

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГАРОВОГО ГЕЛЯ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ ДИСАХАРИДОВ (САХАРОЗА) И МОНОСАХАРИДОВ (ФРУКТОЗА)

Дорохович А.Н., Мурзин А.В. (НУПТ, г. Киев, Украина)
Тел.: +380977761897; avmurzin@ukr.net

Abstract: In this paper we study the rheological properties of agar gel and determined the effect of sucrose and fructose on them. It is established that under the influence of mechanical stress structure 1% agar gel collapses and exhibits flow properties. Sucrose and fructose weaken the structure of 1% agar gel relatively for 62 and 69%, but the strength of the structure is large enough, that can be used in the production of many lands of confectionery gel structure.

Key words: gel, agar, sucrose, fructose, flow properties

Агаровые гели нашли широкое применение при производстве кондитерских изделий (карамель, конфеты, зефир, пастила, драже, отделочный полуфабрикат типа «суфле» для производства тортов и пирожных, начинки для пряников, кексов, маффинов).

Агар – пищевая добавка, которая широко используется во всем мире при производстве многих пищевых продуктов и лекарственных препаратов. При производстве кондитерских изделий гелеобразователь структуры, агар следует рассматривать не как пищевую добавку, а как основной ингредиент, определяющий структуру готового продукта.

При производстве различных групп кондитерских изделий к агаровым гелям предъявляют определенные требования к органолептическим, структурно- механическим, в том числе тиксотропным свойствам, что в конечном итоге определяет качество готового продукта. Основным сырьём кондитерских изделий, определяющим органолептические, физико-химические, структурно-механические свойства есть сахар белый кристаллический (сахароза). В последние годы при производстве кондитерских изделий широко используется фруктоза, которая по своим характеристикам отличается от сахарозы (Табл. 1) [3].

Таблица 1

Основные физико-химические показатели сахарозы и фруктозы

Название сахара	Растворимость при 20 °С, %	Гликемический индекс, % (по глюкозе)	Калорийность, ккал/г	Температура плавления, °С	Единица сладости
Сахароза	69,0	68,0	4,0	180,0	1,0
Фруктоза	78,0	20,0	4,0	104,0	1,5

Главным преимуществом фруктозы есть то, что на ее основе можно производить кондитерские изделия для больных сахарным диабетом. Фруктоза для усвоения не требует гормона инсулина и гликемический индекс ее в 3,4 раза меньше чем у сахарозы.

По основным физико-химическим показателям сахароза и фруктоза существенно отличаются и безусловно различные физико-химические показатели будут оказывать влияние на формирование структуры агарового геля, и следовательно на качество кондитерских изделий. Анализ литературных источников не дал возможности установить влияние сахарозы и фруктозы на реологические свойства агарового геля, поэтому целью данной работы было исследовать реологические свойства агарового геля и установить влияние дисахарида сахарозы и моносахарида фруктозы на свойства агарового геля.

Согласно классификации П.А. Ребиндера структуру коллоидных и микрогетерогенных систем разделяют на коагуляционные (тиксотропно обратимые) и конденсаци-

онно-кристаллизационные (необратимо разрушающиеся). Однако в природе имеется большое количество систем, которым присущи свойства коагуляционных систем в свойства конденсационно-кристаллизационных систем, к таким системам относятся многие нишевые продукты. Многие пищевые продукты в зависимости от концентрации дисперсной фазы, температуры - изменяют свойства от жидкообразного до твердообразного продукта. Агаровые гели в зависимости от концентрации агара могут обладать свойствами жидкообразного и твердообразного тела. В таблице 2 приведены значения критического напряжения сдвига растворов агара различных концентраций.

Таблица 2

Критическое напряжение сдвига при различной концентрации агара [1]

Концентрация агара, %	0,05	0,06	0,08	0,10	0,20	0,40
Критическое напряжение сдвига, гс/см ²	0,004	0,036	0,320	1,230	27,000	525,000

Приведенные данные свидетельствуют о том, что напряжение сдвига быстро возрастает при увеличении концентрации. При концентрации агара >0,2 % система проявляет свойства геля, а при концентрации более 0,4 % гель проявляет ломкость, его можно резать ножом, т.е. проявляет свойства твердого тела.

При производстве кондитерских изделий часто используются агаровые гели с концентрацией агара 1,0 %. При такой концентрации агаровый гель проявляет свойства твердого тела, обладает: твердостью, ломкостью (можно резать ножом), но при повышенной температуре >45 °С (318 К) проявляет свойства текучести. В данной работе исследованы реологические свойства агарового геля 1 % концентрации и влияние на них сахарозы и фруктозы.

