

УДК 664+621.798

СЪЕДОБНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ И ПОКРЫТИЯ: ИСТОРИЯ ВОПРОСА И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ (ОБЗОР)

Т. А. САВИЦКАЯ

УО «Белорусский государственный университет», ул. Ленинградская, 14, 220050, Минск, Беларусь, ta_savitskaya@mail.ru

В обзоре представлены данные о составе, способах получения и областях применения съедобных полимерных пленок и покрытий в качестве полностью биоразлагаемых упаковочных материалов. Проанализированы их основные физико-химические характеристики, функции и назначение, приведены примеры коммерциализации разработок в этой области.

Ключевые слова: съедобные полимерные пленки, покрытия, крахмал, хитозан, продукты питания, биоразлагаемая упаковка.

Введение

Съедобные пленки и покрытия – единственный вид биоразлагаемой полимерной упаковки, которая не нуждается в индивидуальном сборе и особых условиях утилизации. Это их главное отличие от традиционных биоразлагаемых пластиков, которые первоначально были предложены как альтернатива синтетическим полимерным материалам, и все были убеждены, что их создание раз и навсегда решит проблему утилизации отходов полимерной упаковки, которая сегодня грозит стать глобальной экологической катастрофой. К сожалению, до настоящего времени эксперимент по производству и использованию биоразлагаемых упаковочных полимерных материалов, длящийся уже более тридцати лет, не только не дал однозначного положительного результата, но и поставил много новых до сих пор не решенных вопросов [1]. Постепенно пришло осознание того, что преимущества биоразлагаемых пластиков проявляются только при их правильном сборе, т.е. отдельно от других отходов, и утилизации в специально созданных условиях, например, на компостных фабриках. При этом они всегда дороже обычных пластиков, во многих случаях не могут быть подвергнуты совместному рециклингу; находясь в глубоких слоях свалки, выделяют парниковый газ метан. Кроме того, сырье для биоразлагаемых пластиков обеспечивают те же почвенные и водные ресурсы, на которых сегодня выращиваются продукты питания (кроме очень небольшого количества пластиков, производимых из отходов сельскохозяйственной продукции) [2], а значит их сырьевая база всегда будет ограничена.

Поэтому, не дожидаясь наступления эры биоразлагаемых полимеров, в апреле 2015 г. Европей-

ский парламент утвердил Директиву 94/62/ЕС [3] о сокращении использования легких (толщина <50 мкм) и сверхлегких (<15 мкм) пластиковых пакетов, которые в настоящее время по ряду экономических и технологических причин подвергаются рециклингу в очень ограниченном количестве. В ней, в частности, говорится, что к 31 декабря 2019 г. ежегодное потребление легких пакетов на душу населения не должно превышать 90 штук и 40 штук к 31 декабря 2025 г. К этому же времени для биодеструктурируемых пластиковых пакетов предусматривается их обязательная маркировка с указанием условий компостирования. Государства – члены Евросоюза должны в срок до 27 ноября 2016 г. урегулировать условия соблюдения этой Директивы.

К 31 декабря 2018 г. плата за пакеты должна будет взиматься во всех странах ЕС. Эти меры можно прокомментировать как достаточно жесткие, поскольку по данным 2010 г. средний европеец использует ежегодно около 200 таких пакетиков [3]. В отношении биоразлагаемых пакетов в Директиве сказано, что пластиковые пакеты, которые производители обозначают как оксо-биоразлагаемые и оксо-разлагаемые, таковыми не являются. В таких пакетах окси-добавки включены в состав обычного пластика. Благодаря присутствию этих добавок пластики со временем разрушаются, но лишь до мелких частиц, которые не являются биоразлагаемыми и поэтому надолго остаются в окружающей среде. Называть их «биоразлагаемыми» неверно. В связи с этим Комиссия приняла решение изучить воздействие таких «псевдоразлагаемых» пластиков на окружающую среду и представить Европейскому парламенту отчет, в котором будут указаны меры по сокращению их потребления, чтобы минимизировать наносимый эко-

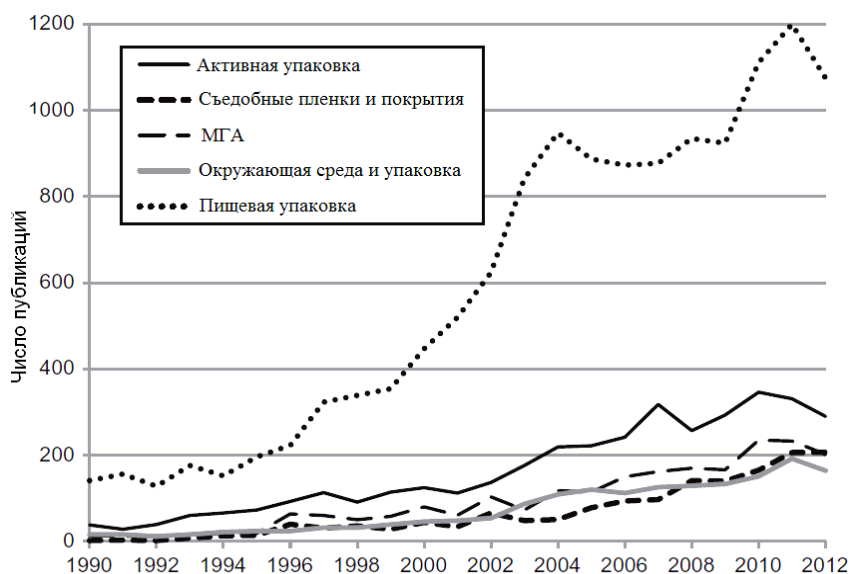


Рисунок 1 – Динамика публикационной активности по темам: пищевая упаковка, активная упаковка, упаковка с модифицированной газовой атмосферой (МГА), съедобные пленки и покрытия, влияние пищевой упаковки на окружающую среду [5]

сфере вред и обеспечить устойчивое развитие будущих поколений.

С этой точки зрения съедобные упаковочные материалы из пищевых биоразлагаемых полимеров не являются проблемными. В последнее десятилетие съедобная упаковка начала занимать свою нишу среди пластиковых упаковочных материалов наряду с активной упаковкой, с умной упаковкой, с упаковкой МГА (модифицированная газовая атмосфера, modified atmosphere packaging), способная контролировать атмосферу, в которой хранится продукт [4]. В частности, упаковка МГА учитывает, что, например, для сохранения красного цвета мяса необходимо больше кислорода, для хранения хлеба, наоборот, кислорода должно быть меньше, а для хранения фруктов нужна трехкомпонентная газовая атмосфера, содержащая кислород, диоксид углерода и азот в определенных соотношениях, и т.п.

Как следует из данных рис. 1 [5], при неизменной тенденции к постоянному росту публикаций общего характера по теме пищевой упаковки, на долю съедобных пленок и покрытий пока приходилось, по данным базы Scopus, наименьшее число публикаций на фоне публикаций по активной упаковке, упаковке с модифицированной атмосферой и публикаций по анализу воздействия пищевой упаковки на окружающую среду. Такая ситуация скорее всего связана не с недостатком интереса или недоверием к безопасности съедобных пленок, а с несомненной сложностью задачи, которая стоит перед разработчиками и производителями съедобных пленок. В частности, для придания съедобной упаковке определенных функциональных свойств (барьерных, механических, вкусовых, антимикробных и т.п.), возникает необходимость в составлении многокомпонентных формовочных композиций. В их состав обязательно должны входить (наряду с низкомолекулярными добавками органической и неорганической природы) еще и высокомолекуляр-

ные соединения, наполнители, в результате введения которых образуются гетерофазные системы, требующие особых условий формования и последующего использования пленок.

Отсутствие систематических исследований, позволяющих установить взаимосвязь между структурой и свойствами, особенностями межфазной совместимости, составом и условиями получения, а также их влиянием на механические, термические характеристики и газопроницаемость композиций биополимеров, привело к такой ситуации со съедобной упаковкой, когда имеется большой объем исследований и предложений, но очень мало видов реально выпускаемой продукции. В таких странах как США, Франция, Германия, Япония и Китай наблюдается постоянно растущий интерес к съедобной упаковке, о чем свидетельствует значительное количество уже полученных в этих странах патентов. Кроме того, если в 1986 году в мире насчитывалось не многим более десяти компаний, изготавливающих съедобные пленки, то к 1996 г. их число выросло до 600. В последние годы доход от продаж съедобных упаковок составляет сотни миллионов долларов [6], что свидетельствует о растущей потребности в таких материалах и перспективности развития их производства.

Цель обзора заключается в информировании читателей и потенциальных производителей об известных к настоящему моменту видах съедобной упаковки, конкретных областях их применения, состоянии научных исследований в этой области и перспективах практического использования подобных полимерных пленок и покрытий в ближайшем будущем.

Краткая характеристика съедобных пленок и покрытий

На молекулярном уровне съедобную упаковку можно рассматривать как биodeградируемый съедобный биополимерный материал, который демон-

стрирует альтернативный микробиальному (разложение в окружающей среде под действием бактерий или грибов) механизм биоразложения: под действием внутриклеточных и неклеточных ферментов (эндо- и экзоэнзимов), содержащихся в желудке и кишечнике человека, и животных, полимер подвергается химическим реакциям, которые в основном сводятся к окислению и гидролизу [7].

В качестве физической формы съедобной упаковки чаще всего предлагаются пленки и покрытия, хотя иногда к ним добавляют листы и пакеты [8,9]. Пленки отличаются от листов толщиной: обычно считают, что пленки имеют толщину до 250 мкм, а листы – более 250 мкм. К съедобной упаковке предложено также относить мягкие гелевые капсулы и твердые покрытия на таблетках, которые изготавливают из пищевых полимеров [10]. В некоторых случаях различие между пленкой и покрытием не подчеркивается и эти понятия используются как взаимозаменяемые для обозначения тонкого слоя из съедобного материала, который может быть нанесен непосредственно на продукт питания или помещен в качестве барьера между продуктом питания и окружающей средой и съеден вместе с этим продуктом [11]. Большинство исследователей считает, что тонкий слой, нанесенный непосредственно на продукт, следует называть съедобным покрытием, а предварительно полученную пленку, в которую затем упаковывают продукт, – съедобной пленкой [12]. В таком аспекте в основе деления съедобной упаковки на пленки и покрытия лежат лишь различные методы их получения. Пленки – это предварительно полученные в сухом виде материалы, которые располагаются на поверхности продукта или между слоями компонентов пищевого продукта. Они могут быть обернуты вокруг продукта, из них могут быть изготовлены пакетики и даже сумочки. Из нескольких пленок ламинированием может быть получен лист. Покрытия же наносят на продукт непосредственно из растворов путем распыления, окунания или с помощью кисти. Высыхают покрытия уже на продукте. Они таким же образом могут быть нанесены и между слоями пищевых компонентов с целью предотвращения их взаимной диффузии и сохранения вследствие этого вкусовых качеств, например, в пище, пирогах, конфетах.

Во многих определениях указывается, что съедобная упаковка сама по себе помимо придания продукту питания новых свойств, например, увеличения срока хранения, оптимизации газообмена становится еще и его съедобной частью. «Съедобная упаковка – это тип упаковки в виде пленки, листа, тонкого слоя или покрытия, который является интегральной частью продукта и может быть съеден вместе с ним. Кому-то такая идея покажется отвратительной, а кто-то, скажет, что это прекрасное решение проблемы мусора» [13].

Сегодня съедобные полимерные пленки выполняют роль, аналогичную той, которую выполняют

натуральные оболочки на фруктах и ягодах, а именно: предотвращают потерю влаги, контролируют обмен таких газов как кислород, диоксид углерода, придают продукту формоустойчивость и устойчивость к изменению качества в целом. Они также обеспечивают стерильность поверхности продукта и сохранение в продуктах питания важных компонентов, например, летучих веществ, обеспечивающих запах и аромат пищи. Кроме того, привлекательными для потребителя съедобные пленки делает дополнительное наличие в их составе полезных для здоровья веществ, таких как витамины, минералы, биофлавоноиды, всевозможные экстракты и т.п.

При использовании всех вышеприведенных определений необходимо понимать, что съедобная упаковка – это главным образом первичная упаковка из съедобных компонентов, которая в абсолютном большинстве случаев нуждается во внешней, вторичной упаковке [14]. Необходимость двух упаковок может быть пояснена на примере апельсина, в котором мякоть защищена сначала тонкой кожицей, а затем плотной кожурой [15]. В первичную съедобную пленку целесообразно, например, упаковывать способные прилипнуть к бумаге желированные конфеты, карамель, тогда внешняя бумажная обертка не контактирует с конфетой и легко снимается перед употреблением.

В настоящее время основными пленкообразующими компонентами для получения съедобных упаковок являются: полисахариды (крахмалы, эфиры целлюлозы, хитозан, пуллулан, декстрины, альгинаты, каррагинаны, пектины, камеди), белки (коллаген, желатин, зеин, глютен, соевые изоляты, казеин), липиды (воски: пчелиный, карнаубский и др., в англоязычной литературе в эту же группу включают даже парафин, полученный из нефти; ацетоглицериды, глицериды) или их комбинации. В ряде публикаций [16, 17] вместо полисахаридов выделяют группу гидроколлоидов, куда кроме полисахаридов относят и синтетические гидрофильные полимеры, разрешенные к использованию в пищевой промышленности, например, эфиры на основе полиэтиленоксида. Вообще термин «гидроколлоиды» – это собирательное название гидрофильных полимеров, низкоконцентрированные растворы которых при определенных условиях обладают гелеобразными свойствами [18]. Съедобные пленки, полученные на основе этих классов химических соединений, различаются по свойствам. Так, пленки полисахаридов гидрофильны и позволяют получить широкий спектр композиционных упаковочных материалов, поскольку в пленку можно ввести различные водорастворимые добавки: ароматизаторы, красители и др. Они прочно связываются с основным полимером водородными связями. Эти пленки являются хорошим барьером для кислорода, но, к сожалению, плохим для влаги. Белковые пленки также гидрофильны, поэтому, как и полисахаридные хорошо пропускают пары воды. Липидные пленки, напротив, обладают хорошими барьерными свойствами

по отношению к влаге, но характеризуются невысокой механической прочностью [19]. Поэтому при получении съедобных пленок с заданными свойствами целесообразно использовать композиции, составленные для решения конкретной задачи.

По природе основных компонентов, образующих пленку, можно выделить два класса веществ: одни – это биополимеры или липиды, а другие – пищевые продукты в виде овощных, фруктовых пюре, муки и т.п. [20]. Основу съедобных пленок, в состав которых входят соки и пюре, составляют пектиновые вещества. При получении пленки пищевые компоненты предварительно подвергают дегидратации вымораживанием. Таким способом, например, представители бразильской корпорации сельскохозяйственных исследований и компании *Embrapa Instrumentation* создали съедобные пленки из таких продуктов, как шпинат, папайя, гуава, томаты [21], аналогичные по свойствам обычным пластиковым пленкам.

По пищевой ценности съедобные пленки и покрытия подразделяют на усвояемые, которые перерабатываются организмом, как в виде питательных веществ, так и энергоресурсов, и неусвояемые, гигиенически безвредные, но не имеющие пищевой ценности, которые не усваиваются человеческим организмом и удаляются из него вместе с другими шлаками [22]. Усвояемые пленки и покрытия получают на основе углеводов, белков, жиров. К неусвояемым относятся природные воски (минеральные, растительные, выделяемые насекомыми и др.), водорастворимые природные и синтетические камеди, водорастворимые производные целлюлозы, поливинилового спирта, поливинилпирролидона и др. При этом предполагается, что неусвояемые покрытия можно употреблять только в том случае, если они поступят в организм человека в ограниченном количестве. Они имеют допустимое суточное потребление, которое определяется количеством мг вещества в сутки в расчете на 1 кг массы тела, ежедневное поступление которого в организм в течение всей жизни не оказывает негативного влияния на здоровье человека. Поэтому, например, еще в 1980 г. даже парафиновый воск, который получают из нефти, был разрешен для использования американским Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и лекарственных средств (*US Food and Drug Administration, FDA*) для производства микрокапсул, содержащих ароматы специй для замороженной пиццы [23]. По данным Американской ассоциации производителей овощей и фруктов при восковании 160 тысяч яблок необходимо всего 450 г воска для изготовления покрывающей их эмульсии. В этой связи хотелось бы подчеркнуть, что некоторые производители современной упаковки в борьбе за рынок, забывая порой о последствиях, называют съедобными пленками и покрытиями те упаковки, которые корректней было бы отнести, на наш взгляд, только к биоразлагаемым или неусвояемым упаковочным материалам, например,

покрытия на основе парафина, воска, шеллака и т.п. Сегодня потребитель должен быть очень внимателен, поскольку всем известно, что недостаточно иметь полную информацию о продукте, который собираешься съесть. Его упаковка также может угрожать здоровью. На конференции в Брюсселе в 2004 г. Европейская комиссия (*European Framework Regulation*) обсудила вопрос о безопасности упаковки для продуктов питания и предложила сделать обязательным полное информирование покупателей, а именно: нанесение в виде маркировки на упаковке продуктов данных об их химическом составе. Однако многим специалистам показалось, что решение Европейской Комиссии [24] сделать эту информацию доступной приведет не к повышению уровня безопасности упаковки для потребителей, а к раскрытию многих фирменных «ноу-хау».

Здесь следует отметить, что в настоящее время, когда обеспокоенность здоровьем человека очень высока во всем мире, ученые активно ищут замену неусвояемым пленкам и покрытиям, даже тем, которые давно используются и к которым все привыкли. Так, в качестве альтернативы шеллаку, который является природной смолой, выделяемой насекомым *Kerria lacca*, и традиционно используется в составе покрытий для формованных шоколадных изделий, придавая им красивый глянец, была предложена пленка на основе гидролизованного коллагена и масла какао. При этом оказалось, что последняя не только является усвояемой, но и обладает большей гибкостью, замедляет кристаллизацию сахарозы и тем самым повышает сохранность шоколада во времени [25].

Съедобная упаковка: история развития

Первые обзоры по съедобным пленкам и покрытиям появились в 80-е годы [26], а первые рулоны пленки на заводской установке получили еще раньше, в 60-е [27]. Первую съедобную упаковку открыли и применили в древнем Китае в 12 веке, когда перед отправкой груза на дальние расстояния моряки покрывали цитрусовые фрукты тонким слоем воска, чтобы сохранить влагу и упругость товара. Так, в частности, доставляли лимоны из южных провинций Китая в северные к столу императора [6]. В 15 веке в Европе такая технология получила специальное название – лардинг, которое означало покрытие фруктов или овощей слоем воска (рис. 2) или жира, что препятствовало их усыханию. И, хотя такое решение было не идеальным (из-за нарушения газообмена вкусовые качества еды снижались и постепенно терялся товарный вид), за неимением лучшего варианта сохранения свежих продуктов лардинг широко применялся вплоть до 19 века [28]. Для улучшения внешнего вида и сохранения качества пищевых продуктов в это же время в Японии использовали другую специальную пленку, названную Йуба (*Yuba*), которую получали при кипячении соевого молока (рис. 3) [29]. В 18 веке в Японии была запатентована прессованная рисовая бумага для производства съедобной

одноразовой посуды: тарелок, чашек, креманок, стаканчиков и прочих изделий, основой которых являлась рисовая мука. В настоящее время съедобная посуда прочно внедрилась в нашу жизнь: вафельные стаканчики, пшеничные лепешки. Сегодня вафельные стаканчики с различными наполнителями (соль, сахар, пряности) используются для упаковки мороженого, йогуртов, плавленых сыров и т.п. Известная кофейная компания Lavazza предлагает своим клиентам съедобную чашку для кофе (рис. 4) [30]. Съедобные стаканчики на основе желатина довольно популярны на студенческих вечеринках и пикниках.



Рисунок 2 – Апельсин, покрытый тонким слоем воска



Рисунок 3 – Пленка на основе соевого молока (Yuba) [29]



Рисунок 4 – Съедобная чашка для кофе компании Lavazza

Коллагеновые и желатиновые покрытия уже более двух столетий используются в Европе для хранения мясных изделий. Первый патент на созда-

ние съедобной упаковки для мясных продуктов был выдан в США в 19 веке. Тогда предложили оборачивать мясные продукты в желатиновую оболочку [31]. Это предотвращало появление микробов и потерю влаги. В настоящее время наибольшее количество съедобной упаковки для мясных продуктов производится в Германии [32].

Проблемой создания съедобной упаковки, которая бы сохраняла такие свойства свежих продуктов как цвет, упругость, содержание воды, жирность, активно занялись ученые уже в начале прошлого века. В итоге к середине 20 столетия в США существовало несколько торговых марок таких пленок, которые и сегодня пользуются широким спросом. Например, известные и любимые многими многоцветные шоколадные конфеты M&M's и имеют съедобное покрытие. Оно состоит из сахара, кукурузного сиропа и природной смолы – шеллака. Его создали в 1941 г. вследствие трудности продаж конфет в летние месяцы. Покрытие позволило спрятать плавленный шоколад в твердую оболочку и сделать процесс употребления конфет комфортным для потребителя [6].

Крупнейшая компания-разработчик водорастворимых упаковок Моносол (MonoSol) сегодня поставляет на потребительский рынок порционные упаковки с овсяными хлопьями, крупами, кофе, какао, протеиновыми коктейлями, мукой, специями, соусами. Последняя разработка компании – пленка Vivos, которая растворяется в горячей воде в течение нескольких секунд и не меняет вкус пищи (рис. 5). Точно отмеренные порционные упаковки позволяют контролировать количество добавляемых в пищу специй, красителей и т.п. без страха ошибиться в дозировке. При этом, конечно, необходима прочная вторичная упаковка для транспортировки и хранения пищевых добавок [33].



