

УДК 664:579.672

ПОРЧА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ: ВИДЫ, ПРИЧИНЫ И СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

В.Н. Леонтьев, Х.М. Элькаиб, А.Э. Эльхедми

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»,
Минск, Республика Беларусь, e-mail: leontiev@bstu.unibel.by

Введение

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) ежегодно в мире по разным причинам пропадает примерно треть всех произведенных продуктов питания (1,3 млрд. тонн). Этой проблематике был посвящен международный конгресс Save Food, проходивший в рамках международной промышленной ярмарки Interpack в Дюссельдорфе с 12 по 18 мая 2011 г.

Согласно докладу FAO только в странах Европы, в США и Канаде ежегодно выбрасывается от 95 до 115 кг продуктов на душу населения. Причинами подобного расточительства являются слишком большие упаковки, буквальное понимание срока годности продуктов, а также их относительная дешевизна.

В развивающихся странах пропадает до 40% всех продуктов сельского хозяйства. Устаревшее оборудование, недостатки транспортной инфраструктуры, отсутствие охлаждающего оборудования – основные причины потерь [1].

Таким образом, вышеизложенное свидетельствует об актуальности исследований по защите продуктов питания от порчи.

Виды порчи. Различают следующие взаимосвязанные между собой виды порчи продуктов питания: физическая, химическая (или биохимическая) и микробиологическая (рисунок 1).

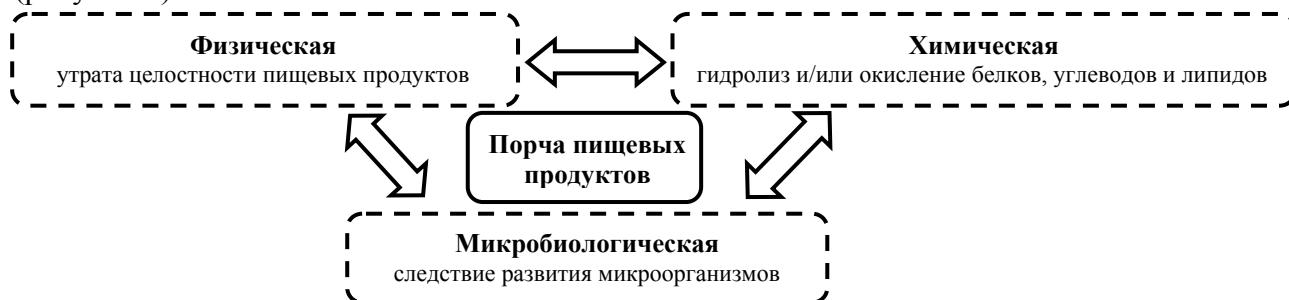


Рисунок 1 – Виды порчи пищевых продуктов [2]

Механическое повреждение некоторых пищевых продуктов приводит к активации гидролитических ферментов, которые катализируют расщепление белков, углеводов и липидов. Утрата целостности пищевых продуктов (в первую очередь, овощей и фруктов) ведет к разрушению клеток, активации гидролитических ферментов, гидролизу биополимеров с последующей микробной контаминацией. В данном случае и химическая, и микробиологическая порча пищевых продуктов сопровождается расщеплением белков, углеводов и липидов гидролитическими ферментами.

Ключевой является микробиологическая порча, поскольку именно она наиболее опасна для человека из-за выделяющихся токсинов и развития болезнетворной микробиоты.

Факторы, влияющие на микробиологическую порчу пищевых продуктов. На микробную контаминацию пищевых продуктов оказывают влияние факторы внешней среды, а также категория и состояние продукта (внутренние факторы) (рисунок 2).

К физическим факторам внешней среды, оказывающим первостепенное влияние на микробиологическую порчу пищевых продуктов, относятся температура и влажность воздуха, электромагнитное излучение и давление. Низкие температуры препятствуют развитию большинства микроорганизмов. Причем чем ниже температура, тем длительнее

срок хранения продукта. Высокая температура также неблагоприятна для микроорганизмов. На губительном воздействии высоких температур основаны многие приемы уничтожения микроорганизмов в пищевых продуктах, такие как кипячение, варка, обжарка, бланширование, в пищевой промышленности – пастеризация и стерилизация.

