

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 544.032

Зінченко Н.Ю.

Національний університет харчових технологій

Сімурова Н.В.

Національний університет харчових технологій

Попова І.В.

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ІНУЛІНУ

Дана робота присвячена вивченню фізико-хімічних властивостей біополімеру інуліну, одержаного з топінамбура. У ній досліджено в'язкість водних розчинів інуліну та її залежність від температури та концентрації. Визначено кінематичну, відносну та питому в'язкість розчинів інуліну. Результати досліджень представлені у графічному вигляді. Одержані дані можуть бути використані для оцінки молекулярної маси зразків інуліну, одержаного з топінамбура, а також у практичному застосуванні полісахариду в харчовій та фармацевтичній промисловості.

Ключові слова: інулін, топінамбур, біополімер, розчин, в'язкість.

Постановка проблеми. Високомолекулярні сполуки, зокрема полісахариди, широко застосовуються у створенні нових матеріалів для фармацевтичної та харчової промисловості. Технологія виробництва функціональних харчових продуктів ґрунтується на модифікації їх складу та збагаченні корисними речовинами. Перспективним інгредієнтом у виробництві дієтичних та функціональних продуктів харчування є інулін. Цей природний полісахарид, основним джерелом якого є бульби топінамбура, на 95% складається з фруктози. Він побудований з ланок β -D-фруктофуранози з кінцевими групами – залишками – α -D-глюкопіранози. У процесі переробки одержують інулін з різною довжиною ланцюга, яка може коливатись від 10 до 60 ланок.

У практичній роботі важливою фізико-хімічною характеристикою інуліну є в'язкість водних розчинів за різної температури, що важливо для їх застосування, зокрема для визначення оптимальних характеристик продукту при збагаченні його інуліном. В'язкозиметричні дослідження дозволяють також визначити молекулярну масу біополімеру.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

У літературі є значна кількість повідомлень щодо позитивної біологічної дії інуліну на організм людини: Експериментальні дослідження довели, що цей полісахарид стимулює імунну систему організму, відіграє позитивну роль у формуванні здорової мікрофлори кишківника, знижує ризик атеросклерозу, має протипухлинні властивості, регулює рівень інсуліну у крові [1; 2]; відомо, що інулін сприяє нормалізації процесів метаболізму в організмі [3]. На сьогодні інулін знайшов застосування також як носій у виробництві деяких лікарських засобів та як допоміжна речовина при виготовленні фармацевтичних композицій. Дякуючи природному походженню, він не викликає алергії та подразнень, має високу спорідненість з організмом, при розчиненні у воді утворює кремподібний гель [1]. Окрім того, застосування інуліну надає ряд технологічних переваг при його використанні у харчових продуктах, тому його можна вважати ідеальним замінником жиру функціональних харчових продуктів, зокрема молочних [4] та м'ясних [5]. Проведений нами аналіз досліджень у даній галузі показав перспектив-

ність використання інуліну як важливого функціонального інгредієнта, який позитивно впливає на якісні характеристики збагачених харчових виробів [6]. Оскільки додавання інуліну впливає не тільки на сенсорні, але й на реологічні характеристики продукту, зокрема на його в'язкість, стійкість гелів та емульсій [4; 7], у практичній роботі важливими є дослідження в'язкості водних розчинів інуліну різної концентрації, що дозволить забезпечити необхідні технологічні характеристики при створенні нових продуктів.

При застосуванні біополімерів дуже важливою характеристикою є також їх молекулярна маса, яка пов'язана певними співвідношеннями з в'язкістю розчинів [8], та може відрізнитись для різних зразків у залежності від джерела походження. Саме тому, протягом останніх десятиліть дослідження в'язкості розчинів біополімерів були предметом ретельного вивчення, проте природа фізико-хімічних особливостей розчинів інуліну не може вважатись достатньо вивченою. Тому роботу у цьому напрямку можна вважати актуальною як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

Постановка завдання. Метою даного дослідження було визначення кінематичної, відносної та питомої в'язкості водних розчинів інуліну, одержаного з бульб топінамбура, а також встановлення залежності в'язкості розчинів від температури та концентрації. Відомо, що в'язкість розчинів полісахаридів знаходиться у прямій залежності від ступеня їх полімеризації або розгалуженості. Також значний вплив на в'язкість мають температура та концентрація розчину. Зазначимо, що залежність в'язкості від концентрації для речовин полімерної будови має нелінійний характер. Визначення в'язкості розчинів біополімерів, зокрема інуліну, дозволяє судити про величину молекули, тобто дозволяє визначити молекулярну масу ланцюгових полімерів (якщо відомі константи даної системи). Вимірювання в'язкості дає можливість точного спостереження змін молекулярної маси, наприклад, у процесі розщеплення або, навпаки, зростання макромолекули.

