

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕКТИНА НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГИДРОЛИЗА ЛАКТОЗЫ В СВЯЗИ С ПРОИЗВОДСТВОМ НАПИТКОВ

Изучено влияние пектина на закономерности гидролиза лактозы в связи с производством напитков. Исследованы основные свойства пектиновых веществ. Подробно освещено изменение реакционноспособных групп пектина при гелеобразовании молочной сыворотки. Показано влияние активной и титруемой кислотности на предельное напряжение сдвига в молочной сыворотке с различной массовой долей пектина. Определено влияние ионов кальция на предельное напряжение сдвига в молочной сыворотке с различной массовой долей пектина.

Молочный напиток, пектин, активность, гелеобразование, напряжение сдвига.

Одним из наиболее эффективных гелеобразователей является пектин различного происхождения, полученный из пектинсодержащего сырья (яблочных выжимок, жома свеклы и т.д.). Его можно использовать в качестве уплотнителя, стабилизатора и эмульгатора. Многообразный спектр проявления технологических свойств обуславливает его широкое применение в промышленности.

Пектиновые вещества представляют собой высокомолекулярные полисахариды, входящие в состав клеточных стенок и межклеточных образований совместно с целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином. В понятие «пектиновые вещества» входят гидратопектин (растворимый пектин), протопектин (нерастворимый в воде пектин), пектиновые кислоты и пектинаты, пектовые кислоты и пектаты. Основным структурным признаком пектиновых веществ являются линейные молекулы полигалактуроновой кислоты, в которой мономерные звенья связаны  $\alpha$ -1,4-гликозидной связью. В зависимости от вида сырья пектин имеет различные органолептические и физико-химические показатели.

Основными свойствами пектиновых веществ, которые определяют область применения в пищевой промышленности, служат студнеобразующая и комплексообразующая способности. Студнеобразующая способность пектина зависит от ряда факторов: молекулярной массы, степени этерификации, количества балластных по отношению к пектину веществ, температуры и рН среды, содержания функциональных групп. Установлено, что в свекловичном пектине присутствуют группы, связанные сложноэфирной связью с боковыми цепями нейтральных сахаров. Использование персульфата аммония или перекиси водорода приводит к повышению истинной молекулярной массы растворимых пектинов и образованию прочного студня. Такие гели обладают высокой вододерживающей способностью и находят применение в пищевой промышленности.

Исследовано влияние пектина на изменение реологических свойств молочной сыворотки, происходящих в результате ее гелеобразования (рис. 1).

Анализ полученных результатов позволяет установить, что реологические свойства сывороточно-пектиновых гелей характеризуются промежуточным положением между жидкими и твердыми телами, приближаясь к тем или другим в зависимости от сте-

пени развития и прочности структурной сетки, а также скорости сдвигающей деформации.



91

Рис. 1. Влияние пектина на предельное напряжение сдвига в молочной сыворотке с массовой долей сывороточных белков: 1 - 0,6 %; 2 - 0,7 %; 3 - 0,8 %; 4 - 0,9 %.

Отмечено, что как с увеличением массовой доли гелеобразователя, так и сывороточных белков происходит укрепление структуры геля - максимальным значением предельного напряжения сдвига на уровне 500 Па характеризуются гели с массовой долей сывороточных белков 0,6; 0,7; 0,8 и 0,9 % и концентрацией пектина 1,6; 2,0; 2,4; 2,8 %, соответственно. Установленную закономерность можно объяснить участием реакционных групп пектина в построении трехмерного матрикса. Данный тезис подтверждается снижением свободных реакционных групп гелеобразователя (таблица 1).

Несмотря на то, что в абсолютном содержании доля метоксильных групп на порядок превосходит долю ацетильных групп, в процессе гелеобразования сыворотки обе реакционные группы принимают активное участие, поскольку в относительном содержании их концентрация снижается, и в геле с массовой долей пектина 2,8% достигает значений 53,59-52,83%.

Из этого можно заключить, что, во-первых, метоксильные и ацетильные группы пектиновых веществ имеют статистический тип распределения вдоль цепи макромолекул, а, во-вторых, начало процесса гелеобразования происходит равномерно по всему объему системы.

