

## КРИОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ МАСИ ПОЛЮЛІВ ЛАКТИТОЛУ ТА ІЗОМАЛЬТУ

**Ковалевські Є.І., канд. техн. наук, доцент, Прилуцька Л.П., аспірант, Яременко О.М., аспірант  
Національний університет харчових технологій м. Київ  
Дорохович В.В., канд. техн. наук, докторант  
Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ**

*У даній статті наведені дослідження по визначенню молекулярної маси цукрозамінників лактитолу та ізомальту. Визначення базується на властивостях розчинів замерзати за температури, нижчої за температуру замерзання чистого розчинника. Встановлено молекулярну масу лактитолу, що становить 362, та ізомальту – 342.*

*Experiments for definition of molecular mass of sugarsubstitution-lactitol and isomalt were given in this article. The definition is based on property of solutions to freeze with temperature below then the temperature of freezing of pure solution. Molecular mass of lactitol is 362 and molecular mass of isomalt is 342 were also determined in this article.*

Ключові слова: цукрозамінники, температура замерзання, ідеальні розчини, молекулярна маса.

Серед широкого асортименту харчових продуктів кондитерські вироби, зокрема білково-збивне печиво, торти та тістечка, користуються підвищеним попитом у населення, основною сировиною яких є цукор та яєчний білок.

Сучасні дослідження вчених усього світу свідчать, що надлишкове вживання легкозасвоюваних вуглеводів є одним із факторів ризику, оскільки сприяє розвитку цукрового діабету, ожиріння, атеросклерозу, є вагомим чинником ризику виникнення та ускладнення перебігу серцево-судинних, ендокринних та багатьох інших патологічних станів та захворювань.

Зараз широким фронтом проводяться роботи з розробки речовин із солодким смаком, що є альтернативою сахарози.

До цукрозамінників висуваються такі вимоги:

- якість солодкості повинна бути подібною до якості солодкості цукрози;
- чистий приємний солодкий смак, що виявляється без затримки і не відчувається довго;
- відсутність кольору і запаху;
- фізіологічна нешкідливість (неканцерогенність, некаріогенність);
- нетоксичність, повне виведення з організму;
- добра розчинність у воді;
- хімічна і термічна стійкість.

Цікавою сировиною для виробництва кондитерських виробів, зокрема тортів, тістечок та печива, є цукрозамінники нового покоління лактитол та ізомальт. Оскільки дані поліоли бувають безгідратні, моногідратні та дигідратні, а виробники часто не вказують їх молекулярну масу, нами були проведені дослідження для визначення молекулярної маси лактитолу та ізомальту.

Під час проведення досліду як контрольний зразок будемо використовувати фруктозу.

Визначення базується на властивості розчинів замерзати за температури, нижчої за температуру замерзання чистого розчинника. Залежність температури заморожування розчину від його концентрації кількісно описує фізична теорія розчинів. Ця теорія розглядає так звані ідеальні розчини, тобто розчини, утворення яких не супроводжує стиснення чи розчинення, а також виділення чи поглинання теплоти. Однак жоден реальний розчин не має таких властивостей зв'язку з явищем асоціації, дисоціації, сольватації та ін. До ідеальних розчинів, близьких за своїми властивостями, належать нескінченно розведені розчини. До них можна застосовувати закономірності, отримані для ідеальних розчинів.

Якщо до складу розчину входить леткий розчинник (вода, спирт, бензол), в якому розчинена якась нелетка речовина (сахароза та ін.), за досвідом, за сталої температури тиск насиченої пари над чистим розчинником завжди вищий, ніж над розчином. Чим вища концентрація розчину, тим нижчий тиск насиченої пари над ним.

Французький вчений Рауль встановив, що відносно зниження насиченої пари розчинника над розчином дорівнює молярній частці розчиненої речовини (закон Рауля):

$$\frac{\Delta P}{P^0} = \frac{P^0 - P}{P^0} = N_2, \quad (1)$$

де  $P$  – тиск насиченої пари розчинника над розчином;  
 $P^0$  – тиск насиченої пари над чистим розчинником;  
 $P^0 - P$  – зниження тиску насиченої пари розчинника над розчином;  
 $N_2$  – молярна частка розчиненої речовини.

