

Микробиологические аспекты в свеклосахарном производстве^S

Н.Г. ИЛЬЯШЕНКО, канд. техн. наук, доцент

Л.Н. ШАБУРОВА, канд. техн. наук, доцент

М.Б. МОЙСЕЯК, канд. техн. наук, профессор (e-mail: marina-mgupp@mail.ru)

М.В. ДУБОВА, магистр

А.Г. ГРИШИН, ассистент

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств» (МГУПП)

Введение

Прослеживаемость производства продуктов питания, их качество и безопасность правительство России ставит основной задачей современного пищевого производства в условиях политической нестабильности и остро стоящей проблемы импортозамещения [1, 3, 4, 7].

Основным критерием безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов считается отсутствие опасных для здоровья человека, животных и окружающей среды микроорганизмов и ядовитых продуктов их метаболизма. Для оценки качества пищевой продукции введено понятие «микробиологическая стойкость», которое подразумевает потенциальные возможности сохранения продукта без порчи под действием микроорганизмов.

С этой целью в последнее время на предприятиях по переработке сельхозсырья и производству пищевых продуктов активно внедрялась система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point – «Анализ рисков и критические контрольные точки»). Одним из основных её критериев является микробиологическая «стабильность» готового продукта [1, 5, 7], обеспечение которой в нашей стране является весьма проблемным, поскольку продукт доставляется на достаточно большие расстояния. Поэтому производители стараются всеми возможными

способами увеличить срок хранения своей продукции.

НАССР является предупреждающей системой безопасности. Она выступает в качестве гаранта сохранения готового пищевого продукта при его доставке, хранении и реализации, подразумевает выявление опасных факторов и критических контрольных точек по всей технологической цепочке производства любого пищевого продукта начиная от выращивания сырья и заканчивая готовой продукцией в руках потребителя, а также обеспечивает эффективное использование ресурсов и современных инструментов микробиологии для своевременной реакции на возникающие проблемы безопасности готового продукта.

Для эффективности работы системы безопасности на пищевом предприятии необходимо учитывать специфику технологии, особенности оборудования, человеческий фактор, климат и многое другое при выборе методов контроля критических параметров (критических контрольных точек) и корректирующих мероприятий, обеспечивающих минимальный производственный риск.

Белый сахар является важным продуктом, который обеспечивает энергию человека на длительный период и широко используется как незаменимый ингредиент в производстве напитков, кондитерской, хлебопекарной, консервной, молочной и других отраслях

промышленности. В связи с этим к качеству и микробиологической безопасности белого сахара предъявляются повышенные требования и как к сырью в производстве пищевых продуктов, и как к готовому продовольственному товару для потребителя.

В России белый сахар производят из сахарной свёклы, и снижение её микробиологической заражённости начинается с подготовки почвы под посадку и бережного использования при выращивании культуры. Особое внимание уделяется севообороту, микробиологической чистоте посадочного материала и аккуратному внесению удобрений. После сбора урожая применяются различные методы его сохранности, проводится технологический и химический контроль.

Целью настоящей публикации является обзор микробиологических аспектов безопасности свеклосахарного производства России для выявления критических точек, контроль которых позволит исключить возможность выпуска небезопасной продукции.

Основная часть

В технологии выработки сахара использование микроорганизмов не предусмотрено. Однако на различных этапах производства появляются и выживают микроорганизмы-контаминанты, способные не только адаптироваться к жёстким режимам технологии, но и на-

рушить ход технологического процесса, тем самым влияя на выход готового продукта, его качество и безопасность. Причинами контаминации могут служить загрязнённость самой свёклы, качество мойки и дезинфекции оборудования и коммуникаций, нарушения технологического режима, инвентарь, тара, упаковочные материалы, человеческий фактор, а также транспортные средства.

