

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАКТОЗЫ В ГИДРОЛИЗОВАННЫХ МОЛОЧНЫХ СМЕСЯХ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ЙОДОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Т.Л. Шуляк, М.А. Глушаков

Разработан модифицированный йодометрический метод определения лактозы в гидролизированных молочных смесях. Получены формулы расчета массовой доли остаточной лактозы и степени гидролиза лактозы в молочных смесях применительно к йодометрическому методу. Предложенные формулы могут быть использованы в исследованиях низколактозных молочных смесей с любым содержанием сухого обезжиренного молочного остатка на любом этапе технологического процесса.

Введение

Молочные продукты являются привычной и важной частью питания каждого человека на протяжении всей его жизни. Однако многие люди страдают непереносимостью основного углевода молока – лактозы, что связано с пониженным образованием фермента лактазы (β -галактозидазы) в кишечнике или недостаточной его активностью. Употребление молочных продуктов у таких людей вызывает острые желудочно-кишечные расстройства. В результате человек вынужден сократить употребление или совсем исключить из своего рациона молоко и молочные продукты, которые являются одними из наиболее полноценных продуктов питания [1].

В связи с этим в настоящее время одним из актуальных вопросов молочной промышленности является разработка низколактозных молочных продуктов для людей, страдающих непереносимостью лактозы. Создание и внедрение технологий низколактозных продуктов требует разработки эффективных методов контроля содержания лактозы в этих продуктах.

Арбитражным методом определения массовой доли лактозы в молоке и молочных продуктах является йодометрический метод, который не требует дорогостоящих реактивов и оборудования, достаточно прост в исполнении. Этот метод основан на окислении альдегидной группы восстанавливающего углевода (лактозы) йодом в щелочной среде. В случае гидролиза одной молекулы лактозы (восстанавливающий дисахарид) образуются два моносахарида (галактоза и глюкоза), каждый из которых является восстанавливающим. Таким образом, в молоке с внесённым ферментом лактазой расчётные значения массовой доли лактозы, полученные в ходе стандартного йодометрического титрования, будут находиться в диапазоне от 4,4 % – 4,7 % (нормальное содержание лактозы в молоке при степени гидролиза 0 %) до 8,8 % – 9,4 % (при степени гидролиза 100 %). Следовательно, стандартный йодометрический метод определения массовой доли лактозы в низколактозных молочных продуктах не может быть использован и требует корректировки.

Известны работы, в которых была получена расчетная формула для определения массовой доли остаточной лактозы в молочных смесях в любой контролируемый промежуток времени процесса гидролиза применительно к йодометрическому методу [2]. Однако предлагаемая формула не работает, так как в ней имеется неточность (от безразмерной величины отнимается величина, измеряемая в сантиметрах кубических).

Цель работы – разработка модифицированного йодометрического метода определения массовой доли остаточной лактозы в гидролизированных молочных смесях (молоке) с любым содержанием сухого обезжиренного молочного остатка и в любой контролируемый промежуток времени.

Результаты исследований и их обсуждение

Известное уравнение гидролиза лактозы на глюкозу и галактозу представлено на рисунке 1.

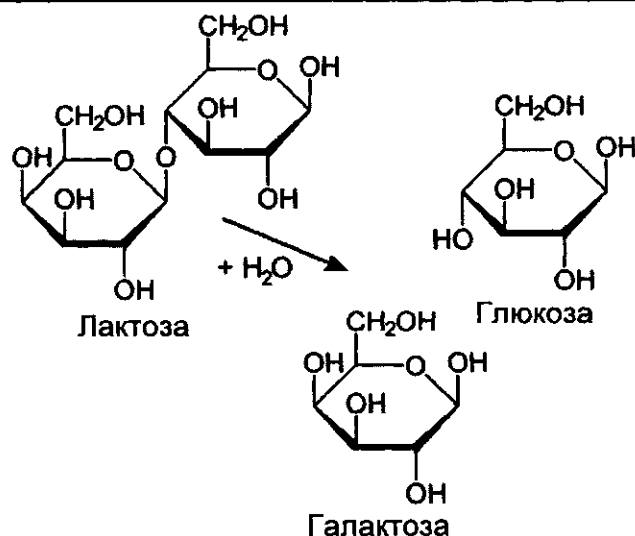


Рисунок 1 – Уравнение гидролиза лактозы

Из рисунка 1 следует, что при гидролизе (x) моль/дм³ лактозы образуется (x) моль/дм³ галактозы и (x) моль/дм³ глюкозы. При этом остаточная молярная концентрация лактозы ($c_{ост}$) моль/дм³ может быть рассчитана из выражения

$$c_{ост} = c_n - x, \quad (1)$$

где c_n – начальная молярная концентрация лактозы, моль/дм³.