Учитывая, что физико-химические свойства сыворотки зависят от присутствия веществ, обладающих кислыми свойствами, проведена оценка участия

Изменение реакционноспособных групп пектина при гелеобразовании молочной сыворотки

Массовая доля пектина, %	Доля групп, %			
	метоксильных		ацетильных	
	абсолютное	относительное	абсолютное	относительное
0,0	7,52	100,00	0,53	100,00
0,4	7,30	97,07	0,51	96,23
0,8	7,00	93,09	0,47	88,68
1,2	6,26	83,24	0,40	75,47
1,6	6,04	80,32	0,36	67,92
2,0	5,24	69,68	0,33	62,26
2,4	4,70	62,50	0,30	55,60
2,8	4,03	53,59	0,28	52,83

Таблица 2

Влияние активной и титруемой кислотности на предельное напряжение сдвига в молочной сыворотке с различной массовой долей пектина

Кислотность		Предельное напряжение сдвига, Па, при массовой доле пектина, %						
титруемая, °Т	активная, рН	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
45	5,52	86	115	160	226	304	390	493
50	5,35	91	123	172	241	318	417	518
55	5,21	99	131	183	263	340	439	530
60	5,13	108	137	196	279	356	452	547
65	5,02	117	144	210	295	375	470	562
70	4,96	125	153	221	317	402	498	580
75	4,80	134	162	239	333	418	513	599
80	4,69	143	170	252	356	439	527	614

Доказано, что с увеличением кислых свойств сыворотки прочность сывороточно-пектиновых гелей возрастает. В результате проведенных экспериментов установлена следующая особенность: с увеличением концентрации ионов водорода темп повышения прочности гелей снижается. Так, при рН 5,52 и повышении концентрации гелеобразователя с 0,4 до 2,8 % значение предельного напряжения сдвига в геле возросло в 5,73 раза, а при рН 5,35; 5,21; 5,13; 5,02; 4,96; 4,80 и 4,69 аналогичное увеличение прочности составило 5,69; 5,35; 5,07; 4,80; 4,64; 4,47 и 4,29 раза соответственно.

Установленный факт не противоречит литературным данным и объясняется диссоциацией карбоксильных групп молекул гелеобразователя с последующим образованием дополнительного количества водородных связей, оказывающих положительное влияние на процесс гелеобразования. Снижение темпов роста прочности сывороточно-пектиновых гелей с позиции диссоциации молекул гелеобразователя объясняется недостатком ионов водорода, являющихся инициатором диссоциации реакционно-способных групп пектина.

Особенность пектиновых веществ состоит в том, что они обычно способны образовывать устойчивые, необратимо разрушающиеся в результате сдвигающей деформации гели, только в водных растворах сахаров. Из всех гелеобразователей в большей степени свои гелеобразующие свойства от присутствия сахаров проявляют именно пектины. В этой связи изучено влияние сахарозы на процесс гелеобразова-

ния молочной сыворотки. Результаты исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние сахарозы на предельное напряжение сдвига в молочной сыворотке с различной массовой долей пектина

Массовая доля сахарозы, %	Предельное напряжение сдвига, Па, при массовой доле пектина, %						
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
0,0	86	115	160	226	304	390	493
10,0	129	195	247	311	379	456	519
20,0	158	218	269	336	391	482	526
30,0	196	234	290	368	416	512	552
40,0	230	256	318	388	425	540	586
50,0	259	289	334	405	441	562	599
60,0	280	306	351	429	470	585	617

Предельное напряжение сдвига, повышающееся в результате увеличения массовой доли сухих веществ, отражает динамику прочностных свойств сывороточных дисперсий под влиянием свойств пектина. Из представленных данных следует, что гелеобразующие свойства пектина связаны с его гидрофильностью: сахароза изменяет степень сольватации молекул гелеобразователя за счет сорбции на себя диполей воды посредством водородных связей с образованием неустойчивой межфазной поверхности. Подоб-

ное целенаправленное снижение доли свободной влаги является фактором упрочнения геля. Присутствие сахарозы по сравнению с ионами водорода, в большей степени оказывает влияние на процесс гелеобразования. Если предположить, что между пектином и сахарозой отсутствует необратимое химическое взаимодействие, то увеличение прочности геля можно также связать с повышением вязкости растворителя (сыворотки) в результате увеличения массовой доли сухих веществ.

