



**Конкурс для школьников «Гениальные мысли»
Автореферат проекта призера II степени среди 5-7 классов**

Название работы – Влияние разных полимеров на свойства ягодного желе.

Автор – Шевченко Роза Александровна (5 класс, МБОУ СОШ № 162, г. Новосибирск).

Руководитель – Захарова Ирина Сергеевна, к.б.н., научный сотрудник ФИЦ Института цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск.

Основная идея работы, цели, задачи

Ягодное желе – один из видов десертов, который любят как дети, так и взрослые. Особенно приятно, когда ягоды для его приготовления выращены на семейной даче и собраны руками заботливой бабушки. Обильный летний урожай привел меня к идее разнообразить варианты полезных домашних лакомств. Известно, что желе можно приготовить не только из желатина, но и из других компонентов. На уроках окружающего мира в школе и в беседах со старшей сестрой, которая уже изучает химию, я узнала, что свойства веществ определяются их химическим составом. Желеобразователи (желатин, пектин, агар) – природные полимеры – это такие вещества, молекулы которых состоят из более мелких одинаковых молекул, подобно тому, как сложный узор состоит из множества повторяющихся маленьких элементов. Меня заинтересовали вопросы, как разные желеобразователи будут влиять на свойства ягодного желе, и как будут различаться эти свойства в зависимости от вида ягод.

Цель работы – исследовать влияние трех разных полимеров на свойства ягодного желе.

Задачи:

1. По литературным источникам изучить понятия «полимеры», познакомиться с их разными видами, более подробно рассмотреть полимеры, используемые в пищевой промышленности: желатин, пектин, агар.
2. Приготовить пюре из трех видов свежих ягод: черной смородины, малины, крыжовника.
3. На основе пюре приготовить сиропы, сравнить между собой их свойства.
4. Приготовить желе на основе сиропов из разных ягод и желатина, пектина, агара.
5. Сравнить свойства желе из трех видов ягод (внешний вид, запах, характер плавления, растворение, гидролиз пепсином, характер восстановления свойств после замораживания).
6. Исследовать вкусовые качества изучаемых видов желе на основе анкеты-опросника.

Актуальность и новизна работы

Актуальность данной научно-практической работы связана с тем, что химия полимеров – активно развивающаяся область современной нанотехнологии, имеющая непосредственно практическую направленность. Пищевые биополимеры-желеобразователи (желатин, пектин и агар) не теряют популярности на протяжении нескольких столетий. Современные нанотехнологии позволяют управлять свойствами биополимеров для улучшения свойств веществ. Данная работа направлена на одну из актуальных прикладных задач современной науки – улучшение потребительских качеств пищевых продуктов. Работа является первым этапом реализации этой актуальной задачи, поскольку посвящена исследованию исходных свойств продуктов, связанных со свойствами используемых полимеров. Кроме того, использование свежих садовых ягод – актуальное направление при формировании

привычки правильного здорового питания. Новизна работы заключается в том, что в исследовании впервые проводится комплексное сравнение разных видов желе на основе трех биополимеров и сиропов из трех видов ягод.

Основные результаты

Полимеры (от греческих слов «поли» — много и «мерос» — часть) — это вещества, молекулы которых состоят из соединенных вместе одинаковых молекул меньшего размера [2]. Исходные молекулы меньшего размера называются мономерами или «мономерными звеньями». Количество мономеров, образующих большую молекулу (макромолекулу) полимера, может составить от двух до многих тысяч и даже миллионов [3]. Один из примеров применения полимеров в пищевой промышленности — это использование желеобразователей. Желеобразователи — это вещества, относящиеся к пищевым добавкам, способные текстурировать пищу в гель, используемые в кулинарии и кондитерском производстве [4]. С химической точки зрения, желеобразователи представляют собой полимеры, молекулы которых существуют в виде длинных нитей. При понижении температуры между ними возникнут межмолекулярные связи — происходит полимеризация. Соединившись, отдельные молекулы образуют внутри жидкости каркас, который придаст находящейся в каркасах жидкости плотную желеобразную консистенцию (рис. 1). Такой продукт в настоящее время называется «желе».