Соответственно в любой момент времени процесса гидролиза суммарная концентрация восстанавливающих сахаров (c_n), которые определяем йодометрическим титрованием, может быть рассчитана из выражения:

$$c_n = c_{ост} + x + x. \quad (2)$$

Подставляя выражение (1) в выражение (2), получаем:

$$c_n = c_n + x. \quad (3)$$

Поскольку концентрация гидролизованной лактозы (c_2) равна любой из концентраций простых сахаров, полученных в результате гидролиза, то есть $c_2 = x$, то выражение (3) можно представить в следующем виде:

$$c_n = c_n + c_2. \quad (4)$$

Стандартная формула для расчета массовой доли лактозы (L , %) в молоке представлена ниже:

$$L = \frac{0,01801 \cdot 100 \cdot 0,97}{1,03 \cdot K} \cdot (V_{хол} - V), \quad (5)$$

где $V_{хол}$ – объем 0,1н раствора Na₂S₂O₃, пошедшего на титрование йода в холостом опыте (дистиллированной воде), см³;

V – объем 0,1н раствора Na₂S₂O₃, пошедшего на титрование йода в фильтрате молока, см³;

K – объем молока в 25 см⁵ фильтрата, равный 2,5 см³;

0,97 – поправка, установленная эмпирически;

0,01801 – масса лактозы, соответствующая 1 см³ 0,1н раствора йода, г.

Молярная концентрация (c) и массовая концентрация лактозы (L) в молоке связаны между собой зависимостью:

$$c = \frac{1000 \rho}{100 M} \cdot L, \quad (6)$$

где M – молярная масса лактозы, г/моль;

ρ – плотность молока, г/см³.

Подставим выражение (6) в выражение (5) и получим формулу расчёта молярной концентрации лактозы:

$$c = \left[\frac{1000 \rho}{100 M} \cdot \frac{0,01801100 \cdot 0,97}{1,03 \cdot K} \right] \cdot (V_{\text{хол}} - V). \quad (7)$$

Часть выражения (7), ограниченная квадратными скобками, представляет собой константу для конкретного объекта исследования, обозначим ее B :

$$B = \left[\frac{1000 \rho}{100 M} \cdot \frac{0,01801100 \cdot 0,97}{1,03 \cdot K} \right]. \quad (8)$$

Тогда выражение (7) может быть записано в виде:

$$c = B(V_{\text{хол}} - V). \quad (9)$$

Запишем выражение (9) для двух различных по времени этапов гидролиза лактозы.

Выражение для расчета молярной концентрации лактозы на начальном этапе (c_n), то есть в исходном молоке, в котором гидролизовано ноль молекул лактозы, может быть записано в виде:

$$c_n = B(V_{\text{хол}} - V_n), \quad (10)$$

где V_n – объем 0,1н раствора Na₂S₂O₃, пошедшего на титрование йода в фильтрате, выделенном из исходного молока до этапа гидролиза, см³.

Выражение для расчета молярной концентрации лактозы в молоке на каком-либо этапе гидролиза (c_n) имеет вид:

$$c_n = B(V_{\text{хол}} - V_n), \quad (11)$$

где V_n – объем 0,1н раствора Na₂S₂O₃, пошедшего на титрование йода в фильтрате, выделенном из молока на любом этапе гидролиза, см³.

Разделим выражение (10) на выражение (11):

$$\frac{c_n}{c_n} = \frac{B(V_{\text{хол}} - V_n)}{B(V_{\text{хол}} - V_n)}. \quad (12)$$

Путём сокращения константы B в числителе и знаменателе выражения (12) получим:

$$\frac{c_n}{c_n} = \frac{V_{\text{хол}} - V_n}{V_{\text{хол}} - V_n}. \quad (13)$$

Выражение (13) после подстановки в него выражения (4) может быть записано в виде:

$$(c_n + c_2)(V_{хол} - V_n) = c_n(V_{хол} - V_n). \quad (14)$$

После несложных преобразований выражения (14) получим формулу для расчета молярной концентрации гидролизованной лактозы (c_2):

$$c_2 = c_n \frac{V_n - V_n}{V_{хол} - V_n}. \quad (15)$$

В технологиях низколактозных молочных продуктов основным параметром контроля процесса гидролиза лактозы является остаточная (не гидролизованная) лактоза, молярная концентрация которой ($c_{ост}$) связана с молярной концентрацией гидролизованной лактозы (c_2) зависимостью:

$$c_2 = c_n - c_{ост}. \quad (16)$$

Подставим в выражение (15) выражение (16):

