclusions

In the studies of the effect of heat treatment on odor forming components and color characteristics in animal products (beef), more than 120 volatile substances were detected: carbonyl compounds and lower fatty acids, alcohols, esters, and some sulfur-containing compounds. After short-term and low-temperature treatment, 2-methyl-butene and ethyl hexanoate were found in large quantities. In samples subjected to prolonged roasting at low temperatures, as well as in samples subjected to processing at a higher temperature but for less time period, 3,5-dimethyl-4-octanone was detected. Carvone was found in samples subjected to long-term and low-temperature treatment or shorter but higher temperature treatment. Many samples contained a significant amount of furfural, benzaldehyde and phenylethyl alcohol, which is in good agreement with the data reported in the literature.

Analysis of changes in color characteristics showed that a significant darkening of the samples was observed with increasing temperature. At a temperature of 120 °C, there is still a slight color change even after 2 hours of exposure, but as the temperature rises up to 180 to 210 °C, the samples darken in the first 10 minutes and subsequently their color changes slightly.

Color evaluation using computer technology as an artificial vision showed that the maximum heating temperature of 210 °C had the most significant effect on color change. After heating for more than 30 minutes, carbonization of the samples occurred. At this temperature, the values in Red Green Blue system were as low as possible, tending to zero (absolutely black color) in comparison with all other treatments.

The results obtained indicate that controlling the temperature and duration of the heat treatment helps to obtain the finished product of desired color, which is important for creating products with given sensory characteristics.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Дамодаран, Ш., Паркин, К.Л. Феннема, О.Р. (2017). Химия пищевых продуктов. СПб, Профессия. — 1040 с. ISBN: 978-5-904757-24-3
2. Ioannou, I., Ghoul, M. (2013). Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *European Scientific Journal*, 9, 310–341.
3. Moreira, A.S.P., Nunes, F.M., Domingues, M.R., Coimbra, M.A. (2012). Coffee melanoidins: Structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food and Function*, 3(9), 903–915.
4. Andrewes, P. (2012). Changes in Maillard reaction products in ghee during storage. *Food Chemistry*, 135(3), 921–928.
5. Brudzynski, K. (2012). Honey Melanoidins: Emerging Novel Understanding on the Mechanism of Antioxidant and Antibacterial Action of Honey (Book Chapter). Honey: Current Research and Clinical Applications. Nova Science Publishers, Inc. — 2012. — 222 p.
6. Amarowicz, R. (2009). Antioxidant activity of Maillard reaction products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109–111.
7. Jouquand, C., Niquet-Léridon, C., Jacolot, P., Petit, N., Marier, D., Gadonna-Widehem, P. (2018). Effects of Maillard Reaction Products on Sensory and Nutritional Qualities of the Traditional French Baguette. *Journal of Food Science*, 83(10), 2424–2431.
8. Holman, B.W.B., Mao, Y., Coombs, C.E.O., van de Ven, R.J., Hopkins, D.L. (2016). Relationship between colorimetric (instrumental) evaluation and consumer-defined beef colour acceptability. *Meat Science*, 121, 104–106.
9. Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Braghieri, A. (2013). Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*, 93(1), 111–118.
10. CIE. Improvement to industrial colour-difference evaluation. Vienna: CIE Publication № 142–2001, Central Bureau of the CIE. — 2001. — 6 p.
11. Mokrzycki, W.S., Tatol, M. (2011). Color difference  $\Delta E$  — A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383–411.
12. Sharma, G., Wu, W., Dalal, E.N. (2005). The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations. *Color research and application*, 30(1), P. 21–30.
13. CIE2000 Calculator [Электронный ресурс: <http://colormine.org/delta-e-calculator/Cie2000>. — Дата обращения 24.01.2018]
14. Беляева, М.А. (2004). Математические описания денатурации миозина, актина, тропомиозина, миоглобина мяса в процессе тепловой обработки. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5–6. 63–65.
15. Chansataporn, W., Prathumars, P., Nopharatana, M., Siriwattayanotin, S., Tangduangdee, C. (2018). Kinetics of Maillard reaction in a chicken meat model system using a multiresponses modeling approach. *International Journal of Chemical Kinetics-Accepted manuscript*.
16. The NIST 14 Mass Spectral Library (NIST11/2014/EPA/NIH). Software/Data Version (NIST14); NIST Standard Reference Database, Number 69, June 2014. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899 [Электронный ресурс: <http://webbook.nist.gov>. Дата обращения 17.01.2018]

