

**Влияние этанола и электронно-лучевой обработки
на активную кислотность мышечной ткани свинины**

Орехова С.М., sveta.orehova2012@yandex.ru., Нечипоренко А.П.,
Санкт-Петербургский Государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий,
Нечипоренко У.Ю.,
Независимая лаборатория ООО «Инвитро СПб»
Васильева И.В.,
ООО «Инженерно-Технологический Центр «Радиант»
С.А. Мякин,

Санкт-Петербургский Государственный технологический институт

Методами рН-метрии и микроскопии исследовалось влияние обработки этанолом поверхности цельнокускового образца мышечной ткани свинины на радиолит полученных из него образцов измельченной мышечной ткани и мышечного волокна. Обработка этанолом позволила дифференцировать по временной шкале проявление автолитических и микробных процессов при хранении герметизированных образцов в пострadiaционный период при +4°С. Отмечен суммарный стабилизирующий эффект этанола и электронно-лучевого воздействия при варьируемой поглощенной дозе 12,5 - 50,0 кГр на активную кислотность образцов мышечной ткани с сохранением их рН на уровне нормы в течение 3 – 4 недель в зависимости от поглощенной дозы. Отмечено, что условия предварительной обработки этанолом конкретизируют преимущественную направленность процессов радиолита и последующего автолиза. При этом в зависимости от поглощенной дозы электронно-лучевого излучения в образцах мышечной ткани генерируются селективные питательные среды. Качественный состав формирующейся питательной среды влияет не только на количество микроорганизмов, но и на их морфологию.

Ключевые слова: электронно-лучевая радиация, мышечная ткань, радиолит.

**Influence of ethanol and electron-beam radiation on the acidity
of pork muscle tissue**

Svetlana Orehova, Ulyana Nechiporenko, Inna Vasileva, Alla Nechiporenko,
Sergey Myakin, sveta.orehova2012@yandex.ru
Saint-Petersburg state university of refrigeration and food
engineering

We study the influence of ethanol pretreatment of the surface of pork full-piece muscle tissue and gotten from it forcemeat samples and muscle fiber samples by pH-metry and microscopy methods. Ethanol pretreatment permitted to differentiate on the time scale manifestation of autolysis and microbial processes during storage of the samples in post-radiation period at +4 °C.

We marked summarized stabilizing effect of ethanol and electron-beam radiation at varied dose 12.5 – 50.0 kGy on the acidity muscle tissue samples with their pH preservation at the normal level during 3 – 4 weeks. It is shown that conditions of ethanol pretreatment concretize preferential directivity of radiolysis and following autolysis. At that versus of electron-beam radiation absorbed dose in muscle tissue samples generates selective culture mediums. Quality composition of forming culture medium predetermines quantity, composition and morphology of microorganisms.

Keywords: electron-beam irradiation, muscle tissue, the radiolysis

Введение

Радиационное консервирование, в котором применяются ионизирующие излучения, по мнению большинства ученых мира, является наиболее современной и высокоэкономичной технологией производства безопасной пищи, в том числе мяса и мясопродуктов, позволяющей осуществлять их хранение без применения замораживания [1 - 6]. В настоящее время для радиационной обработки пищевых продуктов применяются как гамма- и рентгеновское излучения, так и электронные пучки, генерируемые ускорителями [2, 7]. На современном этапе развития радиационных технологий энергия ускоренных электронов используется для обработки пищевых продуктов значительно шире, чем энергия источников гамма- и рентгеновского излучений. Это обусловлено большей радиационной безопасностью и большей мощностью электронных ускорителей.

Ионизирующие излучения, обладающие антибактериальным действием, при определенной дозировке обеспечивают полную стерилизацию за очень короткое время (десятки секунд). Однако длительному хранению облученного мяса при низких положительных температурах препятствует деятельность протеаз. Дозы радиации, достаточные для достижения практической стерильности, далеко не полностью инактивируют протеолитические ферменты мяса [2, 4]. Использование различного рода ингибиторов протеаз не смогло найти широкого практического применения для сдерживания автолитических процессов. Таким образом, практическое решение вопроса о стерилизации мясного сырья связано с необходимостью инактивации мышечных

катепсинов. Исследования в этой области еще не дали окончательных результатов.