Рис. 1. Схема образования желе в результате полимеризации молекул желеобразователей (по [5] с изменениями)

В работе использовались три полимера-желеобразователя: желатин, пектин, агар. В ходе выполнения первой задачи по сбору информации о данных полимерах составлена таблица, в которой приведены их некоторые свойства (таблица 1). Для ее составления использовались источники литературы [1-3, 6-11] и собственные фото сухих веществ-желеобразователей.

Таблица 1. Некоторые свойства желатина, пектина, агара.

вид полимера	желатин	пектин	агар
класс химического вещества	белок	полисахарид	полисахарид
источник получения	животного происхождения	растительного происхождения	растительного происхождения
растворение в воде	почти нерастворим в холодной воде, набухает и растворяется при нагревании	сначала всасывает воду, набухает, потом растворяется при нагревании	не растворяется в холодной воде, растворяется только при температуре 95–100°С
желеобразование	при охлаждении раствора образуется гель	при охлаждении раствора образуется гель	полимеризуется в гель при 35–40°С, гель термообратим, плавится при 85–95°С
свойства образованного желе	прозрачное упругое желе	матовое густое желе	прозрачное упругое желе

В ходе выполнения второй задачи приготовлено основа для желе – пюре из трех видов свежих ягод: черной смородины, малины, крыжовника. Ягоды для исследования собраны бабушкой автора работы на даче. Дальнейшая обработка для получения пюре проведена автором с помощью соковыжималки (рис. 2).



Рис. 2. Обработка ягод для получения пюре.

Далее каждое пюре смешивалось с сахаром для улучшения вкусовых качеств экспериментальных образцов, полученный раствор в работе называется сиропом. Приготовленный сахарный сироп представлял собой 50%-й (50г/100 мл) раствор сахара в ягодном пюре, растворенного при кипячении в течение 2-х мин при постоянном помешивании. В качестве контроля использовался 50%-й раствор сахара в воде. Аналогичным образом приготовлено пюре из крыжовника и черной смородины. 50%-й раствор сахара в воде для контроля был приготовлен в меньшем объеме: смешала 10 мл теплой воды с 5 г (1 ч.л.) сахарного песка. Общий вид приготовленных сиропов представлен на рис. 3.

Проведено сравнение качественных и количественных характеристик приготовленных ягодных сиропов. К различающимся свойствам относится характер кипения (количество и цвет образованной пены, цвет и динамика его изменения), а также консистенция. Вкус и запах – различаются, но не изменяются во время приготовления и определяются исходным видом ягоды. Наряду с анализом качественных характеристик, отдельно проведена количественная оценка текучести сахарных сиропов, приготовленных на основе трех видов ягод и сахара. В ходе дальнейшей работы эти сиропы использованы для приготовления желе с использованием разных видов полимеров. Оценка свойств исходных сиропов важна для понимания их вклада в проявления свойств полимеризованного желе.

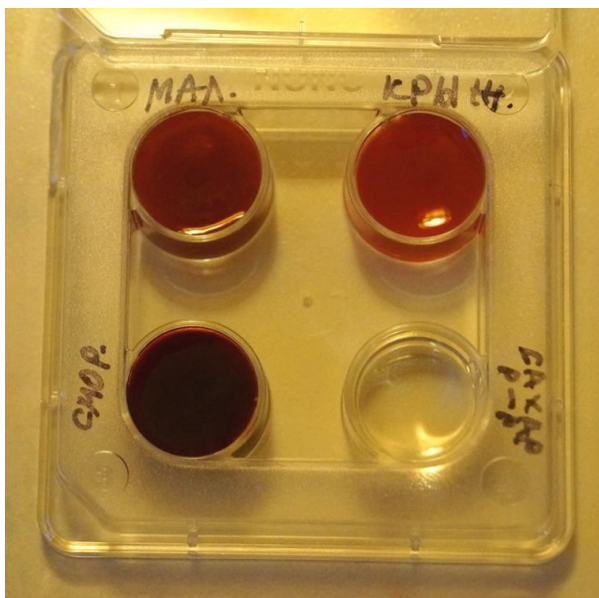


Рис. 3. Общий вид ягодных сиропов и контрольного сахарного раствора без добавления полимеров.