Корнеплоды сахарной свёклы могут подвергаться поражению фитопатогенными микроорганизмами и заболевать в процессе вегетативного роста. На зелёной, надземной части растения и на поверхности корней находятся так называемые эпифитные микроорганизмы, которые при хранении сахарной свёклы частично погибают, однако часть их сохраняет жизнеспособность и может вызывать микробную порчу, снижая сахаристость корнеплода. Фитопатогенные микроорганизмы поражают растение, используя его соки и ткани, вызывают порчу корнеплодов, в результате снижаются урожайность и сахаристость. Характер и глубина биохимических процессов, происходящих при этом, зависят от природной устойчивости растения, условий внешней среды и степени вирулентности паразитирующего микроорганизма.

К болезням, развивающимся в период вегетативного роста сахарной свёклы и переходящим при её хранении в кагатную гниль, относятся фомоз, фузариоз, хвостовая гниль. Эти виды порчи являются наиболее опасными при последующем хранении корнеплодов. Наблюдаются также дуплистость, парша, рак, корнеед. Зелёная часть растений не влияет на хранение корнеплода, но при поражении фитопатогенными микроорганизмами снижает иммунитет и устойчивость к болезням самого корнеплода. Кроме того, на устой-

чивость к микробиологической порче влияют механические повреждения, остатки зелёной массы и обломки корнеплодов.

В период вегетации встречается такое заболевание, как фомоз (чёрная сухая гниль, гниль сердечка), которое провоцируется дейтеромицетовым грибом *Phoma betae* Frank (*Pleospora betae*) (рис. 1). Гриб может поражать разные части растения, проявляясь в виде жёлто-бурых пятен, при этом ткань корнеплода становится чёрной, сухой и твёрдой, что приводит к потерям до 30 % и снижает сахаристость.

Почти 60 видов грибов рода *Fusarium* класса *Deuteromycetes* вызывают фузариоз сахарной свёклы (рис. 2). Гриб — это полупаразит,

он неприхотлив к внешним условиям, развивается в широком диапазоне pH почвы и температуры. Заболевание проявляется в засушливые периоды в поражении сосудисто-волокнистых пучков растения, образовании полостей, наполненных мицелием розового, красного или жёлтого цвета с последующим переходом в бурый или чёрный окрас.

Одной из болезней сахарной свёклы является хвостовая гниль (возбудители — бактерии *Bacillus bussei* Migula, *Bac. betae* Migula и др.) (рис. 3). Начинаясь с хвостика корнеплода, она может поразить его целиком.

В случае дуплистости корнеплода (рис. 4) в места поражений часто попадают различные микроор-



Рис. 1. Фомоз сахарной свёклы: а — внешний вид поражения; б — гриб *Phoma betae* под микроскопом ($\times 1000$)

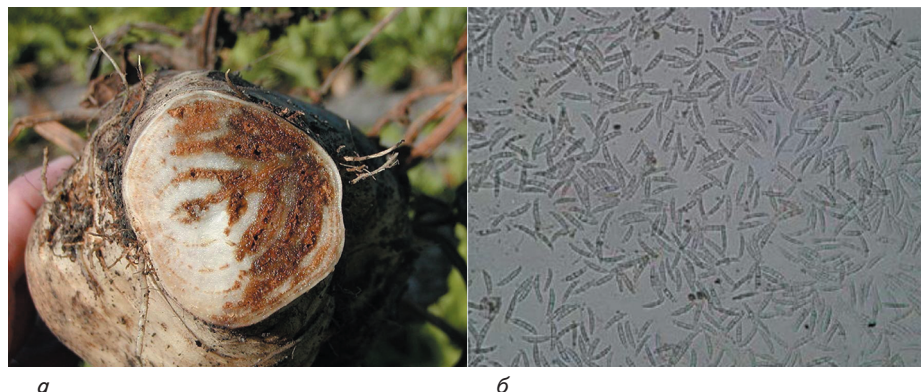


Рис. 2. Фузариоз сахарной свёклы: а — срез поражённого корнеплода; б — споры *Fusarium* под микроскопом ($\times 1000$)



Рис. 3. Хвостовая бактериальная гниль

Рис. 4. Дуплистость корнеплода

ганизмы, которые в период хранения свёклы могут быть причиной развития кагатной гнили.