Молярною часткою  $i$ -го компонента розчину  $N_i$  є відношення кількості молів цього компонента до сумарної кількості молів всіх компонентів розчину.

Для двокомпонентного розчину рівняння матиме вигляд:

$$N_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad (2)$$

де  $n_1$  та  $n_2$  — кількість молів розчинника та розчиненої речовини.

Тоді

$$\frac{\Delta P}{P^0} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad (3)$$

Оскільки розчин є дуже розведеним, значення  $n_2$  можна знехтувати в порівнянні із значенням  $n_1$  у знаменнику і рівняння буде мати вигляд:

$$\frac{\Delta P}{P^0} = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

Позначимо  $g_1$  — масу наважки розчинника;

$g_2$  — масу наважки розчиненої речовини, а  $M_1$  та  $M_2$  – молярні маси відповідно розчинника та розчиненої речовини.

Тоді

$$n_1 = g_1 / M_1 \quad \text{і} \quad n_2 = g_2 / M_2 \quad (5)$$

Підставимо значення  $n_1$  та  $n_2$  в (3.1.4) і одержимо

$$M_2 = \frac{g_2 M_1}{g_1 \left( \frac{\Delta P}{P^0} \right)} \quad (6)$$

Різниця у тиску насиченої пари над розчином і розчинником є малою та незручною для експериментального визначення з великою точністю. Набагато легше виміряти інші величини, які залежать від значення тиску насиченої пари. До них належать зміна температури кипіння та замерзання розчинів порівняно з відповідними значеннями для чистого розчинника.

При замерзанні розведеного розчину з нього кристалізується чистий розчинник. Замерзання розчину на відміну від чистої рідини іде в деякому інтервалі температур. Перші кристали розчинника виділяються за нової температури (при цьому концентрація розчину збільшується); подальше виділення кристалів з розчинів проходить лише за зниження температури. Температурою замерзання розчину певної концентрації називають температуру, за якої з'являються перші кристали розчинника.

Для точки замерзання рідини є характерним рівноважне співіснування рідкої, кристалічної та газової фаз. При цьому хімічні потенціали в усіх трьох фазах мають бути рівні, а відповідно дорівнюватимуть один одному і значення тиску насиченої пари над рідкою та кристалічними фазами.

Температура замерзання розчину нижча за температуру замерзання чистого розчинника. Різниця між температурою замерзання чистого розчинника і розчину називається зниженням температури замерзання.

Існує залежність між зниженням температури замерзання та концентрацією розчиненої речовини відповідно до закону Рауля, тобто зниження температури замерзання розчину є наслідком зниження тиску насиченої пари над ним.

За допомогою термодинамічних розрахунків можна показати, що між зниженням температури замерзання і концентрацією розчину існує прямо пропорційна залежність.

$$\Delta T = K_K \cdot C, \quad (7)$$

де  $\Delta T$  – зниження температури замерзання розчину;

$K_K$  – криоскопічна стала;

$C$  – молярна концентрація розчину, кг/л.

Кріоскопічна стала  $K_K$  чисельно дорівнює зниженню температури замерзання одномолярного розчину за умови, що розчин цієї концентрації має властивості ідеального, а розчинена речовина не дисоціює і не асоціює.

Кріоскопічна стала

$$K_K = \frac{R(T^0)^2}{1000 \cdot l} \quad (8)$$

де  $R$  – універсальна газова стала;  $l$  – питома теплота кристалізації розчинника.

З (3.1.8) випливає, що кріоскопічна стала є величиною, характерною для розчинника і не залежить від природи розчиненої речовини.