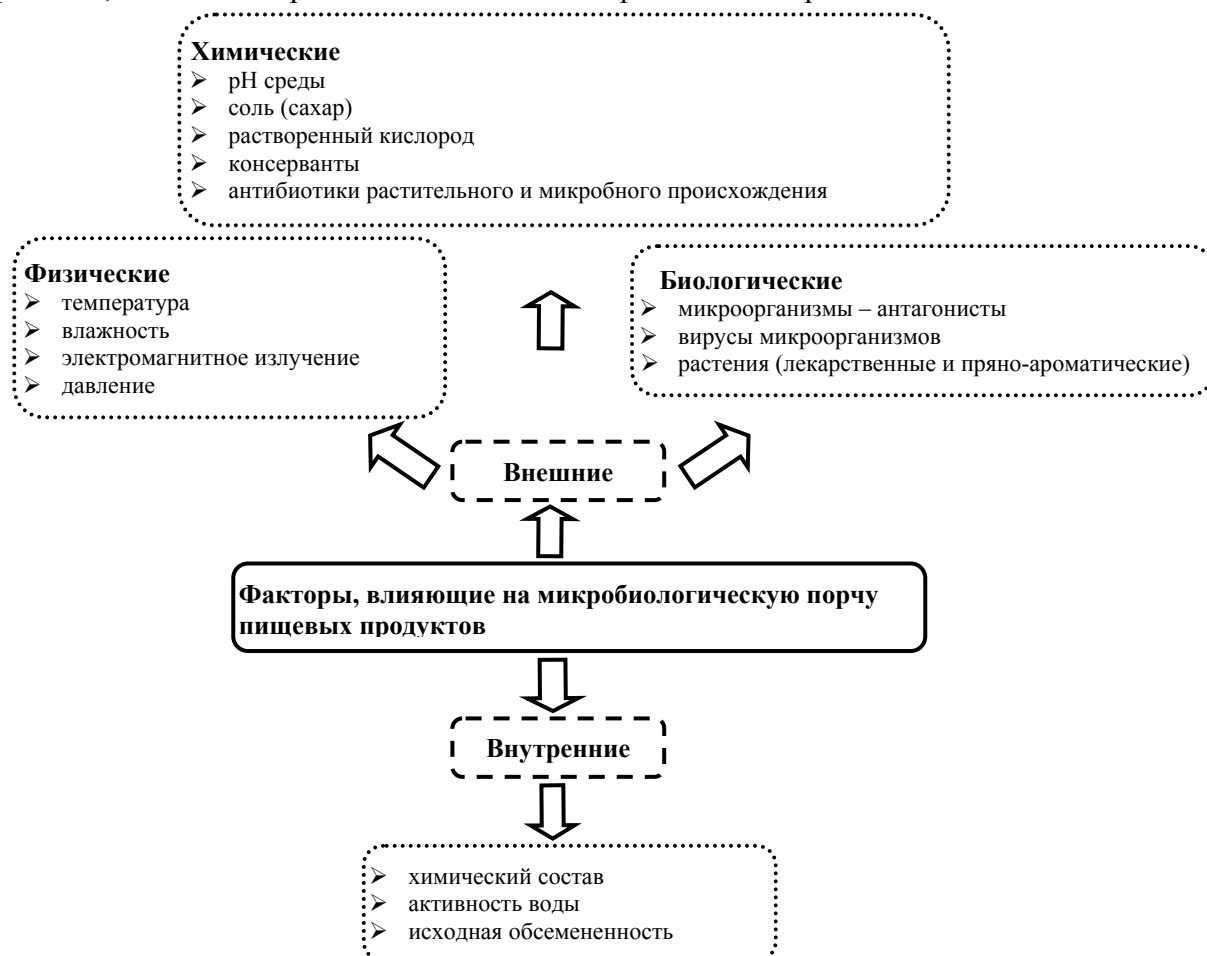


Рисунок 2 – Факторы, влияющие на микробиологическую порчу пищевых продуктов

Для сохранности сухих продуктов большое значение имеет относительная влажность воздуха. Величина относительной влажности воздуха при одном и том же содержании в нем влаги изменяется в зависимости от температуры: с понижением температуры воздуха уменьшается его влагоудерживающая способность. Поэтому при снижении температуры хранения продуктов содержание влаги в воздухе может оказаться выше предела насыщения. Избыточная влага будет конденсироваться на поверхности продукта, что приведет к микробиологической порче.