Заболевание под названием парша бывает трёх видов: бактериальная (походит на шероховатые бородавки) (рис. 5) и актиномицотная — поясковая (рис. 6) (выглядит как пояс на корнеплоде) или обыкновенная.

Рак корнеплода, вызываемый бактериями *Agrobacterium tumefaciens* (рис. 7), проявляется образованием наростов на шейке.

Заболевание корневид (рис. 8) вызывают грибы рода *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium*. Оно возникает при выращивании в некомфортных климатических условиях и заражённости почвы грибами



Рис. 5. Бактериальная парша корнеплодов свёклы



Рис. 6. Поясковая парша сахарной свёклы, возбудитель *Actinomyces scabies*



Рис. 7. Рак корнеплода

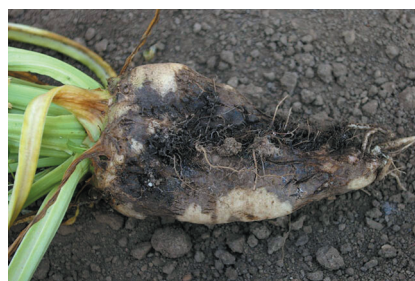


Рис. 8. Корневид сахарной свёклы



и бактериям. При этом происходит отставание в росте корнеплода и снижение сахаристости.

Если свёкла хранится при повышенной температуре, начинается процесс подвяливания, а по мере дыхания выделяется дополнительное тепло, что способствует развитию микроорганизмов. Это приводит к потерям сахаристости и риску возникновения кагатной гнили. Происходит разрушение тканей в результате действия микробных гидролитических ферментов.

Основными возбудителями кагатной гнили являются мицелиальные грибы. Они ещё в период роста культуры вызывают болезни и продолжают свою жизнедеятельность при хранении (фомоз, фузариоз). Распространение заболевания часто провоцируют механические повреждения корнеплодов при выкапывании свёклы.

Опасным мицелиальным грибом — возбудителем кагатной гнили является *Botrytis cinerea*, вызывающий ботритиоз корнеплода. Многоклеточный мицелий гриба серого цвета обволакивает корень плотным слоем. На поздней стадии развития он заражает рядом хранящиеся корнеплоды, образуя слипшиеся комки, покрытые паутинным мицелием. Оптимальная температура для развития гриба составляет 25–30 °С, относительная влажность воздуха — более 94 % и активная аэрация, pH 4,5–5,0. В нейтральной среде его развитие приостанавливается,

а в щелочной он погибает. На сегодняшний день одним из эффективных способов борьбы с ботритиозом остаётся обработка свёклы гашёной известью.

Большой вред при хранении приносят корнеплодам грибы родов *Aspergillus* и *Penicillium* из класса *Ascomycetes* [1, 4–6]. На поражённых корнеплодах наряду с грибом *Botrytis cinerea*, а также аспергилловыми и пеницилловыми грибами начинают развиваться микроорганизмы, более требовательные к условиям роста.

При отклонении от нормальных режимов в кагатах возможно развитие грибов родов *Mucor* и *Rhizopus* из класса *Zygomycetes*, провоцируя так называемое ризопусное гниение корнеплодов. Мукоровые грибы развиваются при высокой температуре (25–35 °С). Ризопусное поражение протекает без кислорода, при этом на поверхности корнеплода образуется серый пушистый мицелий с чёрными головками спорангиев, который очень быстро обволакивает корнеплоды, заполняет доступные места. Грибы этого рода сбрасывают сахарозу с образованием спирта и диоксида углерода.

