



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕНООБРАЗНОГО ПОЛУФАБРИКАТА ТИПА «СУФЛЕ» НА ОСНОВЕ МОНОСАХАРИДА ФРУКТОЗЫ И ПОЛИОЛА МАЛЬТИТОЛА

Дорохович А.Н. д.т.н., проф., Мурзин А.В. асп.
Национальный университет пищевых технологий

THE INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF FRUCTOSE MONOSACCHARIDE AND MALTITOL POLYOL BASED SOUFFLÉ TYPE FOAM SEMI-FINISHED PRODUCT

A. Dorokhovych, PhD of Technical Sciences, Professor, A. Murzin, postgraduate student
National University of Food Technologies

Abstract

The article under review specifies the possibility of fructose and fructose mixture and maltitol efficient use in course of foam structure decorative semi-finished products manufacture. Thus it defines fructose and maltitol influence upon the soufflé type semi-finished product sorption properties. The considered article establishes that fructose-based foam semi-finished product hygroscopic equilibrium practically corresponds to the ready semi-finished product humidity. Fructose prevents semi-finished product humidity loss.

Keywords: diabetes, glycemic index, souffle, maltitol, fructose, sorption

Введение

На сегодняшний день большая часть населения болеет сахарным диабетом, в том числе дети. В странах Европы численность больных уже составляет 8%. Во всем мире темпы распространения сахарного диабета постоянно растут. Согласно данным Международной федерации диабета в 2011 году число больных составило 366 миллионов, а к 2030 году число увеличится до 552 миллионов. Поэтому одной из основных задач, поставленных перед кондитерами мира, есть увеличение количества и расширение ассортимента кондитерских изделий для больных сахарным диабетом. Требованиями к кондитерским изделиям для больных сахарным диабетом есть низкий гликемический индекс (ГИ), пониженная калорийность и наличие физиологически функциональных сырьевых ингредиентов.

Среди сахаров (сахароза, глюкоза, мальтоза) фруктоза имеет наиболее низкий ГИ=20%, у сахарозы 68%, глюкозы 100%, мальтозы 105%. Однако, калорийность у фруктозы такая же как у других сахаров, и равна 4 ккал/г. Усвояемость фруктозы в организме человека не требует наличие гормона инсулина. Фруктозу рекомендуется употреблять в количестве 0,5...1,0г на 1 кг массы тела в сутки. Указанные

свойства фруктозы свидетельствует о том, что ее целесообразно использовать при производстве кондитерских изделий для больных сахарным диабетом.

В последние годы при производстве кондитерских изделий стали использоваться сахарозаменители нового поколения – полиолы с пребиотическими свойствами, среди них большое распространение получил мальтитол. Мальтитол (пищевая добавка Е 965) согласно рекомендациям американской диетологической ассоциации не имеет ограничений по потреблению [1]. В организме человека мальтитол медленно, но полностью разлагается микрофлорой кишечника и владеет пребиотическим эффектом. Мальтитол имеет технологические характеристики наиболее приближенные к сахару белому кристаллическому, поэтому нами выбран именно он для использования в разработке технологий новых кондитерских изделий. Мальтитол не вызывает кариеса и резкого роста уровня глюкозы крови, его гликемический индекс составляет 30 %, тогда как у сахарозы 65 %. Интенсивность сладкого вкуса мальтитола почти одинакова с сахарозой (0,9 ед. относительно сладости сахарозы). Калорийность мальтитола 2,4 ккал/г, поэтому его использование позволяет



создавать кондитерские изделия со сниженной калорийностью [2].

Указанные свойства мальтитола свидетельствуют о том, что его целесообразно использовать при производстве кондитерских изделий. Проведенный нами аналитический обзор литературы показал отсутствие данных по использованию мальтитола при производстве отделочных пенообразных полуфабрикатов и начинок типа «суфле». Поэтому нашей задачей была разработка на основе мальтитола и фруктозы технологии и рецептурных композиций отделочных полуфабрикатов пенообразной структуры типа «суфле», которые можно употреблять всем группам населения, в том числе больным сахарным диабетом.

Материалы и методы

В работе было использовано сырье: фруктоза (США, "АДМ Корн Процессинг"), мальтитол (Франция, SYRAL S. A.), сахар белый кристаллический (Украина, ДСТУ 4623:2006), патока крахмальная (Украина, ДСТУ 4498:2005), агар пищевой (Украина, ГОСТ 16280-88), белок яичный (Украина, ГОСТ 30363-96), кислота лимонная пищевая (Украина, ГОСТ 908:2006).