Электромагнитное излучение разной интенсивности и в различных диапазонах длин волн по-разному влияет на сохранность продукта. Электромагнитное излучение в ультрафиолетовой области спектра ингибирует процесс микробиологической порчи, но приводит к усилению химических деструктивных процессов. Свет видимого диапазона способствует развитию фотосинтезирующих микроорганизмов. Излучение в инфракрасной области спектра приводит к нагреву продукта, что обуславливает гибель многих микроорганизмов. Таким же эффектом обладает и излучение сверхвысокой частоты. Рентгеновское излучение обладает стерилизующим действием.

В качестве отдельного фактора давление нельзя рассматривать с точки зрения сохранности продукта. Однако увеличение давления позволяет повысить температуру, что приводит к стерилизующему действию и широко применяется для консервирования пищевых продуктов.

К химическим факторам внешней среды относятся рН, концентрация соли (сахара), содержание растворенного кислорода, а также консервантов и других веществ.

Значение рН существенным образом влияет на интенсивность роста микроорганизмов и их видовой состав. Неблагоприятное действие кислой среды на микробиоту положено в основу хранения некоторых пищевых продуктов в маринованном и квашеном виде.

Концентрация соли (сахара) влияет на тоничность раствора. Изотонические растворы наиболее благоприятны для развития микробиоты, наименее благоприятными являются гипертонические растворы, что широко используется для консервирования пищевых продуктов.

Концентрация растворенного кислорода определяет степень аэробности или анаэробности, которая может быть количественно охарактеризована величиной окислительно-восстановительного потенциала rH_2 , при которой микроорганизмы могут развиваться. Так, анаэробы могут сохранять жизнеспособность при rH_2 не выше 18–20, а размножаться при крайне низких значениях rH_2 – не выше 3–5. Для аэробов нижним пределом жизнедеятельности является $rH_2=10$, а при $rH_2=30$ и выше условия для развития неблагоприятны. Таким образом, регулируя окислительно-восстановительные условия среды, можно замедлить или активировать рост тех или иных микроорганизмов [3].

Наличие химических ингибиторов роста микроорганизмов (консервантов), таких как бензоат натрия, сорбитол и др., приводит к предотвращению развития микробиоты и защищает продукты от микробиологической порчи.

Большое влияние на сохранность пищевых продуктов оказывают антибиотические вещества лекарственных и пряно-ароматических растений, а также микробиологического происхождения.

Аллицин – фитонцид чеснока *Allium sativum* – подавляет развитие грамположительных и грамотрицательных бактерий, в том числе туберкулезной палочки *Micobacterium tuberculosis*.

Рафинин, содержащийся в семенах редиса *Raphanus sativus*, подавляет развитие грамотрицательных и грамположительных бактерий при относительно высокой концентрации (40–200 мкг/мл). Поэтому его практическое применение ограничено [4].

Терпены – компоненты фитонцидов широкого ряда лекарственных и пряно-ароматических растений – обладают выраженным бактериостатическим эффектом в отношении различных микроорганизмов, в том числе и патогенных.

Грамицидин С – вещество депсипептидной природы – получают из культур аэробной споровой палочки *Bacillus brevis*. Обладает высокой антибиотической активностью в отношении грамположительных и некоторых грамотрицательных бактерий [5].

Низины синтезируются бактериями рода *Streptococcus* и представляют собой смесь нескольких бактериоцинов; являются ингибиторами роста стафилококков, многих стрептококков и анаэробных термостойких споровых бактерий – возбудителей порчи консервированных продуктов. Низин воздействует также на споры бактерий, задерживая их прорастание. Наиболее активно действие этого бактериоцина проявляется в кислых субстратах. В организме человека низин быстро разрушается, не оказывая отрицательного действия. Важная его особенность – способность уменьшать термоустойчивость спор бактерий к нагреванию, что позволяет в консервной промышленности снижать температурный режим стерилизации. Применяется он также при изготовлении сгущенного молока, плавленых сыров [6].

К биологическим факторам внешней среды относятся микроорганизмы – антагонисты и вирусы микроорганизмов, а также лекарственные и пряно-ароматические растения. Антагонистические отношения микроорганизмов, а также фаголизис находят применение на практике при квашении плодов и овощей и при производстве кисломолочной продукции.