Одним из важнейших свойств пектинов является способность к комплексообразованию. В его основу положено взаимодействие заряженных молекул гелеобразователя (например, карбоксильных групп) и ионов металлов. В результате подобного взаимодействия возможно образование устойчивых сывороточно-пектиновых ионно-связанных гелей. Проведена оценка способности пектина вовлекать ионы кальция и магния, содержащиеся в молочной сыворотке, в процесс образования структуры геля. Результаты исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4

Изменение массовой доли ионов кальция и магния при гелеобразовании молочной сыворотки

Массовая доля пектина, %	Массовая доля свободных (не связанных с пектином) ионов, мг/100 г		
	всего Ca <sup>2+</sup> и Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
0,0	60±2,96	40±2,00	20±0,96
0,4	50±2,48	32±1,58	18±0,90
0,8	39±1,93	24±1,20	15±0,73
1,2	31±1,54	19±0,94	12±0,60
1,6	24±1,17	14±0,67	10±0,50
2,0	20±0,98	11±0,54	9±0,44
2,4	15±0,71	7±0,32	8±0,39
2,8	12±0,60	5±0,29	7±0,31

Доказано, что гелеобразующая способность с повышением концентрации как пектина, так и ионов кальция увеличивается. Установленные закономерности коррелируют с результатами исследований, приведенных в таблице 4: для формирования устойчивых

гелеобразных сывороточных систем возможно снижение массовой доли пектина с одновременным увеличением концентрации ионов кальция.

В результате анализа полученных результатов выявлено снижение концентрации ионов кальция и магния в сывороточно-пектиновом геле с одновременным увеличением его прочности, причем в большей степени это относится к кальцию, поскольку массовая доля свободного кальция снижается в 8,0 раз, что в 2,7 раза больше, чем ионов магния, концентрация которых снижается в 2,9 раза. Указанную закономерность можно оценить как дополнительный положительный фактор, который будет оказывать влияние на процесс структурообразования.

В этой связи интересен факт, дополнительно иллюстрирующий поведение молочной сыворотки в модельных условиях под воздействием ионов кальция, внесенных в виде растворимых солей (таблица 5).

Таблица 5

Влияние ионов кальция на предельное напряжение сдвига в молочной сыворотке с различной массовой долей пектина

Массовая доля пектина, %	Предельное напряжение сдвига, Па, при массовой доле ионов Ca <sup>2+</sup> , мг/100 г		
	60	90	120
0,4	86	95	114
0,8	115	127	152
1,2	160	170	185
1,6	226	248	271
2,0	304	332	356
2,4	390	429	467
2,8	493	530	558

Обобщая результаты приведенных исследований, отметим, что общими факторами гелеобразования сыворотки при использовании яблочного пектина являются массовая доля сахарозы, состав и свойства сыворотки, массовая доля гелеобразователя и факторы, производные от указанных величин - вязкость, состояние влаги в геле.

#### Список литературы

1. Алиева, Л.Р. Разработка технологии напитков из молочной сыворотки с применением хитозана: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.04: защищена 20.05.03 / Алиева Людмила Руслановна. - Ставрополь, 2003. - 19 с.
2. Антипова Л.В. Прикладная биотехнология / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, А.И. Жаренов. - Воронеж, 2000. - 332 с.
3. Волкова, Т.А. Газированные напитки на основе молочной сыворотки / Т.А. Волкова, Э.Ф. Кравченко // Современные технологии пищевых производств нового поколения и их реализация на предприятиях АПК: тезисы докладов научно-практической конференции. - Углич. - 2000. - С. 90-92.
4. Липатов Н.Н. Комплексные подходы и результаты совершенствования методологии математического моделирования биологической адекватности белковых компонентов продуктов специального и детского питания / Н.Н. Липатов, Ю.Г. Сажинов, Е.И. Титов // В кн. «Научное обеспечение молочной промышленности»: Сборник научных трудов ВНИМИ. - М., 2000. - С. 25-31.

## **SUMMARY**

**A.V. Krupin**

### **The analysis of influence of pectin on law of hydrolysis of lactose in connection with manufacture of drink**

It is studied influences of pectin on laws of hydrolysis of lactose in connection with proiz-vodstvom drinks. The basic properties of pectinaceous substances are investigated. Change reactionary ability pectin groups is in detail shined at gel formation dairy whey. Influence active and titer is shown acidity on limiting pressure of shift in dairy whey with a various mass fraction of pectin. Influence of ions of calcium on limiting pressure of shift in dairy whey with a various mass fraction of pectin is defined.

Dairy drink, pectin, activity, gel formation, pressure of shift