Реологические свойства агарового геля определяли на ротационном вискозиметре «Реотест 2» при температуре 20 °С (293 К) при скорости сдвига от 0,33 до 145,80 с⁻¹. На рис. 1. представлены реологические кривые: течения – $\gamma = f(\tau)$ и зависимости эффективной вязкости от напряжения сдвига – $\eta_{\text{эф}} = f(\tau)$.

Расчеты проводили по методике [2]. В таблице 3 представлены реологические характеристики агарового геля 1 % концентрации агара и агаровые гели 1 % концентрации с содержанием сахарозы 60 % и фруктозы 60 %.

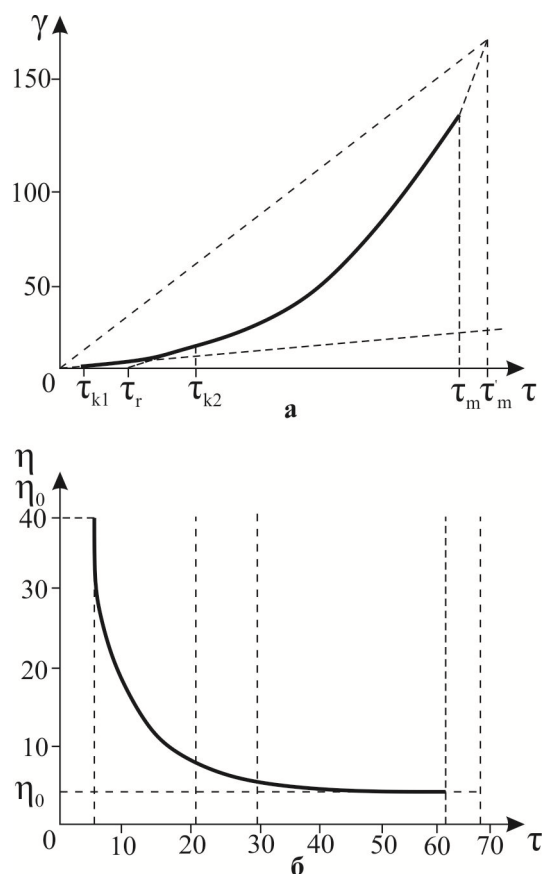


Рис. 1. Реологические зависимости:
а – кривая течения – $\gamma = f(\tau)$,
б – эффективная вязкость от напряжения сдвига – $\eta_{\text{эф}} = f(\tau)$.

Реологические характеристики агарового геля

Агаровый гель	η_0	η_m	τ_{k1}	τ_r'	τ_{k2}	τ_m	τ_m'
1.0% агара	38,133	0,443	6	21	28	66	69
1.0 % агара, 60 % сахарозы	15,008	0,582	4	10	13	69	97
1.0 % агара, 60 % фруктозы	12,129	0,351	2	9	11	91	98

Где: τ_{k1} – условная статическая граница текучести, Па; τ_r' – условный предел практически неразрушенной структуры (предел условно-постоянной вязкости), Па; τ_{k2} – условное динамическое предельное напряжение сдвига, Па; τ_m – прочность структуры с упруго-хрупкого или эластичного разрыва, Па; τ_m' – условная граница практически предельно разрушенной структуры, Па; η_0 – максимальная вязкость не разрушенной структуры, Па·с; η_m – минимальная вязкость разрушенной системы, Па·с [2].

Реологические кривые агарового геля характерны для высокоструктурированных систем. Вязкость неразрушенной структуры агарового геля 1 % концентрации (η_0) составляет 38,113 Па·с. Такая прочность структуры 1 % агарового геля объясняется тем, что высокая концентрация агара способствует сильной астабилизации прослойки дисперсной среды, находящейся между молекулами агара и их агрегатами, и благодаря этому осуществляется непосредственный контакт частиц дисперсной фазы, это способствует образованию наиболее прочной и одновременно хрупкой структуры агарового геля 1 % концентрации. Чем больше прослойка дисперсной среды, тем меньше число контактов дисперсной фазы, тем меньше сказывается действие молекулярных сил, обуславливающих сцепление частиц, тем менее прочна структура.

При производстве многих кондитерских изделий гелеобразной структуры используется сахароза, содержание которой достигает 60 %, т.е. соотношение сахарозы и агара составляет 60:1. В такой системе дисперсионной средой будет раствор сахарозы, сила контактов дисперсной фазы (молекул агара) ослабевает, участков сохранивших фактор устойчивости будет больше, а участков поверхности дисперсионной фазы, лишившихся фактора устойчивости будет меньше и структура агарового геля с сахарозой ослабевает. Так вязкость неразрушенной структуры 1 % агарового геля с содержанием 60 % сахарозы составляет 15 Па·с, чистого агарового 1 % геля 38,1 Па·с, т.е. в 2,5 раза больше.