Пряно-ароматические растения широко применяются при консервировании, в первую очередь, плодов и овощей не только для улучшения вкусовых свойств конечного продукта, а также с целью его защиты от микробиологической порчи.

Внутренними факторами, влияющими на микробиологическую порчу, являются химический состав пищевого продукта, активность воды и исходная обсемененность.

Химический состав разных пищевых продуктов различен. Удельное содержание белков, углеводов, липидов и всевозможных низкомолекулярных веществ колеблется в широких пределах в разных продуктах, что определяет видовой состав контаминирующих микроорганизмов и обуславливает различные сроки хранения пищевых продуктов.

Для любого продукта важно абсолютное содержание влаги (общее количество воды), которое определяют высушиванием продукта до постоянной массы и выражают в процентах общей массы исследуемого продукта. Знание этого показателя важно для оценки качества продукта. В пищевых продуктах вода может находиться в свободном (активном) и связанном состояниях.

Активная вода – это часть общей воды, которая не связана с биополимерами. Термический анализ показывает, что связанная вода может быть удалена при температуре 120–200°C, поскольку прочно удерживается водородными связями с полярными функциональными группами белков, углеводов и нуклеиновых кислот [7].

Активность воды a_w в продукте представляет собой отношение [8]:

$$a_w = \frac{P}{P_0},$$

где P – давление водяных паров над поверхностью продукта; P_0 – давление водяных паров чистого растворителя (воды).

Значения a_w находятся в диапазоне от 0,00 (абсолютная сухость) до 1,00 (чистая вода). Рост микроорганизмов происходит при значениях a_w в интервале 0,65–1,00. В настоящее время известны многие микроорганизмы – возбудители порчи пищевых продуктов, для каждого из которых определено значение a_w (таблица 1).

Таблица 1 – Оптимальные значения активности воды для роста микроорганизмов [3]

Микроорганизмы	a_w	Микроорганизмы	a_w	Микроорганизмы	a_w
Бактерии		Бактерии		Мицелиальные грибы	
<i>Bacillus cereus</i>	0,95	<i>Salmonella spp.</i>	0,95	<i>Aspergillus niger</i>	0,77
<i>Escherichia coli</i>	0,95	<i>Staphylococcus aureus</i>	0,86	<i>Mucor plumbeus</i>	0,93
<i>Clostridium botulinum type A</i>	0,95	Мицелиальные грибы		<i>Penicillium chrysogenum</i>	0,79
<i>Clostridium botulinum type E</i>	0,97	<i>Alternaria citri</i>	0,84	Дрожжи	
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,97	<i>Aspergillus flavus</i>	0,78	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0,90

Таким образом, снижение активности воды (уменьшение влагосодержания) – достаточно эффективный способ защиты пищевых продуктов от микробиологической порчи.

Исходная обсемененность пищевых продуктов обусловлена как источником их происхождения, так и соблюдением санитарных норм на предприятии. Наиболее высокая исходная обсемененность характерна для субпродуктов, полуфабрикатов мясной и рыбной продукции.

Процессы микробиологической порчи пищевых продуктов и их возбудители.

Основными процессами микробиологической порчи пищевых продуктов являются брожение, плесневение и гниение (рисунок 3).

Брожение – анаэробный ферментативный процесс окисления органических соединений. При хранении пищевых продуктов могут возникать следующие виды брожения: молочнокислое, уксуснокислое, маслянокислое, пропионовокислое, спиртовое и др.

Молочнокислое брожение вызывается факультативными анаэробными гомоферментативными и гетероферментативными бактериями. Оно может являться причиной порчи молока, вызывает прокисание и ослизнение вина и пива.

Уксуснокислое брожение вызывается бактериями родов *Acetobacter* и *Gluconobacter*, которые превращают спирт в уксусную кислоту в присутствии кислорода воздуха.

Уксуснокислое брожение вызывает порчу продуктов, содержащих небольшое количество спирта – столовых вин, пива, кваса. При этом они приобретают запах и привкус уксусной кислоты и ее эфиров, мутнеют и ослизняются.