Были использованы следующие методы: содержание сухих веществ определяли согласно ГОСТ 5900-73; плотность массы (кг/м^3) согласно ГОСТ 5902-80; граничное напряжение сдвига (Па) исследовали с помощью пенетрометра АП-4/2; сорбционно-десорбционные свойства на приборе Мак-Бена; калорийность продукта определяли на основе энергетических показателей белков, жиров, углеводов; показатель гликемичности (ПГ) методом НУХТ [3]. Для определения оптимального рецептурного состава пенообразного полуфабриката был использован математический метод многофакторного планирования эксперимента [4].

Результаты и обсуждение

Рецептура традиционного пенообразного полуфабриката типа «суфле» предусматривает следующий рецептурный состав: сахар белый кристаллический, патока крахмальная, агар, белок яичный, кислота лимонная, масло сливочное, молоко сгущенное, ароматизатор. При разработке рецептурного состава пенообразного полуфабриката на фруктозе были полностью исключены масло сливочное и молоко сгущенное, поскольку они имеют высокую калорийность, также полностью исключены

сахар белый кристаллический и патока крахмальная, так как они обладают высоким ГИ. Исключение сахара, патоки, молока сгущенного и масла сливочного потребовало существенного изменения рецептурного состава пенообразного отделочного полуфабриката. Основным сырьем разработанных рецептурных композиций была фруктоза, полиол мальтитол, агар, белок яичный, кислота лимонная, ароматизатор.

По структурно-механическим и органолептическим показателям пенообразный полуфабрикат на фруктозе был приближен к полуфабрикату на сахаре белом кристаллическом. Известно, что фруктоза обладает высокой водопоглотительной способностью, поэтому нас интересовало поведение пенообразного полуфабриката при хранении, и как отделочного полуфабриката при производстве тортов и пирожных, и как начинки при производстве маффинов, кексов, печенья. Это потребовало определения сорбционных и десорбционных свойств при различных значениях P/P_0 . Исследования были проведены на приборе Мак-Бена при $P/P_0=0,004\dots 1,0$. Результаты экспериментов представлены на рис. 1.

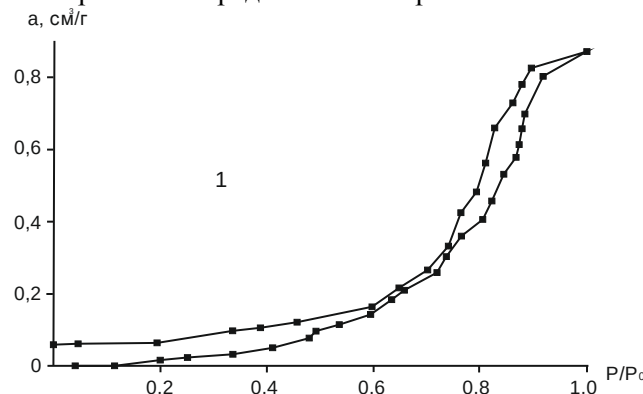


Рис. 1. Изотермы сорбции и десорбции пенообразного полуфабриката на фруктозе

Согласно данным Международного союза по теоретической и прикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC, www.iupac.org) изотермы адсорбции влаги делят на пять основных типов, соответствующих различным видам взаимодействия между адсорбирующим веществом (адсорбатом) и адсорбентом. Изотерма адсорбции представленные на рис. 1 относится к пятому типу, характерному для капиллярно-пористых тел.

Изотермы адсорбции принято разделять на I, II, III зоны [5].

I зона ($P/P_0=0\dots 0,25$) – зона мономолекулярной адсорбции. Эта зона описана Ван-дер-Ваальсом как зона взаимодействия



между гидрофильными частицами матрикса продукта и молекулами воды. Адсорбция воды продолжается до тех пор, пока непрерывный монослой молекул воды образуется как на внешней поверхности продукта, так и на поверхности его внутренних частиц. Вода находится в неподвижном, «полужестком» состоянии, которое достигается за счет взаимодействия между молекулами воды и поверхностью продукта. Насыщение всей поверхности означает переход во вторую зону.

II зона – зона полимолекулярной адсорбции соответствует множественной адсорбции воды первичного монослоя, когда менее прочно связанные молекулы воды образуют на поверхности монослоя мультислой. Влага удерживается в твердом матриксе благодаря капиллярной конденсации. Эта вода служит

растворителем для веществ с низкой молекулярной массой и является реагентом для протекания некоторых биохимических реакций. Такая вода не замерзает при нулевой температуре [5].