Количественная оценка текучести проводилась методом измерения времени, которое требовалось капле сиропа для преодоления расстояния в 5 см на вертикально удерживаемом предметном стекле (рис. 4). Эксперимент проводился в трех повторностях для каждого вида ягодного сиропа и контрольного сахарного раствора. Во всех случаях использовался ягодный сироп с сахаром без полимеров через 1 ч после кипячения с сахаром. На горизонтально лежащее стекло наносилась одна капля (во всех случаях капли одинакового размера), стекло ставилось вертикально, в это время включался таймер. Как только капля достигала заранее отмеченной линии, таймер останавливался, время фиксировалось. Минимальное время понадобилось сахарному раствору – в среднем по результатам трех измерений время преодоления расстояния в 5 см составляет меньше одной секунды (0,9 сек). Крыжовнику потребовалось в среднем 3,2 сек, что более чем в три раза дольше, чем в случае сахарного раствора. Капли малинового сиропа текли еще дольше (почти в 17 раз), чем сиропа из крыжовника – в среднем 53,7 сек. Максимальное время потребовалось сиропу из черной смородины – в среднем 92,9 сек, что примерно в 1,7 раз дольше, чем сиропу из малины, в 29 раз дольше, чем сиропу из крыжовника и в 103 раза дольше, чем сахарному раствору.

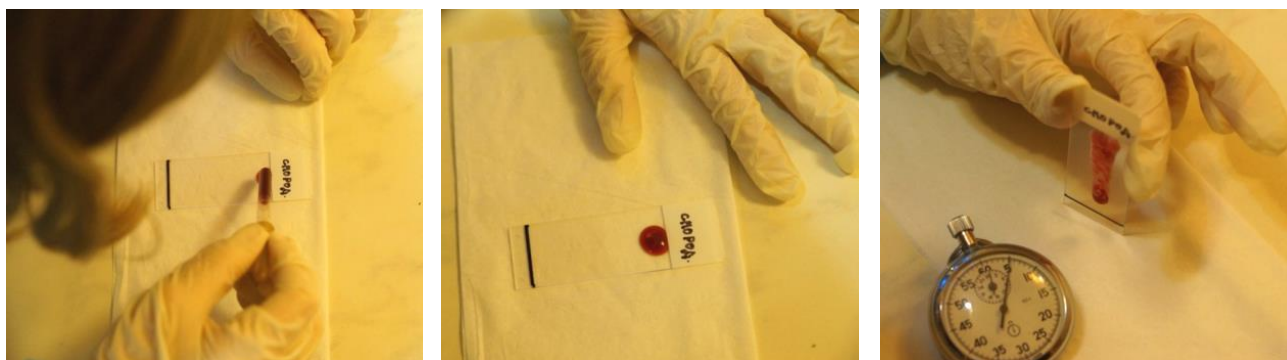


Рис. 4. Исследование текучести сиропов без добавления полимеров

На основании данных о времени при известном расстоянии можно оценить скорость скольжения капли сиропа по стеклу по формуле:

Скорость скольжения (мм/сек) = Расстояние (мм) : Время (с), где расстояние = 50 мм.

Полученные результаты по оценке скорости скольжения разных сиропов приведены на диаграмме (рис. 5). Самым текучим (с максимальной скоростью скольжения) является сахарный раствор (58,3 мм/сек). Этот раствор является контрольным. Значительно меньшая скорость скольжения у ягодных сиропов свидетельствует о том, что именно вещества, входящие в состав ягод, а не сахар в сиропе, вносят основной, хотя и разный, вклад в формирование консистенции сиропов. Так, наиболее густой сироп из смородины является наименее текучим. Скорость его скольжения в два раза ниже, чем у малинового сиропа и в 32 раза ниже, чем у сиропа из крыжовника.