Развитие мицелиальных грибов в процессе хранения корнеплодов создаёт благоприятные условия для размножения бактерий, вызывая бактериозы свёклы, которые усугубляют процесс кагатной гнили при участии молочнокислых, гнилостных и маслянокислых бактерий.

Leuconostoc mesenteroides (рис. 9) и *Leuconostoc dextranicum* (рис. 10) кроме сбраживания сахара свёклы с образованием молочной, уксусной, муравьиной кислот, спирта и диоксида углерода, продуцируют слизистые декстрановые капсулы, благодаря которым бактерии становятся устойчивыми к высоким температурам и антисептикам.

Спорообразующие гниlostные бактерии *Bacillus subtilis* (сенная палочка) (рис. 11) разлагают белковые вещества свёклы в широком диапазоне температур (35–60 °С) с образованием аммиака, органи-

ческих кислот, диоксида углерода, водорода и полисахарида левана, который также способствует образованию слизистых капсул.

Анаэробные спорообразующие маслянокислые бактерии рода *Clostridium*, имея широкий спектр гидролитических ферментов, разлагают пектиновые вещества и крахмал и сбраживают продукты гидролиза с образованием масляной и уксусной кислот, ацетона и различных спиртов.

Бактерии *Escherichia coli* (рис. 12) и *Proteus vulgaris* (рис. 13) тоже принимают участие в процессе гниения корнеплодов при хранении. Различают три типа бактериоза корнеплодов сахарной свёклы: слизистый, сухой и почернение сосудисто-волокнистых пучков корнеплода сахарной свёклы.

Наиболее опасен слизистый бактериоз, который вызывают палочковидные неспорообразующие бактерии рода *Erwinia*. Эти бактерии являются эпифитами растений, но существуют и фито-

патогенные. Обладая активными пектолитическими ферментами, они проникают глубоко в свёклу и ослизняют содержимое клеток. Свёкла теряет тургор, а при надавливании вытекает прозрачная или мутная жидкость.

Наличие слизиобразующих микроорганизмов в свёкле, полупродуктах и белом сахаре вызывает технологические отклонения и нарушает пищевую безопасность предприятий, использующих сахар в качестве сырья: наблюдается пенообразование, ослизнение, повышение вязкости, мутности, снижение фильтрационных свойств. Во избежание этих процессов перед укладкой на хранение корнеплоды обрабатывают микробицидными препаратами, а также поддерживают режимы хранения, предотвращающие развитие микроорганизмов-контаминантов [4–6]. Вышеперечисленные микроорганизмы, попадая в стружку, в основном погибают при высоких температурах, но часть их, размножаясь, может вызвать ряд технологических отклонений на производстве. Источником контаминации микроорганизмами в свеклосахарном производстве может стать многократно применяемая для транспортировки и мойки свёклы оборотная вода, которая перед повторным использованием должна обязательно подвергаться очистке с целью удаления грубых примесей и дезинфекции.

Воздух в производственных помещениях является опасным источником загрязнения сырья, оборудования и готовой продукции, его микробиологическая чистота служит важным условием получения высококачественного готового продукта. Для снижения микробной контаминации воздуха производственных помещений применяют физические способы его очистки. В 1 м³ чистого воздуха в цехах, выпускающих белый сахар, не должно быть более 100 КОЕ.

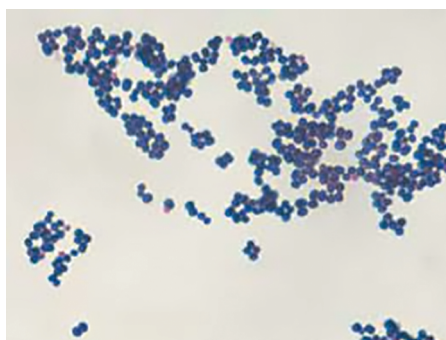


Рис. 9. *Leuconostoc mesenteroides* (×1000)