III зона – зона механически связанной влаги, она находится в жидком агрегатном состоянии, присутствует в микрокапиллярах или в жидкой фазе продуктов с повышенной влажностью. Вода в III зоне проявляет все свойства свободной воды, служит хорошим растворителем. В табл. 1 представлено по зонам количество поглощенной влаги в 100 г сухого (обезвоженного) пенообразного полуфабриката и количество влаги, поглощенное 100 г полуфабриката с учетом его влажности, которая согласно рецептуре равна ($W=28\pm 0,5\%$).

Таблица 1

Содержание воды по зонам изотерм сорбции

Продукт	Содержание воды по зонам					
	I зона $P/P_0 = 0,004-0,25^*$ $\text{см}^3/100\text{г}$		II зона $P/P_0 = 0,26-0,75$ $\text{см}^3/100\text{г}$		III зона $P/P_0 = 0,76-1,0$ $\text{см}^3/100\text{г}$	
	сухих веществ	продукта	сухих веществ	продукта	сухих веществ	продукта
Фруктоза	0,0...1,5	0,0...1,1	1,5...46,0	1,1...33,1	46,0...180,0	33,1...129,6
Пенообразный полуфабрикат на фруктозе	0,0...2,0	0,0...1,4	2,0...36,0	1,4...25,9	36,0...87,0	25,9...62,6
Мальтитол	0,0...0,0	0,0...0,0	0,0...3,0	0,0...2,2	3,0...100,0	2,2...72,0
Пенообразный полуфабрикат на смеси мальтитола и фруктозы	0,0...0,0	0,0...0,0	0,0...27,0	0...19,4	27,0...108,0	19,4...77,8

* На приборе Мак-Бена поглощение влаги начинается при $P/P_0 = 0,004$

Анализ данных показывает, что в зоне мономолекулярной адсорбции ($P/P_0 = 0,004...0,25$) обезвоженный пенообразный полуфабрикат на фруктозе поглощает от 0 до 2% влаги; с учетом влажности полуфабриката 28% от 0 до 1,4%, что в пересчете на общее количество влаги составляет от 0 до 2,2%. В зоне полимолекулярной адсорбции ($P/P_0 = 0,26...0,75$) обезвоженный пенообразный полуфабрикат поглощает от 2 до 36% влаги; с учетом влажности полуфабриката от 1,4 до 25,9%, что в пересчете на общее количество влаги составляет от 1,6 до 29,8%. В зоне капиллярной адсорбции ($P/P_0 = 0,76...1,0$) обезвоженный пенообразный полуфабрикат поглощает от 36 до 87% влаги; с учетом влажности полуфабриката от 25,9 до 62,6%, что в пересчете на общее количество влаги составляет от 29,8 до 72%.

Согласно разработанной нами рецептуре количество фруктозы от общего количества сухих веществ

пенообразного полуфабриката равно 93%. Поэтому сорбционные свойства фруктозы должны оказывать существенное влияние на сорбционные свойства полуфабриката. Проведенные нами исследования сорбционных свойств фруктозы представлены на рис. 2.

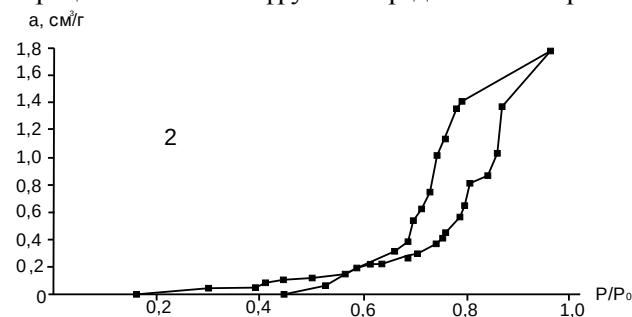


Рис. 2. Изотермы сорбции и десорбции
фруктозы

Анализ полученных данных показал, что механизм сорбции влаги фруктозы по зонам



аналогичен механизму сорбции пенообразного полуфабриката на фруктозе. Сорбция влаги фруктозы по зонам изотерм сорбции представлена в табл. 1.

Согласно технологическим инструкциям пенообразный полуфабрикат храниться при $P/P_0=0,70\ldots 0,75$, при температуре $t=18\ldots 20^\circ\text{C}$ (291...293 К). Проведенные исследования показали, что при хранении пенообразный полуфабрикат на фруктозе с влажностью 28% практически не будет ни поглощать ни отдавать влагу, потому что равновесное влагосодержание при $P/P_0=0,75$ равно 26%.