Для реалізації поставленої мети нами було обрано віскозиметричний метод, що пов'язано з простотою проведення експерименту, малою тривалістю вимірювань, можливістю проводити вимірювання при різних температурах з використанням різних розчинників. У роботі ми безпосередньо вимірювали в'язкість водних розчинів інуліну.

Виклад основного матеріалу досліджень. Об'єктом дослідження були водні розчини іну-

ліну харчового, виділеного з топінамбура сорту «Вадим» за відомою методикою [9], з концентрацією від 1% до 5% в інтервалі температур від 20°C до 60°C.

Дослідження проводили віскозиметричним методом за допомогою приладу ВПЖ-2 (діаметр капіляру 0,73 мм), який термостатували при визначених значеннях температури протягом 15 хвилин. Вимірювання в'язкості віскозиметром полягає у визначенні часу, за який певний об'єм рідини витікає з капіляра під впливом сили тяжіння.

Ми досліджували в'язкість розведених водних розчинів інуліну з концентрацією 1,0 – 5,0%. Обраний інтервал відповідає концентраціям, в яких інулін, як правило, вводять до харчових систем, оскільки інулін починає відчутно впливати на фізико-хімічні властивості системи при концентраціях, більших за 2%. Однак, розчини з концентраціями більше ніж 1% не у повній мірі відповідають визначенню розведених та можуть відрізнитись від них своїми властивостями [10].

Розчини інуліну готували безпосередньо перед дослідженнями розчиненням сполуки у воді певної температури із застосуванням магнітної мішалки. Визначали в'язкість 1, 2, 3, 4, 5%-х водних розчинів інуліну при температурі 20, 30, 40, 50 та 60°C.

Одна із важливих особливостей розведених розчинів полімерів полягає у тому, що їх в'язкість значно більша у порівнянні з чистим розчинником і нелінійно залежить від концентрації розчину. В'язкість розчинів високомолекулярних сполук завжди зменшується при підвищенні температури і, зазвичай, вона тим більша, чим вища концентрація розчину. Розведені розчини високомолекулярних сполук слід розглядати як термодинамічно стійкі (однофазні) системи, що являють собою істинні розчини речовин з великою молекулярною масою. Розведеними вважають розчини з такими концентраціями, при яких молекули розчиненої речовини практично не взаємодіють між собою. Беручи до уваги великий розмір макромолекул полімеру, зрозуміло, що ця концентрація повинна бути дуже малою, і вона тим менше, чим більшою є молекулярна маса полімеру. Такі розчини мають дві основні ознаки, що відрізняють їх від розчинів низькомолекулярних речовин:

1) сильний вплив незначних кількостей домішок на розчинність та в'язкість;

2) мала швидкість процесів, що включають агрегацію та диспергування агрегатів молекул.

Для водних розчинів інуліну нами безпосередньо вимірювались в'язкість розчину η і в'язкість

чистого розчинника (води) η_0 . За отриманими даними обраховувалось значення відносної в'язкості:

$$\eta_{\text{від}} = \frac{\eta}{\eta_0} \approx \frac{\tau}{\tau_0}$$

де η та η_0 – в'язкість розчину інуліну та в'язкість розчинника відповідно, а τ і τ_0 – час, за який розчин і розчинник проходять через капіляр віскозиметра при постійній температурі.

Кінематичну в'язкість розчинів ν розраховували відповідно [11]. Результати дослідження залежності кінематичної в'язкості ν ($\text{мм}^2/\text{с}$) розчинів інуліну різної концентрації від температури наведені на рис. 1.