## REFERENCES

1. Dadomaran, Sh., Parkin, K.L. Fennema, O.R. (2017). Food Chemistry. St. Petersburg: Professiya. — 1040 p. ISBN: 978-5-904757-24-3 (In Russian)
2. Ioannou, I., Ghoul, M. (2013). Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *European Scientific Journal*, 9, 310–341.
3. Moreira, A.S.P., Nunes, F.M., Domingues, M.R., Coimbra, M.A. (2012). Coffee melanoidins: Structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food and Function*, 3(9), 903–915.
4. Andrewes, P. (2012). Changes in Maillard reaction products in ghee during storage. *Food Chemistry*, 135(3), 921–928.
5. Brudzynski, K. (2012). Honey Melanoidins: Emerging Novel Understanding on the Mechanism of Antioxidant and Antibacterial Action of Honey (Book Chapter). Honey: Current Research and Clinical Applications. Nova Science Publishers, Inc. — 2012. — 222 p.
6. Amarowicz, R. (2009). Antioxidant activity of Maillard reaction products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109–111.
7. Jouquand, C., Niquet-Léridon, C., Jacolot, P., Petit, N., Marier, D., Gadonna-Widehem, P. (2018). Effects of Maillard Reaction Products on Sensory and Nutritional Qualities of the Traditional French Baguette. *Journal of Food Science*, 83(10), 2424–2431.
8. Holman, B.W.B., Mao, Y., Coombs, C.E.O., van de Ven, R.J., Hopkins, D.L. (2016). Relationship between colorimetric (instrumental) evaluation and consumer-defined beef colour acceptability. *Meat Science*, 121, 104–106.
9. Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Braghieri, A. (2013). Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science*, 93(1), 111–118.
10. CIE. Improvement to industrial colour-difference evaluation. Vienna: CIE Publication № 142–2001, Central Bureau of the CIE. — 2001. — 6 p.
11. Mokrzycki, W.S., Tatol, M. (2011). Color difference  $\Delta E$  — A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383–411.
12. Sharma, G., Wu, W., Dalal, E.N. (2005). The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations. *Color research and application*, 30(1), P. 21–30.
13. CIE2000 Calculator [Electronic resource: <http://colormine.org/delta-e-calculator/Cie2000>. Access date 24.01.2018]
14. Belyaeva, M.A. (2004). Mathematical formulation for the denaturation of myosin, actin, tropomyosin, and myoglobin in meat during heat treatment. *Academic bulletin. Food Technology*, 5–6, 63–65. (In Russian)
15. Chansataporn, W., Prathumars, P., Nopharatana, M., Siriwattayanotin, S., Tangduangdee, C. (2018). Kinetics of Maillard reaction in a chicken meat model system using a multiresponses modeling approach. *International Journal of Chemical Kinetics-Accepted manuscript*.
16. The NIST 14 Mass Spectral Library (NIST11/2014/EPA/NIH). Software/Data Version (NIST14); NIST Standard Reference Database, Number 69, June 2014. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899 [Electronic resource: <http://webbook.nist.gov>. Access date 17.01.2018]

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

## Принадлежность к организации

**Ловкис Зенон Валентинович** — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, генеральный директор, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию

220037, Беларусь, Минск, ул. Козлова, 29

Тел.: +375-17-294-09-96

E-mail: info@belproduct.com

**Почицкая Ирина Михайловна** — кандидат сельскохозяйственных наук, начальник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию

220037, Беларусь, Минск, ул. Козлова, 29

Тел.: +375-17-294-36-04

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

\*автор для переписки

**Комарова Наталья Викторовна** — кандидат технических наук, заведующий лабораторией физико-химических исследований, Республиканский контрольно-испытательный комплекс по качеству и безопасности продуктов питания, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию

220037, Беларусь, Минск, ул. Козлова, 29

Тел.: +375-17-294-12-65

E-mail: aleko-2006@tut.by

## Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 02.10.2018

## AUTHOR INFORMATION

## Affiliation

**Zenon V. Lovkis** — doctor of technical sciences, professor, corresponding member to the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus, General director, The Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus

220037, Belarus, Minsk, Kozlova str., 29

Tel: +375-17-294-09-96

E-mail: info@belproduct.com

**Irina M. Pochitskaya** — candidate of agricultural sciences, head of Republican control and testing complex on quality and food safety, The Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus

220037, Belarus, Minsk, Kozlova str., 29

Tel.: +375-17-294-36-04

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

\*corresponding author

**Natallia V. Komarova** — candidate of technical sciences, head of the laboratory of physical and chemical research the Republican control and testing complex on quality and food safety, The Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus

220037, Belarus, Minsk, Kozlova str., 29

Tel.: +375-17-294-12-65

E-mail: aleko-2006@tut.by

## Contribution

Authors equally contributed to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Received 02.10.2018