Концентрація розчиненої речовини. Подається ця кількість молів розчиненої речовини у 1000 г розчинника. Тоді цю концентрацію можна виразити через маси розчинника  $z$  і розчиненої речовини  $g$ , міркуючи таким чином: якщо розчин вміщує  $g$  грамів розчиненої речовини, що становить  $\frac{g}{M}$  ( $M$  – молярна маса розчиненої речовини) в  $z$  грамах розчинника, на 1000 г розчинника припадає  $C$  молів розчиненої речовини:

$$C = \frac{1000 \cdot g}{M \cdot z} \quad (9)$$

І рівняння (3.1.7) набуває вигляду

$$\Delta T = K_K \frac{1000 \cdot g}{M \cdot z} \quad (10)$$

Звідси

$$M = K_K \frac{1000 \cdot g}{\Delta T \cdot z} \quad (11)$$

де  $K_K$  – кріоскопічна стала, що для води становить 1,86;

$g$  – маса розчиненої речовини;

$\Delta T$  – зниження температури замерзання розчину;

$z$  – маса розчинника.

Якщо зміну температури води з часом подати в системі координат температура – час, одержимо криву, що подана на рис. 1.

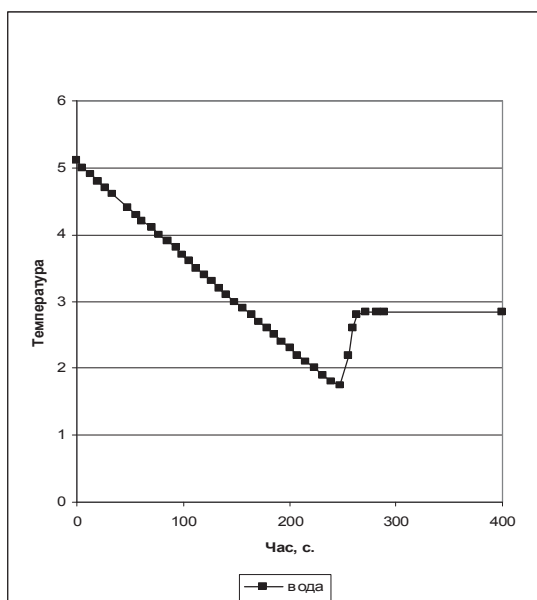


Рис. 1 – Визначення температури замерзання води

У початковий момент вода мала температуру навколишнього середовища, далі вода досягла температури замерзання, але не замерзла, з часом зазнала переохолодження. У точці, де вода досягла 1,75 °C, почали швидко випадати кристали льоду. Температура замерзаючої води за рахунок теплоти кристалізації підвищилась і стала дорівнювати температурі замерзання 2,84 °C. Подальше охолодження не веде до

зниження температури, вона залишається сталою, бо в рівновазі співіснують три фази: пара-вода-лід. Температура залишається сталою, доки в системі існують всі три фази, тобто поки не замерзла вся вода.

Далі визначаємо температуру замерзання розчину фруктози.

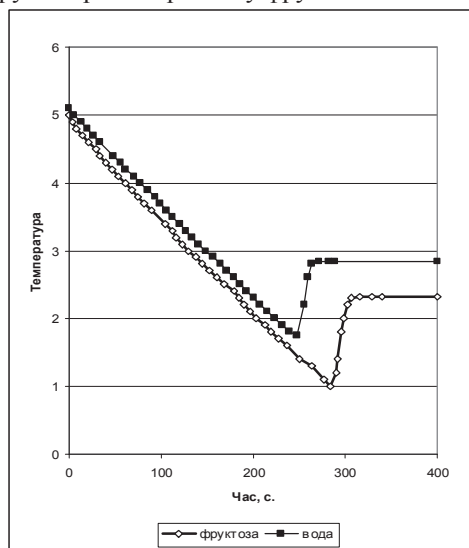


Рис. 2 — Визначення температури замерзання розчину фруктози

Як бачимо, температура розчину поступово знижується до 1 °С, потім різко зростає до 2,33 °С і встановлюється постійною, це і буде температура замерзання. Тепер, знаючи температуру замерзання води та розчину фруктози, можна визначити молярну масу фруктози, підставивши відповідні дані в (11) отримаємо молярну масу цукру:

$$M = K_K \frac{1000 \cdot g}{\Delta T \cdot z} \quad (11)$$

$$M = \frac{1.86 \cdot 0.69 \cdot 1000}{0.51 \cdot 14} = 180$$

Аналогічні дослідження проведемо з розчином лактитолу.