Рисунок 5 – Водорастворимая упаковка компании MonoSol

В Бразильской сети ресторанов Бобс (Bob's) посетителям предлагают съесть гамбургер вместе с бумагой (рис. 6) [34]. А недавно компания по производству автомобилей Лэнд Ровер (Land Rover) выпустила иллюстрированный справочник Edible Survival Guide по выживанию в пустыне, страницы которого могут быть съедены в экстремальной ситуации [35].

В отличие от не имеющей вкуса съедобной пленки «Vivos» в России запатентован состав съедобной пленки [36], которая в качестве вкусовой основы может содержать мясной бульон, фруктовый сок, сухие специи, эфирные масла укропа, чеснока, экстракты вина, ягод и т.п. В такую пленку можно упаковывать охлажденное мясо, замороженные фрукты и др.



Рисунок 6 – Съедобная упаковка для гамбургера в сети ресторанов Bob's

Другим направлением развития исследований в области создания съедобной упаковки стало использование пищевых продуктов в качестве сырья одновременно с пищевыми полимерами. Американский ученый Тара Макхью (Tara McHugh) разработала упаковочную пленку из фруктовых и овощных пюре, которая увеличивает срок хранения продуктов, а также обладает пищевой ценностью [37].

Ярким примером таких исследований является нашумевшая разработка профессора Гарвардского университета Дэвида Эдвардса (David Edwards) – Викисэлс (WikiCells) [38]. Он попытался создать такую упаковку, которая была бы максимально приближена к природным оболочкам, таким как кожа банана или винограда. В результате он изготовил шарики, сделанные из геля на основе кусочков пищи (фруктов, овощей, орехов и даже шоколада) с добавлением полисахаридов, (хитозан, альгинаты), а также солей кальция или магния. Внутри такого шарика можно хранить все, что угодно, в том числе и жидкости (рис. 7). Созданная им компания Викифудс (WikiFoods) предлагает сегодня всем желающим в Париже или Нью-Йорке попробовать в Викибаре (WikiBar) такие новинки, как мороженное, которое не тает на солнце; суп Гаспачо, который можно есть без ложки; коктейль Мартини, который можно положить в карман, потом обдать водой из крана дома и выпить. Все эти чудеса относятся к так называемой «молекулярной» гастрономии, которая использует безопасные химические вещества для получения безопасных кулинарных шедевров.



Рисунок 7 – Творение Д. Эдвардса – Викисэлс – замороженный йогурт в съедобной упаковке

Совсем недавно появились сообщения о том, что группа студентов из Лондона возродила известную еще в сороковые годы прошлого столетия технологию «сферификации» воды. Таким способом они создали съедобную пленку для воды, которая может стать конкурентом Викисэлс в области упаковки жидкостей и назвали ее Ухо (Ooho) [39]. По этому способу замороженная вода вводится в разбавленный раствор альгината натрия, содержащий хлорид кальция. На поверхности ледяного шарика мгновенно образуется желеобразная пленка, которая выполняет роль съедобной бутылки для воды, которая образуется после таяния льда (рис. 8).



Рисунок 8 – Съедобный пакетик с водой

Съедобную тару из пищевых ингредиентов производят сегодня и в Германии. Это – лотки,

баночки, коробочки и др. Упаковочная тара из вспененных пищевых ингредиентов проницаема для микроволнового излучения и поэтому продукт может быть разогрет и сварен прямо в ней. В случае варки материал тары полностью растворяется в воде [40].

Составы и способы получения съедобных полимерных пленок и покрытий

Пленкообразующие компоненты.

Для того, чтобы удовлетворять запросам потребителя и выполнять основные функции по повышению качества пищевых продуктов, их защиты от физических, химических и биологических воздействий съедобные пленки и покрытия должны не содержать в своем составе токсичных, аллергенных компонентов; обеспечивать стабильность структуры продукта и предотвращать механические повреждения при транспортировке, хранении, обработке, обеспечивать полупроницаемость газов, включенных в аэробное и анаэробное дыхание, создавать внутреннее равновесие газовой среды в упаковке; предотвращать потерю компонентов; сохранять ароматические, питательные, органолептические характеристики, важные для восприятия продукта потребителем; обеспечивать биохимическую стабильность продукта; защищать его от внешних загрязнений; улучшать внешний вид и сенсорные характеристики; служить носителем желаемых пищевых и вкусовых добавок, а их изготовление должно быть технологичным и экономически целесообразным.

В 1958 г. в США FDA разработало стратегию, согласно которой все пленкообразующие компоненты, которые будут использованы для производства съедобных пленок, должны быть признаны полностью безвредными. Это соответствует аббревиатуре GRAS (Generally Recognized as Safe) или в русскоязычном варианте ППБ (признанный полностью безвредным). Статус GRAS выдается квалифицированными экспертами, или производитель сам проводит все необходимые исследования и затем представляет FDA необходимые документы и ждет утверждения или отказа. Если компонент не имеет на данный момент статуса GRAS, но производитель своей многолетней деятельностью продемонстрировал безопасность продукта, то он может получить разрешение на выход на рынок на основе самооценки [6]. основополагающим документом Европейского союза в области безопасности пищевой продукции является Регламент № 178/2002 Европейского парламента и Совета Европейского союза от 28 января 2002 г. Регламентом учреждается Европейское агентство по безопасности продовольствия (European Food Safety Agency, EFSA). В России решения принимает Госкомсанэпиднадзор РФ. В Республике Беларусь основополагающим нормативным правовым актом в области пищевой безопасности является Закон Республики Беларусь от 29.06.2003 № 217-З «О качестве и безопасности

продовольственного сырья и пищевых продуктов для жизни и здоровья человека».

Как было упомянуто выше, основными пленкообразующими компонентами для производства съедобных пленок являются полисахариды, белки, липиды и природные смолы. Из них биополимерами являются полисахариды и белки, а липиды и природные смолы, например, шеллак, правильнее называть биоматериалами. Для придания им соответствующей формы используют возможность фазового перехода из расплавленного состояния в твердое кристаллическое [41].

Способы получения съедобных пленок и покрытий.

Съедобные пленки и покрытия из пищевых полимеров, как правило, получают формованием из их растворов в воде, ее смеси с этиловым спиртом, в чистом этиловом спирте или в разбавленной уксусной кислоте, например, если в составе пленкообразующей композиции присутствует хитозан. В лабораторных условиях пленки получают нанесением тонкого слоя раствора с помощью специального приспособления (скребка) на гладкую стеклянную, металлическую или пластмассовую поверхность с последующей сушкой [42]. При наличии в композиции термопластичных компонентов возможно также получение пленок из расплава.

В условиях пилотных и производственных установок метод формования пленки из раствора (solvent casting) может быть непрерывным, когда слой раствора через фильеру наносится на бесконечную движущуюся ленту или барабан и затем высушивается («сухой» метод формования, dry-spinning) или поступает в осадительную ванну с последующей вытяжкой и сушкой («мокрый» метод формования, wet-spinning), а также возможна отливка пленок в специальных формах. Конструкцию фильеры выбирают в зависимости от вязкости раствора и толщины пленки. Мажущая фильера подходит для растворов с вязкостью 25–35 Па·с, льющая – для растворов с вязкостью 12–15 Па·с, а фильеру с валиком используют для получения супертонких пленок. При фильерном формовании, как отмечается в [43], имеет значение способ подачи раствора на фильеру: самотеком или под давлением. Предпочтительнее следует отдавать установкам, в которых использован принцип формования текстильных волокон под давлением, с той лишь разницей, что для получения пленки используют не цилиндрическую, а щелевую фильеру. При этом происходит дополнительная ориентация полимерных макромолекул, что способствует получению пленок с улучшенными механическими характеристиками.

В качестве альтернативы методу формования из раствора через фильеру предлагается получение съедобных пленок методом экструзии. Он позволяет получать пленки со значительно большей скоростью и с меньшими затратами энергии, поскольку в этом случае используют более концентрированные растворы, подача которых осуществляется одним или двумя шнеками [44].

При отливке пленок очень важным моментом является получение гомогенных формовочных растворов без фазового разделения компонентов за исключением тех случаев, когда разделение фаз необходимо для формирования двухслойной пленки. Помимо гомогенности важными характеристиками формовочных растворов являются вязкость и поверхностное натяжение на границе раствор–воздух [45]. Они, в первую очередь, сказываются на сглаживании тех неровностей, которые возникают на поверхности слоя раствора вследствие механических дефектов выходного отверстия фильеры и наличия гетерофазных включений (нерастворившихся частиц, твердых добавок). К сожалению, вопрос о гладкости поверхности и роли соотношения вязкости и поверхностного натяжения изучен недостаточно. В то же время, для обеспечения легкости снятия готовой пленки с подложки важно соотношение поверхностного натяжения раствора $\gamma_{ж}$ и твердой поверхности (подложки) $\gamma_{т}$.

Рис. 9 [15] иллюстрирует влияние $\gamma_{ж}$ на адгезию пленки к подложке, на которую в процессе формования наносится слой раствора. В случае очень высоких значений $\gamma_{ж}$ при нанесении возникает нарушение непрерывности слоя, что после сушки приводит к пилингу (отслаиванию, скатыванию) готовой пленки. Очень низкие значения $\gamma_{ж}$ (необходимо учесть, что поверхностное натяжение еще уменьшается по мере испарения растворителя) также нежелательны, поскольку, чем меньше различие в поверхностной энергии пленки и подложки, тем больше адгезия между ними и тем сложнее снять готовую пленку.

Условия сушки (сухой воздух, нагретый пар, ИК или микроволновой нагрев) также оказывают влияние на свойства пленки. Например, при сушке пленки из белка молочной сыворотки микроволновая сушка не влияет на проницаемость паров воды, но приводит к увеличению прочности и удлинению пленки [46].

Съедобные покрытия в отличие от пленок получают непосредственным нанесением раствора полимера на поверхность продукта путем напыления,

иммерсионным способом или нанесением с помощью кисти с последующим высушиванием уже на самом продукте.

При получении композиционных пленок формовочная композиция может содержать одновременно гидрофильные полисахариды, белки и гидрофобные липиды для получения пленок или покрытий с необходимыми барьерными свойствами. При этом формовочную композицию готовят в виде эмульсии (этот способ дешевле, но дает менее прочные пленки) или получают многослойные покрытия (способ дороже, но пленки более прочные). Например, используют технику «слой-за-слоем», нанося липидный слой на полисахаридную или белковую основу. Композитные пленки могут быть получены также нанесением белкового покрытия на полисахаридную пленку или наслаиванием растворов двух разноименно заряженных полиэлектролитов друг на друга [47]. Полисахариды и белки также смешивают в общем растворителе с последующим формованием пленки из би- или более компонентного раствора, в котором, в случае совместимости полимеров, может быть достигнуто их распределение друг в друге на молекулярном уровне с образованием истинного раствора, а в случае отсутствия термодинамической совместимости, распределение будет осуществлено на уровне надмолекулярных структур [48]. В смесях разноименно заряженных макроионов может наблюдаться так называемая комплексная коацервация, когда оба компонента будут взаимодействовать с образованием нерастворимого соединения и концентрироваться в одной фазе.

Двухслойные покрытия предложено также использовать в том случае, если компоненты образующейся пленки имеют низкую адгезию к влажной поверхности пищевого продукта, что характерно, например, для липидов. Покрытие двумя слоями решает эту задачу, но удорожает стоимость конечного продукта. В качестве альтернативного варианта используют эмульсии двух компонентов: гидрофобного и гидрофильного, имеющие хорошую адгезию к поверхности пищевого продукта, чтобы образовать однородное покрытие. Особенно трудно обеспечить хо-

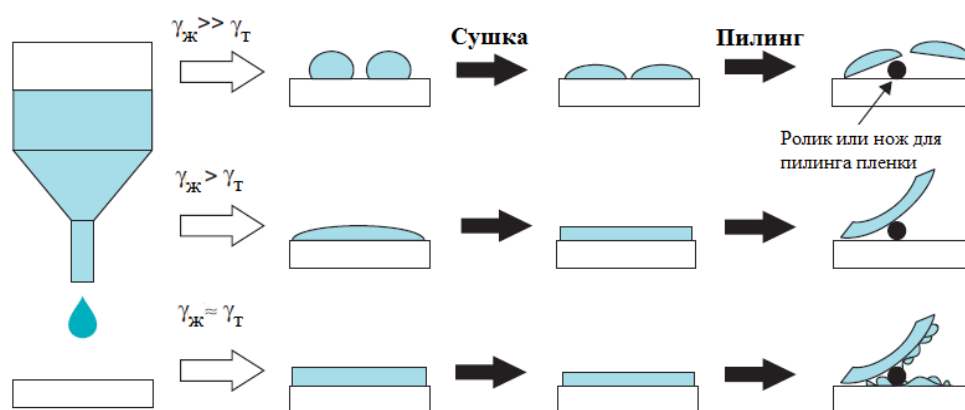


Рисунок 9– Влияние поверхностного натяжения раствора ($\gamma_{ж}$) на адгезию пленки в процессе пленкообразования. $\gamma_{т}$ – поверхностная энергия плоской твердой подложки такой как барабан или движущаяся лента

рошую адгезию в случае, если покрытие наносится на свеженарезанные фрукты. Для улучшения адгезии можно добавить пищевое ПАВ, чтобы снизить поверхностное натяжение [49]. Предложен оригинальный прием нанесения на поверхность фруктов или ягод не раствора, а порошка карбоксиметилцеллюлозы, которая адсорбирует влагу из пор и набухает, создавая барьерное покрытие, предотвращающее не только потерю влаги, но и препятствующее проникновению кислорода и изменению цвета продукта [50].

Помимо основных компонентов в состав композиции для получения покрытия или пленки должны входить пластификаторы (глицерин, пропиленгликоль, сорбитол, сахароза, полиэтиленгликоль, кукурузный сироп, вода), при необходимости – эмульгаторы (лецитин, твины (Tweens), спаны (Spans)); эмульсии липидов (съедобных восков, жирных кислот); вкусовые, антиоксидантные, antimicrobные добавки, витамины, красители и др.

Иногда в композицию дополнительно вводят сшивающие агенты [51]. Например, в формовочный раствор для производства пленки на основе желатина с глицерином в качестве пластификатора, вводят диальдегидкарбоксиметилцеллюлозу в качестве сшивающего агента. В результате увеличивается прочность и термостабильность, но уменьшается удлинение, водопроницаемость, набухание в воде вследствие сшивки макромолекул желатина. Как новое качество у полученных прозрачных пленок появились барьерные свойства по отношению к ультрафиолету. Упаковка пищевых продуктов в такую пленку позволяет увеличить срок их хранения за счет предотвращения реакций окисления, инициируемых УФ-излучением.

Способы введения непленкообразующих компонентов.

Способы введения функциональных добавок в формовочные растворы зависят от их агрегатного состояния и совместимости с основными полимерными компонентами. Так, если в водный раствор полисахарида или белка вводят растительные масла,

которые не растворимы в воде, то для их равномерного распределения в пленке необходимо эмульгирование, приводящее к образованию наноэмульсий. Описано получение наноэмульсий масел тимьяна, шалфея и лимонника (1% об.) в водных 3%-ных растворах альгината натрия с глицерином в присутствии эмульгатора TWEEN 80. Для получения наноэмульсий предложен специальный микрофлюидизатор, работающий при давлении 150 МПа. Модифицированные пленки по сравнению с исходной альгинатной пленкой имеют практически такую же прочность, но существенно большее относительное удлинение (до $78 \pm 5\%$ в случае масла шалфея). Для пленок, содержащих масла, был установлен факт снижения паропроницаемости и появление antimicrobных свойств [52].

Для введения в пленку хитозана нерастворимого в воде лекарственного препарата ибупрофена был разработан процесс, позволяющий вводить препарат в пленку из раствора в сверхкритическом диоксиде углерода под давлением. Сначала пленку хитозана получали методом сухого формования из раствора в 1% (об.) уксусной кислоте (рис. 10). Затем осуществляли введение ибупрофена при давлениях 10, 15, 20 и 25 МПа при 40 °С в специальной ячейке, где пленку помещали на дно ячейки на специальной подставке, оборачивали бумагой и вводили раствор ибупрофена в сверхкритическом CO₂. Полученные пленки предназначались для пероральной доставки ибупрофена через слизистую оболочку полости рта.

Как следует из данных рис. 11, морфология частиц ибупрофена зависит от рабочего давления. Так, на поверхности пленки 1 ибупрофен выглядит в виде микрочастиц, пленки 2 – в виде хлопьев, на пленках 3 и 4 наблюдались соответственно палочковидные и игольчатые частицы ибупрофена [53].

Для обеспечения безопасности и качества все пленкообразующие компоненты, а также любые функциональные добавки, такие как консерванты (antimicrobные агенты), антиоксиданты,

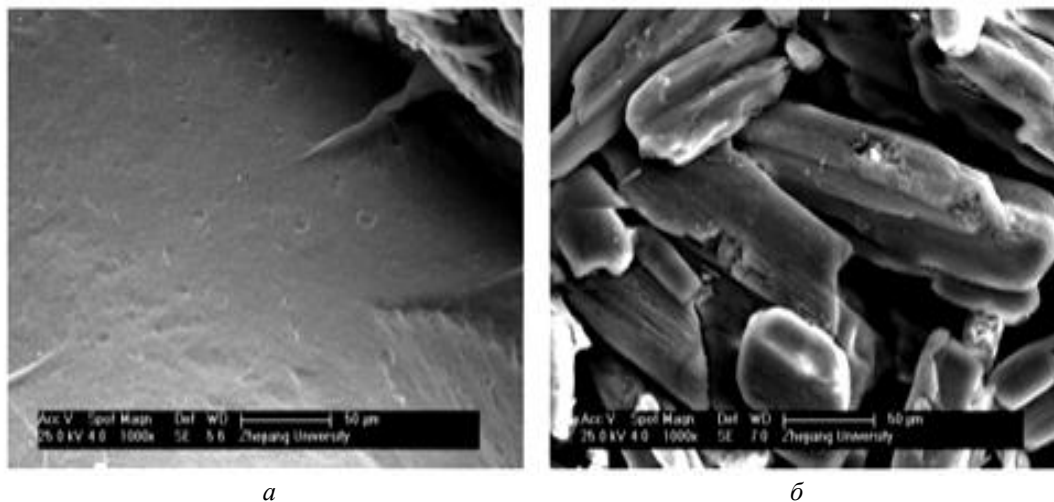


Рисунок 10 – Морфология поверхности хитозановой пленки без ибупрофена (а) и исходной субстанции ибупрофена (б)

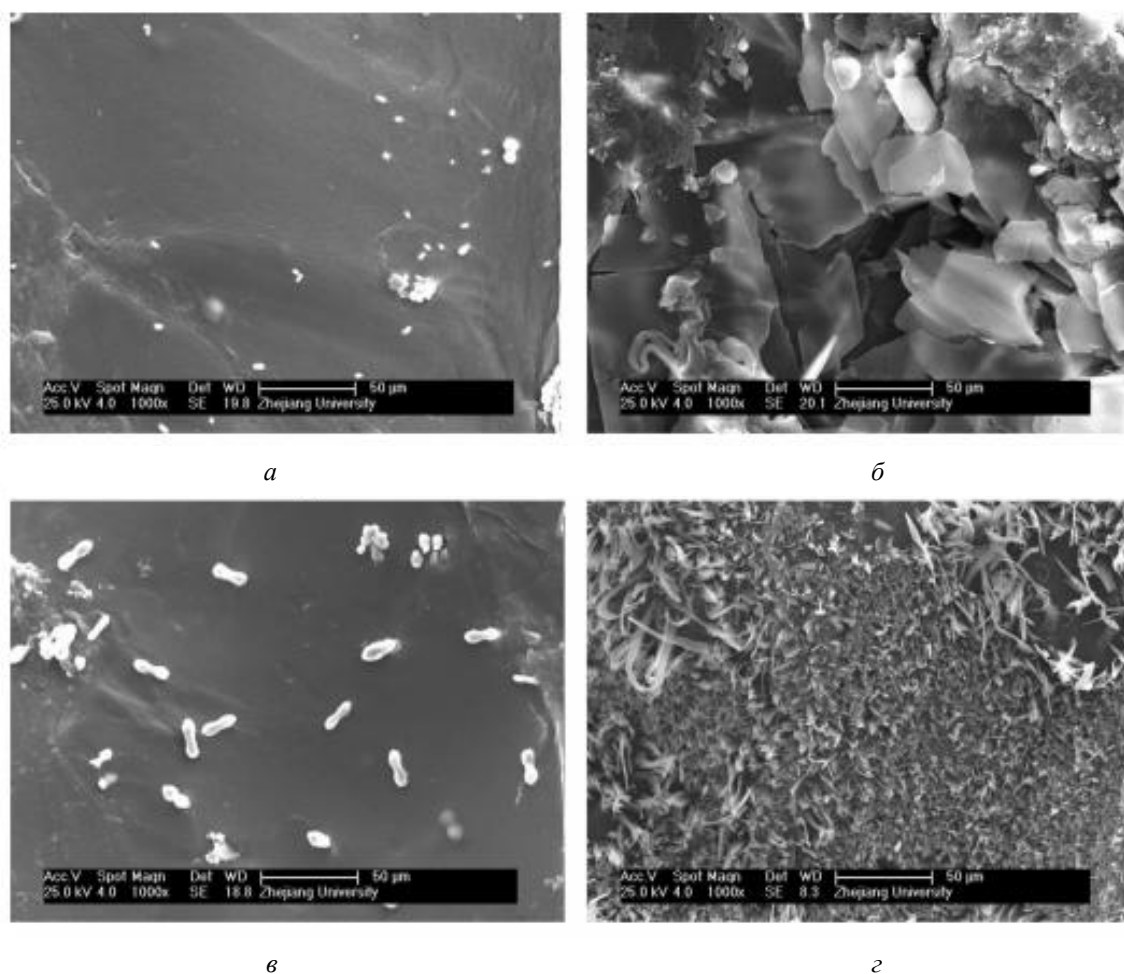


Рисунок 11 – Морфология поверхности пленок хитозана с ибупрофеном: а – пленка 1 (10 МПа, 40 °С); б – пленка 2 (15 МПа, 40 °С); в – пленка 3 (20 МПа, 40 °С); г – пленка 4 (25 МПа, 40 °С) [53]

стабилизаторы, красители, эмульгаторы, подсластители и т.д. должны быть пищевыми и нетоксичными. Кроме того, все оборудование должно быть приемлемым для пищевой промышленности в соответствии с правилами организации производства и контроля (GMP) [54, 55].