Для установления возможности применения полиола мальтитола при производстве пенообразного полуфабриката был проведен комплекс исследований. Замена фруктозы на

мальтитол ухудшила органолептические и структурно-механические показатели полуфабриката, на вторые сутки хранения полуфабриката наблюдалась заметная кристаллизация мальтитола. Проведенные исследования показали, что производство пенообразного полуфабриката на мальтитоле не целесообразно.

Учитывая пребиотические свойства мальтитола было принято решение при производстве пенообразного полуфабриката использовать смесь мальтитола и фруктозы.

Для определения оптимального соотношения мальтитола, фруктозы и агара разработана матрица варьирования факторов эксперимента (табл. 2). За критерий оптимизации выбрана плотность образцов (кг/м^3).

Таблица 2

Матрица варьирования факторов

Уровни факторов	Обозначение	Количество фруктозы, г X_1	Количество агара, г X_2	Количество мальтитола, г X_3
Нулевой уровень	X_i^0	40,0	0,9	35,0
Интервал варьирования	λ_i	10,0	0,1	5,0
Верхний уровень	X_i^+	50,0	1,0	40,0
Нижний уровень	X_i^-	30,0	0,8	30,0

Полученные результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты исследований

№	Матрица эксперимента			Значение критерия оптимальности, (кг/м^3)		среднее значение (кг/м^3)	Отклонение критерия оптимальности		Квадрат отклонения критерия оптимальности		$\Sigma\alpha^2$	ΣS^2
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_c	A_1	α_2	α_1^2	α_2^2		
1	-	+	-	521,00	518,00	519,50	-1,50	1,50	2,25	2,25	4,50	0,56
2	-	-	-	505,00	512,00	508,50	3,50	-3,50	12,25	12,25	24,50	3,06
3	-	+	+	556,00	558,00	557,00	1,00	-1,00	1,00	1,00	2,00	0,25
4	-	-	+	544,00	540,00	542,00	-2,00	2,00	4,00	4,00	8,00	1,00
5	+	+	-	447,00	455,00	451,00	4,00	-4,00	16,00	16,00	32,00	4,00
6	+	-	-	433,00	441,00	437,00	4,00	-4,00	16,00	16,00	32,00	4,00
7	+	+	+	481,00	488,00	484,50	3,50	-3,5	12,25	12,25	24,50	3,06
8	+	-	+	464,00	466,00	465,00	1,00	-1,00	1,00	1,00	2,00	0,25
											129,50	16,19

Рассчитано уравнение регрессии.

$$Y = 495,06 - 35,69X_1 + 6,94X_2 + 16,06X_3$$

Уравнение регрессии показывает, что увеличение дозировки фруктозы снижает плотность полуфабриката, а мальтитол наоборот увеличивает. Влияние фруктозы в два раза больше. Целью исследований было разработать

пенообразный полуфабрикат на смеси мальтитола и фруктозы с структурно-механическими показателями подобными, как на сахаре, т.е. с плотностью 530 кг/м^3 .

Для достижения результата выполнена программа крутого восхождения (табл. 4).

Программа крутого восхождения

Номер опыта	Крутое восхождение			Критерий оптимальности, Y , кг/м^3	Контроль на сахаре, кг/м^3
	X_1	X_2	X_3		
9	38,80	0,92	35,30	510,00	530,00
10	37,60	0,94	35,60	522,00	
11	36,40	0,96	35,90	535,00	
12	35,20	0,98	36,20	542,00	
13	34,00	1,00	36,50	547,00	

Результаты исследований показали, что показания опыта 11 дают возможность создать пенообразный полуфабрикат со структурой подобной полуфабриката на сахаре. Оптимальное соотношение фруктозы мальтитола и агара составило 4 : 4 : 0,1.

На основе установленного оптимального соотношения мальтитола, фруктозы и агара был изготовлен полуфабрикат и проведены исследования сорбционно-десорбционных свойств, изотермы адсорбции представлены на рис. 3.

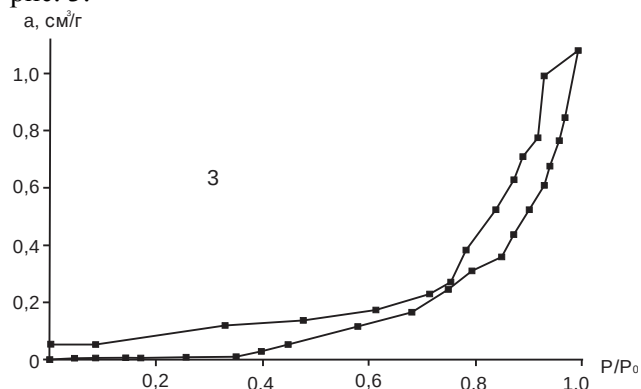


Рис. 3. Изотермы сорбции и десорбции пенообразного полуфабриката на смеси фруктозы и мальтитола