$$c_n - c_{ост} = c_n \frac{V_n - V_n}{V_{хол} - V_n}. \quad (17)$$

Выразим ($c_{ост}$) из выражения (17):

$$c_{ост} = c_n \left(1 - \frac{V_n - V_n}{V_{хол} - V_n} \right). \quad (18)$$

Подставив выражение (6) в левую и правую часть выражения (18), получим:

$$L_{ост} = L_n \left(1 - \frac{V_n - V_n}{V_{хол} - V_n} \right). \quad (19)$$

Выражение (19) позволяет рассчитать массовую долю лактозы в гидролизованном молоке (молочной смеси) на любом этапе процесса гидролиза. Полученная формула показывает, что для определения массовой доли остаточной лактозы в гидролизованном молоке (молочной смеси) йодометрическое титрование необходимо проводить для трёх образцов:

образец 1 – фильтрат, выделенный из исходного молока (молочной смеси) до этапа гидролиза;

образец 2 – фильтрат, выделенный из молока (молочной смеси) на любом этапе гидролиза;

образец 3 – холостой опыт (дистиллированная вода).

Степень гидролиза лактозы (C , %) можно рассчитать по формуле:

$$C = \frac{L_n - L_{ост}}{L_n} \cdot 100. \quad (20)$$

Для проверки предлагаемого модифицированного йодометрического метода провели серию опытов по гидролизу лактозы в молочных смесях с различным содержанием сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) и лактозы. Для проведения исследований молочные смеси готовили следующим образом. Обезжиренное молоко подогревали до температуры $40\text{ }^\circ\text{C}$, восстанавливали в нём сухое обезжиренное молоко (СОМ) в концентрациях от 5 до 10 %. Затем смеси фильтровали, пастеризовали при температуре $(90 \pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой 20 с, охлаждали до температуры $(40 \pm 1)\text{ }^\circ\text{C}$ и вносили в них ферментный препарат лактазы Maxilact L2000 в концентрации 0,4 % от массы смеси. До внесения ферментного препарата отбирали необходимый объем смесей для определения начальной массовой доли лактозы в них. Процесс гидролиза лактозы осуществляли при оптимальной для лактазы температуре $(40 \pm 1)\text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой 2 и 4 ч. По

окончании выдержки в образцах определяли массовую долю остаточной лактозы и рассчитывали степень гидролиза лактозы. Процесс гидролиза лактозы проводили также в обезжиренном молоке (без добавления СОМ) с массовой долей СОМО 8,5 %. Полученные результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Степень гидролиза лактозы в исследуемых молочных смесях

Концентрация СОМ, добавленного в ОБМ, %	Массовая доля СОМО в исходной смеси, %	Массовая доля лактозы в исходной смеси, %	Массовая доля остаточной лактозы в гидролизованной смеси, %		Степень гидролиза лактозы, %	
			через 2 ч	через 4 ч	через 2 ч	через 4 ч
–	8,5	4,61	1,48	1,25	67,9	72,9
5	12,3	6,91	2,93	2,48	65,1	67,5
6	13,1	7,35	2,84	2,36	66,0	69,0
7	14,0	7,73	2,73	2,29	67,1	69,4
8	14,8	8,43	2,58	2,17	67,8	69,8
10	16,6	9,20	2,02	1,86	68,3	71,4

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, полученные формулы для расчета массовой доли остаточной лактозы и степени гидролиза лактозы позволяют рассчитать эти показатели в молочных смесях с любым содержанием СОМО и лактозы в любой контролируемый промежуток времени процесса гидролиза.

Для проверки результатов, полученных модифицированным йодометрическим методом, в некоторых образцах гидролизованных молочных смесей определяли массовую долю лактозы методом ВЭЖХ в условиях ГУ «Республиканский научно-практический центр гигиены». Получены сходимые результаты, что подтверждает достоверность измерений модифицированным йодометрическим методом.

Заключение

Разработан модифицированный йодометрический метод определения лактозы в гидролизованных молочных смесях на любом этапе процесса ферментативного гидролиза лактозы. Получены формулы для расчета массовой доли остаточной лактозы и степени гидролиза лактозы в молочных смесях. Путём практических испытаний подтверждена достоверность полученных формул применительно к гидролизованным молочным смесям с любым содержанием СОМО и лактозы.

Литература

- 1 Ферментная обработка молока или еще раз о лактозе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.milkbranch.ru>.
- 2 Охрименко, О.В. Определение лактозы в молочных смесях / О.В. Охрименко, В.И. Носкова, И.М. Бурыкина // Молочная промышленность. – 2006. – № 8. – С.56.

Поступила в редакцию 30.10.2014