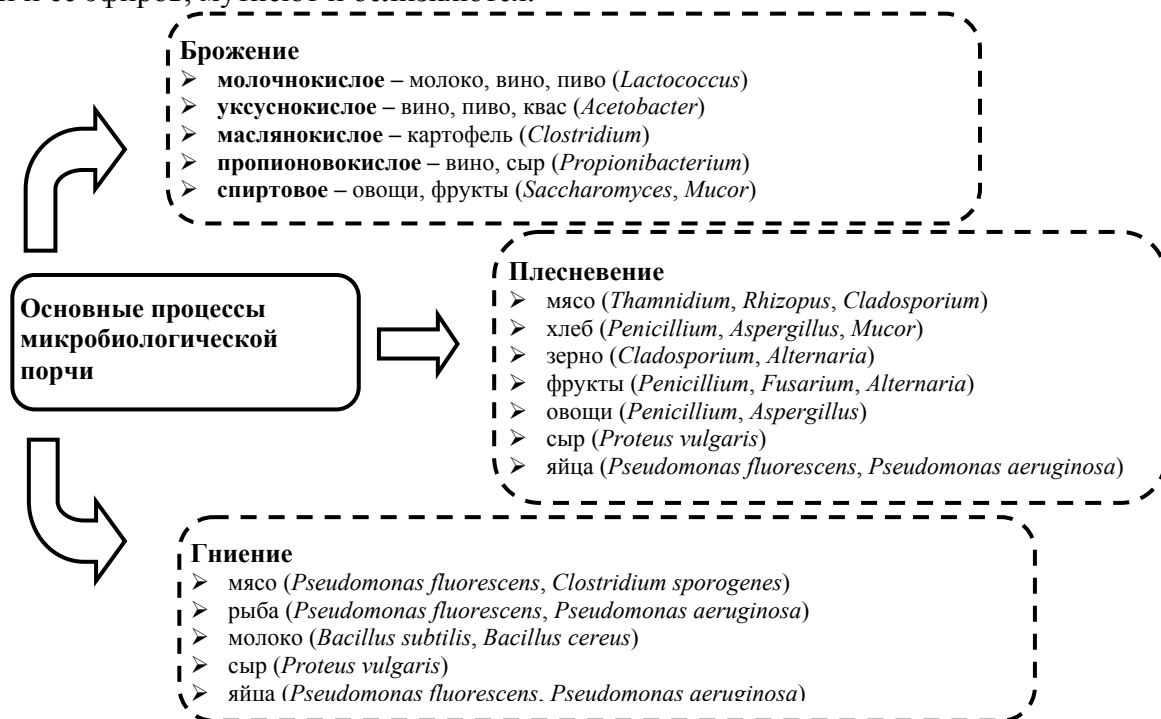


Рисунок 3 – Основные процессы микробиологической порчи и их возбудители [9, 10, 11]

Маслянокислое брожение происходит под действием бактерий рода *Clostridium*, сбраживающих сахара, крахмал, пектиновые вещества с образованием масляной кислоты, углекислого газа и водорода. Эти бактерии вызывают порчу картофеля, квашеной капусты, прогоркание молока, увлажненной муки. В результате выделения газов происходит вспучивание сыров, бомбаж консервов. Масляная кислота придает продуктам горький вкус и неприятный запах.

Пропионовокислое брожение – превращение углеводов, винной или молочной кислот в пропионовую и уксусную кислоты с выделением углекислого газа и воды. Оно может вызвать порчу виноградных вин, в результате чего они теряют приятные вкус и аромат, мутнеют и изменяют цвет.

Углеводсодержащие пищевые продукты, такие как соки, компоты, варенья, джемы и др., при хранении могут подвергаться порче из-за спиртового брожения. Эти продукты приобретают спиртовой привкус, изменяется их консистенция в связи с наличием углекислого газа, а соки и компоты мутнеют. Спиртовое брожение вызывается дрожжами рода *Saccharomyces*, а также некоторыми плесневыми грибами, например, *Mucor*. Под действием этих микроорганизмов происходит расщепление углеводов до этилового спирта и углекислого газа. Понижение температуры даже до 0°C замедляет брожение, но не прекращает его.

Плесневение обусловлено развитием различных видов плесневых грибов, образующих, как правило, на поверхности продуктов пушистые налеты и пленки разного цвета и строения. Развитию плесневых грибов способствует высокая относительная влажность воздуха.

Плесневые грибы расщепляют белки, жиры, углеводы пищевых продуктов. Они придают продуктам специфические вкус и запах. Некоторые виды плесневых грибов в процессе своей жизнедеятельности могут синтезировать такие вторичные метаболиты, как афлатоксины – соединения токсичные для человека.