Як видно з рисунка, криві зразків з концентрацією від 1 до 4% мають практично лінійний характер, що підтверджує відсутність взаємодії між молекулами інуліну (тобто розчини можна вважати розведеними). Проте крива розчину з концентрацією 5% не має лінійного вигляду, що можна пояснити наявністю взаємодії між молекулами речовини у розчині.

Надалі за даними кінематичної в'язкості розраховували питому в'язкість $\eta_{\text{пит}}$ розчинів за рівнянням:

$$\eta_{\text{пит}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$$

Питома в'язкість показує відносне збільшення в'язкості чистого розчинника при додаванні до нього полімеру.

Приведена в'язкість $\eta_{\text{прив}}$ є відношенням питомої в'язкості до концентрації розчину $\eta_{\text{пит}}/C$. Для більшості розчинів полімерів приведена в'язкість $\eta_{\text{прив}}$ лінійно зростає зі збільшенням концентрації. За допомогою екстраполяції одержаних експериментальних даних щодо приведеної в'язкості на вісь ординат можна визначити характеристичну в'язкість $[\eta]$ розчинів інуліну. У свою чергу $[\eta]$

пов'язана з молекулярною масою полімерних речовин за рівнянням Марка – Куна – Хаувінка [7]. Значення характеристичної в'язкості розчину полімеру залежить як від молекулярної маси полімеру, так і від типу розчинника.

У таблиці 1 наведені результати розрахунків відносної, питомої та приведеної в'язкості розчинів інуліну з концентраціями від 1 до 5% при постійній температурі 20°C.

Таблиця 1

Результати дослідження в'язкості водних розчинів інуліну при температурі 20°C

| C, % | η від | η пит | η прив |
|------|------------|------------|-------------|
| 1,0 | 1,0301 | 0,0301 | 0,0301 |
| 2,0 | 1,0770 | 0,0770 | 0,0385 |
| 3,0 | 1,1408 | 0,1408 | 0,0469 |
| 4,0 | 1,2204 | 0,2204 | 0,0551 |
| 5,0 | 1,3125 | 0,3125 | 0,0625 |

Відповідно до результатів розрахунків побудовано графік залежності приведеної в'язкості від концентрації розчину від 1 до 5% при температурі 20°C (рис. 2).

Для розчину інуліну, як і для більшості розведених розчинів полімерів приведена в'язкість лінійно зростає зі збільшенням концентрації. Відрізок, що відсікається прямою на осі ординат, дорівнює характеристичній в'язкості розчину $[\eta]$. Для досліджуваного зразка $[\eta]$ становить 0,024 $\text{см}^3/\text{г}$.

Висновки. У результаті проведених досліджень визначено залежність в'язкості розчинів інуліну, одержаного з топінамбура, від температури та концентрації. На основі одержаних значень кінематичної в'язкості розраховані величини відносної, питомої та приведеної в'язкості вказаних розчинів інуліну. Результати досліджень представлені у графічному вигляді. Розраховано

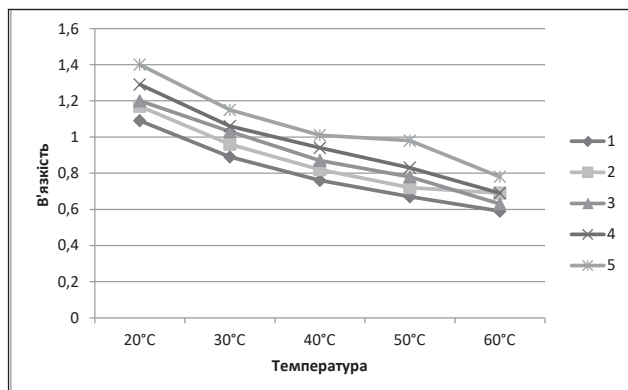


Рис. 1. Залежність кінематичної в'язкості розчинів інуліну ν ($\text{мм}^2/\text{с}$) різної концентрації (відповідно 1, 2, 3, 4, 5%) від температури