Анализ данных по сорбции влаги по зонам I, II, III показал (табл.1), что равновесное влагосодержание пенообразного полуфабриката на смеси мальтитола и фруктозы при $P/P_0=0,75$ равно 19%. Влажность самого полуфабриката равна $28\pm0,5\%$, что свидетельствует о возможности потери влаги при хранении. Однако, при хранении пенообразного полуфабриката, изготовленного на смеси мальтитола и фруктозы, даже в неупакованном виде не было обнаружено кристаллизации мальтитола. Вероятно, высокая гигроскопичность фруктозы способствовала стабильности структуры пенообразного полуфабриката.

Разработанные технологии и рецептуры пенообразных полуфабрикатов на фруктозе и смеси мальтитола и фруктозы защищены патентами Украины. Рассчитана пищевая,

энергетическая ценность и показатель гликемичности согласно методике НУХТ [3] (табл. 5).

Таблица 5

Пищевая, энергетическая ценность и показатель гликемичности

Показатель	Пенообразный полуфабрикат	
	на фруктозе	на смеси мальтитола и фруктозы
Калорийность, ккал (кДж) на 100 г продукта	299 (1250)	243 (1016)
Показатель гликемичности, ед	14,50	17,99
Пищевая ценность. Количество (г) в 100 г продукта:		
белков	3,71	3,71
жиров	0,08	0,08
углеводов	70,83	35,93
полиолов	-	34,90

Расчёты показали, что ПГ пенообразного полуфабриката на фруктозе на 72% меньше, чем ПГ полуфабриката на сахаре (сахарозе), а на смеси мальтитола и фруктозы соответственно меньше на 65%. Кондитерский пенообразный полуфабрикат на фруктозе и смеси фруктозы и мальтитола заслуживает маркировку «с редуцированной гликемичностью»; на основе смеси мальтитола и фруктозы заслуживают маркировку «с пониженной калорийностью»; «без сахара (сахарозы)»; «функциональный продукт», учитывая пребиотические свойства мальтитола.

Заключение

Разработаны инновационные технологии и рецептуры пенообразных полуфабрикатов типа «суфле» на фруктозе и на смеси мальтитола и фруктозы. Определены их сорбционные свойства при $P/P_0=0,004\ldots1,0$. Установлено, что равновесная влажность пенообразного полуфабриката на фруктозе при $P/P_0=0,75$ равна



26%, что практически соответствует влажности готового полуфабриката.

Равновесная влажность пенообразного полуфабриката на смеси фруктозы и мальтитола равна 19%, что указывает на возможность потери влаги при хранении. Однако, практика показала, что при хранении неупакованных полуфабрикатов в течении 7 дней заметного изменения структуры не наблюдается. Для более длительного хранения полуфабрикат на смеси фруктозы и мальтитола следует хранить во влагонепроницаемой таре. Пенообразные полуфабрикаты на фруктозе и смеси фруктозы и мальтитола могут быть успешно реализованы как отделочные полуфабрикаты при производстве тортов и пирожных, и как начинки при производстве кексов и маффинов диетического назначения.

Технологии тортов, кексов, маффинов с использованием пенообразного полуфабриката защищены патентами Украины. Разработанные кондитерские пенообразные полуфабрикаты на фруктозе и смеси фруктозы и мальтитола

соответствуют современным рекомендациям ВОЗ к продуктам питания.

Литература

- [1] Position of the American dietetic association: use of nutritive and nonnutritive sweeteners // J.Am.Diet. Assoc.2006.v.104, p. 225-275.
- [2] Полумбрик М.О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини / Полумбрик М.О. – К.: Академперіодика, 2011. – 487 с.
- [3] Пат 40623 Україна, МПК А 23L1/10. Спосіб визначення показника глікемічності харчового продукту / А.М. Дорохович, В.М. Ковбаса та ін. Опубл. 27.04.2009. Бюл. № 8.
- [4] Дорохович А.М., Оболкіна В.І., Гавва О.О. Оптимізації технологічних процесів галузі (кондитерське виробництво): Конспект лекцій для студ. спец. 7.091702 «Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів та харчоконцентратів». – К.: НУХТ, 2009. – 89 с.
- [5] Food and beverage stability and shelf life Edited by David Kilcast and Persis Subramanian Oxford Cambridge Philadelphia New Delhi, 2011, p.440.