

VISCOSPRINGY PROPERTIES OF CORN STARCH SUSPENSIONS PREPARED WITH ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED WATER

A. Marynin, V. Shpak

National University of Food Technologies

Key words:

*Electrochemically
activated water
Anolyte
Catholyte
Corn starch
Starch suspension
Rheological indicators*

Article history:

Received 02.03.2023
Received in revised form
17.03.2023
Accepted 05.04.2023

Corresponding author:

A. Marynin
E-mail:
andrii_marynin@ukr.net

ABSTRACT

Water has the ability to regulate the physiological processes of the human body, which characterizes its biological activity. Macro- and microelements, vitamins, amino acids, etc. enter the body with water and food.

Nowadays, the issue of the influence of activated water on the structure and course of processes in food systems with its content is insufficiently covered in scientific sources, which is a perspective for research. Due to its physical and chemical properties, activated water can influence the quality indicators and structure of products containing it. Thus, in the recipes of many products, corn starch is used as an emulsifier. The purpose of the research was to determine the effect of activated water on the viscospringy indicators of corn starch suspensions.

Activated water significantly affects the elastic and viscous properties of corn starch suspensions. The storage modulus of the samples on the catholyte and anolyte at 25 °C had a significantly higher value than the shear modulus of the control sample at zero frequency. This indicator increased with increasing frequency. The loss modulus of all samples of starch pastes increased with an increase in the scanning frequency, however, at the pasteurization temperature, the increase occurred less intensively: in the frequency range of 0.1—10 Hz for the sample on tap water, the studied indicator increased by 63.6 ± 0.5 times, on the catholyte and anolytes — 41.5 ± 0.5 and 43.7 ± 0.5 times, respectively. At 25 °C, this indicator increased by 41.7 ± 0.5 ; 22.1 ± 0.5 and 23.1 ± 0.5 times.

Over the entire range of the frequency sweep, the complex shear stress of suspensions increased, and the control indicators at 25 °C and at 68 °C were lower than the corresponding values for suspensions on catholyte and anolyte.

Thus, activated water affects the rheological indicators of starch suspensions, which in turn will be reflected in the structural and mechanical properties and consistency of products containing such suspensions in the formulation.

В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ СУСПЕНЗІЙ КУКУРУДЗЯНОГО КРОХМАЛЮ НА ЕЛЕКТРОХІМІЧНО АКТИВОВАНІЙ ВОДІ

А. І. Маринін, В. В. Шпак

Національний університет харчових технологій

Вода має здатність регулювати фізіологічні процеси життєдіяльності організму людини, чим характеризується її біологічна активність. З водою та продуктами харчування в організм потрапляють макро- та мікроелементи, вітаміни, амінокислоти тощо.

Наразі питання впливу активованої води на структуру та перебіг процесів у харчових системах з її вмістом висвітлено в наукових джерелах недостатньо, що є перспективою для досліджень. Активована вода завдяки своїм фізико-хімічним властивостям здатна впливати на показники якості та структуру продуктів з її вмістом. Так, у рецептурах багатьох продуктів як емульгатор застосовують крохмаль, переважно кукурудзяний.

У статті досліджено вплив активованої води на в'язкопружні показники суспензій кукурудзяного крохмалю. З'ясовано, що активована вода суттєво впливає на еластичні та в'язкі властивості суспензій кукурудзяного крохмалю. Модуль зберігання зразків на катоді та аноді при 25 °C мав значно вище значення за контрольний зразок при нульовій частоті модуль зсуву. Зі збільшенням частоти цей показник збільшувався. Модуль втрат усіх зразків крохмальних клейстерів збільшувався зі збільшенням частоти розгортки, однак при температурі клейстеризації збільшення відбувалось менш інтенсивно: в діапазоні частот 0,1—10 Гц для зразка на водопровідній воді досліджуваний показник збільшився у 63,6±0,5 раза, на катоді та аноді — у 41,5±0,5 та 43,7±0,5 раза відповідно. При 25 °C цей показник збільшився у 41,7±0,5; 22,1±0,5 та 23,1±0,5 раза.