Целью данной работы явилось исследование влияния предварительной обработки поверхности цельнокускового образца мышечной ткани свинины этанолом на радиолит образцов, подвергнутых электронно-лучевой обработке после ее измельчения. Стерилизация 96% этанолом применялась для выявления возможности разделения во времени начала микробных процессов и процессов автолиза мышечной ткани. Исследование проводилось методами рН-метрии и микроскопии. Данные методы являются одними из основных методов ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясепродуктов, так как являются важными показателями качества мяса с позиций технологий его переработки и хранения.

Экспериментальная часть

В данной работе исследовались и подвергались облучению измельченная мышечная ткань ($pH = 5,82$) и мышечное волокно ($pH = 6,28$) свинины. После предварительной обработки поверхности цельнокускового образца мышечной ткани в течение 2 – 10 мин этанолом разной концентрации - 20, 40, 75, 96%, образцы измельчали на мясорубке с диаметром отверстий на диске 2,5 мм. Параллельно исследовали серию интактных образцов, полученных из мышечной ткани, не подвергавшейся обработке этанолом.

После измельчения образцы упаковывались в полиэтиленовые пакеты, герметизировались и подвергались облучению. В пострadiационный период образцы хранились при $+4 \pm 2$ °С. Мышечное волокно получали экстракцией водорастворимых компонентов саркоплазмы бидистиллятом в течение 12 часов из реструктурированной мышечной ткани, предварительно стерилизованной в течение 2 минут 96 % этанолом.

Облучение образцов проводили на среднеэнергетическом ускорителе электронов РТЭ-1В. Поглощенная доза в сериях составляла: 12,5; 25,0; 37,5 и 50,0 кГр.

pH водных суспензий образцов в период хранения измеряли на рН-метре «Эксперт» со стеклянным электродом ЭСЛ-43-07; навеска образца составляла 0,3 г, объем жидкой фазы – 20 мл. Кривые изменения pH образцов в пострadiационный период строили в координатах $pH = f(\tau)$, где τ – время в сутках.

Контроль за развитием нативной микрофлоры (количество единиц в одном поле зрения – ед/п.зр.) осуществлялся микроскопированием

окрашенных по Граму [8] отпечатков, взятых с поверхности образцов, на микроскопе марки «Zeiss Axiostar plus» с увеличением «x1000».

Обсуждение результатов

На рис. 1 и 2 приведены кривые изменения активной кислотности образцов реструктурированной мышечной ткани свинины, подвергнутых облучению и хранившихся в течение 17 суток при $(+4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Образцы серии 1 получены измельчением интактной мышечной ткани. Серия 2 представлена образцами, приготовленными из мышечной ткани, подвергнутой предварительной стерилизации 96 % этанолом в течение 2 минут.

Рис. 1 иллюстрирует кривые изменения pH водной суспензии от времени хранения образцов серии 1. Мы видим, что обработка интактного образца ионизирующим излучением, независимо от поглощенной дозы, приводит к стабилизации интервала изменения pH водных суспензий образцов. В то время как кривая контрольного образца (кривая 5), уже через 5 суток резко снижается.

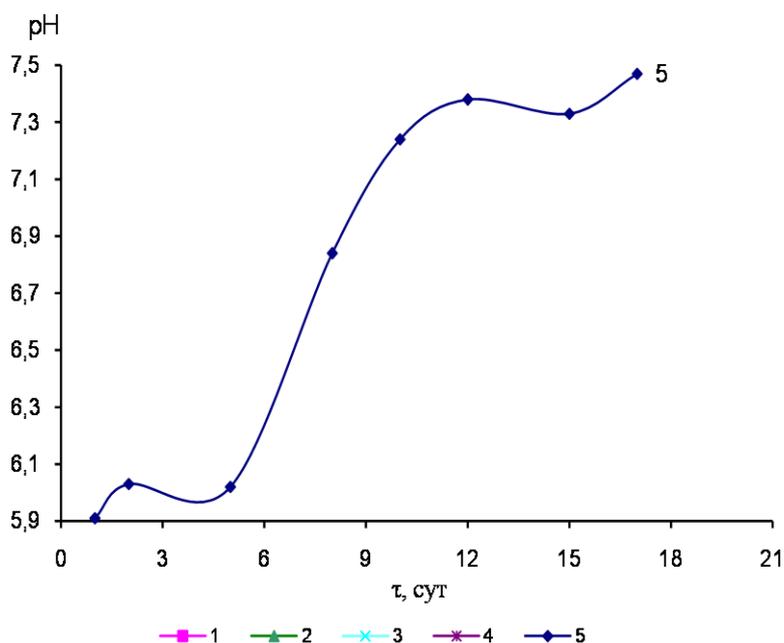


Рис. 1. Изменение активной кислотности образцов интактной мышечной ткани в зависимости от поглощенной дозы при хранении в пострадиационный период:

1 – 12,5; 2 – 25,0; 3 – 37,5; 4 – 50,0 кГр; 5 – контроль.