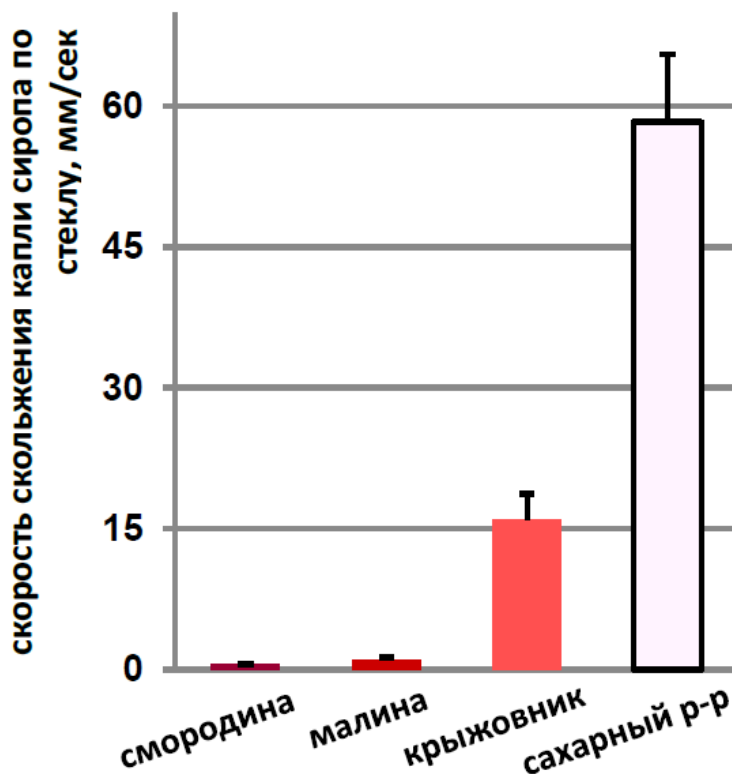


Рис. 5. Оценка скорости скольжения разных сиропов

На следующем этапе на основе сиропов готовились желе из трех видов полимеров. Приготовление желе проводилось согласно рекомендациям компаний-производителей пищевых желеобразователей, указанным на упаковках. Все три полимера (желатин, пектин, агар) представлены в виде сухих порошков.

Желе из желатина. 25 г сухого желатина смешивались со 100 мл сиропа и инкубировались при комнатной температуре для набухания примерно на 1 час. После этого раствор доводился до кипения и остужался.

Желе из пектина. 1 г (1 чайная ложка) пектина смешивался с 25 мл сиропа из ягод прямо во время кипячения. Полученный раствор кипятится не более 3 мин во избежание снижения полимеризующих свойств. Для контроля в том же соотношении пектин смешивался с сахарным раствором.

Желе из агара. 0,5 чайной ложки агара смешивались с 25 мл сиропа из ягод, раствор доводился до кипения, кипятится в течение 5 мин. Для контроля в том же соотношении агар смешивался с сахарным раствором.

Сравнение свойств трех видов желе из ягод (внешний вид, запах, характер плавления, растворение, характер восстановления свойств после замораживания)

Цвет полимера вносит минимальный вклад в готовое желе, что видно по контрольным образцам желе с сахарным раствором без ягод: желе из сахарного раствора с желатином прозрачно, но имеет легкий желтый оттенок, из агара – почти прозрачно, из пектина – прозрачно с насыщенно-желтым оттенком. Однако ягодные желе непрозрачны (рис. 6). Это связано с непрозрачностью ягодного пюре, из которых они приготовлены. Кроме того, несмотря на желтый оттенок пектина, цвета пектиновых желе с разными ягодами практически не отличаются от соответствующих цветов желе из желатина и агара. Таким образом, цвет и прозрачность желе определяется, главным образом, цветом и прозрачностью исходного ягодного сиропа. Обнаружено, что вне зависимости от вида ягод желе из желатина является блестящим с «глянцевой поверхностью», в отличие от матового желе из агара и промежуточного – из пектина. При внимательном исследовании во всех типах желе выявляется запах как ягод, так и полимеров.