Под действием сдвиговой деформации (от 0,33 до 145,80 с⁻¹) происходит разрушение структуры. Вязкость разрушенной структуры 1 % агарового геля составляет 0,44 Па·с, что относительно к вязкости неразрушенной структуры $\eta_0 = 39,12$ Па·с составляет 1,1 %, т.е. степень разрушения равна 98,9 %. Вязкость разрушенной структуры 1 % агарового геля с содержанием сахарозы 60 % составляет 0,58 Па·с, что к вязкости неразрушенной структуры 15,01 Па·с составляет 3,9 %, т.е. степень разрушения равна 96,1 %. Вязкость разрушенной структуры у агарового геля (золя) с 60 % сахарозы на 24 % больше, чем у чистого агарового геля (золя) 1 % концентрации.

Условная статическая граница текучести агарового геля с сахарозой будет на 34 % меньше чем у 1 % агарового геля, условный предел практически неразрушенной структуры меньше на 48 %, условное динамическое предельное напряжение сдвига меньше на 46 %. Прочность структуры упруго-хрупкого или эластичного разрыва агарового геля со-

держанием сахарозы 60 % составляет на 5 % больше, чем чистого агарового геля, условная граница практически предельно разрушенной структуры больше на 29 %.

Ослабление структуры мы объясняем тем, что сила контакта молекул агара между собой уменьшается, потому что они за счет водородных связей взаимодействуют с молекулами сахарозы.

Поскольку в кондитерской промышленности при производстве кондитерских изделий для больных сахарным диабетом часто используется фруктоза, то нами было проведено исследование 1% геля агара с содержанием фруктозы 60%. Аналогичным методом, как и для предыдущих систем определены реологические характеристики агарового геля с 60 % фруктозы, которые приведены в табл. 3.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что вязкость неразрушенной структуры 1 % агарового геля с содержанием 60 % фруктозы составляет 12 Па·с, т.е. на 20 % меньше, чем у геля с содержанием сахарозы 60 %.

Вязкость разрушенной структуры 1 % агарового геля с содержанием фруктозы 60 % составляет 0,35 Па·с, что к вязкости неразрушенной структуры 12 Па·с составляет 2,9 %, т.е. степень разрушения равна 97,1 %. Вязкость разрушенной структуры у агарового геля (золя) с 60 % фруктозы на 40 % меньше, чем у агарового геля (золя) с 60 % сахарозы. Условная статическая граница текучести агарового геля с фруктозой будет на 50 % меньше чем у 1 % агарового геля с сахарозой, условный предел практически неразрушенной структуры меньше на 10 %, условное динамическое предельное напряжение сдвига меньше на 15 %. Прочность структуры упруго-хрупкого или эластичного разрыва агарового геля с содержанием фруктозы 60 % составляет на 24 % больше, чем держанием сахарозы 60 %, условная граница практически предельно разрушенной структуры больше на 1 %.

Анализ данных свидетельствует о том, что агарный гель на основе фруктозы имеет более слабую структуру, чем на сахарозе. Мы объясняем это меньшей вязкостью растворов фруктозы относительно растворов сахарозы. Нами установлено, что вязкость 30 % раствора фруктозы равна 5,87 мПа·с, а сахарозы 6,37 мПа·с, т.е. на 8 % меньше, это объяснимо лучшей растворимостью фруктозы (табл. 1), однако прочность агарового геля на фруктозе достаточная для использования его, как и агарового геля на сахарозе, при производстве многих кондитерских изделий гелеобразной структуры.

Выводы

Агарный гель при комнатной температуре обладает свойствами твердого тела, а с повышением температуры жидкообразного. Под влиянием механического воздействия структура разрушается и проявляет свойства текучести. Вязкость разрушенной структуры 1 % агарового геля (золя) составляет 1,1 % от вязкости неразрушенной структуры, т.е. степень разрушения равна 98,9 %.

Сахароза и фруктоза ослабляют структуру 1 % агарового геля соответственно на 62 % и 69 %, однако прочность достаточно велика, что позволяет использовать их при производстве многих видов кондитерских изделия гелеобразной структуры (мармелад, желейные конфеты, драже) и пеногелеобразной структуры (зефир, пастила, суфле).

Список литературы: 1. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. Москва. Издательство «Химия», 1975. 2. Горальчук А.Б., Пивоваров П.П., Гринченко О.О. та ін. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик: Навч. посібник. – Х.: Харківський держ. ун-тет харчування і торгівлі, 2006. - 63 с. 3. Дорохович А.Н. Сахара и оценка их качества по комплексному показателю / А.Н. Дорохович, Е.А. Кохан, | А.В. Божок //Продукты и ингредиенты. -2014. -№ 5(113). - С. 22-24.