Выявлена периодичность функции $pH = f(\tau)$ для облученных образцов (1–4). Периодичность в последовательном чередовании протекающих процессов указывает на их селективность и зависимость от кислотности образца в диапазоне $pH = 6,15 - 6,35$. Однако синхронность в формировании трех максимумов pH_{\max} (5, 10 и 15 сут) наблюдается только на кривых, полученных для образцов 1 и 4, с колебаниями pH в интервале 6,1 – 6,5. Это свидетельствует об одинаковых механизмах протекания пострадиационных процессов в образцах, поглотивших при облучении дозы в 12,5 и 50,0 кГр.

Другой механизм протекания пострадиационных процессов у образца 2. На кривой $pH = f(\tau)$ этого образца наблюдается широкая полоса (8 – 17 сут). Интервал изменения pH в ее пределах составляет 6,0 – 6,6. Это говорит о большей разнообразности процессов в образцах, поглотивших 25,0 кГр, алгебраический суммарный эффект которых проявляется в повышении pH . Однако при дозе в 37,5 кГр данная уширенная полоса дифференцируется с образованием двух максимумов (10 и 15 сут), что сопровождается снижением pH системы. Поглощение дозы в 50,0 кГр приводит снова к появлению трех максимумов на кривой 4. Линейная зависимость pH_{\max} в экстремумах от времени их появления на данной кривой говорит об увеличении концентрации веществ, снижающих pH системы. Мы полагаем, что с дозы в 50,0 кГр начинается разрушение мышечного волокна. Очевидно, доза 37,5 кГр является промежуточной между разрушением компонентов саркоплазмы (25,0 кГр) и началом разрушения мышечного волокна. Следует отметить, что полученные данные хорошо согласуются с результатами исследования образцов методом ЭСДО [9].

Предлагаемую интерпретацию данных, приведенных на рис. 1, подтвердили результаты микроскопических исследований отпечатков, взятых с поверхности образцов через 1 – 2 сут. Качественный и количественный состав микроорганизмов в процессе хранения образцов также изменяется и не только периодически, но и синхронно с изменением pH водной суспензии образцов. Положительным экстремумам на кривых $pH = f(\tau)$ отвечает максимальное содержание грамположительных кокков и палочек. В местах отрицательных экстремумов микрофлора отсутствует совсем или не превышает 2 – 5 ед/п.зр. Наиболее обсемененным микрофлорой (100-400 ед/п.зр.) и в течение более длительного времени отличался образец, поглотивший дозу 25,0 кГр. Синхронизм в изменении pH водных суспензий образцов 1 и 4 в полной мере проявляется в периодическом характере изменения количественного и качественного состава их микрофлоры. Грамотрицательные палочки в составе микрофлоры наблюдались только у образца 2, которые появились на 10-е сут (40 ед/п.зр.).

На 15 сут их количество достигло (600 ед./п.зр.), а к 17-ым суткам снова снизилось до 17 ед./п.зр. Отмечено, что контрольный образец (кривая 5) через 5 суток стал интенсивно зарастать кокками, грамположительными и грамотрицательными палочками, бластоспорами. Микроскопический контроль образца исходной мышечной ткани показал наличие на его поверхности грамположительных кокков и палочек от 2 до 5 ед./п.з.

Кривые 1 – 4, приведенные на рис. 2, показывают изменение активной кислотности в процессе хранения параллельной серии 2 образцов мышечной ткани, подвергнутой до измельчения и облучения кратковременной обработке 96% этанолом. В динамике изменения активной кислотности образцов данной серии от поглощенной дозы ионизирующего излучения отмечен совершенно иной характер.

Выявлено отсутствие синхронности в появлении первых максимумов на полученных кривых в рассматриваемый промежуток времени. Кроме того, для всех образцов, независимо от поглощенной дозы, наблюдается стабилизирующее влияние этанола в первые 8 суток, которое в дальнейшем усиливается с увеличением поглощенной дозы. Стабилизация рН по кривым $pH = f(\tau)$ указывает на преобладание в исследуемой системе свободных радикалов, не вносящих вклад в изменение рН водной суспензии.

