

Розчинність у воді моно- та дисахаридів

Д.Є. Сінат-Радченко, кандидат технічних наук, професор кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій

С.М. Василенко, доктор технічних наук, професор кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій

Н.В. Іващенко, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики та холодильної техніки Національного університету харчових технологій

Розглянуто данні з розчинності у воді глюкози, фруктози, лактози, мальтози та цукрози. Запропоновано формули для розрахунку розчинності.

Ключові слова: глюкоза, фруктоза, лактоза, мальтоза, цукроза, вода, розчинність

Рассмотрены данные по растворимости в воде глюкозы, фруктозы, лактозы, мальтозы и сахарозы. Предложены формулы для расчета растворимости.

Ключевые слова: глюкоза, фруктоза, лактоза, мальтоза, сахароза, вода, растворимость

Data on the solubility in water glucose, fructose, lactose, maltose and sucrose. Formulas are proposed to calculate the solubility.

Keywords: glucose, fructose, lactose, maltose, sucrose, water, solubility.

Склад однофазної двокомпонентної гомогенної системи у вигляді розчину із однієї розчиненої речовини і одного розчинника може бути виражений багатьма різними способами.

Концентрація характеризує відносну кількість конкретного компонента у розчині. Вона може бути масовою, об'ємною і мольною. У випадку використання об'ємної концентрації доводиться враховувати контракцію (стиснення) або розширення розчину під час розчинення та зміну об'ємів компонентів і розчину при зміні температури. Водні розчини мають великий внутрішній тиск (до сотень мегапаскалів). Тому впливом зміни зовнішнього тиску на концентрацію розчину можна знехтувати. Розчинення супроводжується поглинанням теплоти, а підвищення температури збільшує розчинність.

Найчастіше користуються масовою відсотковою концентрацією речовини, коли кількість розчину береться не за одиницю, а за сто. Відсоткова концентрація у сто разів більша за відповідну частку.

Розчини можуть бути концентрованими і розведеними. Розчин, що знаходиться в стані стійкої рівноваги із чистим розчинним компонентом, називають насиченим, а його концентрацію – розчинністю цього компонента. Ненасичений розчин містить менше розчиненої речовини, а перенасичений – більше.

Моносахариди D – глюкоза і D – фруктоза описуються однаковою формулою $C_6H_{12}O_6$ і мають однакоvu відносну молекулярну масу 180,16, але різна структура молекул обумовлює і різні фізико-

хімічні властивості цих речовин [1]. Це майже єдині моносахариди, що зустрічаються в природі у вільному стані. Моносахариди в рослинах є первинними продуктами фотосинтезу. Глюкоза і фруктоза входять до складу багатьох оліго- і полісахаридів.

Глюкоза – декстроза, виноградний цукор, моносахарид, що міститься в живих організмах (соки рослин, плазма крові). Температура плавлення кристалів 146 °C [2]. В розчині молекули глюкози знаходяться в α – і β – формах, між якими має місце динамічна рівновага.

При $t < 50$ °C глюкоза викристалізовується в гідратній формі, а при $t > 50$ °C – у вигляді ангідриду. Розчинність глюкози (в перерахунку на безводну) доцільно розглядати із врахуванням цієї особливості.

Для температур $t = 10...50$ °C розчинність (Цк,%) з граничною відотною похибкою $\delta Цк = 0,06\%$ становить:

$$Ц_k = \left[4,1042 / (t + 100) - 1,3259 \cdot 10^{-2} \right]^{-1}$$

Дещо випадає точка з $t = 40$ °C, де розрахункове значення Цк = 62,24% при табличному 61,83%, а $\delta Цк = 0,73\%$

Для температур $t = 50...90$ °C розчинність з $\delta Цк = 0,11\%$ становить:

$$Ц_k = \left(2,9186 \cdot 10^{-2} - 3,8575 \cdot 10^{-3} \cdot \ln t \right)^{-1}$$

Наприклад, при $t = 60$ °C Цк = 74,67%.

В промисловості глюкозу одержують гідролізом картопляного або кукурудзяного крохмалю.