Спочатку визначимо різницю температур замерзання за рис. 3:

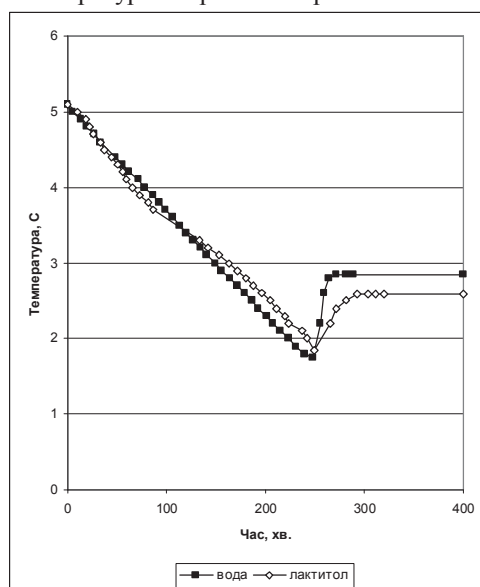


Рис. 3 – Визначення температури замерзання розчину лактитолу

Як бачимо з даного графіка температура поступово знижується до 1,85 °С, а потім стрімко зростає, досягаючи 2,58 °С, це значення і відповідатиме температурі замерзання даного розчину.

Та підставивши відповідні дані у формулу отримаємо молярну масу, що становить:

$$M = K_K \frac{1000 \cdot g}{\Delta T \cdot z} \quad (11)$$

$$M = \frac{1.86 \cdot 0.71 \cdot 1000}{0.26 \cdot 14} = 362$$

Це відповідає даним виробника.

Далі визначимо молярну масу ізомальту так, як і попередні зразки.

Спочатку побудуємо графік зміни температури розчину ізомальту (рис. 4).

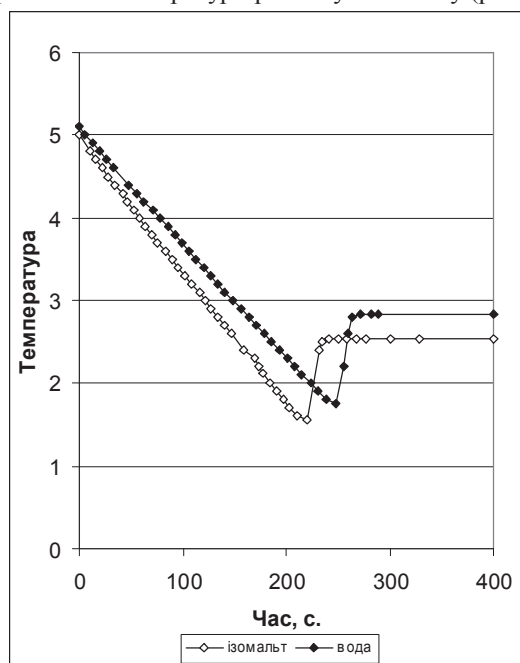


Рис. 4 – Визначення температури замерзання розчину ізомальту

Як бачимо, аналогічно попереднім зразкам температура поступово знижується до 1,55 °С, а потім стрімко зростає до 2,58 °С, що й відповідатиме температурі замерзання даного розчину.

$$M = K_K \frac{1000 \cdot g}{\Delta T \cdot z} \quad (11)$$

$$M = \frac{1.86 \cdot 0.66 \cdot 1000}{0.26 \cdot 14} = 342$$

Визначивши різницю температур, отримаємо значення молярної мас, що також відповідає даним виробника та становить 342.

#### Висновки

Провівши ряд досліджень, ми встановили молекулярну масу цукрозамінників нового покоління – лактитолу та ізомальту, що відповідно становлять 362 та 342.

#### Література

1. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – 2-е изд., перераб. — М.: Химия, 1976. – 512 с.
2. Кушнир Ю. Заменители сахара // Продукты и ингредиенты. — 2003. — № 10. – С. 33-38.
3. Прайс фірми “PURAK”.