Основные функции съедобной упаковки

Барьерные свойства.

Одной из наиболее полезных функций съедобных пленок является наличие барьерных свойств по отношению к влаге, кислороду, диоксиду углерода, а также этилену (рис. 12). Пленка должна создавать атмосферу, обогащенную диоксидом углерода, но обедненную кислородом. Однако, если кислорода будет мало, то может проявиться анаэробное «дыхание», при котором сахар превратится в спирт и появится запах. Если кислорода будет более 9%, то начнется окисление растительных тканей и будет вырабатываться этилен, который способствует созреванию фруктов и овощей [13].

При определении влагопроницаемости съедобных пленок при 38 °С и 90%-ной относительной влажности было установлено, что плохие барьерные

свойства по отношению к влаге (10–100 г·м/м²) имеют пленки из высокоамилозного крахмала, коллагена, желатина, протеина сои, казеина, протеина сыворотки, средние (0,1–10 г·м/м²) характерны для пленок из метилцеллюлозы, гидроксипропилцеллюлозы, зеина, альгината натрия, глутена, казеина в сочетании с пчелиным воском, хорошие (0,01–0,10 г·м/м²) проявили пленки из пчелиного воска и композиции гидроксипропилметилцеллюлоза–пальмитиновая кислота–воск [15]. Для сравнения влагопроницаемость полиэтилена низкой плотности составляет 0,08 г·м/м². Поэтому покрытие на основе зеина, например, было предложено использовать для изюма, чтобы предотвратить миграцию влаги из изюма и сохранить качество сухих смесей, в которые вводится изюм. Аналогичный продукт под торговой маркой Cozeen от компании Zumbro INc. Nayfield сегодня используют для покрытия орехов, мяса, конфет [56]. В качестве примера приводятся данные об увеличении срока хранения орехов пекан в 3 раза при температуре 25 °С и относительной влажности 50%.

Как следует из данных табл. 1, барьерные свойства по отношению к кислороду, которые оценивали при 25 °С и 50% относительной влажности, оказались хорошими (проницаемость по кислороду

1–10 см³·мкм/(м²·сут·кПа)) для пленок коллагена, желатина, глютена, протеина сои, казеина, смеси казеина с пчелиным воском, протеина сыворотки, средними (10–100 см³·мкм/(м²·сут·кПа)) для пленок высокоамилозного крахмала, зеина, альгината натрия и

плохими (100–1000 см³·мкм/(м²·сут·кПа)) для протеина сыворотки, пчелиного воска, шеллака. Для сравнения – пленка на основе сополимера этилена и винилового спирта имеет проницаемость по кислороду в этих условиях всего лишь 0,1 см³·мкм/(м²·сут·кПа).

Таблица 1 – Механические свойства и газопроницаемость одно- и бикомпонентных съедобных пленок

Прочность и барьерные свойства съедобных пленок			
Низкая	Средняя	Высокая	Сверхвысокая
Прочность, МПа			
<1	1–10	10–100	>100
Концентрат орехового белка*	коллаген : целлюлоза* Na-казеинат* Ca-казеинат* сывороточный белок : сорбит яичный белок* соевый белок* зеин : ПЭГ глютен* сывороточный белок : пчелиный воск* соевый белок : жирные кислоты* гороховый белок*	сывороточный белок* рыбный (ихтио)белок* зеин* гороховый крахмал*	МЦ ГПМЦ амилоза
Удлинение, %			
<1	1–10	10–100	>100
Ca-казеинат*	МЦ ГПМЦ сывороточный белок : пчелиный воск*	коллаген : целлюлоза* Na-казеинат* сывороточный белок* сывороточный белок : сорбит рыбный белок * яичный белок * яичный белок : ПЭГ соевый белок* зеин : ПЭГ гороховый белок* амилоза	зеин* глютен* соевый белок : жирные кислоты* гороховый крахмал*
Коэффициент паропроницаемости, см ³ ·мкм/(м ² ·сут·кПа)			
>1000	1000–100	100–10	<10
крахмал*	МЦ ГПМЦ шеллак пчелиный воск большинство восков	коллаген зеин* соевый белок* яичный белок* ореховый белок*	глютен* соевый белок* сывороточный белок : сорбит гороховый крахмал*
Стойкость к проникновению паров воды, г·м/м ²			
>10	10–1	1,0–0,1	<0,1
Na-казеинат* Ca-казеинат* сывороточный белок : сорбит яичный белок* сывороточный белок* ореховый белок* соевый белок* соевый белок : жирные кислоты* зеин* гороховый белок* гороховый крахмал*	глютен * глютен : пчелиный воск * Ca-казеинат : пчелиный воск сывороточный белок : пчелиный воск : сорбит сывороточный белок : пчелиный воск *	шеллак шоколад	сывороточный белок : пчелиный воск* соевый белок : жирные кислоты* пчелиный воск парафин большинство восков
<p><i>Сывороточный белок</i> – изолят белка сыворотки; <i>соевый белок</i> – изолят соевого белка; <i>зеин</i> – кукурузный зеин; <i>глютен</i> – пшеничный глютен; <i>рыбный белок</i> – рыбный миофибриллярный белок; <i>гороховый крахмал</i> – высокоамилозный гороховый крахмал; <i>ореховый белок</i> – концентрат орехового белка; МЦ – метилцеллюлоза; ГПМЦ – гидроксипропилметилцеллюлоза; ПЭГ – полиэтиленгликоль.</p>			

Из представленных в табл. 1 пленок заслуживает внимания съедобная пленка на основе глютена. Глютен в последнее время стал своего рода «страшилкой» для потребителей, хотя большинство из них не знает, с чем это связано. А связано это с тем, что приблизительно 0,5–1,0% населения в мире

имеют склонность к заболеванию целиакией (глютенная энтеропатия), которая выражается в нарушении пищеварения, вызванного присутствием в продуктах глютена. Глютен (сухая пшеничная клейковина) получают методом влажной экстракции из муки всех небелковых компонентов. Он относится к

глобулярным белкам, нерастворимым в воде и растворимым в средах с высоким значением pH. Описано покрытие на основе глютена, которое увеличивает срок хранения яиц до 30 суток [57]. Такими же глобулярными белками, как и глютен, являются протеины сои.

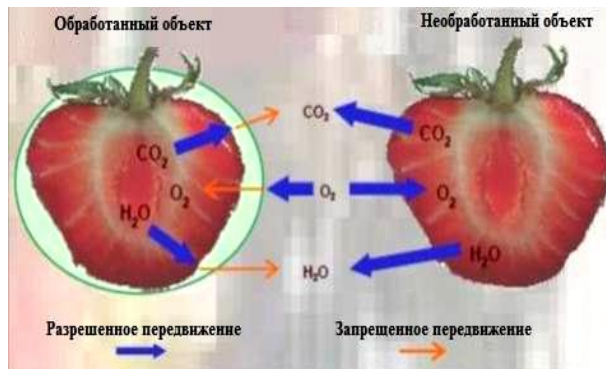


Рисунок 12 – Схема газопроницаемости фруктов и овощей [18]

Большинство из них нерастворимо в воде, но растворимо в нейтральных солевых растворах. Кислородопроницаемость у соевых пленок мала и соизмерима с кислородопроницаемостью пленок из распространенных полимеров, однако их паропроницаемость слишком велика, и это ограничивает возможность их широкого использования. С целью снижения паропроницаемости в состав композиций вводят жирные кислоты (лауриновую, миристиновую, пальмитиновую, олеиновую). Уменьшение паропроницаемости одновременно приводит и к некоторому снижению растворимости пленок в воде. Полученные композиции рекомендованы для упаковки пищевых продуктов из мяса, птицы, рыбы, сухих завтраков, десертов и др. Например, на основе водной дисперсии, состоящей из соевого и некоторых других белков – в частности, казеина, коллагена, яичного белка, желатина, полисахаридов (крахмала или производных целлюлозы), – а также многоатомных спиртов (глицерина, сорбита, манита, пропиленгликоля), в настоящее время производят съедобный упаковочный материал для ветчины, сосисок и других мясных продуктов. Упакованная в такой материал ветчина может успешно

храниться без отделения влаги при температуре минус 5 °С. Как следует из данных табл. 1, хороший барьер для влаги представляют липидные покрытия, но именно благодаря гидрофобной неполимерной природе они имеют низкие механические свойства. В таблице они представлены различными восками, из которых самым гидрофобным является пчелиный воск. Помимо него используют и другие натуральные воски, например, карнаубский воск (*carnauba wax*), экстрагируемый из листьев пальмы (*Coccotheca cecifera*), а также из листьев мексиканского кустарника (*Candelilla shrub*). Они используются для уменьшения газо- и влагопроницаемости (покрытия на кожице фруктов), придания блеска поверхности конфет и т.д. Если покрытия толстые, то они не являются съедобными и их перед употреблением продукта следует удалить. Съедобны только тонкие покрытия. Здесь следует отметить, что вполне возможно, что в недалеком будущем благодаря интенсивным исследованиям, которые сегодня ведутся в области создания съедобной упаковки, можно будет полностью отказаться от восковых покрытий и не задумываться о том, какова их толщина. Так, сегодня компания BASF предложила съедобное покрытие Freshseal CHC на основе природного биополимера для упаковки зеленых томатов, перцев и их созревания в атмосфере этилена. Проведенные испытания показали, что по сравнению с необработанными овощами, потери при хранении овощей, покрытых Freshseal CHC, были меньше в 2,5 раза, в то время как овощи, покрытые синтетическим воском, имели потерь всего в 1,5 раза меньше, чем необработанные. В итоге, через две недели хранения, образцы в съедобной упаковке были не только более твердыми, но и, что очень важно для массового производства, созревали более равномерно, а при разрезании оказались более сочными (рис. 13) [58]. Вполне возможно, что в данном случае для создания покрытия на поверхности томатов использовался хитозан, который образует на поверхности овощей и фруктов гибкие однородные пленки, способные регулировать газообмен и воздействовать на фитопатогенную микрофлору, угнетая ее [59].

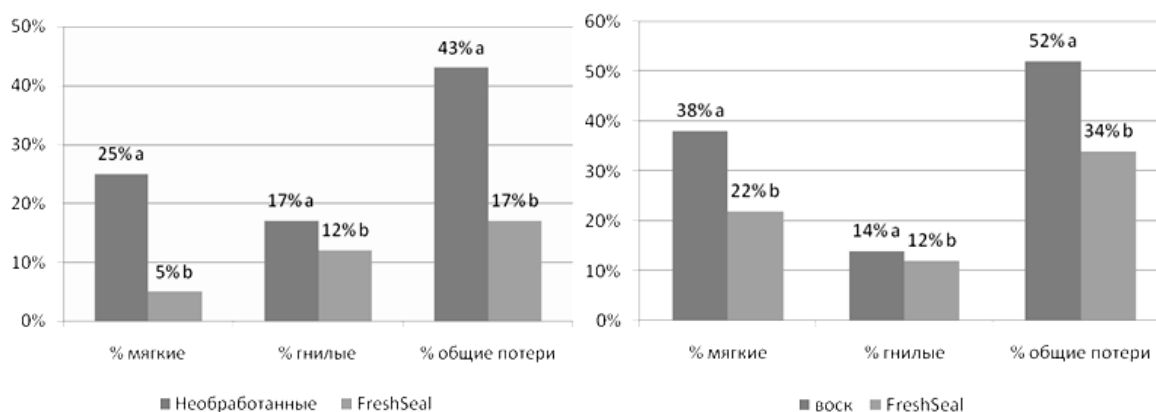


Рисунок 13 – Результаты исследования качества и внешнего вида томатов сорта Mature Green, необработанных и обработанных покрытием Freshseal CHC на 14 день хранения (слева); обработанных воском и покрытием Freshseal CHC на 18 день хранения (справа)

Съедобные пленки и покрытия могут также применяться в качестве антижирового барьера при обжарке продуктов. При этом приемлемы два способа их нанесения, первый заключается в формировании пленки на поверхности продуктов, второй – во введении полимеров, чаще гидроколлоидов, в состав жидкого теста для панировки (кляра). К покрытию для продуктов, обжариваемых во фритюре, предъявляются жесткие требования. Оно должно иметь низкую влаго- и маслопроницаемость, быть эластичным, прочным и не образовывать трещин в процессе хранения. Такая оболочка сглаживает поверхность продукта, уменьшает количество пустот в нем, что позволяет сократить количество испаряемой влаги и снизить уровень впитывания жира. Для данной цели наиболее подходят простые эфиры целлюлозы, такие как метилцеллюлоза и гидроксиметилпропилцеллюлоза. Использование съедобных пленок для уменьшения поглощения жира при жарке во фритюре в настоящее время достаточно популярно.

Пленки на основе метилцеллюлозы, гидроксипропилметилцеллюлозы, гидроксипропилированного крахмала, пектина и др. используют в качестве покрытия мясных, рыбных продуктов, картофеля, луковых колец и т.п. при жарке для двукратного уменьшения поглощения масла. Для этого предлагаются оригинальные композиции, например, компания Beloit разработала покрытие FryShield, которое получается при смешении раствора низкометоксилированного пектина с хлебными крошками, содержащими хлорид кальция [61]. В Японии для аналогичной цели начали использовать микробиальный полисахарид – геллановую камедь KELGOGEL, которую производят микроорганизмы *Pseudomonas elodea* [62–64]. Этот полимер стал известен только в последнее десятилетие, но по своим свойствам, в частности способности образовывать гели в присутствии солей, он похож на альгинат, хотя в отличие от него может образовывать гели с различными ионами, например, ионами натрия, а не только кальция. Предлагается использовать смесь ацилированной и деацилированной формы геллановой камеди с аскорбиновой кислотой для получения съедобной пленки с антиоксидантными свойствами [65]. Показано, что увеличение содержания в пленке деацилированного полимера и ионов кальция повышает способность аскорбиновой кислоты подавлять процесс ферментативного побурения, которое приводит к появлению коричневого цвета, например, при хранении нарезанных яблок. Такое изменение цвета продукта не влияет на вкус, но не удовлетворяет эстетическим потребностям покупателя. Еще одно направление применения съедобных пленок – это упаковка свежесмытых ягод, нарезанных фруктов и других продуктов «ready-to-eat» (RTE, т.е. готовых к употреблению). Расширение возможностей использования RTE продуктов связано с еще одной важной функцией съедобных пленок и покрытий – антимикробной.

Антимикробная функция съедобной упаковки, предполагающая наличие бактерицидных и фунги-

цидных свойств, весьма востребована сегодня вследствие изменения образа жизни современных покупателей, готовых к употреблению очищенных пищевых продуктов. Такие продукты должны иметь длительный срок хранения, быть микробиологически безопасными. Ведь именно они являются наиболее скоропортящимися и наиболее подвержены заражению патогенными микроорганизмами. В этом случае они могут стать причиной появления проблем со здоровьем и распространения массовых заболеваний. Поэтому, съедобные антибактериальные пленки и покрытия привлекают столь пристальное внимание исследователей и компаний пищевой промышленности [66].

Антимикробные съедобные пленки и покрытия имеют ряд преимуществ и представляют собой инновационную концепцию биоразлагаемых активных упаковок с большими перспективами применения в области консервирования пищевых продуктов. Они сегодня разрабатываются для того, чтобы ингибировать рост микроорганизмов на поверхности продуктов. Использование таких упаковочных материалов не может заменить соблюдение необходимых санитарных требований, однако может повысить безопасность продуктов, поскольку они дополнительно препятствуют росту патогенных микроорганизмов. На создании съедобных пленок и покрытий с антимикробными свойствами в последнее десятилетие сосредоточены усилия многих ученых. Исследования направлены на введение в пленки полисахаридов или белков природных или синтетических пищевых добавок, уменьшающих рост микроорганизмов в свежих и прошедших обработку продуктах.

Исследования по оценке антимикробной активности съедобных пленок и покрытий, наносимых на пищевые продукты, были проведены на популяциях *L. monocytogenes*, *Salmonella*, и *E. Coli* (табл. 2), т.к. именно эти патогены вызывают вспышки болезней пищевого происхождения, появляясь на продуктах как в результате недостаточной предпродажной обработки, так и в результате загрязнения во время обработки. Представленные в табл. 2 пленки и покрытия ингибируют рост аммонифицирующих (гнилостных) микроорганизмов за счет создания атмосферы, обеспечивающей физико-химическую и микробиологическую стабильность продукта путем замедления проникновения влаги, ароматических веществ и регуляции газообмена.

Как следует из данных табл. 2 и литературных данных, особое внимание разработчиков и исследователей уделяется такому полисахариду как хитозан. Его растворы дают однородные, гибкие пленки, которые обладают антибактериальными свойствами. На продуктах с таким покрытием микробы и другие микроорганизмы не размножаются. Профессор Янюн (Yanyun Zhao) из университета Орегона в США и специалисты из университета Дели используют это свойство для увеличения срока хранения свежих фруктов и расширения экспорта местных продуктов, в частности, манго, нарезанных яблок и черники [67].

Таблица 2 – Антибактериальные свойства съедобных пленок и покрытий

Состав		Продукт	Патогенный микроорганизм
Пленка	Покрытие		
Изолят сывороточного белка (WPI)	Изолят сывороточного белка (WPI)	Болонская колбаса, сырокопченая колбаса, хот-доги, сосиски из индейки, копченый лосось, сыр	<i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella typhimurium</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas</i> spp. [68–73]
Молочный белок	–	Мясо говядины	<i>E. coli</i> O157:H7, <i>Pseudomonas</i> spp. [74]
Хитозан	Хитозан	Жареная говядина, мясо индейки, жареная индейка	<i>L. monocytogenes</i> , <i>L. innocua</i> [75–77]
Желатин	–	Свинина	<i>E. coli</i> O157:H7, <i>L. monocytogenes</i> [78]
Соевый белок	–	Говяжий фарш	<i>E. coli</i> O157:H7, <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> [79]
Альгинат	–	Бекон	<i>E. coli</i> O157:H7, <i>L. monocytogenes</i> [80]
–	Кукурузный глютен (Zein)	Куриные грудки	<i>L. monocytogenes</i> [81]
Желатин	Желатин	Турецкая Bologna, ломтики лосося холодного копчения и филе	<i>L. monocytogenes</i> [82]
Картофельный крахмал	–	Лосось холодно копчения	<i>L. monocytogenes</i> [83]
–	Альгинат	Свежие яблоки, дыни, лосось холодного копчения и филе; ломтики говядины, жареная индейка	<i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella anatum</i> ; <i>L. innocua</i> , <i>Salmonella enteritidis</i> ; <i>E. coli</i> O157:H7; <i>Staphylococcus aureus</i> [84–89]
Хитозан	Хитозан	Свиные колбаски, свинина, сыр, гамбургеры, куриные грудки, нарезанное манго, атлантическая треска, сельдь, индийская сардина, морской окунь	Mesophilic microorganisms, psychrotrophic, yeasts and molds, lactic acid bacteria, coliforms, H2S-producer organisms, luminescent organisms, <i>Pseudomonas</i> , Enterobacteriaceae, <i>IBrochothrix thermosphacta</i> [90–97]

В съедобные пленки и покрытия на основе полисахаридов и белков добавляют также такие антимикробные вещества как органические кислоты (лимонная, яблочная, лауриновая, пропионовая, винная и т.д.), их соли, которые инактивируют рост микроорганизмов, проникая в липидный бислой мембран, ферменты (лизоцим, овотрансферин), растительные экстракты, эфирные масла растений (орегано, коричное, лимонное, горчичное, чесночное и др.). В отличие от жирных растительных масел эфирные масла представляют собой многокомпонентные смеси летучих органических соединений (ароматических, алициклических и алифатических карбонильных соединений, спиртов, кислот, эфиров и т.д.), вырабатываемых в особых клетках различных растений и обуславливающих их запах. Часто в этой смеси преобладает один или несколько основных компонентов. Называются эфирные масла, как правило, по видам растений, из которых они получают (розовое, гераниевое, лавандовое и т.д.), реже – по главному компоненту (камфорное, эвгенольное, терпентинное).

Природные антимикробные компоненты растительного, животного и микробного происхождения являются в настоящее время наиболее предпочтительными, так как эти вещества не наносят вред человеку. Среди соединений этой группы наибольшей

популярностью в последнее время пользуются эфирные масла растений. Например, формовочные композиции на основе зеина готовят его растворением в этиловом спирте (зеин в воде не растворим) с добавлением глицерина, затем в систему вводят органическую кислоту из группы галловая, ванилиновая, коричная в количестве от 0,03 до 0,9 г на грамм раствора. Наряду с кислотами вводили эфирные масла (тимоловое, эвгеноловое, цитралевое) или растительные экстракты чеснока, орегано, артишока, скорлупы грецких орехов. Для большинства исследованных пленок введение активных соединений привело к уменьшению прочности при растяжении и снижению модуля Юнга при увеличении относительного удлинения. Значительное снижение наблюдалось только при высоких концентрациях добавки: до 4 мг/см² в готовой пленке [55].

