

Актуальность Термин “гидроколлоиды” охватывает полисахариды и протеины, которые в наши дни широко используются в различных промышленных отраслях, где они выполняют многие полезные функции, а именно: загущение и гелеобразование водных растворов, стабилизация пен, эмульсий и суспензий, замедление и полное предотвращение кристаллизации льда и сахара, регулирование аромата и т.д. Ниже представлены коммерчески важные гидроколлоиды и источники их получения: 1) Ботанические: - деревья (целлюлоза); - экссудаты растительных камедей (гуммиарабик, камедь карайи, камедь гхатти, трагакант); - растения (крахмал, пектин, целлюлоза); семена (гуаровая камедь, камедь рожкового дерева, тамариндовая камедь); - клубни (конжаковый маннан). 2) Из водорослей: - красные морские водоросли (агар, каррагинан); - бурые морские водоросли (альгинат). 3) Микробные (ксантановая камедь, курдлан, декстран, геллановая камедь, целлюлоза). 4) Животные (желатин, казеин, сывороточный белок, хитозан) [1]. Многие гидроколлоиды являются физиологически функциональными (полезными для здоровья) ингредиентами, которые могут понижать уровень холестерина в крови, способствовать нормальному функционированию кишечника, проявлять пребиотический эффект или другие позитивные для здоровья человека свойства. Кроме того, благодаря свойствам гидроколлоидов, стало возможным создание низкокалорийных продуктов, сохраняющих органолептические характеристики традиционных аналогов [2]. Индустриально развитые страны теперь повсеместно признают пользу для здоровья от увеличения потребления пищевых волокон и снижения потребления общего жира и насыщенных жиров. В этом контексте термин “волокно” употребляется не в конкретном значении, а в общем смысле, обозначая структурные компоненты злаков и овощей. Значительно позже появилось понятие “растворимое волокно”, потребление которого способствует снижению уровня холестерина в плазме и улучшению работы толстого кишечника. Физические и волокнистые свойства таких растворимых и нерастворимых волокон позволяют им выполнять одновременно физическую функцию и подвергаться ферментации кишечной микрофлорой с образованием короткоцепочных жирных кислот, в основном уксусной, пропионовой и масляной. Они оказывают весьма позитивное воздействие на состояние толстого кишечника посредством стимулирования потока крови, улучшая всасывание электролитов и жидкости, повышая мышечную активность и снижая уровень холестерина [3, 4, 5]. Агар-агар является своего рода сложным водорастворимым полисахаридом, леофильные коллоидные красные водоросли *Gelidium* и *Gracilaria*. Наиболее распространенные типы: кровавый агар, шоколадный агар, LB (Лурия Бертани) агар, Мак-Конки агар, Миллера LB агар, неомицина агар, непитательный агар, питательный агар, агар Sabouraud, Тайер-Мартен агар, триптический соевый агар, агар XLD и т.д. Агар-агар нерастворим в холодной воде. Он полностью растворяется только при температурах выше 90°C.

Горячий раствор является прозрачным и ограничено вязким. При охлаждении до температур 35 - 40°C он становится чистым и крепким гелем, который является термообратимым (т.е. можно снова нагреть и при охлаждении он застынет). При нагревании кислотных растворов агар-агара при высоких температурах может осуществляться гидролитическое расщепление. Поэтому рекомендуется добавлять кислоту/кислоты (фруктовые соки, например) после растворения агар-агара при температурах до 60°C [1]. Водоросли, дающие агар-агар, необычайно богаты йодом, кальцием, железом и другими ценными веществами и микроэлементами. Агар-агар не является источником калорий (ноль калорий), поскольку не усваивается организмом человека. Разбухающая субстанция агара не разлагается в кишечнике, так как очень быстро проходит через него. Действие агара имеет легкий слабительный эффект и основано на том, что, разбухая, он значительно увеличивается в объеме, заполняет большое пространство кишечника и тем самым стимулирует перистальтику. Своими качествами агар обязан высокому содержанию в нем грубого волокна. Агар-агар выводит из организма токсины и шлаки, удаляет вредные вещества из печени, улучшая ее работу [6]. Крахмал - полисахарид, молекулы которого состоят из повторяющихся глюкозных остатков, соединённых по  $\alpha$ -1,4 (в линейной части) или  $\alpha$ -1,6 связям (в точках ветвления). Крахмал является основным резервным веществом большинства растений. Он образуется в клетках зелёных частей растения и накапливается в семенах, клубнях, луковицах и пр. Молекулы крахмала бывают двух видов: линейные - амилоза и разветвлённые - амилопектин. Молекулы амилозы и амилопектина соединяются друг с другом посредством водородных связей, выстраиваясь в радиальные слои и образуя гранулы крахмала [7]. В холодной воде крахмал практически нерастворим. При нагревании дисперсии крахмала в воде, молекулы воды проникают в гранулу до полной гидратации. При гидратации водородные связи между молекулами амилозы и амилопектина целостность гранулы, и она начинает набухать от центра. Желатинизируясь, набухшие гранулы могут повышать вязкость дисперсии и/или ассоциироваться в гели и плёнки. Температура желатинизации различна для крахмалов разных видов [8]. Желатины не существуют в природе, а образуются из белкового коллагена посредством процессов, которые разрушают вторичные и более высокие структуры с различной степенью гидролиза полипептидной цепи. Название этого гидроколлоида происходит от латинского слова *gelata*, которое характеризует его самое важное свойство, то есть образование геля в воде. Элементарный состав желатина: 48,7 - 51,5 % C, 6,5 - 7,2 % H, 17,5 - 18,8 % N, 24,2 - 26,8 % O, 0,3 - 0,7 % S. В желатине около 15 % воды и около 1 % золы. Лучшие сорта желатина слабо окрашены в жёлтый цвет, плотность 1,3 - 1,4 г/см<sup>3</sup>. Благодаря наличию в желатине кислых (карбоксильных) и основных (амино) групп он имеет амфотерный характер. Желатин, полученный по «щелочному» способу, имеет изоэлектрическую точку