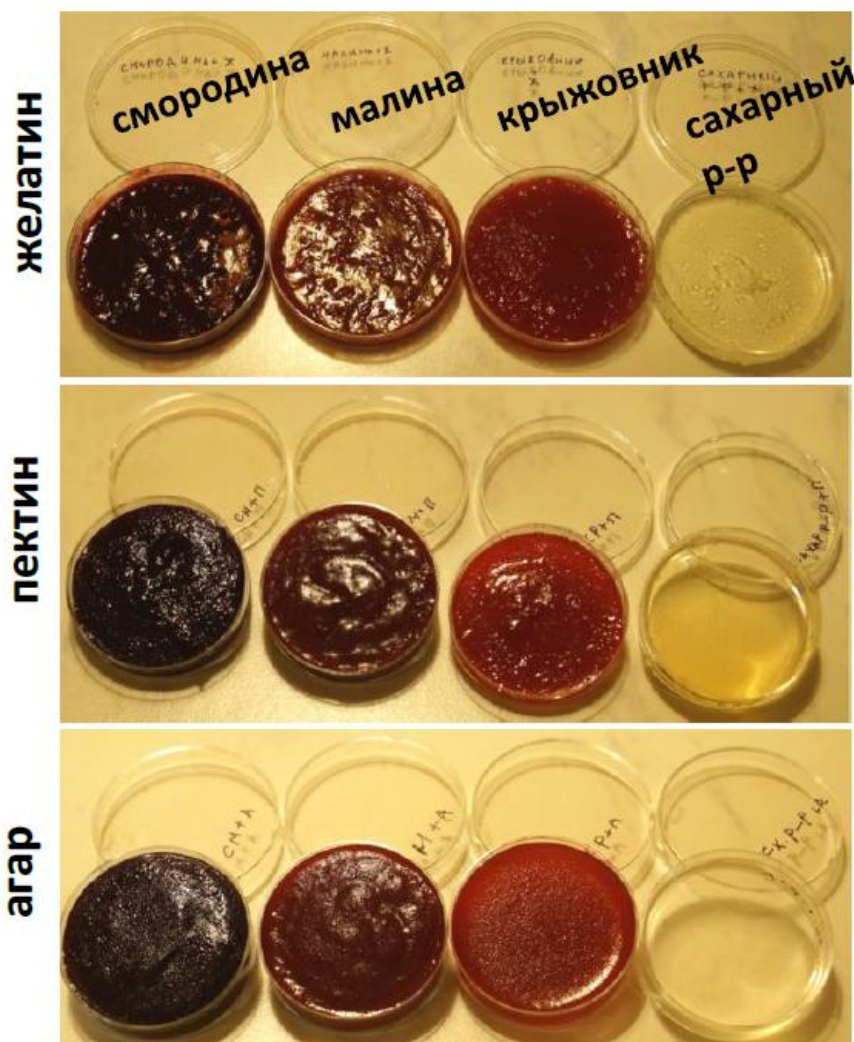


Рис. 6. Внешний вид приготовленного желе

Устойчивость при хранении при комнатной температуре

Для всех типов ягодного желе и контрольных образцов был проведен эксперимент по хранению при комнатной температуре в течение 7 дней. Обнаружено, что вне зависимости от вида ягод образцы желе из агара хорошо переносят хранение при комнатной температуре: сохраняют форму, структуру, не плавятся. Поскольку это относится и к

контрольному образцу на основе сахарного сиропа без ягод, можно заключить, что устойчивость к плавлению при хранении при комнатной температуре определяется не свойствами ягод, а свойством агара. Среди пектиновых желе в данных экспериментальных условиях сохранил свою структуру только образец из смородины. Остальные образцы, включая контрольное пектиновое желе из сахарного раствора, расплавились. Из них в меньшей степени – образец из малины. Следовательно, пектин, в отличие от желатина, неустойчив и плавится при 7-дневном хранении при комнатной температуре. Смородина же содержит в себе значительное количество пектина, который помогает сохранить форму и не расплавиться при хранении. Малиновое желе из пектина, в отличие от образца крыжовника и контрольного образца желе без ягод, расплавилось не полностью. Вероятно, количество входящего в ее состав пектина меньше, чем у смородины, но больше, чем у крыжовника. Среди желе из желатина расплавился только образец на основе крыжовника. Поскольку контрольный образец желе без ягод сохранил структуру, можно заключить, что желатин устойчив к плавлению при комнатной температуре, а крыжовник содержит вещества, разрушающие структуру полимера при комнатной температуре.

Таким образом, из трех проанализированных видов полимеров агар – самый устойчивый к плавлению при комнатной температуре.

Характер плавления был исследован в следующем эксперименте: образцы желе одинакового размера помещались на дно хорошо нагретой кастрюли, стоящей на горячей плите. Фиксировалось время от момента помещения в экспериментальные условия до полного закипания образца и наличие или отсутствие обугливания. Результаты представлены в виде диаграммы на рис. 7. Из графика видно, что время закипания зависит от вида ягоды, входящего в состав желе. Быстрее всего закипает желе без ягод вне зависимости от полимера. Внутри каждой группы ягод наблюдается общая тенденция: при нагревании на горячей плите быстрее плавится желе из желатина, немного медленнее – из пектина, агар плавится медленнее всего. Это подтверждает ситуацию с устойчивостью агара к плавлению при комнатной температуре. Из трех видов полимеров агар – самый устойчивый к плавлению.