По всьому діапазону частотної розгортки комплексна напруга зсуву суспензій зростала, причому показники контролю і при 25 °C і при 68 °C були нижчими за відповідні значення для суспензій на катоді та аноді.

Отже, активована вода впливає на реологічні показники крохмальних суспензій, що, у свою чергу, відобразиться на структурно-механічних властивостях та консистенції продуктів з вмістом таких суспензій у рецептурі.

Ключові слова: електрохімічно активована вода, анод, катод, кукурудзяний крохмаль, крохмальна суспензія, реологічні показники.

Постановка проблеми. Вода має здатність регулювати фізіологічні процеси життєдіяльності організму людини, чим характеризується її біологічна активність. З водою та продуктами харчування в організм потрапляють макро- та мікроелементи, вітаміни, амінокислоти тощо.

Здатність води регулювати фізіологічні процеси життєдіяльності організму людини виражається її біологічною активністю. У воді містяться макро- та

мікроелементи, вітаміни, амінокислоти тощо, які з водою та продуктами харчування потрапляють в організм людини.

На сьогодні у світі гостро стоїть питання доброякісності води, а також пошук способів набуття питною водою ознак харчової (біологічної) цінності. Проте вода зі зміненими властивостями буде мати вплив не тільки на організм людини, а й на якісні показники продуктів, до складу яких входите.

Наразі питання впливу активованої води на структуру та перебіг процесів у харчових системах з її вмістом висвітлено в наукових джерелах недостатньо, що є перспективою для досліджень.

Перспективою для досліджень є вивчення впливу активованої води на структуру та перебіг процесів у харчових системах з її вмістом. Наразі ці питання потребують більш глибокого вивчення. Активована вода завдяки своїм фізико-хімічним властивостям здатна впливати на показники якості та структуру продуктів з її вмістом. Так, у рецептурах багатьох продуктів як емульгатор застосовують крохмаль, переважно кукурудзяний.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Доведено, що молекулярний водень, який міститься у воді, вибірково реагує з високореактивними цитотоксичними оксидантами безпосередньо всередині клітин. Саме ці найбільш реакційно здатні активні форми кисню беруть участь у патогенезі більшості відомих захворювань і патологічних станів різних органів та систем організму (Ohsawa та ін., 2007).

Молекулярний водень має низьку розчинність у воді (при нормальних умовах в 100 мл води концентрація водню — від 0,5 до 10 мг) і внаслідок високої дифузійної здатності водню його концентрація у воді є нестійкою. Розроблена технологія виготовлення водневої води методом прямої сатурації і герметичного закупорювання в скляну тару, що дає змогу зберігати концентрацію водню у воді близько 2 мг/л протягом 12 місяців при дотриманні умов зберігання (Kurokawa, Seo, Sato, Hirano, & Sato, 2015).

На фізіологічні властивості води впливає її хімічний склад, ступінь очищення та ряд інших комплексних фізичних параметрів, які характеризують воду як складну структуровану систему, особливо з енергетичної точки зору (Miyaji, Kohno, Inoue, & Baba, 2017).

Для отримання води, яка демонструє біологічний відгук певний значущий час, проводять процес її активації (Mghaiouini, Elmlouky, El Moznine, Monkade, & El Bouari, 2020). Існують кілька способів активації води: хімічний, фізичний, біохімічний та електрохімічний.

Ефективне пом'якшення токсичних і стійких комплексів важких металів у воді має вирішальне значення для гарантування здоров'я та безпеки навколишнього середовища, але все ще існує багато проблем в цій сфері. Встановлено можливість пом'якшення видоутворення важких металів методом елімінації стійких комплексів цих металів, наприклад, фізична сепарація та хімічна декомплексация (Xu, Zhang, Li, & Huang, 2022).