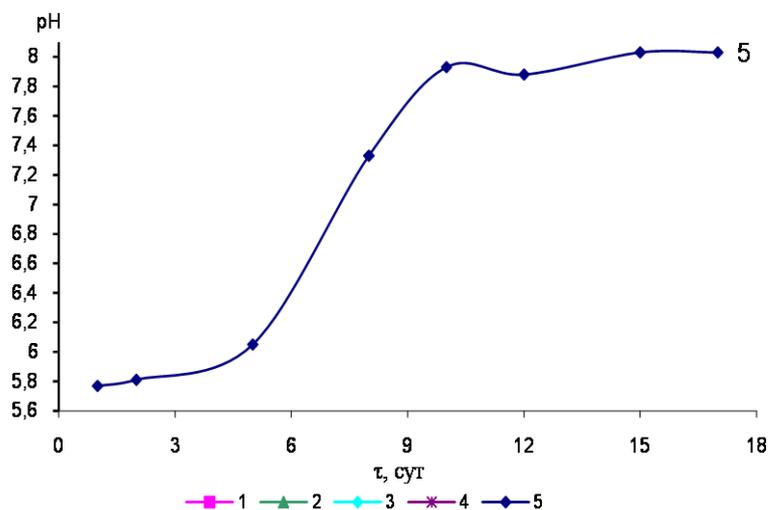


Рис. 2. Изменение активной кислотности образцов мышечной ткани, стерилизованной 96%этанолом, в зависимости от поглощенной дозы

при хранении в пострадиационный период:

1 – 12,5; 2 – 25,0; 3 – 37,5; 4 – 50,0 кГр; 5 – контроль.

Только для образцов 1 и 2 данной серии первый максимум на кривых $pH = f(\tau)$ формируется на 10 день, но для образца 2 по шкале pH он расположен ниже. По характеру зависимость $pH = f(\tau)$ для образца 1 ближе к кривой 5, описывающей изменение pH контрольного образца. Первые максимумы на кривых, полученных для образцов 3 и 4, сдвинуты, соответственно, на 12 и 17 сут. Формирование первых максимумов на кривых $pH = f(\tau)$ свидетельствует о начале периодических изменений в системе образцов, как результат начала направленных автолитических процессов.

Сопоставление кривых 5 для контрольных образцов обеих серий (рис. 1 и 2) указывает на то, что кратковременная обработка этанолом поверхности цельнокускового материала в отсутствие последующего воздействия ионизирующего излучения на полученный из него фарш, приводит к более динамичному снижению его кислотности в пострadiационный период. И, напротив, обработка ионизирующим излучением фарша, полученного из цельнокускового материала, поверхность которого предварительно обрабатывалась этанолом, заметно стабилизирует pH образцов. Причем стабилизирующее влияние этанола возрастает с увеличением поглощенной дозы.

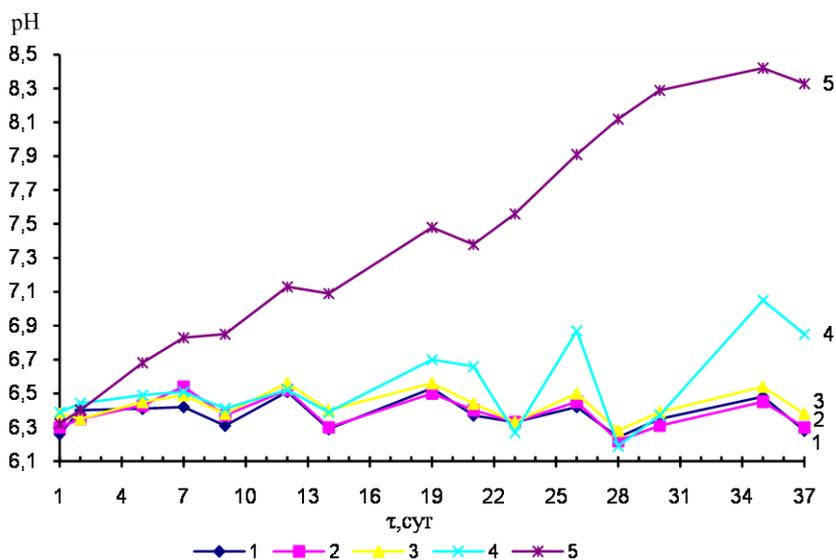


Рис. 3. Изменение активной кислотности образцов мышечного волокна свинины в зависимости от поглощенной дозы при хранении в пострadiационный период:

1 – 12,5; 2 – 25,0; 3 – 37,5; 4 – 50,0 кГр; 5 – контроль.