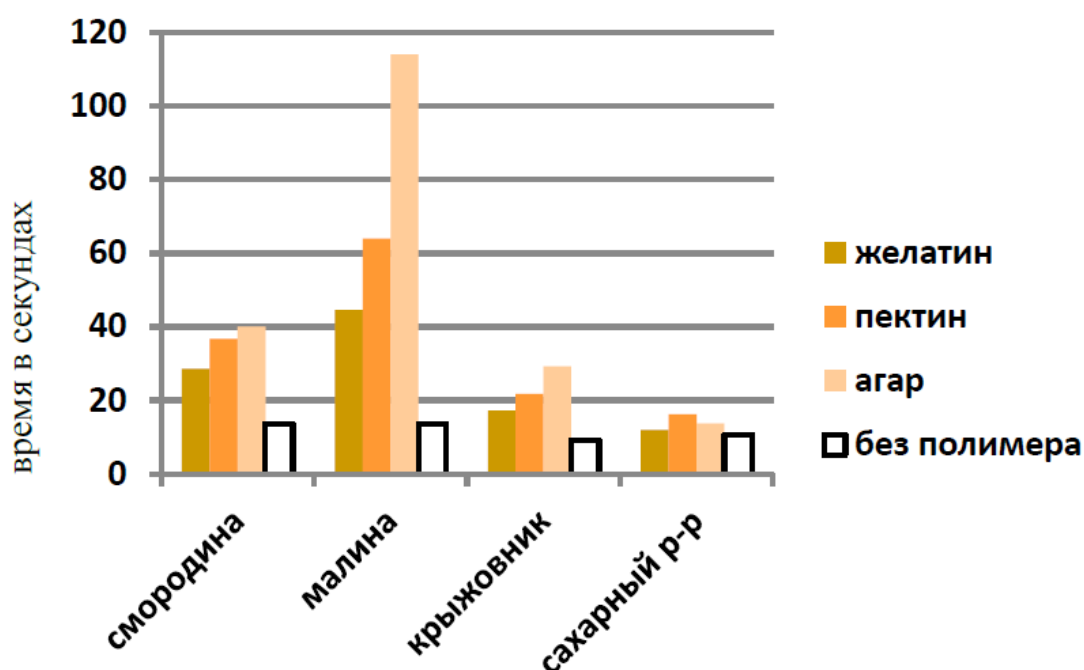


Рис. 7. Исследование времени плавления разных видов желе.
По вертикальной оси – время в секундах.

Исследование наличия обугливания при высокотемпературном плавлении показало, что вне зависимости от вида ягод и в контрольном желе с сахарным раствором желатиновое желе не дает обугливания. Пектин и агар обугливаются в большей степени для смородинового и малинового желе. Контроль растворов без полимера выявил, что обугливание происходит только со смородиной. Вероятно, это объясняется большим содержанием в ней естественного пектина, по сравнению с другими ягодами. Характер обугливания связан с химическим составом экспериментальных образцов. Желатин состоит из смеси белковых молекул. При высокотемпературном плавлении в условиях данного эксперимента не обугливается. Пектин и агар – углеводы; обугливаются, но в разной степени в зависимости от полимерного состава ягод.

Характер восстановления свойств после замораживания. Экспериментальные образцы всех видов ягодных желе и контрольные образцы желе из трех полимеров без ягод подвергали длительному хранению (в течение 5-ти месяцев) при -20°C (замораживанию) в условиях бытовой морозильной камеры. Эксперимент длился с 16 августа 2017 года по 12 января 2018 года. Для размораживания образцы поместили в условия комнатной температуры. Сразу после этого оценили наличие льда методом прокалывания образцов деревянной зубочисткой. Ожидаемо, что наиболее твердыми по причине наличия льда оказались контрольные образцы без полимеров. Следующим по твердости и наличию льда было желе из крыжовника. Менее твердым, но более густым было желе из малины. Желе из смородины содержало меньше всего льда и было не твердым, а густым. Разницу в твердости и наличию льда в зависимости от полимера данным методом установить не удалось. Таким образом, желе с большим содержанием полимеров (в том числе в составе ягод) не замерзает, а становится более густым. После полного оттаивания внешний вид всех типов желе восстанавливается, но консистенция становится более мягкая.