при pH 4,8 - 5,1, а полученный по «кислотному» способу - при pH около 9. Желатин набухает в воде и при нагревании растворяется; при охлаждении раствор желатина образует студень (гель), который при нагревании опять переходит в раствор. Температура застудневания и прочность студня зависят от концентрации раствора и качества желатина. Основными критериями качества желатина являются вязкость раствора, прочность студня, температура его плавления и застудневания, измеренные при определённых условиях. В концентрированных растворах некоторых веществ (например, роданистого калия, бензолсульфоната натрия и других) желатин растворяется на холоде. Эти же вещества препятствуют образованию студня. Под действием дубителей желатин теряет способность набухать в воде и растворяться. Каррагинан. В течение многих столетий красные морские водоросли используются на Дальнем Востоке и в Европе в качестве пищевых продуктов. Различные виды водорослей семейства Rhodophyceae содержат естественные полисахариды, заполняющие свободные пространства в целлюлозной структуре растений. Это семейство полисахаридов включает каррагинаны, фуцеллан и агар. Основой всех этих полимеров является галактоза, различаются же они пропорциональным соотношением и местом расположения этерифицированных сульфатных групп, а также количеством 3,6-ангидрогалактозы. Различия в составе и особенности конфигурационного строения приводят к наличию целого ряда разных реологических свойств, которые используются в огромном количестве разнообразных продуктов. Различные каррагинаны обладают целым спектром реологических свойств, так как они могут выступать в роли вязких загустителей и гелеобразователей, образующих термообратимые гели, текстура которых варьируется от мягкой и эластичной до жесткой и хрупкой. Каппа-каррагинан обладает способностью вступать в синергические взаимодействия с другими камедями, такими как камедь рожкового дерева и конжаковый маннан, что ведет к дальнейшему изменению текстуры геля. Специфическое взаимодействие между каппа-каррагинаном и каппа-казеином широко используется для стабилизации молочных продуктов. Для того чтобы увидеть гибкость каррагинана и предвидеть его свойства, очень важно понять поведение его различных фракций. Каппа - каррагинан растворяется в горячей воде (70-80°C). Он не растворим в холодной воде, кроме как в растворе с натрием. В таких растворах каппа - каррагинан не образует гелей. После растворения и последующего охлаждения, каппа - каррагинан дает твердые, термообратимые гели с высокой прочностью студня (около 1000 гр/см<sup>2</sup> при концентрации раствора 1,5%, t = 20°C) [9]. В общем, точка гелеобразования равна 35-50°C, но она в значительной степени зависит от концентрации и присутствия катионов (ионов калия, натрия, кальция, аммония). Концентрация этих катионов определяет силу геля и может в значительной степени воздействовать на величину этого параметра. Кроме того, прочные твердые гели