На рис. 3 приведены кривые (1 – 4) изменения рН водой суспензии образцов мышечного волокна свинины, полученных из образца мышечной ткани стерилизованного в течение 2 минут 96% этанолом и подвергнутого электронно-лучевой обработке. Характер кривых для всех образцов, хранившихся в период с 7 по 33 сут, независимо от поглощенной дозы, также говорит о периодичности изменения их рН в интервале 6,2 – 6,6. Это явление отвечает интенсификации процессов, которые затормаживаются радиолизом в первую неделю после облучения, также как у образцов реструктурированной мышечной ткани серии 2. Синхронность формирования максимумов (pH_{max}) на всех полученных зависимостях $pH = f(\tau)$ и их близость по шкале рН может указывать на однотипность процессов, имеющих место в мышечном волокне в пострadiационный период. Причем кривые $pH = f(\tau)$, полученные для образцов 1 и 2, абсолютно совпадают на протяжении всего срока их хранения. Разница в изменении рН образцов с увеличением поглощенной дозы становится заметной спустя две недели их хранения.

Контроль за состоянием микрофлоры показал, что в отпечатках с поверхности контрольного образца было обнаружено от 2 до 14 ед./п.зр грамположительных кокков и грамположительных палочек в одном поле зрения. Их количество уменьшилось сразу после облучения и в зависимости от дозы составило 1 – 4 единиц микроорганизмов в поле зрения. Через неделю хранения микрофлора в отпечатках с образцов не была обнаружена. Её появление отмечено на 19 сут: грамположительные кокки (1 – 5) и грамположительные палочки (2 – 15) единиц в поле зрения в зависимости от поглощенной дозы. Этот факт согласуется с литературными данными [2, 10] – после воздействия ионизирующих излучений не вся микрофлора погибает сразу. Для разрушения и инактивации микроорганизмов требуется время. Данное обстоятельство дает основание предполагать, что периодичность в изменении рН образцов связана с преимущественным развитием процессов, обусловленных действием собственных тканевых ферментов. А это означает, что в определенных временных интервалах появляется возможность исследования раздельного проявления ферментативных и микробиальных процессов.

Сопоставление (рис. 3) четырех рассмотренных кривых $pH = f(\tau)$ с кривой 5, описывающей изменение активной кислотности в процессе хранения контрольного образца мышечного волокна показывает резкое увеличение его рН, обусловленное жизнедеятельностью развивающейся микрофлоры, среди которой уже на 7 сут появились грамотрицательные палочки. Немонотонность зависимости является следствием параллельного

протекания автолитических и микробиальных процессов. Следует отметить, что перегибы на кривой 5 по временной шкале совпадают с перегибами, характерными для всех зависимостей, полученных для облученных образцов, вплоть до 20-х суток.

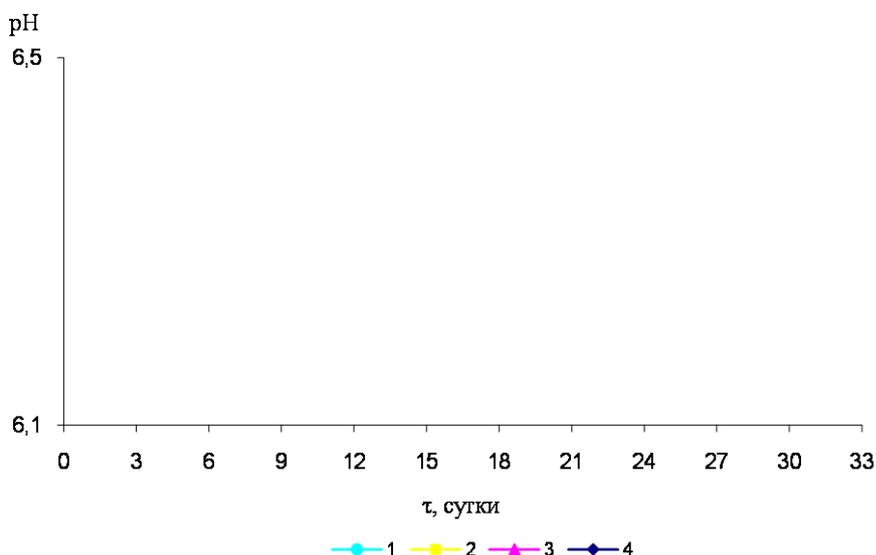


Рис. 4.Изменение активной кислотности необлученных реструктурированных образцов мышечной ткани свинины в зависимости от концентрации этанола в процессе хранения.