Гидролиз пепсином и растворение в воде. Для приблизительной оценки того, насколько хорошо исследуемые образцы желе перевариваются в желудке человека, были смоделированы условия, напоминающие физиологические: 1% раствор пепсина в 0,16 М HCl (соляной кислоты). Для поддержания работы фермента при температуре 37°C в качестве термостата использовалась кухонная йогуртница. Для контроля оценивалось растворение образцов в воде. Одинакового размера пробы отделялись с помощью микрошпателя от образцов, помещались в ячейку 4-луночного планшета. Сверху заливались 100 мкл (2 капли) раствора пепсина. Планшеты с пробами, закрытые крышками, помещались в термостат (йогуртницу). Визуальная оценка и фотографирование проводили в четырех контрольных точках: в течение 1 мин, 30 мин, 1 ч, 12 ч после обработки пепсином. Контрольный эксперимент с обработкой вместо пепсина водой проводился аналогичным образом.

Пепсин – это фермент, который в желудке человека расщепляет (гидролизует) белки до отдельных аминокислот. Он не действует на углеводы. При обработке проб желе из желатина пепсином видно, что основная часть пробы расщепляется уже через 30 мин. Через 12 ч на месте проб остались лишь микрочастицы, по-видимому, компонентов клеточных стенок ягод, состоящие из углеводов (целлюлозы). Основная часть желатиновых образцов гидролизована ферментом. В пробах пектинового желе и желе из агара после обработки пепсином остались значительные фрагменты образцов, т.к. углеводы не расщепляются пепсином. Кроме того, красящие вещества (пигменты) малины и смородины также не расщепляются пепсином. Контрольное растворение образцов в воде с инкубированием при 37°C показывает, что не происходит расщепления никаких компонентов образцов, о чем свидетельствуют оставшиеся фрагменты во всех точках наблюдения. Однако практически сразу происходит расщепление пигментов и обесцвечивание образцов.

Таким образом, этот эксперимент иллюстрирует то, что в желудке человека белок желатин расщепляется пепсином, а пектин и агар – нет. Также пепсин в кислой среде способствует стабилизации пигментов малины и смородины, которые разлагаются при 37°C.

Исследование вкусовых качеств изучаемых видов желе на основе анкеты-опросника. Для оценки вкусовых качеств желе был проведен социологический мини-опрос, в котором приняли участие 6 человек в возрасте от 4 до 46 лет, из них четыре – женского пола, два – мужского. Вопросы анкеты-опросника: 1. Вкус: кислый, сладкий, приторный. 2. Консистенция: слабое желе, нормальное желе, слишком твердое желе. 3. Личные комментарии (если есть). 4. Есть ли, по Вашему мнению, лишний привкус полимера?

Результаты анкетирования показали, что по всем пунктам анкеты для всех вариантов желе респондентами были высказаны разные мнения. Обнаружено, что люди мужского пола ни в одном образце не отметили лишний вкус полимера. В то время как респонденты женского пола замечали его наличие. Автору данной работы больше всего понравился образец желе из малины с желатином, меньше всего – крыжовник с агаром. Этот вариант не был отмечен ни одним опрошенным как вкусный. Таким образом, анкетирование показало, что вкусы людей могут сильно различаться, большинство вариантов желе (за исключением крыжовника с агаром) могут кому-то понравиться.

Выводы, заключение, перспективы

Результаты данного исследования вносят вклад в расширение круга знаний о химии биополимеров. Они имеют широкий спектр практического применения: могут непосредственно применяться в домашней кулинарии, могут быть включены в дополнительные учебные курсы для учеников, интересующихся химией и другими предметами естественнонаучного цикла, стать основой для научно-популярной статьи в специальных информационных изданиях для садоводов и других любителей живой природы. В ходе проделанной работы сделаны ниже следующие выводы.