В работе [99] было исследовано влияние эфирных масел мексиканского орегано, коры корицы и лимонника на антибактериальные свойства пленок крахмала, амарантовой муки и хитозана по отношению к микроорганизмам *Penicillium digitatum* и *Aspergillus niger*. Как и следовало ожидать, наибольшим антибактерицидным эффектом обладают хитозановые пленки толщиной от 5,33 ± 0,836 до 13,26 ± 0,414 мкм, а среди них – пленки, содержа-

щие масло мексиканского орегано и коры корицы (рис. 14). Покрытия на основе гидрофобизованного хитозана, имеющие в своем составе в качестве антимикробной добавки лимонен (1-метил-4-изопропенилциклогексен-1) позволили существенно увеличить срок хранения клубники (рис. 15) [59].

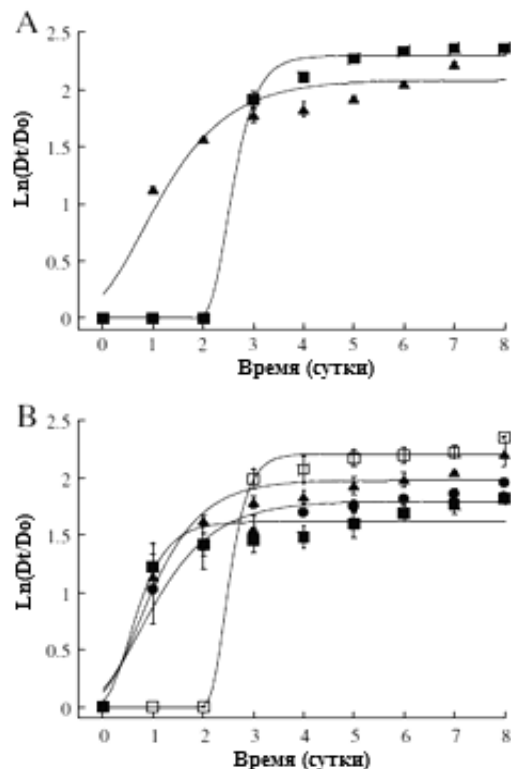


Рисунок 14 – Влияние исходных (▲) и содержащих добавки эфирных масел хитозановых пленок: масла коры корицы 0,25% (■), мексиканского орегано 0,25% (●), лимонника 4,00% (□) на рост *Aspergillus niger* (А) *Penicillium digitatum* (В).

D_t – средний диаметр колонии в момент времени t и D_0 – средний диаметр колонии в начальный момент времени

Необходимо отметить, что за всю современную историю получения и применения съедобных покрытий, несмотря на большое разнообразие предлагаемых вариантов, порой достаточно неожиданных, не возникало проблем с уменьшением питательной ценности пищевых продуктов или ухудшением здоровья потребителей [100, 101]. Например, было

предложено использование съедобных пленок в качестве клеевой основы для приправ. При этом сначала на орехи, крекеры и другие закуски наносили слой раствора полимера, а затем приправы, не используя жир. В табл. 3 представлены примеры использования съедобных пленок и покрытий для упаковки различных пищевых продуктов.

Сегодня интенсивно ведутся исследования по поиску новых композиций, по изучению зависимости основных свойств съедобных пленок от состава формовочных растворов: прочности при разрыве и относительного удлинения, влаго- и газопроницаемости, антибактериальной активности, скорости диффузии компонентов в и из пленки, термостойкости, проводят также ИК-спектроскопические исследования взаимодействия компонентов, составляющих пленку, изучают морфологию поверхности и особенности структуры пленок [169–172].



Рисунок 15 – Внешний вид клубники, покрытой гидрофобизованной пальмитоилхлоридом хитозановой пленкой, содержащей в качестве антимикробной добавки лимонен (1-метил-4-изопропенилциклогексен-1) и Tween 80 в качестве эмульгатора [59]

Таблица 3 – Примеры использования съедобных пленок и покрытий

Материал съедобных пленок и покрытий	Продукты питания
Фрукты и овощи	
Альгинат натрия + пектин+ коричный альдегид	Ананас [102]
Альгинат натрия	Грибы [103], вишня [104]
Альгинат натрия + подсолнечное масло + аскорбиновая и лимонная кислоты	Манго [105]
Альгинат натрия + сорбат калия	Хурма [106]
Альгинат натрия + подсолнечное масло/ альгинат натрия + желлановая камедь	Ананас [107]
Альгинат натрия+ циклодекстрин + пектин + коричный альдегид + лактат кальция	Арбуз [108]
Альгинат натрия+ пюре черешни + кукурузный сироп	Черешня (барбадосская вишня) [109]
Крахмал маниоки	Клубника [110]

Продолжение таблицы 3

Материал съедобных пленок и покрытий	Продукты питания
Фрукты и овощи	
Крахмал маниоки + перманганат калия + лактат кальция + глицерин + полиэтиленгликоль	Хурма [106]
Крахмал маниоки + минеральное масло	Мандарины [111]
Крахмал маниоки + кукурузный крахмал	Тыква [112]
Рисовый крахмал + кокосовое масло + экстракт чая	Томат [113]
Крахмал тапиоки + аскорбиновая кислота + масло корицы	Яблоки [114]
Кукурузный крахмал + пчелиный воск	Малина [115]
Крахмал + цветок мускатного ореха + растительное масло	Гранат [116]
Хитозан + уксусная кислота	Спаржевая фасоль [117], гранат [118], нарезанные яблоки [121]
Хитозан	Брокколи [119], хурма [120]
Хитозан + уксусная кислота + олеиновая кислота/ пчелиный воск + казеинат кальция + олеиновая кислота	Сушеный ананас [121]
Хитозан + пальмовый стеарин + уксусная кислота	Карамбола (фрукт) [122], [124]
Хитозан/ многослойный пектин	Папайя [125]
Хитозан + крахмал	Апельсин (ponkan) [126]
Хитозан + арабская камедь	Банан, папайя [127]
Карбоксиметилцеллюлоза + подсолнечное масло	Муртилла [128]
Карбоксиметилцеллюлоза	Клубника [129], дуриан [130]
Карбоксиметилцеллюлоза + лимонная кислота	Мандарины [131]
Карбоксиметилцеллюлоза + лимонная кислота + полиэтиленгликоль 400	Хурма [106]
Карбоксиметилцеллюлоза + каррагинан	Грибы [132]
Гидроксипропилметилцеллюлоза + шеллак + пчелиный воск	Мандарин [133]
Каррагинан	Папайя [134]
Пектин + лактат кальция	Дыня [135]
Пектин + эфирное масло корицы	Персик [136]
Пектин + пчелиный воск	Манго [137]
Пальмовое масло	Гуава [138]
Трагакантовая камедь + алоэ вера + лимонная кислота	Грибы [139]
Казеинат кальция + пчелиный воск + олеиновая кислота	Сушеный ананас [121]
Казеинат кальция + изолят белка молочной сыворотки	Клубника [140]
Изолят соевого белка	Яблоки [141]
Желатин + сорбат калия + глицерин	Хурма [106]
Желатин + карбоксиметилцеллюлоза	Гуава [142]
Белок рисовых отрубей + экстракт семян грейпфрута	Клубника [143]
Воск + кокосовое масло/ горчичное масло/ кунжут масло/ касторовое масло	Лимон [144]
Карнаубский воск + минеральное масло	Томат [145]
Эмульсия пчелиного воска	Сладкий перец, манго и авокадо [146]
Многослойный нанополиэлектролит	Манго [147]
Полимер на основе сахарозы	Мандарин [148]
Бобовые и орехи	
Карбоксиметилцеллюлоза; камедь кордии (Cordia)	Кедровый орех [149]
Карбоксиметилцеллюлоза, метилцеллюлоза, изолят белка молочной сыворотки	Арахис [150]
Изолят соевого белка + карбоксиметилцеллюлоза + катехин	Грецкий орех [151]
Гороховый крахмал + изолят белка молочной сыворотки + карнаубский воск	Грецкий орех, кедровый орех [152]
Молочные изделия и закуски	
Изолят белка молочной сыворотки	Сыр [153]
Пектин + карбоксиметилцеллюлоза + гуаровая камедь + ксантановая камедь	Жаренные картофельные полоски [154]
Красные водросли	Сыр [145]

Окончание таблицы 3

Мясо, птица и рыба	
Выделенный сывороточный протеин + эфирные масла	Сушеная рыба [155]
Хитозан + уксусная кислота + чайный полифенол	Карп [156]
Хитозан + гидролизат рыбных мышц	Карп [157]
Крахмал (картофельные отходы) + эфирное масло орегано	Копченый лосось [158]
Белок ячменных отрубей + желатин	Лосось [159]
Карбоксиметилцеллюлоза + экстракт розмарина	Говядина [160]
Белок молочной сыворотки	Замороженный анчоус [161], замороженный лосось [162]
Белок из семян хлопка+ наноглина + карвакрол	Бекон [162]
Материал съедобных пленок и покрытий	Продукты питания
Мясо, птица и рыба	
Желатин + пробиотики	Охлажденный хек [163]
Яблочное/томатное пюре + коричный альдегид/ карвакрол	Запеченная курица [164]
Обезжиренная горчичная мука + кантановая камедь	Копченый лосось [165]
Красные водоросли + экстракт семян грейпфрута	Бекон [167]
Альгинат натрия + эфирное масло мяты	Радужная форель [168]

Основные направления исследований съедобных пленок и покрытий

Можно выделить два основных направления в области исследования съедобных пленок и покрытий. Во-первых, исследование реологических свойств и стабильности растворов, особенно в тех случаях, когда формовочная композиция является раствором двух или более полимеров, или дисперсной системой типа суспензии, эмульсии, наноэмульсии. Во-вторых, изучение механических, оптических, термических свойств, влаго- и газопроницаемости, растворимости в воде, маслястости, морфологии и микроструктуры поверхности пленок и покрытий, антимикробных свойств и др.

Из широкого круга исследованных к настоящему времени полимеров для производства съедоб-

ных пленок и покрытий наибольший интерес вызывают крахмал и хитозан. Это доступные биodeградируемые нетоксичные биополимеры с возобновляемым сырьевым ресурсом, применяющиеся в пищевой и фармацевтической промышленности.

Съедобные пленки на основе крахмала.

Крахмал является одним из самых перспективных биополимеров для производства съедобных пленок вследствие низкой стоимости, возобновляемой и разнообразной сырьевой базы, термопластичности и доступных способов переработки в пленку или покрытие. Крахмал состоит из амилозы и амилопектина. Амилоза – неразветвленный полисахарид, включающий 200–300 остатков глюкозы, связанных α -1,4-гликозидной связью. Благодаря α -конфигурации глюкозного остатка, полисахаридная цепь имеет конформацию спирали. Амилопек-

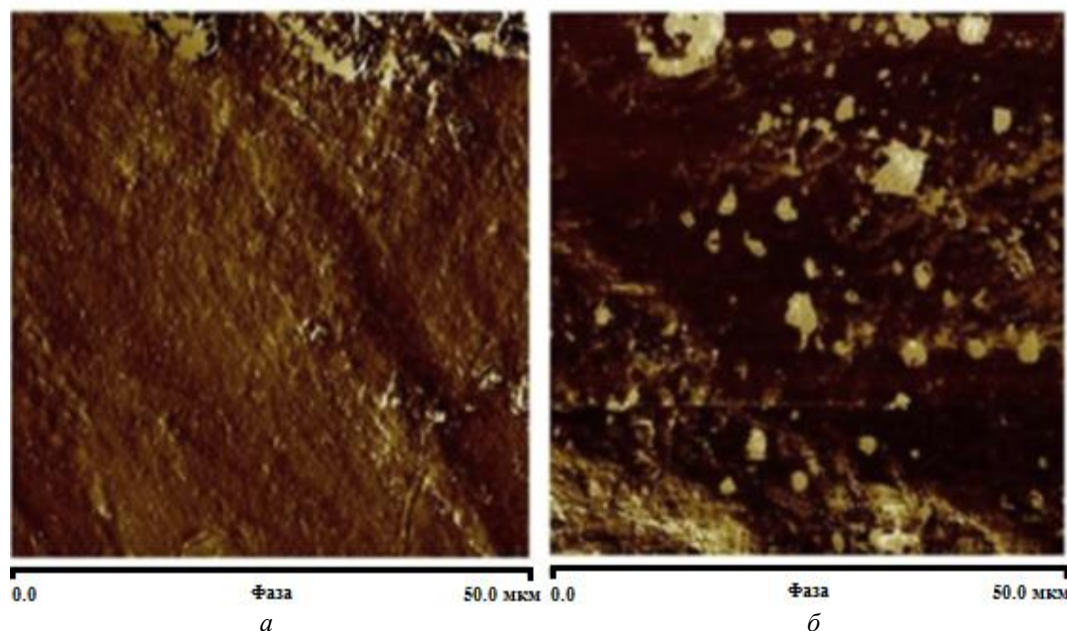


Рисунок 16 – АСМ фазовое изображение пленки кукурузного крахмала без (а) и с пластификатором Span 40 (б) [174]

тин имеет разветвленную структуру. В местах ветвления остатки глюкозы соединены α -1,6-гликозидными связями. Линейные участки содержат примерно 20–25 остатков глюкозы. К сожалению, низкая механическая прочность и высокая проницаемость паров воды, обусловленная гидрофильностью крахмала, а также способность к ретроградации, которая проявляется в изменении механических свойств с течением времени, требуют улучшения характеристик крахмальной пленки.

Изменения фазовой структуры крахмала с течением времени были исследованы с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), которая показала, что по мере хранения крахмальной пленки на основе маисового крахмала на кривой ДСК проявляется пик, соответствующий эндотермическому превращению в области 50 °С, который со временем хранения становится уже и характеризуется увеличением энтальпии. Этот процесс авторы связывают с кристаллизацией коротких цепей (фрагментов макромолекул), имеющих в образце, и рекристаллизацией длинных цепей амилозы и боковых цепей амилопектина [173]. Присутствие малых добавок различной природы, например, пластификатора сорбитола или подсолнечного масла, лимитирует протекание кристаллизационных процессов и обеспечивает стабильность свойств пленки во времени.

Кроме того, было показано, что на свойства крахмальных пленок влияет введение поверхностно-активных веществ [174]. Например, сорбитан монопальмитат (span 40), моностеарат (span 60) и моноолеат (span 80), введенные в систему кукурузный крахмал: глицерин состава 1:0,25 при молярном отношении ПАВ: крахмал = 0,15:1, обеспечивают образование микрогетерогенных систем, которые различаются распределением частиц по размерам, дзета-потенциалу, реологическим характеристикам. Введение ПАВ приводит к изменению микроструктуры пленок: в них появляются мицеллы ПАВ и включения нано- или микроразмерных комплексов амилозы с ПАВ в виде дискретных частиц в непрерывной крахмальной матрице (рис. 16). Введение ПАВ обеспечивает повышение эластичности пленок, уменьшение проницаемости паров воды и повышение проницаемости по кислороду.

Помимо обычных ПАВ в состав крахмальных пленок вводят высшие жирные кислоты, которые, по сути являясь ПАВ, по общепризнанной классификации съедобных пленок входят в группу липидов. Так, для повышения гидрофобности крахмала и придания ему antimicrobial свойств были изготовлены наноэмульсии олеиновой кислоты в амилозном, ацелированном или окисленном крахмале [175]. Эти композиции содержали три природных antimicrobial добавки: лактоновую кислоту (ЛК), низин (НИЗ) и лауриларгинат (ЛА) (рис. 17). Как следует из данных рис. 18, antimicrobial добавки в композиции проявляют ту же активность, что и в индивидуальном виде.

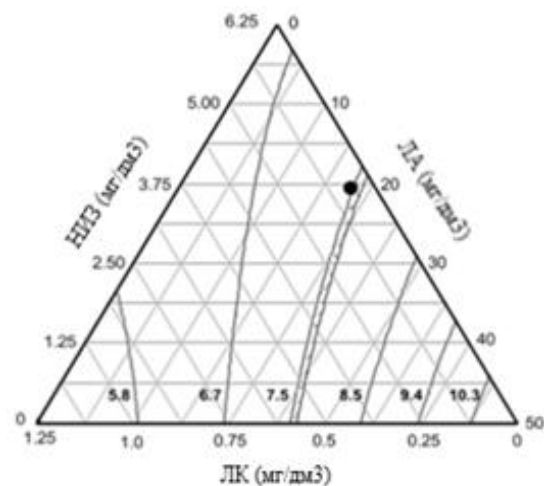


Рисунок 17– Треугольная диаграмма состав – свойство, характеризующая микробиологическую активность тройных смесей ЛК, НИЗ и ЛА. Черная точка соответствует составу ЛК 1,25 мг/дм³, НИЗ 6,25 мг/дм³, ЛА 50 мг/дм³

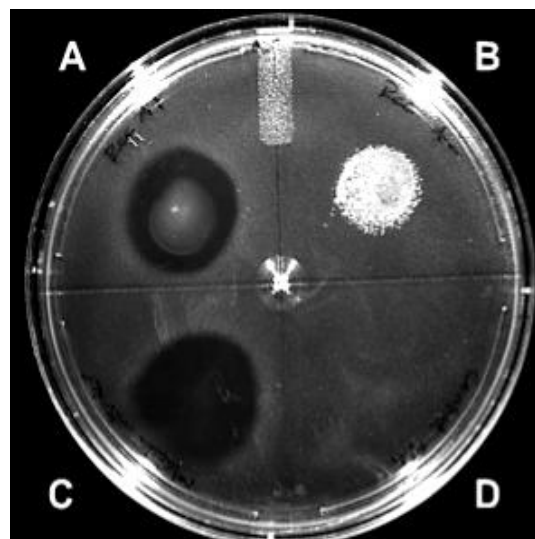


Рисунок 18 – Ингибирование *L monocytogenes*. А – наноэмульсия с антимикробными добавками; В – без антимикробных добавок, С – смесь антимикробных добавок ЛК, НИЗ и ЛА; D – контроль

Методика приготовления наноэмульсий включала растворение олеиновой кислоты в горячей воде в присутствии Tween 80. Затем систему подвергали ультразвуковой обработке. Вследствие высокого значения электрокинетического потенциала ($-35,08 \pm 1,26$ мВ) полученные наноэмульсии были стабильны в течение 4 месяцев. Средний размер частиц олеиновой кислоты составил $95,9 \pm 4,8$ нм. Antimicrobial активность формовочных композиций для получения съедобных покрытий оценивали *in vitro* методом диффузии в агар. На основании полученных данных построили треугольные диаграммы (рис. 17), на которых изображены линии, соответствующие составам тройной системы антибактериальных добавок, обеспечивающим одинаковую эффективность действия (диаметр зоны ингибирования роста бактерий *Brochotrix thermosphacta* в геле агара – цифры на кривых). Как было указано ранее, активность смесей добавок в пленке не уменьшилась.

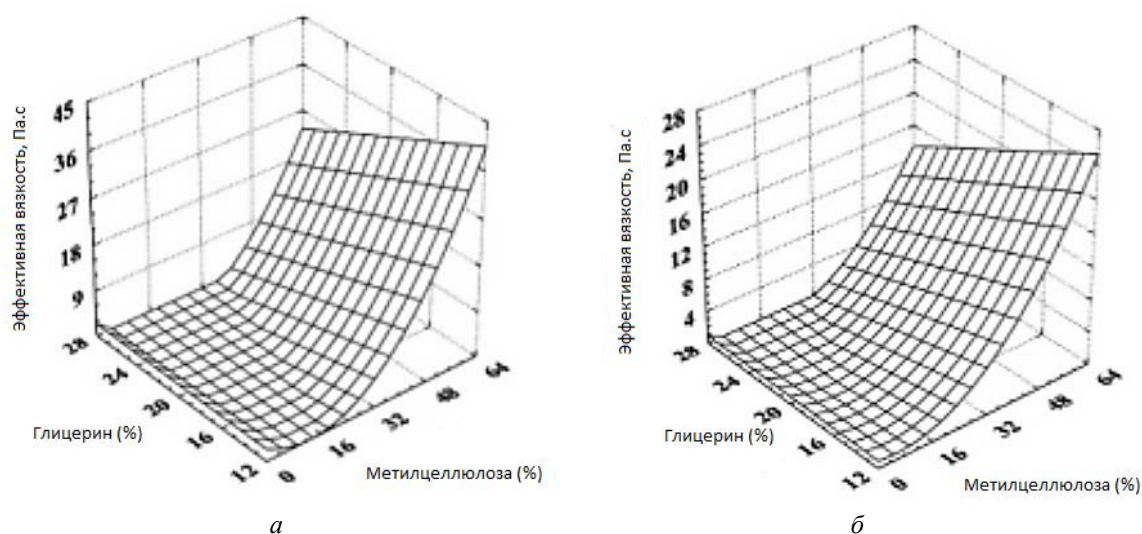


Рисунок 19 – Зависимость эффективной вязкости (а) и модуля упругости (б) растворов крахмала от содержания МЦ [177]

Включение в состав крахмальных пленок антимикробных белков (лактоферрина и лизоцима) оказало влияние на структурные и физические свойства пленок картофельного крахмала и повлияло на их термическое поведение. Авторы [176] считают, что повышение температуры стеклования свидетельствует об определенной совместимости компонентов, хотя с этим вряд ли можно согласиться, поскольку часть белковых молекул мигрировала к поверхности, где они были зафиксированы в виде сферических образований. Введение белков привело к уменьшению прозрачности, повышению хрупкости, хотя и повысило температуру разложения модифицированных пленок. Это может способствовать расширению температурной области их переработки и эксплуатации. Упаковка в пленки позволила снизить общее число колиформных бактерий в мясном свином фарше. Одновременно снизилась степень окисления жира при длительном (до 5 недель) хранении.