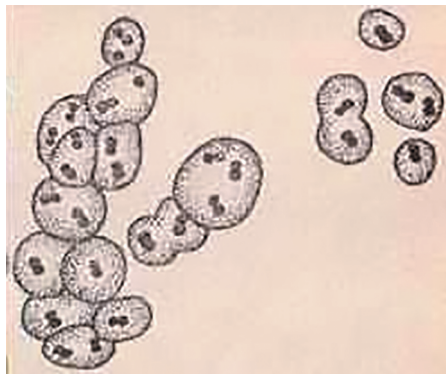


Рис. 10. *Leuconostoc dextranicum* (×1000)

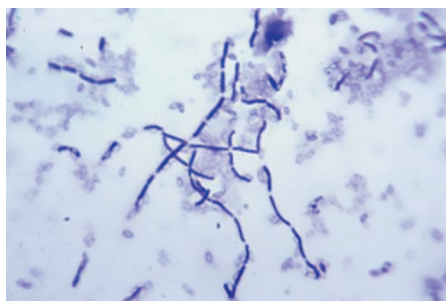


Рис. 11. *Bacillus subtilis* (×1000)

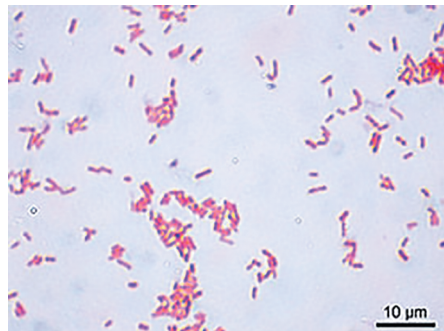


Рис. 12. *Escherichia coli* (×1000)

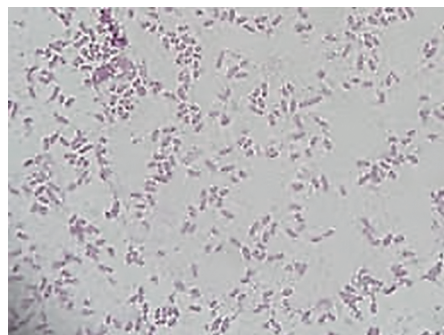


Рис. 13. *Proteus vulgaris* (×1000)

Технологический процесс производства белого сахара (предусматривающий высокие температуры, высокие концентрации растворённых веществ, резкое изменение pH среды и др.) сильно ограничивает развитие микроорганизмов. Однако и в таких условиях некоторые из них с высокой степенью адаптации способны развиваться и представлять опасность для производства. В процессе переработки потери сахара связаны с метаболизмом кислотообразующих, слизиобразующих мезофильных и термофильных бактерий.

В моечное отделение свеклосахарного завода микроорганизмы попадают со свёклой и транспортёрно-моечной водой. В результате в оборотной воде повышается содержание спорообразующих термофильных и мезофильных микроорганизмов, способных образовывать слизистые капсулы полисахаридной природы (декстраны и леваны).

В случае микробиологической заражённости диффузионного сока происходят потери сахарозы и ухудшается качество готового продукта. При переработке здоровой свёклы содержание микроорганизмов в диффузионном соке не должно превышать $12 \cdot 10^6$ КОЕ/см³.

Наибольшую опасность несут слизиобразующие и термофильные бактерии [1, 2] *L. mesenteroides* и *L. dextranicum* и сенной палочки *Bacillus subtilis*. Результатом их жизнедеятельности является то, что диффузионный сок ослизняется, становится желеобразным, плохо фильтруется. Явную опасность приносит факультативный анаэроб *B. stearothermophilus* (рис. 14), его споры выживают при 120 °С в течение 75 мин. Он представляет собой сильный продуцент молочной кислоты, в которую преобразует до 95 % сброженного сахара. Следствием развития кислотообразующих бактерий является высокая активная кислотность сока.