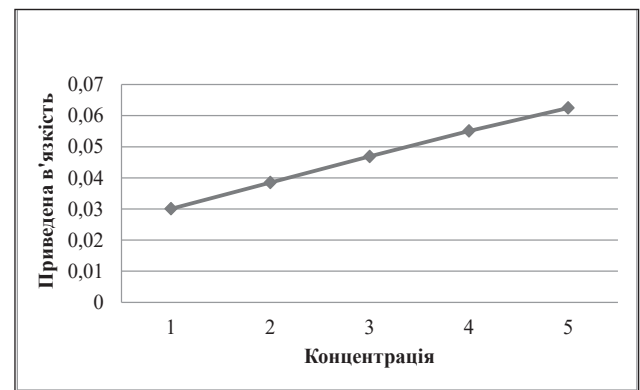


Рис. 2. Залежність приведеної в'язкості розчинів інуліну від концентрації розчину при 20°C

характеристичну в'язкість досліджуваного розчину. Одержані дані можуть бути використані для оцінки молекулярної маси зразків інуліну, одержаного з топинамбура, а також у практичному застосуванні полісахариду у харчовій та фармацевтичній промисловості.

Список літератури:

1. Митрофанова И.Ю., Яницкая А.В., Шуленина Ю.С. Перспективы применения инулина в медицинской и фармацевтической практике. Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. XIX. № 2. С.45-46.
2. Slavin J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. Nutrient. 2013. V.5. №4. P.1417-1435.
3. Boeckner L.S. Schnepf M.I., Tunland B.C. Inulin: A review of nutritional and health implications. Advances in Food and Nutrition Research. 2001. V.43. №1. P.1-63.
4. Akın M.B., Kırmacı Z., Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. Food Chemistry. 2007. V.104. №1. P.93-99.
5. Nowak B, von Mueffling T, Grotheer J, Klein G, Watkinson BM. Energy Content, Sensory Properties, and Microbiological Shelf Life of German Bologna-Type Sausages Produced with Citrate or Phosphate and with Inulin as Fat Replacer. Journal of Food Science. 2007. V.72. №9. P.5629-5638.
6. Meyer D., Bayarri S., Tárrega A., Costell E. Inulin as texture modifier in dairy products. Food Hydrocolloids. 2011. V.25. №8. P. 1881-1890.
7. Tadros Th.F., Vandamme A., Leveck B., Booten K., Stevens C.V. Stabilization of emulsions using polymeric surfactants based on inulin. Advances in Colloid and Interface Science. 2004. V.108-109. P. 207-226.
8. Аскадский А.А., Хохлов А.Р. Введение в физико-химию полимеров. Москва: Научный мир, 2009. 380 с.
9. Патент 2148588 РФ, МКИ 7 С 08 В 37/00, 37/18. Способ получения инулина из клубней топинамбура / Манешин В.В., Артемьев В.Д., Васильева Ю. П. – № 98115947/04; заявлено 20.08.1998; опубл. 10.05.2000. Бюл. №13, 2000 г.
10. Перковец М.В. Инулин и олигофруктоза – универсальные функциональные ингредиенты. Масла и жиры. 2008. № 5. С. 2-4.
11. Осовская И.И., Антонова В.С. Вязкость растворов полимеров: учебное пособие Санкт-Петербург: ВШТЭ СПб ГУПТД, 2016. 62 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ИНУЛИНА

Данная работа посвящена изучению физико-химических свойств биополимера инулина, полученного из топинамбура. В ней проведено исследование вязкости водных растворов инулина, а также зависимости вязкости от температуры и концентрации растворов. Проведено определение кинематической, относительной и удельной вязкости указанных растворов. Результаты исследований представлены в графическом виде. Полученные данные могут быть использованы для оценки молекулярной массы образцов инулина, полученного из топинамбура, а также при практическом использовании полисахарида в пищевой и фармацевтической промышленности.

Ключевые слова: инулин, топинамбур, биополимер, раствор, вязкость.

THE STUDY OF VISCOSITY OF AQUEOUS INULIN SOLUTIONS

This work is devoted to the study of the physicochemical properties of the inulin biopolymer extracted from Jerusalem artichoke. The viscosities of aqueous solutions of inulin as well as the dependence of viscosity on temperature and concentration of solutions were studied. Based on the obtained kinematic viscosity values, the relative, specific and reduced viscosities of these solutions has been calculated. The results of the studies are presented graphically. The results can be used to measure the molecular weight of inulin, as well as in the application of the polysaccharide in the food and pharmaceutical industries.

Key words: inulin, Jerusalem artichoke, biopolymer, solution, viscosity.