Помимо полимеров белковой природы крахмал может быть модифицирован введением в его растворы второго полимера полисахаридной природы, например, метилцеллюлозы. В частности, объектом исследования в работе [177] служили формовочные композиции, содержащие крахмал, глицерин и метилцеллюлозу (МЦ). Было показано, что такие растворы проявляют псевдопластическое поведение в условиях эксперимента, т.е. демонстрируют уменьшение эффективной вязкости с ростом напряжения сдвига. При содержании МЦ в композиции менее 31% реологические свойства описываются уравнением Хершеля–Балкли, а при увеличении концентрации МЦ более подходящим оказывается уравнение Кросса, которое учитывает дополнительный вклад пластичности второго компонента в реологическое поведение системы. Авторы отмечают, что именно МЦ определяет величину вязкости всей системы в целом. Вязкость растет с ростом содержания МЦ в системе и уменьшается с увеличением количества глицерина.

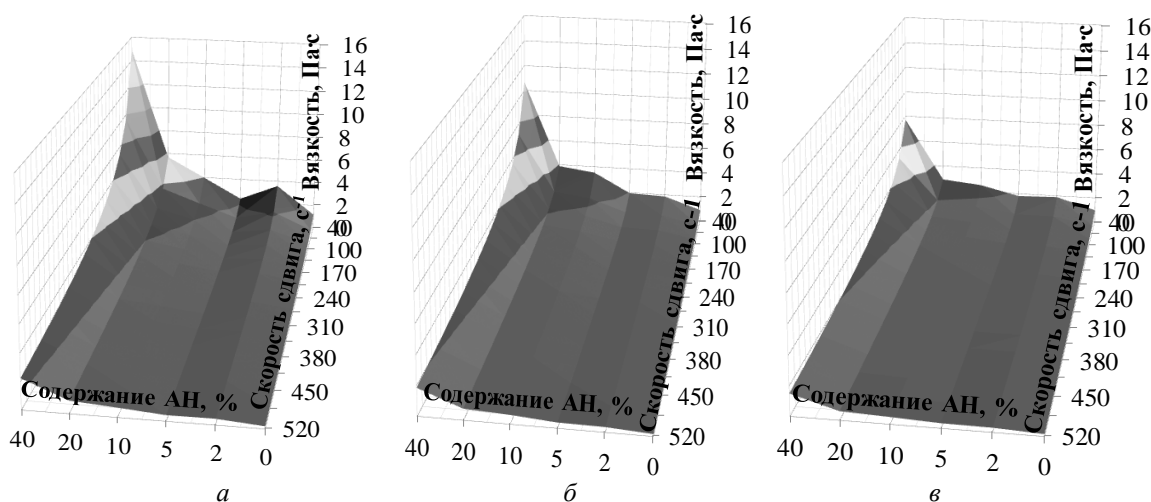


Рисунок 20– Зависимость вязкости 8%-ных растворов крахмала и АН от скорости сдвига и содержания АН при температурах: а – 30 °С; б– 50 °С; в – 70 °С

Глицерин в основном влияет на ассоциацию молекул МЦ. Внедряясь в пространственную сетку МЦ, он конкурирует за взаимодействие между макромолекулами МЦ-МЦ и образует водородные связи МЦ-глицерин. В результате происходит понижение эффективной вязкости системы. Диаграммы поверхности отклика, представленные на рис. 19, иллюстрируют сказанное. Понижение вязкости имеет значение для проявления действия поверхностного натяжения растворов на границе с воздухом. Последнее необходимо для получения качественных пленок, поскольку сглаживание неровностей на поверхности тонкого слоя раствора, который наносится на твердую подложку в процессе формирования пленки, в условиях высокой вязкости затруднено.

В отличие от представленной выше монотонной зависимости реологических характеристик от состава растворов, которая характерна для большинства исследованных смесей пищевых полимеров [178], нами была выявлена экстремальная зависимость для системы крахмал–альгинат натрия. В частности, установлено, что, несмотря на постоянный рост вязкости (рис. 20) с увеличением содержания альгината натрия (АН) при различных скоростях сдвига, на зависимости энтальпии активации вязкого течения от соотношения крахмал: АН появляется минимум (рис. 21). В растворах крахмала с агар-агаром (АА) наблюдается аналогичная, но менее выраженная зависимость [179].

Из представленных на рис. 20 трехмерных диаграмм видно, что, чем больше содержание АН в эквипонцентрированных растворах, тем выше их вязкость. С ростом скорости сдвига и температуры влияние этого фактора уменьшается. Кроме этого, обращает на себя внимание и факт аномально высокой вязкости раствора, содержащего 2% добавку АН, при низких скоростях сдвига. С ростом температуры эта аномалия исчезает. Интересно, что именно при этой концентрации энергия активации вязкого течения, характеризующая прочность структуры раствора, имеет минимальное значение.

Экстремальные зависимости свойств для смесей полимеров, содержащих малые добавки одного из полимеров, в литературе описываются в рамках представлений о взаимной растворимости полимеров или их термодинамической совместимости [48, 180]. Образование раствора одного полимера в другом возможно, но ограничено очень узкой концентрационной (до бинодали на фазовой диаграмме) и температурной областями. Начальный момент расслоения (в узкой области концентрации между бинодалью и спинадалью) приводит к выделению одного из полимеров в виде тонкодисперсной фазы коллоидных размеров, что сопровождается резким увеличением межфазной поверхности в системе. Возрастание межфазной поверхности вызывает резкое увеличение свободного объема, служащего важнейшей характеристикой реологического поведения любой жидкости. Наряду с этим вследствие уменьшения межмолекулярных взаимодействий в смеси полимеров,

препревращающей фазовое разделение, процесс течения в ней облегчается. Результатом этого является уменьшение энергии активации вязкого течения.

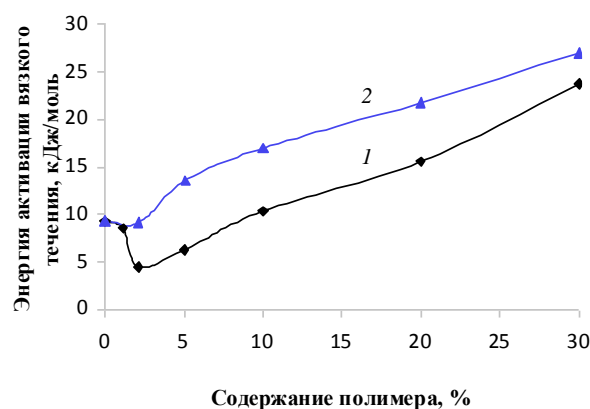


Рисунок 21 – Зависимость энергии активации вязкого течения при постоянной скорости сдвига (650 c^{-1}) от содержанием добавок в 8%-ных растворах смесей крахмала с АН (1) и АА (2)

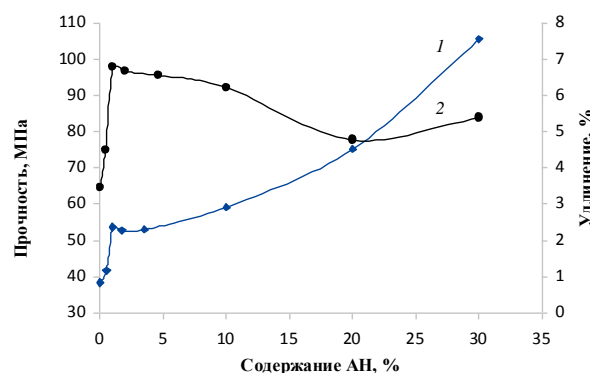


Рисунок 22 – Зависимость прочности (1) и относительного удлинения (2) бикомпонентных пленок крахмала от содержания АН

Уменьшение энергии активации вязкого течения коррелирует с возрастанием механических характеристик пленок. Как следует из данных рис. 22, прочность пленки крахмала с добавкой 2% АН увеличивается на 36%, при этом удлинение растет почти в 2 раза [181].

Съедобные пленки на основе хитозана.

Хитозан состоит из N-ацетил- β -D-глюкозамино-вых звеньев и β -D-глюкозаминовых звеньев, растворяется в разбавленной уксусной кислоте. В таких растворах он превращается в катионный полимер за счет протонированной аминогруппы и поэтому способен к электростатическому взаимодействию с полимерами и низкомолекулярными соединениями, имеющими кислотные группы с образованием комплексов. Этот прием широко используется в производстве пищевых пленок с пониженной влагопроницаемостью и повышенными антиоксидантными и антибактериальными свойствами. Для снижения стоимости хитозановых пленок его экономически выгодно разбавлять другими биополимерами. При этом, естественно, изменяются реологические свойства растворов и функциональные свойства полученных из них пленок.

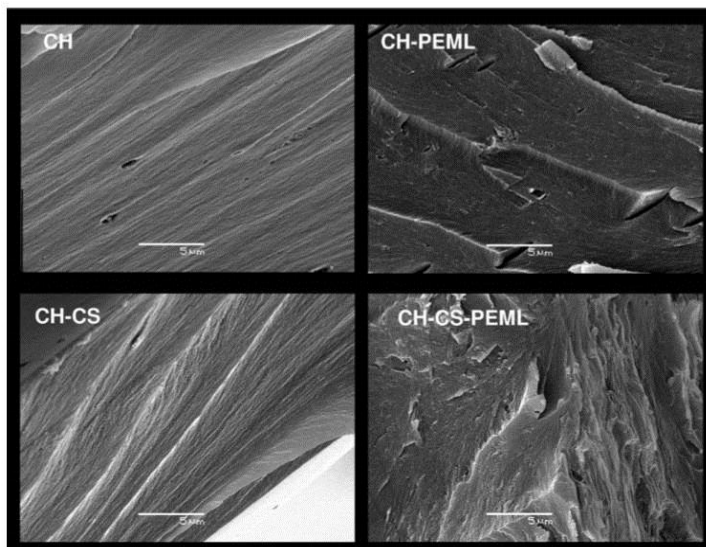


Рисунок 23 –Электронные микрофотографии поперечного сечения пленок хитозана (CH) и смеси хитозана с крахмалом (CH-CS) без и в присутствии экстрактивных веществ (CH-PELM, CH-CS-PELM). Масштаб 5 мкм, $\times 5000$

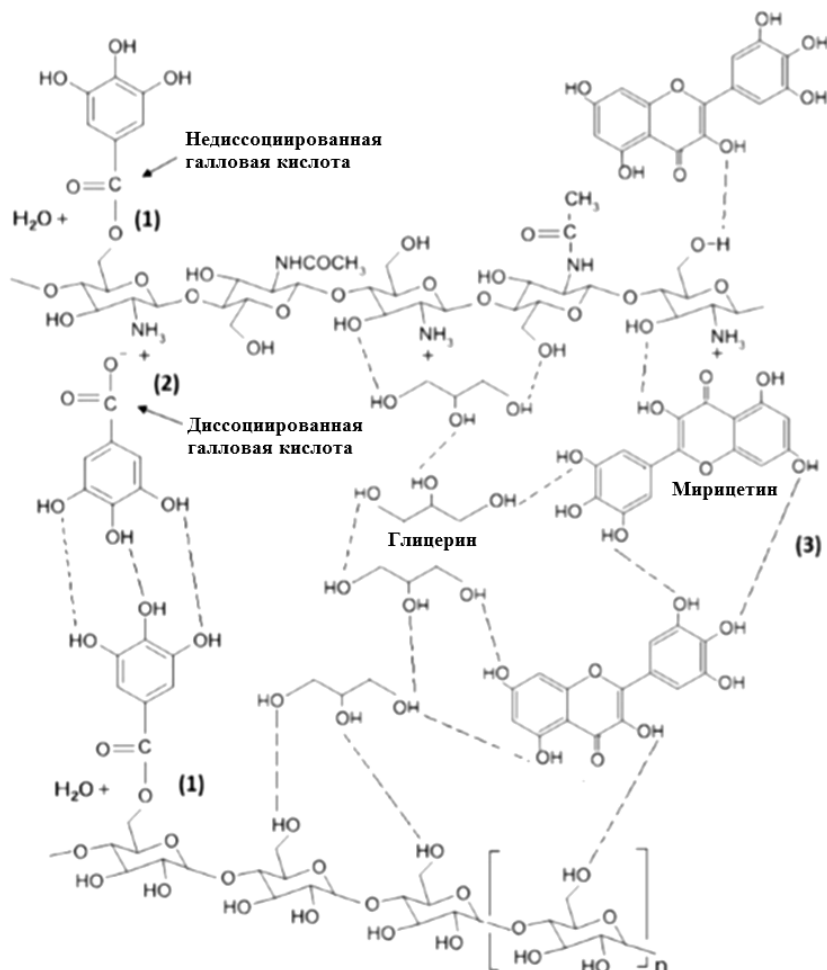


Рисунок 24 – Механизм формирования пространственной сетки в смесях хитозана с крахмалом в присутствии компонентов растительного экстракта: цепи макромолекул хитозана (вверху), кукурузного крахмала (внизу), галловая кислота и мирицетин;

1 – эфирная связь; 2 – электростатическое взаимодействие; 3 – водородная связь

Например, в работе [182] были исследованы формовочные растворы и полученные из них пленки на основе смесей хитозана с крахмалом, содержащие в качестве добавки богатый фенольными кислотами

типа галловой, мирицетином и другими соединениями водный экстракт из листьев эндемического кустарника *Murtamolinae* (PEML) произрастающего в Чили, а также глицерин в качестве пластификатора.

Смешение хитозана с экстрактом привело к формированию структурных образований, которые видны в растворе невооруженным глазом, а на микрофотографиях поперечных срезов пленок (рис. 23) проявляются в виде неоднородной слоистости. Агрегирующее действие добавки увеличивало вязкость как хитозановых растворов, так и растворов смесей хитозана с крахмалом. Для этих растворов было характерно неньютоновское поведение, псевдопластичность, способность к гелеобразованию и тиксотропные свойства. Добавка экстракта приводила к уменьшению удлинения и прочности пленок, и увеличению их толщины. Согласно предложенной схеме составные компоненты экстракта электростатически взаимодействуют с хитозаном, а также образуют водородные связи с обоими полимерами, что приводит к формированию единой пространственной сетки (рис. 24).

Сканирующие электронные микрофотографии поперечных срезов пленок иллюстрируют структурирующее действие экстракта как на хитозановые пленки, так и на пленки смесей хитозана с крахмалом (рис. 23). На взаимодействие компонентов указывают также данные ИК-спектроскопии, согласно которым происходит смещение полос протонированной аминогруппы хитозана ($902, 1024, 1058 \text{ см}^{-1}$) и исчезновение характеристических полос кристалличности крахмала ($1042, 1015, \text{ и } 960 \text{ см}^{-1}$) в спектре смеси.

Сканирующие электронные микрофотографии поперечных срезов пленок иллюстрируют структурирующее действие экстракта как на хитозановые пленки, так и на пленки смесей хитозана с крахмалом (рис. 23). На взаимодействие компонентов указывают также данные ИК-спектроскопии, согласно которым происходит смещение полос протонированной аминогруппы хитозана ($902, 1024, 1058 \text{ см}^{-1}$) и исчезновение характеристических полос кристалличности крахмала ($1042, 1015, \text{ и } 960 \text{ см}^{-1}$) в спектре смеси.

Съедобные пленки и покрытия терапевтического действия.

В последние годы применение съедобных пленок стало ориентироваться не только на упаковку пищевых продуктов, но и на упаковку веществ терапевтического действия: пробиотиков, лекарств. При введении в съедобную пленку лекарственных веществ разработчики обычно решают одну из двух задач: создание лекарственной формы для перорального введения, которую могли бы использовать пациенты с дисфагией, или доставку в организм лекарств, которые подвергаются разрушению в среде желудка. Соединить лекарственное вещество и съедобную пленку можно двумя способами. Во-первых, внедрением активного вещества в состав пленки, или созданием в лекарственной форме пустот со стенками из съедобной пленки, которые затем заполняются лекарством. При этом для облегчения проглатывания в лекарственной форме может быть предусмотрено второе отделение, заполненное водной жидкостью [183].

Описано введение пробиотиков, т.е. микроорганизмов, применяемых в терапевтических целях, в

пленки для покрытия хлеба. В состав пленки входят альгинат натрия и концентрат белка молочной сыворотки, содержащий лактобактерии рамнозус GG (*L. rhamnosus GG*). После нанесения раствора распылением покрытие сушат на воздухе при $60 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 10 мин или при $180 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 мин. В итоге не наблюдается никаких визуальных различий между хлебной корочкой покрытого и контрольного образца хлеба. Установлено, что хлебная матрица не инактивирует действие пробиотика после попадания в желудочно-кишечный тракт, а присутствие пробиотика не изменяет физико-химических, термических и структурных характеристик процесса черствления хлеба. После нанесения покрытия индивидуальный ломтик хлеба массой 30–40 г может дополнительно поставить в организм 7,57–8,98 и 6,55–6,91 КОЕ, что полностью отвечает рекомендациям ВОЗ [184].

Съедобные пленки были предложены также в качестве эффективного транспортного средства для инкапсулирования пробиотических живых клеток, поскольку они не требуют охлаждения при хранении. Например, в работе [185] успешно ввели в пленку выделенный из кефира полисахарид Kefiran, способный образовывать гибкие, прозрачные пленки. В присутствии лактобактерий *L. Plantarum* и дрожжей *K. Marxianus*, а также их смесей механическая прочность и удлинение пленок хотя несколько и уменьшались, но жизнеспособность микроорганизмов и дрожжей в пленке только возрастала.

Съедобные пленки были предложены также для создания оболочки лекарственных средств для их доставки в толстый кишечник [186, 187]. При этом для улучшения механических свойств и снижения гидрофильности крахмала использовали смеси с другими полимерами. В результате добавления хитозана в крахмальные пленки были значительно улучшены механические и морфологические свойства, а также термостабильность. Также было показано, что с увеличением содержания хитозана понижается коэффициент диффузии и растворимость пленки в воде. Антибиотик антофлоксацин (*antofloxacin*) был испытан в качестве модели при изучении кинетики высвобождения лекарственного вещества. Было установлено, что с увеличением содержания хитозана понижается коэффициент диффузии лекарства и растворимость пленки в воде [188].

Крахмальные пленки с добавками кантановой камеди и триполифосфата натрия были испытаны на контролируемое выделение таких лекарств как ибупрофен, кофеин, инулин и др. и было показано, что, образуя в условиях среды организма прочные гели, эти пленки проявляют селективность в зависимости от химической природы лекарства [189]: они менее проницаемы для анионных лекарств по сравнению с нейтральными. Была зафиксирована высокая устойчивость пленок на основе смесей крахмала с пектином по отношению к панкреатическим ферментам, что делает их пригодными для покрытия твердых лекарственных форм, предназначенных для доставки лекарств [190].

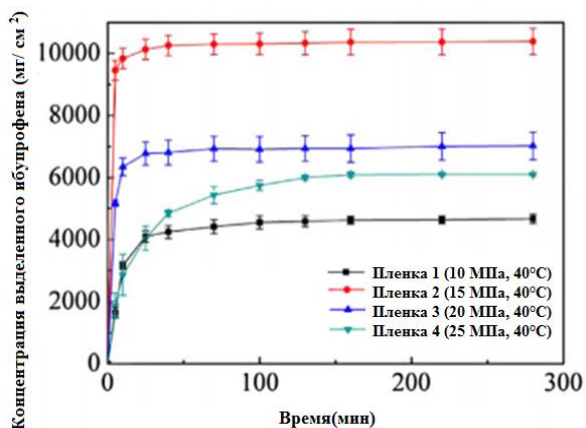


Рисунок 25 – Профиль выделения ибупрофена из хитозановых пленок в опыте *in vitro* при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [53]

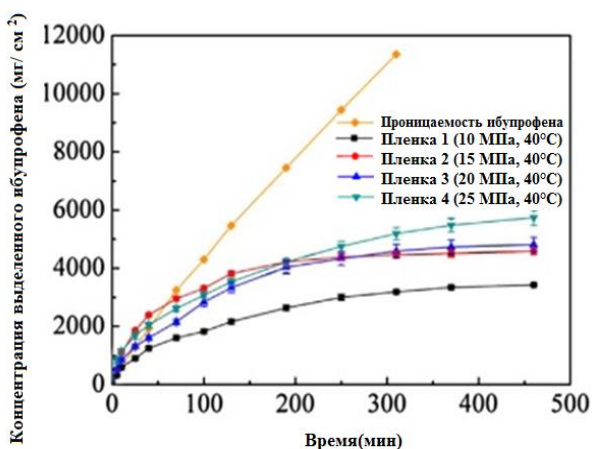


Рисунок 26 – Профиль выделения ибупрофена из хитозановых пленок в опыте *in ex vivo* при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ [53]

Выделение ибупрофена из хитозановых и би-компонентных пленок хитозана с крахмалом в буферные среды, моделирующие среды организма, проводили *in vitro* в специальной ячейке и *in ex vivo*, когда образец пленки был прикреплен к эпителиальной стороне ткани полости рта кролика. Как следует из данных рис. 25 и 26 [53], кинетика выделения зависит от условий инкорпорирования ибупрофена в пленку. При этом во всех случаях диффузия ибупрофена через эпителиальную ткань из пленки была замедлена по сравнению с диффузией из исходной субстанции.