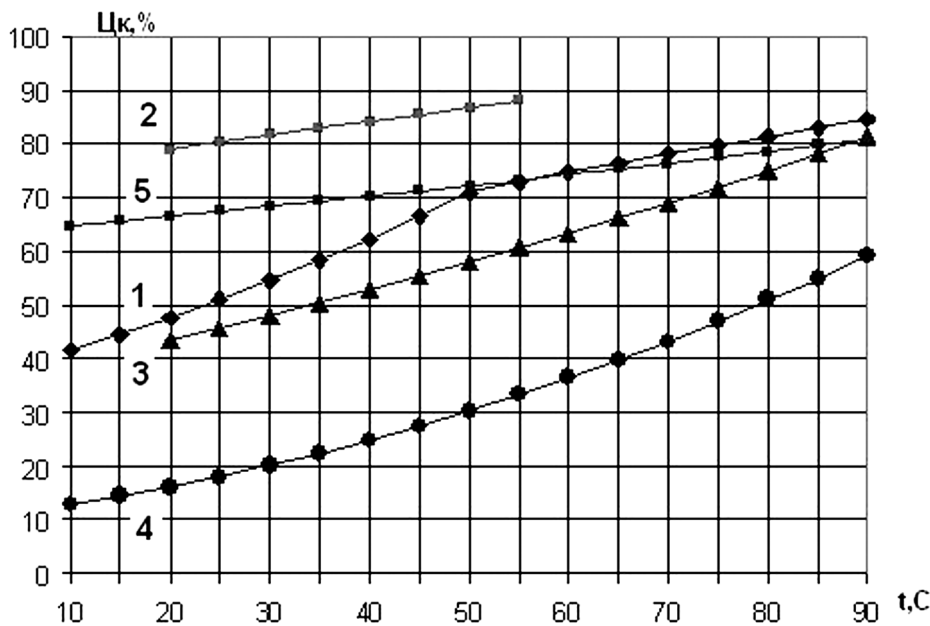


Рис. 1. Розчинність моно- і дисахаридів у воді
1 – глюкоза, 2 – фруктоза, 3 –мальтоза, 4 – лактоза, 5 – цукроза

Фруктоза – левульоза, плодовий цукор у вільному стані існує в плодах, фруктах, бджолиному меді (до 50%). Температура плавлення кристалів 103 °С. Безводна форма стійка при $t > 21,4$ °С. У водному розчині існує у вигляді суміші таутомерів [2].

В інтервалі температур 20...55 °С з граничною відносною похибкою в 0,04% розчинність фруктози:

$$Ц_k = (43,88t + 5353)^{0,5}$$

Наприклад, при $t = 40$ °С одержимо $Ц_k = 84,31\%$ при табличному значенні 84,34%.

Фруктозу одержують з фруктів або гідролізом цукрози.

Глюкозу і фруктозу використовують у харчовій промисловості і медицині.

Ступінь солодкості цукрів визначається органолептично. Фруктоза солодша за цукрозу в 1,6 рази, за глюкозу – вдвоє, за мальтозу – в п'ятеро, за лактозу – удесятеро.

Дисахариди (мальтоза, лактоза, цукроза) – біози, вуглеводи, молекули яких складаються з двох залишків моносахаридів. Формули і відносна молекулярна маса однакові $C_{12}H_{22}O_{11}$ та 342,30. Властивості – різні. Дисахариди виконують функцію запасних речовин.

Мальтоза – солодовий цукор у вільному стані не зустрічається. Під дією кислот або ферментів розщепляється на дві молекули D – глюкози. Температура плавлення кристалів 108 °С [2].

В інтервалі температур 21...96 °С розчинність мальтози з $\delta Ц_k = 1,1\%$ становить:

$$Ц = 34,9 + 0,3989t + 1,289 \cdot 10^{-3} t^2$$

Наприклад, для $t = 54,2$ °С одержимо $Ц_k =$

60,31% з табличного значення 60,2%. При 34,4 °С розрахункова розчинність на 1,1% вища, а для сусідньої точки 43,5 °С на таку саму величину нижча за табличну.

Мальтоза міститься в пророщених зернах (солоді) ячменю, жита і інших зернових, в крохмальній і мальтозній патоках.

Лактоза – молочний цукор, присутня в молоці усіх ссавців. Гідроліз лактози дає D – глюкозу і D – галактозу. Лактоза існує у вигляді α – і β – форм. Температура плавлення кристалів відповідно 223 і 252 °С [2].

Розчинність лактози для $t = 0...90$ °С з $\delta Ц_k = 1,8\%$:

$$Ц_k = 24,5 - 0,501(t + 100) + 3,6 \cdot 10^{-3} (t + 100)^2$$

Наприклад, для $t = 40$ °С одержимо $Ц_k = 24,96\%$ при табличному значенні 24,6%. При 50 °С розрахункове і табличне значення однакові 30,4%. Одержують лактозу із молока тварин і використовують у фармацевтичній промисловості.

Цукроза (сахароза) – тростинний або буряковий цукор, один з найважливіших дисахаридів, транспортна форма вуглеводів в рослинах. Під дією кислот або ферментів гідролізує на глюкозу і фруктозу. Одержують з цукрових тростини або буряку.

Температура плавлення кристалів 185 °С. Кристали цукрози мають найменше домішок, а її розчини вивчені найкраще в порівнянні з іншими речовинами [3].