Выводы

1. Желе на основе трех видов ягод: смородины, малины, крыжовника и трех видов полимеров: желатина, пектина, агара отличаются по свойствам вследствие различающихся свойств используемых биополимеров.
2. Ягоды смородины содержат собственный пектин, что делает любое желе на основе смородины более твердым и устойчивым к замораживанию.
3. Пектин – самый слабый желеобразующий полимер. Желатин и агар дают желе сходной более упругой, чем желе из пектина, консистенции.
4. Агар – самый устойчивый к плавлению полимер из анализируемых, вследствие чего желе из агара не изменяет свойств при хранении при комнатной температуре.
5. Желатин – белок, вследствие чего образцы желе хорошо гидролизуются пепсином. Агар и пектин – полисахариды, оба полимера не расщепляются данным ферментом.
6. Оценка вкусовых качеств исследуемых видов желе с помощью анкетирования показала, что вкусы людей могут сильно различаться, разные люди отдают предпочтения разным видам желе.

Данная работа может быть предложена для дальнейшего перспективного междисциплинарного нанотехнологического исследования, например, совместно с коллегами из Института органической химии СО РАН и Института цитологии и генетики СО РАН (г. Новосибирск) как проект по улучшению свойств полезных для здоровья человека полимерных пищевых продуктов. В частности, актуальной задачей для химиков-органиков

является такое изменение наноструктуры молекул мономеров, чтобы их полимеризация проходила в растворе при комнатной температуре без предварительного нагревания раствора. Это позволило бы конечным потребителям в домашних условиях или производителям питания на фабриках сократить время приготовления желе и сэкономить электроэнергию, затрачиваемую на нагревание растворов. Поскольку биополимеры-желеобразователи входят в состав различных пищевых продуктов (конфеты, торты, соусы), улучшенные свойства молекул должны быть нечувствительны к составу окружающего раствора. Кроме того, в перспективе необходимо разработать биополимеры, которые можно хранить длительное время при комнатной температуре и при низких минусовых температурах без потери свойств продукта, что актуально в том числе при изготовлении домашних заготовок. Важно, чтобы полимеры с улучшенными свойствами не наносили вреда здоровью. Влияние на живые организмы можно исследовать на культурах клеток человека, добавляя их в питательную среду, и на лабораторных животных, вводя им в пищу желе, в условиях SPF (свободного от патогенов) вивария ИЦиГ СО РАН.

Таким образом, представленное исследование вносит вклад в создание вкусной и здоровой пищи с помощью нанотехнологических разработок.

Список цитированных источников

1. Информационный портал wikipedia.org
2. Кабанов В. Энциклопедия полимеров. Том 2. Издательство “Советская энциклопедия”, 1974. Онлайн библиотека.
http://ereadr.org/book/nauka_i_ucheba/63300-yenciklopediya-polimerov-tom-2
3. Информационный портал “Полимеры: Справочник химика”.
<http://chem100.ru/text.php?t=1652>
4. Васильев Д., Пульчаровская Л. Терминологический словарь-справочник по пищевым добавкам и специям. Ульяновск, 2006. <http://www.metodichka.x-pdf.ru/15biologiya/530811-1-terminologicheskij-slovar-spravochnik-pischevim-dobavkam-speciyam-ulyanovsk-2006-kafedra-mikrobiologii-virusologii-epizo.php>
5. Информационный портал <https://www.cnet.com/news/appliance-science-the-firm-chemistry-of-gelatin/>
6. Энциклопедический Словарь Ф.А.Брокгауза и И.А.Ефрона. Санкт-Петербург, 1890-1907. <https://ru.wikisource.org>
7. Каргин В. Энциклопедия полимеров. Том 1. А-К. Издательство “Советская энциклопедия”. Online библиотека padaread.com.
<http://padaread.com/?book=33007&pg=1>
8. Интернет-сайт Международной ассоциации производителей пектина: International Pectin Producers Association <http://www.ippa.info>.
http://www.ippa.info/history_of_pectin.htm
9. Информационный портал <https://opentextbc.ca/chemistry/chapter/11-5-colloids/>
10. Информационный портал
<https://www.istockphoto.com/ru/%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE/pectin-gm472201297-36499568#/close>
11. Информационный портал
https://www.scienceofcooking.com/chemical_physical_properties_agar.htm