Стандартизация и производство пищевых пленок и покрытий

В соответствии с Европейской директивой (European Parliament and Council Directive EPCD No. 95/2EC, 1995) и стандартами США (US Regulations FDA, 2014) съедобные пленки и покрытия могут быть классифицированы как пищевые продукты, пищевые ингредиенты, пищевые добавки, контактирующие с пищевыми продуктами вещества, или как пищевые упаковочные материалы. При этом в Европе ингредиенты, которые могут быть добавлены в съедобные пленки, рассматриваются большей ча-

стью как пищевые добавки. Недавно эта директива была дополнена введением конкретных критериев чистоты для пищевых добавок.

Пищевые международные стандарты объединены в «Кодекс Алиментариус» (Codex Alimentarius) и приняты международной комиссией ФАО/ВОЗ (Food Agricultural Organization/World Health Organization) [191]. В этом документе, в частности, приводится максимальный уровень использования (МУИ) пищевых добавок, представляющий собой наибольшую концентрацию пищевой добавки, которая является функционально эффективной в продукте питания и считается безопасной. МУИ выражается в мг добавки на кг продукта и устанавливается на основании норм допустимого суточного потребления.

Эти международные стандарты, а также национальные стандарты каждой страны должны учитываться при организации промышленного производства съедобных пленок и покрытий, которое должно соответствовать строгим нормам стандарта GMP. Именно высокий уровень требований, необходимых для создания новых производственных линий или для интегрирования нового процесса в уже существующие технологические линии, ограничивает развитие промышленного сектора производства съедобной упаковки. Среди крупных компаний с большим объемом выпуска и продаж съедобных пленок выделяется компания Watson [192], которая сегодня известна под именем Polymer Films Co. Inc. и представляет регион Северной Америки.

В настоящее время рынок съедобных пленок Западной Европы еще не догнал американский, но активно начинает оживляться. Недавно созданная британская компания BioFilm Holdings Limited [193] поставила на рынок быстро растворимые пленки-полоски Listerine Pocket Paks, которые содержат освежители дыхания. Создатели считают такой продукт перспективным для внедрения таких ингредиентов как витамин В₁₂, мелатонин и т.д. Единственный недостаток, на который указывают конкуренты компании – это низкая доза активного вещества: без потери прочности можно ввести только 30 мг на 100 мг. Однако можно использовать такие съедобные пленки для упаковки других высоко активных лекарственных ингредиентов, тем более, что в этом случае они не будут подвергаться действию пищеварительных ферментов желудочного сока, уменьшающих эффективность лекарства.

Съедобные пленки японской компании в виде дисков по 200 штук в упаковке сегодня можно купить в крупнейшем интернет-магазине AMAZON по цене 8,15\$. К ним дополнительно предлагается устройство для сваривания пленки в домашних условиях. Эта компания также производит пакетики из съедобной пленки по 50 штук в упаковке с разными вкусами (виноградный, клубничный) по цене 6,99\$ за упаковку.

Инновационное решение для упаковки мясopодуктов представила шотландская компания

«Devго», которая известна своими коллагеновыми оболочками для колбас и сосисок. В 2004 г. она продемонстрировала на выставке съедобную белково-альгинатную сосисочную оболочку в виде бесшовного покрытия, которое, формируется непосредственно на мясном фарше с последующей коагуляцией. Оригинальная установка для производства

оболочки разработана компанией Handmann в виде двух подающих шприцев и емкости для коагулирующих реагентов [194].

В табл. 4 представлены некоторые виды съедобной упаковки, предназначенной для увеличения сроков хранения продуктов питания, которые можно встретить на рынке разных стран.

Таблица 4 – Примеры съедобных пленок и покрытий для увеличения сроков хранения продуктов питания

Марка	Производитель/ Разработчик	Материал пленки	Продукты питания	Страна
Tal-ProLong™	TAL Chemicals Company; Courtaulds Group	Полиэфир сахарозы	Свежие фрукты	Великобритания
FreshSeal®	BASF, Planet Polymer Technologies, Inc.	Гидрохлорид хитозана	Свежие фрукты	США
NatureSeal®	Mantrose-HauserCo., Inc.	Метилцеллюлоза		США
ProFruit	Production and Innovation on Edible Coatings S.L.	Полисахариды с добавлением органических кислот	Свежие фрукты и овощи, мясо, рыба, орехи, сладости, торты, пирожные	Испания
Provegetable				
Vere-Coat	Garuda International Inc.	Кукурузный белок (зеин)	Орехи и мясо, сладкие продукты, пищевые добавки и таблетки	США
Z*Coat™	Zumbro, Inc.	Кукурузный белок (зеин)	Орехи покрытые шоколадом	США
Myvacet	QuestInt.	Ацелированный моноглицерид	Орехи	Нидерланды
Articoat DLP2	Chemital S.A.; Mantrose-Hauser Co., Inc.	Пектинс диацетатом натрия и органическими кислотами	Ломтики мяса, сосисок, колбас и пиццы	Испания, США
MycostopGel	AEBGroup	Съедобная камедь	Сыр	Аргентина

Заключение

Прошло немногим более тридцати лет с тех пор, как появились первые обзоры по съедобным пленкам и покрытиям [26, 195]. За это время в зарубежных изданиях вышли солидные монографии [6, 54, 55, 57], изобретателями разных стран защищены многочисленными патентами составы упаковочных композиций [196–227]. Предложенный на сегодня ассортимент съедобных упаковок на основе полисахаридов [201, 205, 217, 218, 219–221], белков [197–200, 202, 204], липидов или их смесей [207, 226, 227] достаточно разнообразен. Их основное предназначение заключается в продлении срока хранения пищевых продуктов за счет регулирования влаго- и газообмена, повышения микробиальной безопасности свежих и минимально обработанных фруктов и овощей путем введения бактерицидных, фунгицидных, антиоксидантных добавок, в сохранении и (или) добавлении запаха и аромата, например, чеснока [207], томатов [210], шоколада [211], кокоса [212], дыни [213], зеленого чая [214], в придании продуктам дополнительных вкусовых качеств, например, вкуса кока-колы [215], а также улучшении внешнего вида. Перспективным направлением является инкорпорирование в съедобные пленки пробиотиков, лекарств, витаминов, минералов, наночастиц [216, 228]. К настоящему моменту съедобные полимерные пленки и покрытия уже стали инновационными продуктами. Они только вышли на рынок и поэтому предоставляют широкое поле деятельности. Компании, производящие съедобные пленки и покрытия, занимают ниши, главным образом на внутренних рынках и пока даже не конкурируют друг с другом. Сегодня требуется объединение усилий как исследователей, так производителей в области полимерной и пищевой химии, а также химической технологии.

Исследовательские работы в области создания съедобных пленок и покрытий надо резко расширить и разнообразить. Именно здесь можно ожидать значительных успехов и прорывных решений. До сих пор очень мало информации о химическом, микробиологическом и физиологическом воздействии компонентов съедобной упаковки на пищевые продукты, в частности, на их пищевую ценность и безопасность для человека. Необходимо проведение систематических исследований по совмещению в растворе и твердой фазе нескольких полимеров, например, полисахаридов и белков, по изучению их совместимости, фазового состояния и специфики взаимодействия. Имеющиеся в литературе данные по исследованию свойств формовочных растворов: установлению зависимости эффективной вязкости от состава композиций, режима деформирования, температуры, а также расчета реологических параметров – явно недостаточны. Исследования пленок должны быть направлены также на комплексную оценку совокупности показателей механических, термических, оптических свойств, влагонепроницаемости, маслостойкости, антибактериальной активности по отношению к различным микроорганизмам и т.д.

В нашей республике есть отличный сырьевой источник для производства съедобной упаковки –

это крахмал. Развитие научных исследований и прикладных разработок по производству съедобных пленок и покрытий на основе этого полимера, который хорошо совмещается с большинством других пищевых полимеров, является перспективным направлением для решения новых задач в национальной продовольственной программе Беларуси. Научно-исследовательские разработки в области получения и изучения свойств съедобных полимерных пленок и покрытий в настоящее время начаты в Белорусском государственном университете [178, 229] и ООО «Полимиз».

В учреждении БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» разработаны съедобные пленки на основе композиций крахмала с другими полисахаридами и различными функциональными добавками, предложенные для упаковки приправ, специй, сладостей, жарки мяса и рыбы [230]. Пленки обладают хорошими механическими свойствами, легко диспергируются в горячей или холодной воде, не изменяют вкус упакованного в них продукта. В настоящее время продолжается поиск новых формовочных композиций, а также осуществляется мониторинг продуктов, съедобная упаковка которых придаст им новое качество и обеспечит повышенный потребительский спрос.

Это направление исследований новое для Республики Беларусь. Оно полностью соответствует современным тенденциям развития «зеленой» химии, признанной создавать продукты и технологии, безопасные для человека и окружающей среды.

Сегодня можно утверждать, что организация производства съедобных пленок и покрытий неизбежно приведет не только к сокращению количества бытовых отходов, но и повышению качества продуктов питания и комфорта их потребления.

Обозначения

ЕС – Европейский союз; МГА – модифицированная газовая атмосфера; FDA – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и лекарственных препаратов; GRAS – признанный полностью безвредным; ППБ – признанный полностью безвредным; EFSA – европейское агентство по безопасности продовольствия; УФ – ультрафиолетовое излучение; GMP – правила организации производства и контроля, надлежащая производственная практика; МЦ – метилцеллюлоза; ГПМЦ – гидроксипропилметилцеллюлоза; ПЭГ – полиэтиленгликоль; ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия; ПАВ – поверхностно-активное вещество; ЛК – лактоновая кислота; НИЗ – низин; ЛА – лауриларгинат; АН – альгинат натрия; АА – агар-агар; PELM – богатый фенольными кислотами типа галловой, миррицином и другими соединениями водный экстракт из листьев эндемического кустарника *Murtamolinae*; ИК – инфракрасный; ВОЗ – всемирная организация здравоохранения; ФАО – Food Agricultural Administration, организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства.

Литература

1. Tharanathan, R. Biodegradable films and coatings: past, present and future / R. Tharanathan // Trends in Food Science and Technology. – 2003. – Vol. 13, Is. 3. – P. 71–78.
2. Керницький, В.И. Биополимеры – дополнение, альтернатива / В.И. Керницький, И.А. Жир // Твердые бытовые отходы. – 2015. – № 1. – С. 26–31.
3. Directive 94/62/ EC as regards reducing the consumption of lightweight plastic carrier bags // Directive (EU) 2015/ 720 of the European Parliament and of the council [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32015L0720>. – Date of access: 03.03.2016.
4. Гольдаде, В.А. Современные тенденции развития полимерной пленочной упаковки / В.А. Гольдаде // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 63–71.
5. Han, J.H. A Review of Food Packaging Technologies and Innovations / J.H. Han // Innovations in Food Packaging / ed. J. H. Han. – Academic Press, 2014. – Ch. 1. – P. 3–12.
6. Pavlath A.E. Edible films and coatings: why, what, and how? / A.E. Pavlath, W. Orts // Edible Films and Coatings for Food Applications / ed. M.E. Embuscado, K.C. Huber. – New-York: Springer, 2009. – Ch. 1. – P. 1–23.
7. Кудрякова, В.А. Съедобная упаковка: состояние и перспективы / В.А. Кудрякова, Л.С. Кузнецова, М.Н. Нагула [и др.] // Упаковка и логистика. – 2007. – № 6. – С.24–25.
8. Bourtoom, T. Edible films and coatings: characteristics and properties / T. Bourtoom // International Food Research Journal. – 2008. – Vol. 15, Is. 3. – P. 1–12.
9. Falguera, V. Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use / V. Falguera [et al.] // Trends in Food Science and Technology. – 2011. – Vol. 22, Is. 6. – P. 292–303.
10. Janjarasskul, T. Edible Packaging Materials / T. Janjarasskul, J.M. Krochta // Annual Review of Food Science and Technology. – 2010. – Vol. 1. – P. 415–448.
11. Bhattacharya, T. Techniques of preparing edible protein films (a review) / T. Bhattacharya // Assian Journal of Science and Technology. – 2013. – Vol. 1, Is.07. – P. 415–448.
12. Monteiro, H. Edible coatings / H. Monteiro, C. Azeredo // Advances in Fruit Processing Technologies. Ed. by S. Rodrigues, F. Fernandes. – Boca-Raton: CRC Press, 2012. – P. 345–356.
13. Комаров, С.М. Мечты о съедобной упаковке / С.М. Комаров // Химия и жизнь. – 2014. – № 9. – С. 30–34.
14. Melvin, A. The Application of edible polymeric films and coatings in the food industry / A. Melvin, S. Lin // Journal of Food Processing & Technology. – 2013. – Vol. 4. – P. 115–116.
15. Han, J.H. Edible films and coating: a review / J.H. Han // Innovations in Food Packaging / Ed. J.H. Han. – Academic Press, 2014. – Ch. 3. – P. 214–257.
16. Donhowe, G. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions, and testing methods / G. Donhowe, O. Fennema // Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. Ed. By Krochta J., Baldwin E., Nisperos-Carriedo M. CRC Press: Boca-Raton, 1994. – P. 1–23.
17. Hydrocolloids in Food Processing / Ed. Laaman T. – Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2010. – 360 p.
18. Dhanapal, A. Edible films from Polysaccharides / A. Dhanapal [et al.] // Food Science and Quality Management. – 2012. – Vol. 3. – P. 9–18.
19. Suput, D. Edible films and coatings – sources, properties and application / D. Suput [et al.] // Food and Feed Research. – 2015. – Vol. 42, Is. 1. – P. 11–22.
20. Azeredo, H. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers / H. Azeredo [et al.] // Journal Food Science. – 2009. – Vol. 74, Is. 5. – P. 31–35.
21. Scientists create edible packaging films // Portal Embrapa [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/2411923/scientists-create-edible-packaging-films>. – Date of access: 03.03.2016.
22. Касьянов Г.И. Биоразрушаемая упаковка для пищевых продуктов / Г. И. Касьянов // Наука. Техника. Технологии. – 2015. – № 3. – С. 1–20.
23. Rahman, M.S. Handbook of Food Preservation. 2nd. Ed M. S. Rahman. – Boca Raton: CRC Press, 2007. – 524 p.

24. Системы обеспечения качества и безопасности пищи. – учебное руководство по пищевой гигиене и системе критических контрольных точек при анализе опасного фактора. – продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). – Рим, 2003. – 227 с.
25. Fadina, A.L. Mechanical properties and water permeability of hydrolysed collagen-cocoa butter edible films plasticized with sucrose / A.L. Fadina [et al.]// *Food Hydrocolloids*. – 2013. – Vol. 30, № 2. – P. 625–631.
26. Kester, J. Edible films and Coating: a review / J. Kester, O. Fenema // *Food Technol.* – 1986. – vol. 48, Is. 12. – P. 47–59.
27. Zhao, Y. Application to commercial coating / Y. Zhao // *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. – 2nd Ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. – P. 319–334.
28. Labuza, T.P. Prediction of moisture protection requirements for foods / T.P. Labuza, R. Contreras-Medellin // *Cereal Foods World*. – 1981. – Vol. 26, № 7. – P. 335–340.
29. Biquet, B. Relative diffusivities of water in model intermediate moisture foods/ B. Biquet, S. Guilbert // *LWT – Food Science and Technology*. – 1986. – Vol. 19. – P. 208–214.
30. Drinking Coffee Just Got Sweeter with Lavazza's Edible Cookie Cup // *The cultureist* [Electronic resource]. – 2012. – Mode of access: <http://www.thecultureist.com/2012/09/19/lavazza-edible-coffee-cup-cookie/>. – Date of access: 03.03.2016.
31. U.S. Patent 90 944. Improved process for preserving meat, fowls, fish etc./ C. Navard, M.X. Harmony // *Опубл.* 1869 г.
32. Съедобная упаковка: Newchemistry.ru – Новые химические технологии. – аналитический портал химической промышленности. – Режим доступа http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=1646. – Дата доступа: 02.03.2016.
33. MonoSol: Dissolvable film for food ingredients // *Packaging world* [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://www.packworld.com/company/monosol-llc/products>. – Date of access: 03.03.2016.
34. Brazilian Fast-Food Chain Cuts Waste By Serving Up Burgers Wrapped In Edible Paper // *Inhabit* [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://inhabit.com/brazilian-fast-food-chain-cuts-waste-by-serving-up-burgers-wrapped-in-edible-paper>. – Date of access: 03.03.2016.
35. Land Rover дает свой справочник на съедение // *Advertology* [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.advertology.ru/article104740.htm>. – Дата доступа: 03.03.2016.
36. Патент 2525926 РФ. Водорастворимая биodeградируемая съедобная упаковочная пленка / А.В. Пленкин, И.Ю. Александрия, А.Х. Нугманов [и др.] *Опубл.* 2014.
37. Tara McHugh // *Food TechnicalSource* [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://www.foodtechsource.com/emag/015/trend.htm>. – Date of access: 03.03.2016.
38. WikiPearl // *WikiFoods* [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://www.wikipearl.com>. – Date of access: 03.03.2016.
39. Students Design Edible "Ooho" Water Bottle // *Inhabit* [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://inhabit.com/london-students-design-the-edible-ooho-water-bottle-that-you-can-cook-up-in-your-own-kitchen>. – Date of access: 03.03.2016.
40. Кузнецова, Л.С. Съедобная упаковка в мясных технологиях / Л.С. Кузнецова, Н.В. Михеева // *Мясные технологии*. – 2007. – № 12. – С. 4–8.
41. Kontominas, M. Bioactive Food Packaging / M. Kontominas. – DEStech Publications, Inc., 2015. – P. 381–385.
42. Бессмельцев, В.П. Автоматизированная система нанесения тонких полимерных пленок / В.А. Бессмельцев [и др.] // *Автометрия*. – 2003. – Т. 39, № 2. – С. 48–56.
43. Frinnault, A. Preparation of casein films by a modified wet spinning process / A. Frinnault [et al.]// *Journal of Food Science*. – 1997. – Vol. 62, № 4. – P. 744–747.
44. Danganan, K. Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings / K. Danganan, P.M. Tomasula, P. Qi // *Edible Films and Coatings for Food Applications* / ed. M.E. Embuscado, K.C. Huber. – New-York: Springer, 2009. – Ch. 2. – P. 25–52.
45. Козлов П.В. Химия и технология полимерных пленок / П.В. Козлов, Г.И. Брагинский. – Москва: «Искусство», 1965. – С. 504–565.
46. Kaya, S. Microwave drying effect on properties of whey protein isolate edible films / S. Kaya, A. Kaya // *J. Food Engineering*. – 2000. – Vol. 43, Is. 2. – P. 91–92.
47. Poverenov, E. Layer-by-layer electrostatic deposition of edible coating on fresh cut melon model: anticipated and unexpected effects of alginate-chitosan combination/ E. Poverenov [et al.]// *Food Bioprocess Technol.* – 2014. – Vol. 7. – P. 1424–1432.
48. Липатов, Ю.С. Коллоидная химия полимеров / Ю.А. Липатов. – Киев: Наукова думка, 1984. – 344 с.
49. Duen, J. Edible coatings and films and their application on frozen foods / J. duen, Y. Zhao // *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging*. Ed. By De-Wen Sun. – CRS Press, 2011. – P. 875–892.
50. U.S. Patent 3. 669. 691. Produce coating/ C.F. Delong, T.H. Shepherd. Publ. 1972.
51. Mu, C. Preparation and Properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatine edible films / C. Mu [et al.]// *Food Hydrocolloids*. – 2012. – Vol. 27, № 1. – P. 22–27.
52. Acevedo-Fani, A. Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: physicochemical characterization and antimicrobial properties / A. Acevedo-Fani, L. Salvia-Trujillo, M. Rojas-Gräu, O. Martín-Belloso // *Food Hydrocolloids*. – 2015. – № 47. – P. 168–177.
53. Tang, C. Preparation of ibuprofen-loaded chitosan films for oral mucosal drug delivery using supercritical solution impregnation / C. Tang [et al.]// *International Journal of Pharmaceutics*. – 2014. – Vol. 473. – P. 434–441.
54. Raybaudi-Massilia, R. Combinational Edible Antimicrobial Films and Coatings / R. Raybaudi-Massilia [et al.]// *Antimicrobial Food Packaging* / ed. J. Barros-Velázquez. – Academic Press, 2016. – С. 52. – P. 633–646.
55. Rossman, J. Commercial Manufacture of Edible films / J. Rossman // *Innovations in Food Packaging*. Ed. J.H. Han. – Academic Press, 2014. – Ch. 13. – P. 367–391.
56. An Update on Edible Films. Adapted from *Food Technology*, Vol 51, No 2, Feb 97, pp. 60, 62–63. Scientific Status Summary by John M. Druclia and Catherine DeMulder Johnston University of California-Davis Lifeline, Spring 1997, Vol XV, No 2, p. 1–3. – Mode of access: http://www.csaceliacs.org/edible_films.jsp. – Date of access: 02.03.2016.
57. Baldwin, E. Edible Coatings and Films to Improve Food Quality / E. Baldwin, R. Hagenmaier, J. Bie. – 2011, 2nd ed. – Boca Raton: CRS Press. – 460 p.
58. Kohout, M.P. BASF Freshseal CHC Helps Keep Packed Tomatoes firmer and Fresher Longer / M.P. Kohout, M.A. Ritenour, J.J. Salvatore // *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. – 2007. – Vol. 120. – P. 217–221.
59. Vu, K. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries / K. Vu [et al.]// *Food Research International*. – 2011. – Vol. 44, Is. 1. – P. 197–203.
60. Васькина, В.А. Использование гидроколлоидов в качестве поверхностных антижировых барьеров / В.А. Васькина, Н.А. Львович, Т.С. Вайншкенер // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. – 2014. – № 1–2. – С. 18–21.
61. Phillips, G.O. Handbook of Hydrocolloids / G.O. Phillips, J.A. Williams. – 2nd Edition. – Boston: CRC Press, 2009. – 948 p.
62. KELCOGEL® Gellan Gum // CPKelco [Electronic resource]. – 2016. – Mode of access: <http://www.cpkelco.com/markets-served/household-products/products/kelcogel-gellan-gum>. – Date of access: 03.03.2016.
63. Nishinari, K. Food Hydrocolloids: Structures, Properties and Functions / ed. K. Nishinari, E. Doi. – New-York: Springer US, 1993. – 510 p.
64. Albert, S. Comparative evaluation of edible coating to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product / S. Albert, G.S. Mittal // *Food Research International*. – 2002. – № 35. – P. 445–448.
65. Leon, P. Influence of composition of edible films based on gellan polymers on L-(+)-ascorbic acid stability / Leon, P. [et al.]// *Food Research International*. – 2008. – Vol. 41. – P. 667–675.
66. Valencia-Chammoro, S. Antimicrobial Edible films and Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables (A Review) / S. Valencia-Chammoro [et al.]// *Critical Reviews in Food and Science Nutrition*. – 2011. – Vol. 51, № 9. – P. 872–900.