В найчастіше використовуваному при виробництві цукру інтервалі температур 30...85 °С з $\delta Ц_k = 0,06\%$:

$$Ц_k = 62,93 + 0,169t + 3,52 \cdot 10^{-4} t^2$$

Наприклад, при 50 °С одержимо $C_k=72,26\%$ і на 1 кг води припадає $72,26/(100-72,26)=2,605$ кг цукрози. Якщо коефіцієнт пересичення розчину 1,2, то його концентрація становитиме:

$$100 \cdot 2,605 \cdot 1,2 / (2,065 \cdot 1,2 + 1) = 75,76\%.$$

Використовують цукрозу в харчовій і мікробіологічній промисловості, а при високих концентраціях – як консервант.

На рисунку зображено розчинність розглянутих моно- і дисахаридів в діапазоні температур 0...90 °С. Для всіх цукрів розчинність зростає з підвищенням температури. Найвищу розчинність має фруктоза, найнижчу – лактоза.

Сумарна розчинність суміші цукрів може бути більшою ніж для кожного компонента окремо. Наприклад, при 30 °С розчинність глюкози 54,64% і цукрози 68,4%, а суміші розчину цукрози з $C_k=48,5\%$ та глюкози – 73,21%. Але це менше ніж розчинність фруктози при цій температурі – 81,64%.

Висновки

Розчинність цукрів зростає з підвищенням температури. Для суміші цукрів вона може бути більшою, ніж для кожного з них окремо. Наведені формули дозволяють швидко оцінити розчинність у воді найчастіше використовуваних моно- і дисахаридів. Виконано суміщений графік їх розчинностей.

Список використаних джерел

1. *Химия углеводов*/ Н.К. Кочетков, А.Ф. Бочков, Б.А Дмитриев и др. – М. : Химия, 1967. – 672 с.
2. *Ройтер И.М.* Сырье хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства: Справочник/ И.М. Ройтер, А.А. Макаренко. – К. : Урожай, 1988. – 208 с.
3. *Синат-Радченко Д.Е.* О растворимости сахарозы в воде / Д.Е. Синат-Радченко // Сахарная промышленность. – 1982. – №4. – С. 30-33.

ЦІКАВІ НОВИНИ

Цукор видаляє гіркоту кави на молекулярному рівні

Незважаючи на народну мудрість, яка говорить, зокрема, про те, що цукор може зіпсувати каву, багато хто часто, якщо не постійно, підсолоджує каву та додає в неї вершки, щоб замаскувати гіркоту кофеїну.

Як показують нові дослідження, вуглеводи не просто маскують гіркий смак кави органолептично (за рахунок того, що в присутності вуглеводів «активуються» не тільки смакові рецептори солодкого), а й впливають на смак кави на молекулярному рівні - вуглеводи вступають в міжмолекулярну взаємодію з кофеїном, а на комплекси, що утворюються в результаті такої взаємодії, організм демонструє дещо іншу реакцію.

Цукор та інші добавки в каві, наприклад, вершки, молоко або стабілізатори, можуть як посилювати, так і послаблювати гіркий смак кофеїновмісних напоїв, впливаючи на ступінь димеризації його в воді. Раніше вважалося, що космотропні (kosmotropicchaotropic) речовини, до яких, наприклад, відноситься перхлорат натрію, дають протилежний ефект і підсилюють гіркий смак кофеїну через збільшення концентрації гідратів кофеїну на смакових рецепторах.

У новій роботі Сейси Сімудзу (Seishi Shimizu) з Університету Йорка вивчив питання смаку кави і кави з добавками, використовуючи закономірності статистичної термодинаміки та теоретичної фізичної хімії. Комбінація теорії рідин Кирквуда-Баффа і класичної ізодесмічної моделі асоціації кофеїну дозволила досліднику встановити, що основний внесок у смак вносить безпосередньо міжмолекулярна взаємодія кофеїн-добавка, а не непрямий вплив на структуру води, як вважалося раніше. Виходить, що сахароза сприяє асоціації кофеїну, що знижує гіркий смак, а не тільки маскує його смаком самої сахарози.

Алан Купер (Alan Cooper), фахівець з біофізичної хімії з Університету Глазго, відзначає, що результати Сімудзу узгоджуються з результатами схожих досліджень впливу співрозчинників і добавок на взаємодію білків і їх спіралізацію. Тим не менш, Купер говорить про те, що отримані результати все ж суперечливі. Так, наприклад, результати експерименту говорять про те, що сахароза впливає на утворення димерів кофеїну тільки при високій концентрації [$> 15\%$], а в цьому випадку цілком можна говорити про банальне екранування гіркої смаку кофеїну солодким смаком цукру.

Будучи новачком у сфері дослідження міжмолекулярних взаємодій, Сімудзу говорить, що такі коментарі тільки мотивують його, показуючи, що необхідне продовження досліджень - як теоретичних, так і експериментальних, щоб нарешті остаточно з'ясувати залежність смаку кави від усіх компонентів, що входять до його складу.