каппа-каррагинана проявляют значительный синерезис, который может быть уменьшен при добавлении других фракции каррагинана, такой, например, как йота-каррагинан. Эффект синергизма между каппа-каррагинаном и камедью рожкового дерева (LBG) может также уменьшать синерезис [10]. Йота-каррагинан. Поведение йота-каррагинана существенным образом отличается от каппа - вида. Йота-каррагинан образует менее прочные гели, чем каппа, но они гораздо более эластичные. Эти гели термообратимы и не проявляют синерезис. Вязкость йота-каррагинана выше чем у каппа. Более того, растворы йота-каррагинана обладают тиксотропными свойствами. Тиксотропия (от греч. *thíxis* - прикосновение и *trópé* - поворот, изменение), способность некоторых структурированных дисперсных систем самопроизвольно восстанавливать разрушенную механическим воздействием исходную структуру. Проявляется в разжижении при достаточно интенсивном встряхивании или перемешивании гелей, паст, суспензий и других систем с коагуляционной дисперсной структурой и их загущении (отвердевании) после прекращения механического воздействия. Это уникальное свойство дает возможность растворам йота-каррагинана противостоять воздействиям на физическую структуру и возвращаться к первоначальному значению вязкости даже после повторения механического воздействия снова и до получения необходимого конечного продукта. По этой причине йота-каррагинан преимущественно используются в качестве стабилизатора суспензий, таких как «какао в шоколадном молоке». К тому же, йота-каррагинан имеет другие важные характеристики: - проявляет хорошую стабильность при последовательных циклах замораживание - оттаивание. Лямбда - каррагинан - благодаря наличию большого числа сульфогрупп, не образует гелей. Тем не менее, он образует растворы высокой вязкости (600 cps при 1 %). Поэтому эта фракция подходит для пен, эмульсий и суспензий. Используется для стабилизации систем, когда температура постоянно изменяется. Ксантановая камедь - внеклеточный полисахарид, продуцируемый микроорганизмами *Xanthomonas campestris*. Ксантановая камедь растворима в холодной воде с образованием растворов, которые проявляют свойства высокопсевдопластической жидкости. Вязкость растворов остается стабильной в широком диапазоне значений pH и температур. Кроме того, этот полисахарид не подвержен ферментативной деградации. Ксантановая камедь вступает в синергическое межмолекулярное взаимодействие с галактоманнанами - гуаровой камедью и камедью рожкового дерева (КРД), а также с конжаковым маннаном. Результатом этого являются улучшенные показатели вязкости при взаимодействии с гуаровой камедью и низкими концентрациями КРД. Взаимодействие с камедью рожкового дерева и конжаковым маннаном при более высоких концентрациях приводит к образованию мягких, эластичных и термообратимых гелей. Размер и форма молекулы определяет химические и физические свойства. Ксантан является микробиологическим полимером.

Молекулы ксантана адсорбируют воду, в результате чего формируется трехмерная сетка из двойных спиралей ксантана, связанных межмолекулярными водородными связями. Данная субстанция по структуре подобна гелю, но в отличие от геля вязкий раствор ксантана обладает большой подвижностью. При значительном механическом воздействии происходит разрушение сетки, двойные спирали вытягиваются в направлении усилия, вязкость резко снижается. После прекращения воздействия трехмерная сетка макромолекул мгновенно восстанавливается, а вязкость возвращается к начальной. Исходя из этого, химически ксантан - это загуститель и стабилизатор, а не гелеобразователь [11]. Ксантан предотвращает отделение воды и расслоение эмульсий, не дает другим компонентам выпадать в осадок либо подниматься в верхние слои косметического средства. Не является по сути эмульгатором, но не дает масляным каплям в эмульсии сливаться. Не дает прозрачных растворов. Раствор ксантана проявляет и другие свойства: - устойчивость к ферментам, ПАВам, спиртам, высококонцентрированным растворам солей; выдерживает длительное присутствие 10 % лимонной кислоты, 20 % и 10 % уксусной; в растворе поваренной соли (5 - 20 %) вязкость 0,5 % раствора ксантана возрастает на 10 %; устойчив в присутствии 30 % глицерина, гликолей, этилового и изопропилового спирта; - устойчивость к высоким и низким температурам, сохраняет структуру в диапазоне -18+120 °C при замораживании и размораживании, в горячем состоянии имеет более высокую вязкость; - при взаимодействии с другими загустителями создает эффект синергизма: смеси камедей загущают сильнее, чем каждая по отдельности; с гуаровой камедью (гуараном) необходима пропорция 80:20 с большей частью гуара, а с камедью рожкового дерева (*Ceratonia siliqua*) в равной пропорции. В последнем случае возможно даже гелеобразование. С водонабухающими (бентонитовыми) глинами и крахмалами дает увеличение вязкости. Геллановая камедь - внеклеточный полисахарид, продуцируемый микроорганизмами *Sphingomonas elodea*, ранее известными как *Pseudomonas elodea*. Геллановая камедь образует гели при низких концентрациях при охлаждении горячих растворов в присутствии катионов, способствующих гелеобразованию. Геллановая камедь существует в замещенной и в незамещенной форме. Свойства геля зависят от степени замещения, при этом замещенные формы образуют мягкие эластичные гели, а незамещенные - твердые и хрупкие [12]. Галактоманнаны являются резервными углеводами, представляющими собой полисахаридный запас клеточных стенок разнообразных альбуминовых или эндоспермных семян. Эндосперм этих семян развивается параллельно с зародышем, полностью его обволакивая. Эндосперм защищен оболочкой семени. В эндосперме семени содержится незначительное количество целлюлозы и абсолютно отсутствует лигнин. К широко используемым относятся галактоманнаны из плодов гуара (*Cyatopsis tetragonoloba*), рожкового дерева (*Ceratonia siliqua*) и, в меньшей степени,