67. Lin, D. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables / D. Lin, Y. Zhao // *Comprehensive Rev. Food Sci. Food Safety*. – 2007. – Vol. 6, Is.3. – P. 60–75.
68. Cagri, A. Inhibition of three pathogens on bologna and summer sausage using antimicrobial edible films / Z. Ustunol, E.T.J. Ryser // *Journal of Food Science*. – 2002. – Vol. 67, № 6. – P. 2317–2324.
69. Cagri, A. Inhibition of *Listeria monocytogenes* on hot dogs using antimicrobial whey protein-based edible casings / A. Cagri, Z. Ustunol, W. Osburn, E.T.J. Ryser // *Journal of Food Science*. – 2003. – Vol. 68, № 1. – P. 291–299.
70. Min, S. *Listeria monocytogenes* inhibition by whey protein films and coatings incorporating the lactoperoxidase system / S. Min, L.J. Harris, J.M. Krochta // *Journal of Food Science*. – Vol. 70, № 7. – P. 317–324.
71. Gadang, V.P. Evaluation of antibacterial activity of whey protein isolate coating incorporated with nisin, grape seed extract, malic acid, and EDTA on a turkey frankfurter system / V.P. Gadang, N.S. Hettiarachchy, M.G. Johnson, C.O. Wens // *Journal of Food Science*. – Vol. 73, № 8. – P. 389–394.
72. Ramos, Ó.L. Evaluation of antimicrobial edible coatings from a whey protein isolate base to improve the shelf life of cheese / O. L. Ramos [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2012. – Vol. 95, № 11. – P. 6282–6292.
73. Oussalah, M. Antimicrobial effects of alginate-based film containing essential oils for the preservation of whole beef muscle / M.Oussalah [et al.] // *Journal of Food Protection*. – 2006. – Vol. 69, № 10. – P.2364–2369.
74. Beverly, R.L. Edible chitosan films on ready-to-eat roast beef for the control of *Listeria monocytogenes* / R.L. Beverly [et al.] // *Food Microbiology*. – 2008. – Vol. 25, № 3. – P. 534–537.
75. Jiang, Z. Efficacy of freezing, frozen storage and edible antimicrobial coating used in combination for control of *Listeria monocytogenes* on roasted turkey stored at chiller temperatures / Z. Jiang, H. Neetoo, H. Chen // *Food Microbiology*. – 2011. – Vol. 28, № 7. – P.1394–1401.
76. Guo, M. Antimicrobial films and coatings for inactivation of *Listeria innocua* on ready-to-eat deli turkey meat / M. Guo [et al.] // *Food Control*. – 2014. – № 40. – P. 64–70.
77. Santiago-Silva, P. Antimicrobial efficiency of film incorporated with pediocin (ALTAR2351) on preservation of sliced ham / P. Santiago-Silva [et al.] // *Food Control*. – 2009. – № 20. – P. 85–89.
78. Hong, Y.H. Physical properties of Gelidium corneum-gelatin blend films containing grapefruit seed extract or green tea extract and its application in the packaging of pork loins / Y.H. Hong, G.O. Lim, K.B. Song // *Journal of Food Science*. – 2009. – Vol. 74, № 1. – P. 6–10.
79. Emiroglu, Z.K. Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties / Z.K. Emiroglu [et al.] // *Meat Science*. – 2010. – Vol. 86, № 2. – P. 283–288.
80. Shin, Y.J. Preparation of red algae film containing grapefruit seed extract and application for the packaging of cheese and bacon / Y.J. Shin [et al.] // *Food Science and Biotechnology*. – 2012. – Vol. 21, № 1. – P. 225–231.
81. Theinsathid, P. Antimicrobial activity of lauric arginate-coated poly-lactic acid films against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* on cooked sliced ham / P. Theinsathid [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2012. – Vol. 77, № 2. – P. 142–149.
82. Janes, M.E. Control of *Listeria monocytogenes* on the surface of refrigerated, ready-to-eat chicken coated with edible zein film coatings containing nisin and/or calcium propionate / M.E. Janes, S. Kooshesh, M.G.J. Johnson // *Journal of Food Science*. – 2002. – Vol. 67, № 7. – P. 2754–2757.
83. Min, B.J. Antimicrobial gelatin films reduce *Listeria monocytogenes* on turkey bologna / B.J. Min, I.Y. Han, P.L. Dawson // *Poultry Science*. – 2010. – Vol. 89, № 6. – P. 1307–1314.
84. Tammineni, N. Development of antimicrobial potato peel waste-based edible films with oregano essential oil to inhibit *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon / N. Tammineni, G. Ünlü, S.C. Min // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2013. – Vol. 48, № 1. – P. 1–4.
85. Rojas-Graü, M.A. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf life of fresh-cut apples / M.A. Rojas-Graü [et al.] // *Postharvest Biology and Technology*. – 2007. – № 45. – P. 254–264.
86. Millette, M. Inhibition of *Staphylococcus aureus* on beef by nisin-containing modified alginate films and beads / M. Millette, C. Le Tien, W. Smoragiewicz, M. Lacroix // *Food Control*. – 2007. – № 18. – P. 878–884.
87. Raybaudi-Massilia, R.M. Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf life and safety of fresh-cut melon / R.M. Raybaudi-Massilia, J. Mosqueda-Melgar, O. Martin-Beloso // *International Journal of Food Microbiology*. – 2008. – № 121. – P. 313–327.
88. Datta, S. Control of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Anatum* on the surface of smoked salmon coated with calcium alginate coating containing oyster lysozyme and nisin / S. Datta [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2008. – Vol. 73, № 2. – P. 67–71.
89. Neetoo, H. Bioactive alginate coatings to control *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon slices and fillets / H. Neetoo, M. Ye, H. Chen // *International Journal of Food Microbiology*. – 2010. – Vol. 136, № 3. – P. 326–331.
90. Jiang, Z. Efficacy of freezing, frozen storage and edible antimicrobial coating used in combination for control of *Listeria monocytogenes* on roasted turkey stored at chiller temperatures / Z. Jiang, H. Neetoo, H. Chen // *Food Microbiology*. – 2011. – Vol. 28, № 7. – P. 1394–1401.
91. Jeon, Y.J. Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and Atlantic cod. J. Agric / Y.J. Jeon, J.Y.V.A. Kamil, F. Shahidi // *Journal of Food Science*. – 2002. – Vol. 50, № 18. – P. 5167–5178.
92. Gómez-Estaca, J. Biodegradable gelatin-chitosan films incorporated with essential oils as antimicrobial agents for fish preservation / J. Gómez-Estaca [et al.] // *Food Microbiology*. – 2010. – Vol. 27, № 7. – P. 889–896.
93. Fajardo, P. Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin to improve the storability of Saloio cheese / P. Fajardo [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – Vol. 101, № 4. – P. 349–356.
94. Vargas, M. Application of chitosan sunflower oil edible films to pork meat hamburgers / M. Vargas, A. Albers, A. Chiralt // *Procedia Food Science*. – 2011. – № 1. – P.39–43.
95. Petrou, S. Chitosan dipping or oregano oil treatments, singly or combined on modified atmosphere packaged chicken breast meat / S. Petrou [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. – 2012. – Vol. 156, № 3. – P. 264–271.
96. Siripatrawan, U. Active film from chitosan incorporating green tea extract for shelf life extension of pork sausages / U. Siripatrawan, S. Noipha // *Food Hydrocolloids*. – 2012. – Vol. 27, № 1. – P. 102–108.
97. Mohan, C.O. Effect of chitosan edible coating on the quality of double filleted Indian oil sardine (*Sardinella longiceps*) during chilled storage / C.O. Mohan [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2012. – Vol. 26, № 1. – P. 167–174.
98. Günlü, A. Effects of vacuum packaging and wrapping with chitosan-based edible film on the extension of the shelf life of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets in cold storage (4 °C) / A. Günlü, E. Koyun // *Food Bioprocess Technology*. – 2013. – Vol. 6, № 7. – P. 1713–1719.
99. Avila-Sosa, R. Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films / R. Avila-Sosa [et al.] // *International Journal of Food Microbiology*. – 2012. – № 1–2. – P. 66–72.
100. Nussinovitch, A. *Water – Soluble Polymers Applications in Food* / Nussinovitch, A. – Blackwell Science, 2003. – 240 p.
101. Vargas, M. Development of edible coatings for fresh fruits and vegetables: possibilities and limitations / M. Vargas [et al.] // *Fresh Produce*. – 2008. – Vol. 2, Is. 2. – P. 32–40. – Mode of access [http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOonline/images/0812/FP_2\(1&2\)/FP_2\(2\)32-40o.pdf](http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOonline/images/0812/FP_2(1&2)/FP_2(2)32-40o.pdf). – date of access.
102. Mantilla, N. Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*) / N. Mantilla [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 51, № 1. – P. 37–43.

103. Jiang, T. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere / T. Jiang // *Postharvest Biology and Technology*. – 2013. – № 76. – P. 91–97.
104. Robles-Sa'nchez, R.M. Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes/ R.M. Robles-Sa'nchez [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 50, № 1. – P. 240–246.
105. Dr'az-Mula, H.M. Alginate coatings preserve fruit quality and bioactive compounds during storage of sweet cherry fruit/ H.M. Dr'az-Mula, M. Serrano, D. Valero // *Food and Bioprocess Technology*. – 2012. – Vol. 5, № 8. – P. 2990–2997.
106. Neves Jr., A.C.V. Physical and sensory characterization of edible coatings applied to minimally processed persimmon / A. C. V. Neves Jr. [et al.] // *Acta Horticulturae*. – 2012. – № 934. – P. 537–542.
107. Azarakhsh, N. Optimization of alginate and gellan-based edible coating formulations for fresh-cut pineapples / N. Azarakhsh [et al.] // *Food Research International*. – 2012. – Vol. 19, № 1. – P. 279–285.
108. Sipahi, R.E. Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh cut watermelon (*Citrus lanatus*) / R.E. Sipahi [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 51, № 1. – P. 9–15.
109. Azeredo, H.M.C. Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers/ H.M.C. Azeredo [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. – 2012. – Vol. 46, № 1. – P. 294–297.
110. Garcia, L.C. Effect of antimicrobial starch edible coating on shelf-life of fresh strawberries / L.C. Garcia [et al.] // *Packaging Technology and Science*. – 2012. – Vol. 25, № 7. – P. 413–425.
111. Silva, D.F.P. Performance of edible films in comparison to the polyvinyl chloride film in the post-harvest tangerines 'ponkan.' / D.F.P. Silva [et al.] // *Ciencia Rural*. – 2012. – Vol. 42, № 10. – P. 1770–1773.
112. Lago-Vanzela, E.S. Edible coatings from native and modified starches retain carotenoids in pumpkin during drying/ E.S. Lago-Vanzela [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 50, № 2. – P. 420–425.
113. Das, D.K. Development of a rice starch-based coating with antioxidant and microbe-barrier properties and study of its effect on tomatoes stored at room temperature/ D.K. Das, H. Dutta, C.L. Mahanta // *LWT-Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 50, № 1. – P. 272–278.
114. Lai, T.Y. Effects of tapioca starch/decolorized hsian-tsaoleaf gum-based active coatings on the quality of minimally processed carrots / T.Y. Lai, C.H. Chen, L.S. Lai // *Food and Bioprocess Technology*. – 2013. – Vol. 6, № 1. – P. 249–258.
115. Pe'rez-Gallardo, A. Effect of native and acetylated-crosslinked waxy corn starch-beeswax coatings on quality attributes of raspberries during storage / A. Pe'rez-Gallardo [et al.] // *Starch*. – 2012. – Vol. 64, № 8. – P. 665–673.
116. Oz, A.T. Application of edible starch-based coating including glycerol plus oleum *Nigella* on arils from long-stored whole pomegranate fruits/ A.T. Oz, Z. Ulukanli // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2012. – Vol. 36, № 1. – P. 81–95.
117. Qiu, M. Effect of chitosan coatings on postharvest green asparagus quality/ M. Qiu [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2012. – Vol. 92, № 2. – P. 2027–2032.
118. Ghasemnezhad, M. Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum L. cv. Tarom*) at cold storage temperature/ M. Ghasemnezhad [et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2013. – Vol. 93, № 2. – P. 368–374.
119. Alvarez, M.V. Antimicrobial efficiency of chitosan coating enriched with bioactive compounds to improve the safety of fresh cut broccoli / M.V. Alvarez, A.G. Ponce, M.R. Moreira // *LWT-Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 50, № 1. – P. 78–87.
120. Jiang, Z. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning of sweet persimmons (*Diospyros kaki Linn. f.*) / Z. Jiang [et al.] // *Advanced Materials Research*. – 2012. – P. 557–559, 943–946.
121. Talens, P. Application of edible coatings to partially dehydrated pineapple for use in fruit-cereal products / P. Talens [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2012. – Vol. 112, № 1–2. – P. 86–93.
122. De Britto, D. Chemical, biochemical, and microbiological aspects of chitosan quaternary salt as active coating on sliced apples / D. de Britto, O. B.G. Assis // *Rev. Esp. Cien. Tec. Ali.* – 2012. – Vol. 32, № 3. – P. 599–605.
123. Hanani, M.Z.N. Effect of chitosan-palm stearin edible coating on the post harvest life of star fruits (*Averrhoa carambola L.*) stored at room temperature / M.Z.N. Hanani, M.S.H. Zahrah, A.H. Zaibunisa // *International Food Research Journal*. – 2012. – Vol. 19, № 4. – P. 1433–1438.
124. Zaki, N.H.M. Application of palm stearin chitosan edible coating on star fruits (*Averrhoa carambola L.*) / N.H.M. Zaki, H.Z.M. Som, Z.A. Haiyee // *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. – 2012. – Vol. 16, № 3. – P. 325–334.
125. Brasil, I.M.A. Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya/ I.M.A. Brasil [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. – 2012. – Vol. 47, № 1. – P. 39–45.
126. Ren, Y. Effects of Chinese herbal medicine-starch-chitosan composite coating on fresh-keeping of ponkan / Y. Ren [et al.] // *Trans. Chinese Soc. Agric. Eng.* – 2012. – № 28. – P. 300–305.
127. Ali, A. Efficacy of biodegradable novel edible coatings to control postharvest anthracnose and maintain quality of fresh horticultural produce / A. Ali [et al.] // *Acta Horticulture*. – 2012. – № 945. – P. 39–44.
128. Scheuermann, E. Effects of packaging and preservation treatments on the shelf life of murtilla fruit (*Ugni molinae Turcz.*) in cold storage / E. Scheuermann [et al.] // *Packaging Technology and Science [Electronic resource]*. – 2013. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1002/pts.2014>. – Date of access: 16.01.2013.
129. Hussain, P.R. Effect of edible coating and gamma irradiation on inhibition of mould growth and quality retention of strawberry during refrigerated storage / P.R. Hussain, M.A. Dar, A.M. Wani // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2012. – Vol. 47, № 11. – P. 2318–2324.
130. Rachtanapun, P. Carboxymethyl cellulose film from durian rind / P. Rachtanapun [et al.] // *LWT-Food Science and Technology*. – 2012. – Vol. 48, № 1. – P. 52–58.
131. Zeng, R. Effects of carboxymethyl cellulose coating enriched with bacteriostatic preparation on cold preservation of Nanfeng mandarin / R. Zeng, A. Zhang, J. Chen // *Trans. Chinese Soc. Agric. Eng.* – 2012. – Vol. 28, № 12. – P. 281–287.
132. Wang, X. Effect of edible coatings on physiology and quality of mushrooms (*Agaricus bisporus*) / X. Wang, C. Yan, C.Z. Liu // *Trans. Chinese Soc. Agric. Mach.* – 2012. – Vol. 43, № 1. – P. 141–145.
133. Contreras-Oliva, A. Effect of solid content and composition of hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible coatings on physicochemical and nutritional quality of 'Oronules' mandarins / A. Contreras-Oliva, C. Rojas-Argudo, M.B. Pe'rez-Gago // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2012. – Vol. 92, № 4. – P. 794–802.
134. Hamzah, H.M. Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya L. cv. Eksotika*) / H.M. Hamzah [et al.] // *Postharvest Biology and Technology*. – 2013. – № 75. – P. 142–146.
135. Ferrari, C.C. Effect of osmotic dehydration and pectin edible coatings on quality and shelf life of fresh-cut melon / C.C. Ferrari [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. – 2013. – Vol. 6, № 1. – P. 80–91.
136. Ayala-Zavala, J.F. Pectin-cinnamon leaf oil coatings add antioxidant and antibacterial properties to fresh-cut peach / J.F. Ayala-Zavala [et al.] // *Flavour and Fragrance Journal*. – 2013. – Vol. 28, № 1. – P. 39–45.
137. Moalemiyan, M. Pectin-based edible coating for shelf-life extension of Ataulfo mango / M. Moalemiyan, H.S. Ramaswamy, N. Maftoonzad // *Journal of Food Process Engineering*. – 2012. – Vol. 35, № 4. – P. 572–600.
138. Ruzaina, I. Utilisation of palm-based and beeswax coating on the postharvest-life of guava (*Psidium guajava L.*) during ambient and chilled storage / I. Ruzaina [et al.] // *International Food Research Journal*. – 2012. – Vol. 20, № 1. – P. 265–274.