1 – 20; 2 – 40; 3 – 75 % этанол; 4 – контроль

Рис. 4 иллюстрирует изменение кислотности образцов необлученной реструктурированной мышечной ткани свинины в процессе хранения в аэробных условиях при +4 °С. Образцы исследуемых фаршей получали измельчением компактных образцов мышечной ткани после предварительной обработки их в течение 10 минут (кривые 1 – 3) этанолом разной концентрации. Характер кривых и их расположение относительно друг друга говорят о неоднозначном влиянии концентрации этанола на динамику изменения рН водных суспензий образцов при хранении.

Обращает на себя внимание увеличение периода стабилизации рН водных суспензий образцов с повышением концентрации этанола в контактных растворах. Особого внимания заслуживает тот факт, что образцы, полученные в результате обработки 40 % этанолом, спустя две недели имели самые низкие показатели кислотности.

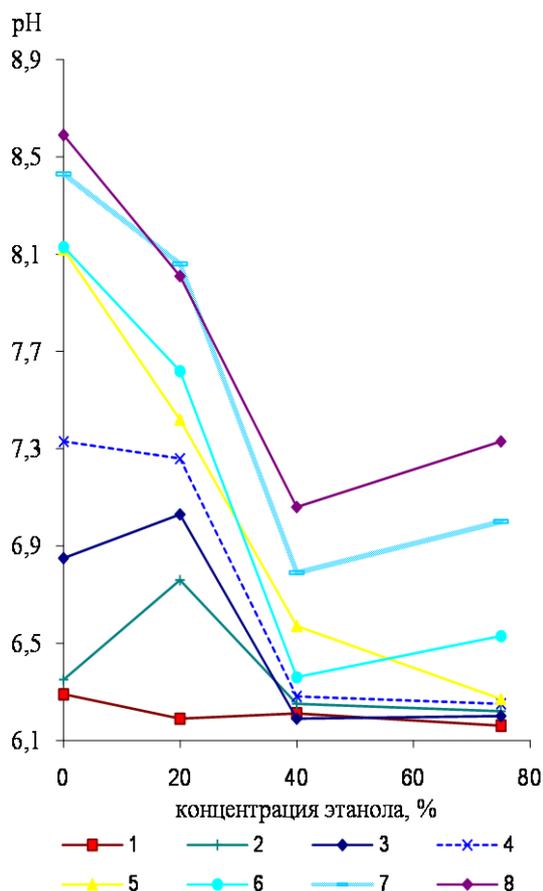


Рис. 5. Изменение активной кислотности необлученных реструктурированных образцов мышечной ткани свинины в зависимости от концентрации этанола на разных этапах их хранения.

1 – 1; 2 – 5; 3 – 7; 4 – 9; 5 – 14; 6 – 16; 7 – 19; 8 – 21 сут

На рис. 5 приведены кривые изменения рН водных суспензий образцов этой же серии в зависимости от концентрации этанола на разных этапах их хранения. Согласно органолептическим показателям, образцы, полученные измельчением компактной мышечной ткани, прошедшей предварительную обработку растворами этанола с концентрацией ниже 40 %, сохраняя розовую окраску, к 7 сут приобретают вязкость, что в дальнейшем сопровождается резким повышением рН и появлением запаха гнилостной

порчи. По данным микроскопических исследований на начальной стадии хранения на поверхности всех образцов присутствовали грамположительные кокки и грамположительные палочки, количество которых увеличивалось с уменьшением концентрации этанола в контактном растворе. С удлинением срока хранения оба вида микроорганизмов полностью вытеснялись грамотрицательными палочками.

С увеличением концентрации этанола в контактном растворе до 75 % скорость изменения рН водных суспензий фаршей заметно снижается, однако, при сохранении консистенции, образцы теряют окраску, а через 7 сут у них появляется дрожжевой запах. При дальнейшем хранении процесс брожения усиливается и отмечается подъем рН. На 21 сут образцы приобретают вязкую консистенцию, но запаха гнилостной порчи нет. В составе микрофлоры данной категории образцов на начальной стадии хранения, наряду с грамположительными кокками и палочками, присутствуют мицелий и бластоспоры. При более длительном хранении бластоспоры полностью вытесняют остальную микрофлору.