Иногда находят мезофильную спорообразующую палочку *B. subtilis* и неспорообразующую бактерию кишечную палочку *Escherichia coli* и *Proteus vulgaris*, которые разрушают белковые вещества свёклы и гидролизуют сахарозу с образованием инвертного сахара, органических кислот и других продуктов их метаболизма.

В сокоочистительном отделении развитие микроорганизмов ограничено из-за высоких температур и щелочной среды, но споро- и слизиобразующие бактерии можно обнаружить и далее по технологической линии. Слизеобразующие бактерии нарушают процесс фильтрации, забивая ткань, что приводит к остановке работы фильтра. На этапе сатурации и последующего фильтрования количество микроорганизмов значительно уменьшается.

Полупродукты могут содержать небольшое количество термоустойчивых спор термофильных бактерий, осмофильных дрожжей и мицелиальных грибов. Повы-

шению микробной контаминации способствуют задержка полупродуктов в аппаратах и их вторичная контаминация в результате размножения микроорганизмов на стенках и крышках сборников, вакуум-аппаратов, соколовушек, а также попадание спор и вегетативных клеток с водой и воздухом в кристаллизаторы, центрифуги, вибротранспортёры.

Для выпуска безопасной готовой продукции обязательным является химико-технологический, микробиологический и санитарно-гигиенический контроль по всем стадиям технологического процесса производства. Контролируют соответствие качества сырья, вспомогательных, упаковочных и маркировочных материалов и полупродуктов требованиям нормативной документации; санитарное состояние цехов, рабочих мест и оборудования; выполнение регламентированных технологических операций и соблюдение технологических режимов работы.

Наряду с микробиологическим контролем на предприятии систематически осуществляют санитарно-гигиенический контроль качества мойки и дезинфекции основного оборудования, инвентаря, коммуникаций, охватывая одновременно возможно большее количество проблемных точек, промежуточной и потребительской тары, конструктивных особенностей основных производственных цехов, обращая особое внимание на санитарное состояние одежды, обуви и рук обслуживающего персонала.

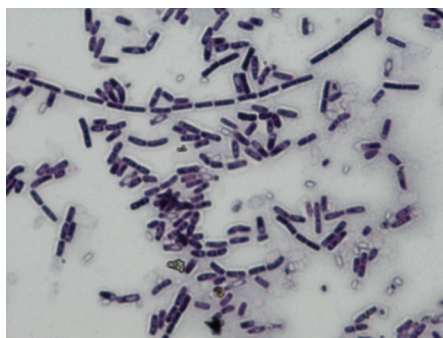


Рис. 14. *B. stearothermophilus* ($\times 1000$)

Микробиологические показатели белого сахара

Наименование показателя	Допустимый уровень
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ в 1 г, не более	$1,0 \times 10^3$
Плесневые грибы, КОЕ в 1 г, не более	$1,0 \times 10$
Дрожжи, КОЕ в 1 г, не более	$1,0 \times 10$
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), в 1 г	Не допускаются
Патогенные микроорганизмы, в том числе бактерии рода <i>Salmonella</i> , в 25 г	Не допускаются

Наличие микробиологической обсеменённости готового сахарного песка является обязательным при оценке его качества и безопасности.

Допустимое содержание микроорганизмов в готовом сахаре в соответствии с требованиями ГОСТ 31895-2012 «Сахар белый. Технические условия» представлено в таблице.

Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 в пищевых продуктах и готовом сахаре не допускается наличие патогенных микроорганизмов и возбудителей паразитарных заболеваний, их токсинов, вызывающих инфекционные и паразитарные болезни или представляющих опасность для здоровья человека и животных.

К качеству сахара могут вводить дополнительные требования, установленные отдельными отраслями пищевой промышленности или предприятиями, использующими сахар в качестве сырья. Эти требования относятся в первую очередь к его микробиологическому состоянию и безопасности.