139. Mohebbi, M. Suitability of aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom / M. Mohebbi [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. – 2012. – Vol. 5, № 8. – P. 3193–3202.
140. Vu, K.D. Development of bioactive coatings based on γ -irradiated proteins to preserve strawberries / K.D. Vu [et al.] // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2012. – Vol. 81, № 8. – P. 1211–1214.
141. Ghidelli, C. Effect of edible coating and modified atmosphere packaging on enzymatic browning of fresh-cut apple / C. Ghidelli [et al.] // *Acta Horticulturae*. – 2012. – № 934. – P. 515–522.
142. Aguilar-Me'ndez, M.A. Characterization and application of gelatin-carboxymethylcellulose based films for the preservation of guava fruits / M. A. Aguilar-Me'ndez [et al.] // *Superficies y Vacío*. – 2012. – Vol. 25, № 1. – P. 1–7.
143. Shin, Y.J. Effect of a combined treatment of rice bran protein film packaging with aqueous chlorine dioxide washing and ultraviolet-C irradiation on the postharvest quality of 'Goha' strawberries / Y.J. Shin, H.Y. Song, K.B. Song // *Journal of Food Process Engineering*. – 2012. – Vol. 113, № 3. – P. 374–379.
144. Bisen, A. Effect of skin coatings on prolonging shelf life of kagzi lime fruits (*Citrus aurantifolia* Swingle) / A. Bisen, S.K. Pandey, N. Patel // *Journal of Food Science and Technology*. – 2012. – Vol. 49, № 6. – P. 753–759.
145. Da'vila-Avina, J.E. Effect of edible coatings on bioactive compounds and antioxidant capacity of tomatoes at different maturity stages / J.E. Da'vila-Avina [et al.] // *Journal of Food Science and Technology [Electronic resource]*. – 2012. – P. 1–7. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-012-0771-3>. Date of access: 10.07.2012.
146. Bustan, A. Influence of organic beeswax-based coating emulsion on the poststorage quality of sweet pepper, mango, and avocado fruit / A. Bustan, J. Lahav // *Acta Horticulturae*. – 2012. – № 934. – P. 807–814.
147. Kittitheeranun, P. Layer-by-layer surface modification of fruits with edible nano-coatings / P. Kittitheeranun, S.T. Dubas, L. Dubas // *Applied Mechanics and Materials*. – 2012. – P. 229–231, 2745–2748.
148. Tao, N.-G. Effect of sucrose-based polymers on quality of Satsuma mandarin fruit (*Citrus unshiu* Marc. cv. Miyagawa Wase) / N.G. Tao [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2012. – Vol. 47, № 5. – P. 997–1003.
149. Haq, M.A. Studies on shelf life extension of chilgoza (*Pinus gerardiana*) / M.A. Haq, A. Hasnain // *Asian Journal of Chemistry*. – 2013. – Vol. 25, № 1. – P. 343–348.
150. Reveros, C.G. Preserving sensory attributes of roasted peanuts using edible coatings / C.G. Reveros [et al.] // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2013. – Vol. 48, № 4. – P. 850–859.
151. Kang, H.J. Inhibitory effect of soy protein coating formulations on walnut (*Juglans regia* L.) kernels against lipid oxidation / H.J. Kang [et al.] // *LWT—Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 51, № 1. – P. 393–396.
152. Mehyar, G.F. Characterization of edible coatings consisting of pea starch, whey protein isolate, and carnauba wax and their effects on oil rancidity and sensory properties of walnuts and pine nuts / G.F. Mehyar [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2012. – Vol. 77, № 2. – P. 52–59.
153. Ramos, O.L. Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom / O.L. Ramos [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2013. – Vol. 30, № 1. – P. 110–122.
154. Daraei Garmakhany, A. Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings / A. Daraei Garmakhany [et al.] // *Journal of Food Science and Technology [Electronic resource]*. – 2012. – P. 1–8. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-012-0660-9>. – Date of access: 22.02.2012.
155. Matan, N. Antimicrobial activity of edible film incorporated with essential oils to preserve dried fish / N. Matan // *International Food Research Journal*. – 2012. – Vol. 19, № 4. – P. 1733–1738.
156. Zhang, L. Effects of chitosan coatings enriched with different antioxidants on preservation of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during cold storage / L. Zhang [et al.] // *Journal of Aquatic Food Product Technology*. – 2012. – Vol. 21, № 5. – P. 508–518.
157. Hu, S. Effect of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) muscle hydrolysates and fish skin hydrolysates on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) during 4°C storage / S. Hu [et al.] // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 48, № 1. – P. 187–194.
158. Tammineni, N. Development of antimicrobial potato peel waste-based edible films with oregano essential oil to inhibit *Listeria monocytogenes* on cold-smoked salmon / N. Tammineni, G. Ünlü, S.C. Min // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 48, № 1. – P. 201–214.
159. Song, H.Y. Preparation of a barley bran protein-gelatin composite film containing grapefruit seed extract and its application in salmon packaging / H.Y. Song, Y.J. Shin, K.B. Song // *Journal of Food Engineering*. – 2012. – Vol. 113, № 4. – P. 541–547.
160. Liu, Q. Antimicrobial and antioxidant activities of carboxymethyl cellulose edible films incorporated with rosemary extracts on fresh beef during refrigerated storage / Q. Liu [et al.] // *Advanced Materials Research*. – 2012. – P. 554–556, 1187–1194.
161. Motalebi, A.A. Effects of whey protein edible coating on bacterial, chemical and sensory characteristics of frozen common Kilka (*Clupeonella delitula*) / A.A. Motalebi, M. Seyfzadeh // *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. – 2012. – Vol. 11, № 1. – P. 132–144.
162. Jo, W.S. Preparation of a cotton seed meal protein/nanoclay composite film containing carvacrol and its effect on the growth of *Escherichia coli* O157:H7 inoculated on bacon during storage / W.S. Jo [et al.] // *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. – 2012. – Vol. 55, № 5. – P. 651–656.
163. Lo'pez de Lacey, A.M. Functionality of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* incorporated to edible coatings and films / A.M. Lo'pez de Lacey [et al.] // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2012. – Vol. 16. – P. 277–282.
164. Du, W.-X. Sensory evaluation of baked chicken wrapped with antimicrobial apple and tomato edible films formulated with cinnamaldehyde and carvacrol / W.-X. Du [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 60, № 32. – P. 7799–7804.
165. Kim, I.H. Development of a defatted mustard meal-based composite film and its application to smoked salmon to retard lipid oxidation / I.H. Kim [et al.] // *Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 133, № 4. – P. 1501–1509.
166. Rodriguez-Turienzo, L. Effects of edible coatings based on ultrasound-treated whey proteins in quality attributes of frozen Atlantic salmon (*Salmo salar*) / L. Rodriguez-Turienzo, A. Cobos, O. Diaz // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2012. – Vol. 14. – P. 92–98.
167. Shin, Y.J. Preparation of red algae film containing grapefruit seed extract and application for the packaging of cheese and bacon / Y.J. Shin [et al.] // *Food Science and Biotechnology*. – 2012. – Vol. 21, № 1. – P. 225–231.
168. Hamzah, A. The effects of sodium alginate on quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets stored at 4±2 °C / A. Hamzah, M. Rezaei // *Journal of Aquatic Food Product Technology*. – 2012. – Vol. 21, № 1. – P. 14–21.
169. Mei, J. Characterization and antimicrobial properties of water chestnut starch-chitosan edible films / J. Mei [and ect.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2013. – № 61. – P. 169–174.
170. Benelhadj, S. Properties of lysozyme/*Arthrospira platensis* (*Spirulina*) protein complexes for antimicrobial edible food packaging / S. Benelhadj [et al.] // *Algal Research*. – 2016. – Vol. 15. – P. 43–49.
171. Cian, R.E. Development of naturally activated edible films with antioxidant properties prepared from red seaweed *Porphyra columbina* biopolymers / R.E. Cian [et al.] // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 146. – P. 6–14.
172. Shen, Z. Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils / Z. Shen, D.P. Kamdem // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2015. – Vol. 74. – P. 289–296.
173. García, M.A. Characterization of Starch and Composite Edible Films and Coatings // M.A. García [et al.] // *Edible Films and Coatings for Food Applications* / ed. M.E. Embuscado, K.C. Huber. – New-York: Springer, 2009. – C. 6. – P. 169–209.

174. Ortega-Toto, R. Effect of the incorporation of surfactants on the physical properties of corn starch films / R. Ortega-Toto, A. Jimenez, A. Chiralt // *Food Hydrocolloids*. – 2014. – Vol. 38. – P. 66–75.
175. Sanchez-Ortega, I. Characterization and antimicrobial effect of starch-based edible coating Suspensions / I. Szmchez-Ortega [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2016. – Vol. 52. – P. 906–913.
176. Moreno, O. Effect of the incorporation of antimicrobial/antioxidant proteins on the properties of potato starch films / O. Moreno, L. Atarés, A. Chiralt // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – № 133. – p. 353–364.
177. Peressini, D. Starch-methylcellulose-based edible films: rheological properties of film-forming solutions / D. Peressini [et al.] // *Journal of Food engineering*. – 2003. – Vol. 59. – P. 25–32.
178. Савицкая, Т.А. Съедобные пленки и покрытия: помощь человека окружающей среде или новый продукт питания? / Т.А. Савицкая, Е.А. Готина, Хуо По // *Биология и химия*. – 2014. – № 6. – С. 3–9.
179. Huo, P. Rheological Properties of Casting Solutions for Starch Edible Films Production / P. Huo, T. Savitskaya, L. Gotina, I. Reznikov, D. Grinshpan // *Open Journal of Fluid Dynamics*. – 2015. – Vol.5. – P. 58–67.
180. Huo, P. Bicomponent solutions of Food Polysaccharide and Edible Film on Their Basis / P. Huo, T. Savitskaya, L. Gotina, I. Reznikov, D. Grinshpan // *Food and Nutrition Sciences*. – 2015. – Vol. 6. – P. 1571–1580.
181. Ковалек, С.В. Получение и исследование физико-механических свойств бикомпонентных пленок на основе композиций крахмала с альгинатом натрия / С.И. ковалек, Е.Г. ковалева, Т.А. Савицкая // *Материалы 71-ой научной конференции студентов и аспирантов БГУ: Материалы*. – Минск, 2014. – С. 211–214.
182. Silva-Weiss, A. Structural properties of films and rheology of film-forming solutions based on chitosan and chitosan-starch blend enriched with muta leaf extract / A. Silva-Weiss [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2013. – Vol. 31. – P. 458–466.
183. Лекарственная форма для перорального введения: пат. № 2450797 РФ, МПК А61 J3/ 07 (2006.01) / Т. Цукиока, М.Нишимура. – Заявл. 07.04.2008; опубл. 20.05.12 // *Афишны бюл./ Нац. центр інтелектуал. уласнасці*. – 2012.
184. Soukoulis, C. Probiotic edible films as a new strategy for developing functional bakery products: The case of pan bread / C. Soukoulis [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2014. – Vol. 39. – P. 231–242.
185. Piermaria, J. Edible kefiran films as vehicle for probiotic microorganisms / J. Piermaria [et al.] // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2015. – Vol. 32. – P. 193–199.
186. Freire, C. Starch-based coatings for colon-specific delivery. Part II: Physicochemical properties and in vitro drug release from high amylose maize starch / C. Freire [et al.] // *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. – 2009. – Vol. 72, № 72. – P. 587–594.
187. Yuen, C.M. Chitosan microcapsules loaded with either miconazole nitrate or clotrimazole, prepared via emulsion technique / C.M. Yuen [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2012. – Vol. 89, № 3. – P. 795–801.
188. Huo, W. Preparation of a novel chitosan-microcapsules / starch blend film and the study of its drug-release mechanism / W. Huo [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2016. – Vol. 87. – P. 114–122.
189. Shalviri, A. Novel modified starch-xanthan gum hydrogels for controlled drug delivery: Synthesis and characterization / A. Shalviri [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2010. – Vol. 79. – P. 898–907.
190. Meneguín, A.B. Films from resistant starch-pectin dispersions intended for colonic drug delivery / A.B. Meneguín, B.S.F. Curry, R.I.C. Evangelista // *Carbohydrate Polymers*. – 2014. – Vol. 99. – P. 140–149.
191. Кодекс Алиментариус. Пищевые добавки и контаминанты. – М.: Весь мир, 2007. – 534 с.
192. Сайт компании Watson. Режим доступа: <http://www.watson-inc.com/research-development/people/film-technology>. – Дата доступа: 02.03.2016.
193. NutraceuticalWorld. Online Exclusives. Emerging Edible Films. Режим доступа: http://www.nutraceuticalsworld.com/contents/view_online-exclusives/2008-01-01/emerging-edible-films. – Дата доступа: 02.03.2016.
194. Корж, А.П. Инновационные решения в области упаковок современных мясopодуктов. – Портал «Мясной эксперт». 29.06.2015 – режим доступа: <http://www.meat-expert.ru/forums/topic/8289-innovatcionnye-resheniia-v-oblasti-upakovki-sovr>. – дата доступа 28.02.2016.
195. Debeaufort, F. Edible films and coatings: tomorrow's packaging (a review) / F. Debeaufort, J. Quezada-Gallo, A. Voilley // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 1998. – Vol. 38. – P. 299–313.
196. Fruit and vegetable films and uses thereof: пат. WO 2006029128 США, МПК B65D65/46, B65D65/38, B65D57, Y02W90/11, Y10T428/1324, Y10T428/1334, Y10T428/1348, Y10T428/31504. / M. Debord, T. Mchugh, C. Olsen; заявитель US Agriculture. – Заявл. 07.09.2005, опубл. 16.03.2006 // <https://patents.google.com/patent/WO2006029128A2/en>.
197. Edible paper packing of fluid or semifluid food: пат. CN 104260991A Китай, / Dai Qin, Tian, Yali, заявитель Tian Yali. – Заявл. 09.09.2014, опубл. 07.01.2015 // <https://patents.google.com/patent/CN104260991A/en>.
198. A vegetable protein complex konjac gum production technology of biodegradable edible films: пат. CN 102311647B Китай/LivelyTu, Fang Ying; заявитель. – Заявл. 02.06.2011, опубл. 11.01.2012 // <https://patents.google.com/patent/CN102311647A/en>.
199. High-barrier isolated soybean protein edible membrane liquid as well as preparation method and application thereof: пат. CN 104448845A Китай / Zheng Universal, Hanjian Chun, Gao Shan [et al.]; заявитель: Soybean Development Research Center of Heilongjiang Province. – Заявл. 18.11.2014, опубл. 25.03.2015 // <https://patents.google.com/patent/CN104448845A/en>.
200. Preparation method of yak milk casein edible film China: пат. CN 102532569B Китай, МПК Y02W90/13 / Gamber Li, Yinhi High [et al.]; заявитель Gansu Hualing Biotechnology Research Center. – Заявл. 20.01.2012, опубл. 02.10.2013 // <https://patents.google.com/patent/CN102532569B/en>.
201. Seaweed flavored tuna fish bone gelatin Edible film and method: пат. CN 104558648A Китай, МПК Y02W90/11. Chi Long Feng, Wang Bin, Chen Yam [et al.]; заявитель Zhejiang Ocean University. – Заявл. 05.02.2015, опубл. 29.04.2015 // <https://patents.google.com/patent/CN104558648A/en>.
202. Edible membrane by taking proanthocyanidins crosslinked with collagen as matrix and preparation method thereof: пат. CN 101787214B Китай / Zhang Qian, Li Defu, Lin Wei [et al.]; заявитель Sichuan University. – Заявл. 08.03.2012, опубл. 25.04.2012 // <https://patents.google.com/patent/CN101787214B/en>.
203. Edible film preparation method: пат. CN103709424A Китай / Zhang Huiyun, Kanghuai Bin, CHEN Jun-Liang [и др.]; заявитель Henan University of Science and Technology. – Заявл. 29.09.2013, опубл. 09.04.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103709424A/en>.
204. A preparing method of an edible peanut protein film: пат. CN 104479153A Китай, / Paul Yeung, Sun Jie, Li Peng [et al.]; заявитель Shandong Peanut Research Institute. – Заявл. 16.10.2014, опубл. 01.04.2015 // <https://patents.google.com/patent/CN104479153A/en>.
205. Method for making an edible film and for retarding water transfer among multi-component food products: пат. US 4915971A США, МПК A21D13/0012, A23G3/343 / Owen R. Fennema Susan L. Kamper Jeffrey J. Kester; заявитель Wisconsin Alumni Research Foundation. – Заявл. 04.08.1987, опубл. 10.04.1990 // <https://patents.google.com/patent/US4915971A/en>.
206. Process for obtaining sturgeon caviar analog, and product thus obtained: пат. WO1998042212A1, Испания, МПК A23L1/328, A23L1/3285 / Garcia Palacios Irene, Pertsovoy Fiodor Vsevolodovich, Pivovarov Pavel Petrovich [и др.]; заявитель Garcia Palacios Irene, Pertsovoy Fiodor Vsevolodovich, Pivovarov Pavel Petrovich [и др.]. – Заявл. 20.03.1997, опубл. 01.10.1998 // <https://patents.google.com/patent/WO1998042212A1/en>.
207. Edible film preparation method based on compound of protein and polysaccharide: пат. CN 103588997A Китай, МПК Y02W90/11 / Katherine Yang, Wang Shaoyun, Wen-Ping Liu; заявитель West Fuzhou Food Co., Ltd. – Заявл. 15.11.2013, опубл. 19.02.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103588997A/en>.
208. Edible films: пат. EP 0547551A1 Германия, МПК A21D13/0012, A23L1/0052. / Laurent Lazard, Albert Doreau, Jeffrey Nadison; заявитель National Starch and Chemical Investment Holding Cor-

- poration. – Заявл. 14.12.1992, опубл. 23.06.1993 // <https://patents.google.com/patent/EP0547551A1/en>.
209. Edible packaging film for garlic: пат. CN 103589168A, Китай / Song Linxia; заявитель Harbin sent Turner Biotechnology Development Co., Lt. – Заявл. 13.11.2013, опубл. 19.02.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103589168A/en>.
210. Edible tomato film: пат. CN 103602076A, Китай/Song Linxia, заявитель Harbin Sent Turner Biotechnology Development Co., Ltd. – Заявл. 13.11.2013, опубл. 19.02.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103602076A/en>.
211. Edible film with chocolate flavor: пат. CN 103589170A, Китай, /Song Linxia, заявитель Harbin Sent Turner Biotechnology Development Co., Ltd. – Заявл. 13.11.2013, опубл. 19.02.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103589170A/en>.
212. Edible film with coconut flavor: пат. CN 103589166A Китай / Song Linxia, заявитель Harbin Sent Turner Biotechnology Development Company Limited. – Заявл. 13.11.2013, опубл. 19.02.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103589166A/en>.
213. Edible film with pumpkin flavor: пат. CN 103589167A Китай / Song Linxia, заявитель Harbin Sent Turner Biotechnology Development Company Limited. – Заявл. 13.11.2013, опубл. 19.02.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103589167A/en>.
214. Edible film with green tea flavor: пат. CN 103589169A Китай / Song Linxia, заявитель Harbin Sent Turner Biotechnology Development Co., Ltd. – Заявл. 13.11.2013, опубл. 19.02.2014 // <https://patents.google.com/patent/CN103589169A/en>.
215. Edible film-shaped preparation with cola taste: пат. US 20140272069A1 США, A23L1/2205, A61K9/0056. / Hans-Rainer Hoffmann, Vodo Asmussen, Holger Piotrowski [идр.]; заявитель LTS Lohmann Therapie-Systeme GmbH and Co KG. – Заявл. 02.06.2014, опубл. 18.09.2014 // <https://patents.google.com/patent/US20140272069A1/en>.
216. Edible slow dissolving film for treating oral ulcerations: пат. US 20150037388A1 США, МПК A61K35/644, A61K9/0056 / Sonia Longo; заявитель BETA PHARMA S.A. – Заявл. 28.01.2013, опубл. 05.02.2015 // <https://patents.google.com/patent/US20150037388A1/en>
217. Fast dissolving orally consumable films containing a modified starch for improved heat and moisture resistance: пат. WO 2004096193A1 США, МПК A61K9/006 / David John Fadden, Neema Mahesh Kulkarni, Albert Frank Sorg; заявитель David John Fadden, Neema Mahesh Kulkarni, Albert Frank Sorg, Warner Lambert Co. – Заявл. 19.04.2004, опубл. 11.11.2004 // <https://patents.google.com/patent/WO2004096193A1/en>.
218. Edible potato starch powder composite food packaging film and its preparation method: пат. CN 1410481A Китай, /Shi Mian, Ji Ping Yi, Zheng Zhengjiong; заявитель Wuhan University. – Заявл. 14.11.2002, опубл. 16.04.2003 // <https://patents.google.com/patent/CN1410481A/en>.
219. Technology for producing degradable and edible film by utilizing pea starch: пат. CN 102311553A Китай, МПК Y02W90/11. /Lively Tu, Fang Ying; заявитель. – Lively Tu, Fang Ying Заявл. 02.06.2011, опубл. 11.01.2012 // <https://patents.google.com/patent/CN102311553A/en>.
220. Purple potato starch edible film and preparation method thereof: пат. CN 103739883A Китай, МПК Y02W90/11. / Zeng Shao, Liu Jun, Zhang Longtao [et al.]; заявитель Fujian Agriculture and Forestry University. – Заявл. 24.01.2014, опубл. 03.02.2016 // <https://patents.google.com/patent/CN103739883B/en>.
221. Edible Film Formulations containing maltodextrin: пат. US 6656493B2 США, МПК A61K8/733, A61K9/7007. / Michael R. Dzija, David G. Barkalow, Albert H. Chapdelaine [идр.]; заявитель Wm Wrigley Jr Co. – Заявл. 30.07.2001, опубл. 02.12.2003 // <https://patents.google.com/patent/US6656493B2/en>.
222. Edible film: пат. EP2436271A1 Япония, МПК A23L1/2205, A61K9/0056. / Misao Nishimura, Tadao Tsukioka; заявитель Tsukioka Co., Ltd. – Заявл. 18.03.2011, опубл. 04.04.2012 // <https://patents.google.com/patent/EP2436271A1/en>.
223. Edible Film: пат. EP1589067A1 Япония, МПК C08L3/06. / Hiroyuki Kataoka, Kosei Kitamura, Kazuhiro Okuma [и др.]; заявитель Matsutani Chemical Industry Co., Ltd. – Заявл. 06.04.2005, опубл. 26.10.2005 // <https://patents.google.com/patent/EP1589067A1/en>
224. Edible film and method of making the same: пат. EP0400484A1 Япония, МПК A23L1/0052 / Hirofumi Ninomiya, Shoji Suzuki, Kazuhiro Ishii; заявитель Mitsubishi Rayon Co., Ltd. – Заявл. 23.05.1990, опубл. 05.12.1990 // <https://patents.google.com/patent/EP0400484A1/en>.
225. A kind of edible seaweed flavor of tuna fish bone film and its preparation method: пат. CN 104558648 A, Китай, МПК A23J 1/04, заявитель Changfeng Chi, Bin Wang, Yin Chen, Hongyu Luo. – Заявл. 05.02.2015, опубл. 29.04.2015.
226. Edible film coating composition for food production: пат. DE 602005001881T2, Германия, МПК A23L 1/3172, A23J3/06 / Red Toronto MacQuarrie. – Заявл. 15.04.2004, опубл. 08.04.2008.
227. Edible films: пат. EP 0547551A1, США, МПК A23G 3/00, A23P 1/08 / Lazard Laurent, Albert Doreau, Jeffrey Nadison. – Заявл. 16.12.1991, опубл. 23.06.1993.
228. Tzia, C. Future new trends in the edible coatings field / C. Tzia // Handbook of Food Processing Food Preservation. Ed. by T. Varzakas, C. Tzia. – CRS Press. – 2015. – P. 562–566.
229. Хуо, По. Съедобные пленки – будущее упаковки пищевых продуктов / По Хуо, Т.А. Савицкая, Е.А. Готина, С.Е. Макаревич, Д.Д. Гриншпан // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2015. – Т. 29, №3. – С. 87–94.
230. Edible film: The future of eco-friendly packaging? – Mode of access: <http://dw.com/en/edible-film-the-future-of-eco-friendly-packaging/a-19165362>. Date of access: 09.02.2016.

Savitskaya T. A.

Edible polymer films and coatings: background and current state (a review).

This review summarizes the composition, methods of preparation and applications of edible polymer films and coatings as completely biodegradable packaging materials. Basic physical and chemical characteristics, functions and purposes have been analyzed. The examples of the commercialization of research in this area are given.

Keywords: edible polymer films, coatings, starch, chitosan, food, biodegradable packaging.

Поступила в редакцию 09.03.2016.

© Т.А.Савицкая, 2016.