Образцы, которым предшествовала обработка 40 % этанолом, помимо самых низких показателей по активной кислотности, до 19 сут (рН = 6,8) сохраняли свое качество по цвету и органолептическим показателям – имели розовый цвет, нормальную консистенцию, отсутствие посторонних запахов. На 27 сут (рН = 8,5) образец становится вязким, появляется специфический посторонний запах, но запаха порчи нет. Микрофлора данных образцов полностью представлена грамположительными кокками и палочками, количество которых растет с увеличением срока хранения. Через 17 сут в снятых отпечатках обнаруживаются грамотрицательные палочки.

Таким образом, в исследованном концентрационном ряду контактных растворов этанола, примененных для обработки цельнокусковых образцов мышечной ткани свинины, концентрация 40 % оказалась наиболее оптимальной по всем органолептическим показателям, кроме того, здесь до трех недель отсутствовали признаки, как гниения, так и брожения. Методами биохимического анализа и ЭСДО [10] нами показано, что это достигается оптимальным соотношением в образцах разрушенных этанолом углеводов и липидов. Избыток углеводов, вызывающих брожение, препятствует восстановлению или образованию связей между аминокислотами и их ассоциации. Достаточное количество липидов это явление нивелирует [4].

Результаты рН-метрического исследования серии облученных образцов фаршей, прошедших предварительную обработку 40 % этанолом, приведены

на рис. 6. Полученные данные показывают, что в этом случае, во-первых, резко сужается интервал колебаний рН ($\Delta\text{pH} \approx 0,2$ ед. рН), водных суспензий образцов фаршей независимо от поглощенной дозы. Во-вторых, существенно увеличивается срок сохранности образцов. Спустя 33 сут все образцы имели удовлетворительные органолептические показатели и не проявляли заметных признаков порчи.

Кривые 6 и 7 иллюстрируют различие в изменении активной кислотности интактных контрольных образцов при хранении их в анаэробных (6) и аэробных (7) условиях. Из сопоставления кривых 5 и 6, описывающих изменение кислотности интактного (6) и обработанного этанолом (5) контролей, хранившихся в анаэробных условиях, заметно стабилизирующее влияние этанола на рН образцов в течение первых 17 сут. Электронно-лучевая обработка позволяет продлить жизнь образцов вдвое (экспозиционные условия эксперимента), сохраняя их рН на уровне близкой к норме. Это следует из сравнения кривой 5 с кривыми 1 – 4.

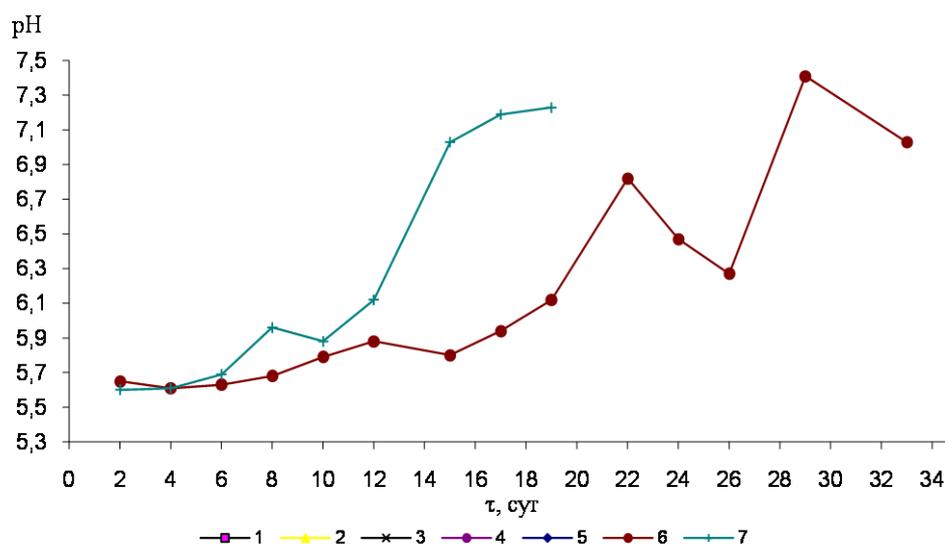


Рис. 6. Влияние облучения на активную кислотность образцов, подвергнутых предварительной обработке 40 % раствором этанола.