кустарника тары(*Cesalpinia spinosa*) [13, 14]. Гуаровая камедь. В составе галактоманнанов которой содержится 33 - 40% галактозы, растворима в воде при температуре 25оС, если для этого созданы необходимые условия. Для растворения в воде большей части галактаманнанов камеди рожкового дерева, содержание галактозы и которых составляет около 17 - 21%, требуется нагревание в течение 10 минут при температуре 86 - 89оС с постоянным перемешиванием. Если содержание галактозы в галактоманнанах гуаровой камеди рожкового дерева под действием ферментов снижается до уровня менее чем 12%, конечные продукты становятся не растворимыми даже в горячей воде. Галактоманнаны камедей рожкового дерева, тары и гуара являются неионными [15]. Гидроксильные группы в молекулах галактоманнанов могут быть модифицированы с образованием неионных, анионных, катионных и амфотерных производных. Первичные и вторичные гидроксильные группы обладают практически одинаковой реакционной способностью. Обычно получают случайное распределение заместителей. Каждый остаток галактозы в боковых цепях содержит по четыре ОН-группы. Остаток маннозы основной цепи при наличии в нем галактозного бокового заместителя имеет две свободные вторичные ОН - группы, а незамещенный маннозный остаток - три ОН - группы. Максимальная средняя степень замещения (СЗ), следовательно, равна трем. Введение дополнительных заместителей на каждую гидроксильную группу приводит к молярному замещению. Галактоманнаны чувствительны к действию сильных кислот, органических кислот, таких как лимонная, уксусная и аскорбиновая, щелочей в присутствии воздуха, сильных окислителей, особенно при повышенных температурах, а также к действию рентгеновских лучей. При подобных воздействиях возможен различный уровень деполимеризации макромолекул. И манноза, и галактоза содержат вицинальные вторичные гидроксильные группы, имеющие цис-расположение относительно друг друга и положениях 2, 3 и 3, 4 соответственно для маннозы и галактозы. Эти вицинальные цис- гидроксильные группы образуют циклические комплексы с соответствующими реагентами (такими, как. борат). Полусухие процессы делают возможным производство производных и модифицированных продуктов, которые, в случае необходимости, можно промывать водой. Специальная анаэробная обработка сточных вод приводит к получению метана, который в заводских условиях становится дополнительным источником энергии. Новые технологии делают возможным производство ионных, неионных и амфотерных гуаровых продуктов, которые при растворении в воде образуют прозрачные растворы даже при степени замещения, равной 0,1. Очищенные гуаровые продукты применимы для пищевых целей. При растворении в воде они образуют растворы кристальной чистоты. Более 90 % камеди рожкового дерева и камеди тары не подвергают дальнейшей химической обработке с образованием производных. Эти камеди используют непосредственно в индустрии пищевых

добавок и кормов для домашних животных [16, 17]. Пектины - в переводе с греческого значит «застывший». Это растительное склеивающее вещество, относящееся к растворимым пищевым волокнам. Содержится пектин в плодах, овощах и корнеплодах. Он помогает им удерживать влагу, дольше храниться. В промышленности пектин извлекают из яблок, цитрусовых, сахарной свеклы и подсолнечника. Впервые пектин был выделен из фруктового сока около 200 лет назад. Вслед за тем учёные обнаружили необычайно полезные свойства пектина - очищать живые организмы от токсинов и шлаков. Кроме того, он регулирует обмен веществ, очищает живые организмы от шлаков, сохраняя при этом микрофлору кишечника [7]. Основные свойства пектинов можно было бы, с некоторой натяжкой свести к желированию, комплексообразованию и водорастворимости. Причем о растворимости можно говорить лишь условно, так как даже в большом количестве воды пектины не растворяются, а лишь образуют так называемый коллоидный раствор, в котором частички пектина присутствуют в мелкодисперсной форме. И чем на большее расстояние они удалены друг от друга (чем больше в нем воды), тем менее насыщенным является «раствор» [18, 19] Выводы Полисахариды, применяемые в качестве гидроколлоидов, позволяют решать технологические аспекты производства продуктов питания и оказывают положительное влияние на функционирование организма человека.