Для кондитерской промышленности нежелательно присутствие газообразующих бактерий и дрожжей, развитие которых приводит к вспучиванию конфет. В безалкогольном производстве недопустимо присутствие слизеобразующих бактерий, которые снижают стойкость напитков, а также вызывают ослизнение. Для консервной промышленности опасно присутствие в сахаре термофильных и осмофильных спорообразующих бактерий, продуцирующих кислоты, сероводород и другие газы, что приводит к порче консервов [1, 5, 6].

Россия является членом ШОС (Шанхайская организация сотрудничества), БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южно-Африканская Республика), Таможенного союза ЕАЭС, в связи с чем необходимо обеспечивать

качество стратегически важных продуктов на уровне международных стандартов.

Выводы

Из вышесказанного следует, что задачей отечественного сахарного производства является не только увеличение выхода сахара стандартного качества, отвечающего международным требованиям, но и выпуск безопасного продукта, не оказывающего токсического, канцерогенного, мутагенного или другого неблагоприятного воздействия на организм человека.

Для обеспечения высокого качества и безопасности сахара необходимо проводить систематический микробиологический и санитарно-гигиенический контроль на всех этапах его выработки, начиная с входного контроля сырья и заканчивая готовой продукцией, включая фасовку, условия хранения и транспортирования продукции на основе принципов НАССР.

Список литературы

1. Аспекты прослеживаемости формирования технологических качеств сахарной свёклы в процессе вегетации / Л.И. Беляева, Л.Н. Пузанова, С.В. Хлюпина, Л.Ю. Смирнова // Сахарная свёкла. — 2016. — № 10. — С. 21–23.
2. ГОСТ Р 52647-2006 «Свёкла сахарная. Технические условия». — М. : Стандартинформ, 2007. — С. 9.
3. ГОСТ Р 53396-2009 «Сахар белый. Технические условия». — М. : Стандартинформ, 2010. — С. 16.

4. Егорова, М.И. Тенденции и перспективы сближения требований к продукции в Таможенном Союзе / М.И. Егорова // Сахар. — 2014. — № 8. — С. 23–25.

5. Ермолаева, Г.А. Микробиологические исследования эффективности средства «Волсепт Стерил» в отношении специфической микрофлоры при производстве сахара / Г.А. Ермолаева, М.Б. Мойсеяк, Н.Г. Ильяшенко // Сахар. — 2017. — № 3. — С. 50–56.

6. Микробиология пищевых производств : учебник для техникумов / Н.Г. Ильяшенко, Е.А. Бетева, Т.В. Пичугина, А.В. Ильяшенко. — М. : КолосС, 2008. — 412 с.

7. Корнеева, О.С. Основы микробиологического и санитарно-гигиенического контроля на предприятиях свеклосахарной промышленности : учеб. пособие / О.С. Корнеева, Л.В. Спивакова, Т.В. Мальцева. — Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад., 2006. — С. 5–22.

8. Кульнева, Н.Г. Микрофлора свеклосахарного производства: проблемы и пути решения / Н.Г. Кульнева, А.И. Шматова, Ю.И. Манько // Вестник ВГУИТ. — 2014. — № 1. — С. 193–196.

9. Сапронов, А.Р. Технология сахара : учебник / А.Р. Сапронов, Л.А. Сапронова, С.В. Ермолаев. — СПб. : Профессия, 2013. — 296 с.

10. Day, D.F. Spoilage in the Sugar Industry // Lactic Acid Bacteria. — 1992. — Vol. 1, 343–361. doi:10.1007/978-1-4615-3522-5_13.

Аннотация. Рассмотрены микробиологические аспекты в свеклосахарном производстве, микроорганизмы-контаминанты свеклосахарного производства.

Ключевые слова: микроорганизмы-контаминанты, качество и безопасность пищевой продукции, болезни корнеплодов сахарной свёклы.

Summary. Microbiological aspects in beet sugar production, microorganisms-contaminants of beet sugar production are considered

Keywords: microorganisms-contaminants, quality and safety of food products, diseases of sugar beet root crops.