Поглощенная доза: 1 – 12,5; 2 – 25,0; 3 – 37,5; 4 – 50,0 кГр.

Контроли: 5 – обработка этанолом, 6 и 7 – интактные;

условия хранения: 5, 6 – анаэробное (герметизированные), 7 – аэробное.

Микроскопирование отпечатков с поверхности облученных образцов (1 – 4) на протяжении всех 33 суток показало отсутствие микрофлоры. Для контролей отмечена аналогичная взаимосвязь между рН водных суспензий образцов и составом микрофлоры. На поверхности контроля (5) на 19 сут зарегистрированы грамположительные: -кокки (150 ед/п.з.р.), -палочки (30 ед/ п.зр.) и грамотрицательные палочки (30 ед/ п.зр.). Затем они исчезли. На 26-27 сут в поле зрения микроскопа уже преобладали грамотрицательные палочки (500 ед/п.зр) и бластоспоры (300 ед/п.зр). Содержание кокков и грамположительных палочек незначительно – 7 – 10 ед/п.зр, соответственно. Контроль (7), хранившийся в аэробных условиях стал зарастать микроорганизмами практически сразу. Микробиальное состояние интактного контроля, хранившегося в анаэробных условиях, адекватно отражает характер зависимости (6).

Выводы

Проведенные исследования показали, что суммарный эффект обработки мышечной ткани этанолом и ионизирующим излучением заключается в стабилизации узкого интервала значений рН. Пределы его ограничивают протекание периодически сменяющих друг друга процессов автолиза углеводно-липидного комплекса и протеолиза в пострadiационный период. Периодичность в развитии микрофлоры, синхронная изменению рН образцов в процессе хранения, указывает на периодичность генерирования в их системе селективных питательных сред, предопределяющих наличие или отсутствие микроорганизмов, их морфологию и количественное соотношение.

Список литературы

1. Костенко Ю.Г., Шурдуба Н.А., Шагова Т.С., Телегина М.Д., Филатов В.И. Применение ионизирующих излучений для улучшения санитарно-микробиологических показателей мяса и мясных продуктов. - М.: Мясомолочная промышленность.– 1992.- 31 с.
2. Васильев И.А., Нечаев А.Ф., Персинен А.Л. Введение в инженерную экологию. Радиационная технология: Потенциал использования пиковолновой энергии для охраны здоровья и защиты окружающей среды. - С.-Пб.: С.-ПбГТИ(ТУ). – 2000. - Вып. 2. - 240 с.
3. Пикаев А.К. Современное состояние радиационной технологии. //Успехи химии. -1995. - Т. 64. - № 6. - С. 609 – 639.

4. Элиас П. С., Кохен А. Дж. Радиационная химия основных компонентов пищевых продуктов. / Пер. с англ. М.: Легкая и пищевая промышленность. – 1983. - 223 с.

5. Zhu M.J., Mendonca A., Ismail H.A., Ahn D.U. Fate of *Listeria monocytogenes* in ready- to-eat turkey breast rolls formulated with antimicrobials following electron-beam irradiation. // *Sci.* – 2009. - 88(1). - P. 205-13.

6. O'Bryan C.F., Crandall P.G., Ricke S.C., Olson D.G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review. // *Crit Rev. Food Sci Nutr.* – 2008. - May 48(5). - P. 442-57.

7. Мякин С.В., Сычев М.М., Васильева И.В., Корсаков В.Г. и др. Электронно-лучевое модифицирование функциональных материалов. С.-Пб.: СПГУПС. – 2006. - 104 с.

8. Сидоренко О.Д., Жукова Е.В., Пастух О.Н. Микробиологический контроль продуктов животноводства. М.: МСХА. – 2002. - 220 с.

9. Orehova S., Nechiporenko U, Vasileva I., Nechiporenko A. «Electronic spectrum of pork and beef muscle tissue surface samples, subjected to electron-irradiation processing» In: Proceedings of 6th Baltic Conference on Food Science and Technology Foodbalt 2011. «Innovation for food science and production», Jelgava, 2011. - P.199-203.

10. Соколов А.А.: 1965. Физико-химические и биохимические основы технологии мясопродуктов. М.: Пищевая промышленность. - 1965. - 490 с.