Гниение – глубокий распад белков и продуктов их гидролиза. Этот процесс возбуждается преимущественно гнилостными бактериями.

Гниение возникает в продуктах, богатых белками – в мясе, рыбе, яйцах, молоке и др. Распад белков начинается с гидролиза и образования полипептидов и аминокислот. В дальнейшем распад этих соединений зависит от вида микроорганизмов, аминокислотного состава и условий, при которых протекает процесс.

Использование факторов внешней среды для хранения пищевых продуктов. Пищевые продукты являются хорошей питательной средой для многих микроорганизмов, которые, развиваясь на них, вызывают порчу. При этом неправильные способы заготовки, перевозки, переработки, хранения и реализации пищевых продуктов также приводят к их порче и большим потерям. Развитие микроорганизмов зависит не только от наличия питательных веществ, но и от условий хранения пищевых продуктов, изменяя которые, можно регулировать рост микроорганизмов и их биохимическую активность.

Все условия хранения пищевых продуктов можно подразделить на четыре группы в зависимости от биологических процессов.

Первая группа – условия хранения, в основу которых положен принцип биоза. На нем основано хранение свежих плодов, овощей и живой рыбы.

Вторая группа – условия хранения, в основу которых положен принцип абиоза. К ним относятся предварительная обработка электромагнитным излучением в различных диапазонах длин волн, а также использование антисептиков и антибиотиков.

Третья группа – условия хранения, в основу которых положен принцип анабиоза. К ним относятся использование низких температур (охлаждение, замораживание), удаление воды (сушка, вяление), повышение осмотического давления (добавление соли, сахара), повышение кислотности (маринование), создание анаэробных условий (вакуумная упаковка, атмосфера инертных газов).

Четвертая группа – условия хранения, в основу которых положен принцип ценоанабиоза (использование антагонистических взаимоотношений микроорганизмов). К ним относятся квашение овощей и плодов, а также молочнокислородное брожение [11].

Представленная классификация охватывает все способы защиты разнообразных пищевых продуктов от порчи. Однако, несмотря на широкий арсенал используемых методов, нам представляется наиболее предпочтительными способы защиты пищевых продуктов с помощью биологически активных веществ растительного и микробного происхождения. Особенно актуальным такой способ защиты может явиться для стран с субтропическим и тропическим климатом.

Список литературы

1. Global food losses and food waste: extent, causes and prevention / J. Gustavsson [et al.]. – Rome : FAO, 2011. – 38 p.
2. J Huis In't Veld, J.H. Microbial and biochemical spoilage of foods: an overview / J.H. J Huis In't Veld // International Journal of Food Microbiology. – 1996. – Vol. 33, № 1. – P. 1–18.
3. Современная пищевая микробиология / Под ред. Дж. М. Джеймс; пер. с англ. Е. Баранова. – М.: Бином, 2012. – 888 с.
4. Vogel, H.C.A. The nature doctor / H.C.A. Vogel. – Edinburgh: Mainstream Publishing, 1996. – 640 p.
5. Гаузе, Г.Ф. Грамицидин С и его применение / Г.Ф. Гаузе. – М.: Медгиз, 1952. – 152 с.
6. Lantibiotic nisin: natural preservative from *Lactococcus lactis* / V. Suganthi [et al.] // International Research Journal of Pharmacy. – 2012. – Vol. 3, № 1. – P. 13–19.
7. Thermogravimetric analysis of the flax bast fibre bundle / V. Titok [et al.] // Journal of Natural Fibers. – 2006. – Vol. 3, № 1. – P. 35–41.
8. Pitt, J.I. The ecology of fungal food spoilage / J.I. Pitt // Fungi and food spoilage / J.I. Pitt. – London; New York: Blackie Academic & Professional, 1997. – Ch. 2. – P. 3–12.
9. Bacterial spoilage of meat and cured meat products / E. Borch [et al.] // International Journal of Food Microbiology. – 1996. – Vol. 33, № 1. – P. 103–120.
10. Sperber, W.H. Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages / W.H. Sperber, M.P. Doyle. – New York: Springer, 2010. – 367 p.
11. Микробиологическая порча пищевых продуктов / Под ред. К. Блэкберн; пер. с англ. В.Д. Широкова. – СПб.: Профессия, 2008. – 784 с.