Технологія біохімічної очистки передбачає використання мікробного метаболізму для розкладання та поглинання бактерій, що може не тільки досягти мети контролю забруднення, але й реалізувати повторне використання очищеної води

для ефективного вирішення проблеми дефіциту водних ресурсів (Al-Ghouthi, Al-Kaabi, Ashfaq, & Da'na, 2019).

Дослідниками встановлено, що вода, оброблена в електричних електромагнітних, вібраційних або магнітних полях змінює фізико-хімічні властивості: прискорюються коагуляція і абсорбція, змінюються розчинність солей і концентрація газів, кристалізація і змочування, магнітна сприйнятливість, в'язкість, гідратація іонів, кінетика хімічних реакцій, що дає змогу зберегти свою біологічну активність протягом тривалого періоду часу (Малкін, Фуртат, Журавська, & Усачов, 2014).

Але найефективнішим способом активації води визнано електрохімічний. Електрохімічна активація водних систем здійснюється шляхом анодної чи катодної електричної обробки води в діафрагмовому електрохімічному реакторі-електролізері.

Завдяки дослідженню впливу електрохімічно активованої води на структуру та властивості біополімерів встановлено, що використання однієї з її фаз, а саме аноліту, який має бактерицидну дію на білкову сировину (Cloete, Thantsha, Maluleke, & Kirkpatrick, 2009), дає змогу виключити антисептичні реагенти з технологічного процесу (Robinson, Lee, Greenman, Salisbury, & Reynolds, 2010).

У результаті електрохімічної активації вода переходить у метастабільний (активований) стан з надзвичайно високою активністю електронів і характерною для збуджених систем релаксацією після відключення джерела електричного струму.

Досліджено функціональний стан організму при щоденному вживанні водневої води та встановлено позитивні зміни в роботі систем в організмі людини. У дорослих помічено поліпшення енергетичного забезпечення ряду органів і систем. В організмах дітей спостерігалось покращення функціонування вегетативної нервової системи, а також регуляції ритмічної активності серця завдяки посиленню автономізації синусного вузла. Тобто вживання окисненої питної води спричиняє цілком очікуваний закономірний позитивний вплив на здоров'я дорослих і дітей (Aoki, Ida, Fukushima, & Matsumura, 2022).

Активована вода завдяки своїм фізико-хімічним властивостям здатна впливати на показники якості та структуру продуктів з її вмістом. Так, у рецептурах багатьох продуктів як емульгатор застосовують крохмаль, переважно кукурудзяний. Гранули крохмалю при додаванні води здатні гідратуватись і набухати, надаючи структуру продуктам з вмістом таких суспензій (Majzoobi, & Farahnaky, 2021). Оскільки активована вода має відмінний від водопровідної склад і властивості, можна передбачити її вплив властивості крохмалю та особливо реологічні параметри крохмальних суспензій з її вмістом (Большак, Маринін, Святненко, & Шпак, 2021).

Мета дослідження: визначити вплив активованої води на в'язкопружні показники суспензій кукурудзяного крохмалю.

Матеріали і методи. Підготовка зразків. Для проведення досліджень було використано електрохімічно активовану воду, одержану за допомогою лабораторного діафрагмового електролізера. Для отримання електрохімічно активованої води використовували водопровідну воду (постачальник — підприємство АТ «Київводоканал»), яка характеризувалась показниками ОВП=+224, рН=6. Було

отримано два дослідних зразки активованої води з різними заданими параметрами ОВП: католіт (ОВП= -542 ± 20 , рН=10) та аноліт (ОВП= $+767 \pm 15$, рН=3).

Суспензії кукурудзяного крохмалю готували у співвідношенні кукурудзяний крохмаль: вода 1:10 з використанням католіту та аноліту при температурі $t = 23 \pm 2$ °С (температура, при якій починається модифікація крохмалю), суспензії витримували протягом 2 год для забезпечення гідратації крохмалю. Контролем був зразок суспензії на водопровідній воді.

Реологічні характеристики суспензій. Для проведення реологічних випробувань було проаналізовано суспензії при температурі 25 та 68 °С. Зміни структури та реологічні характеристики кукурудзяного крохмалю було досліджено після його модифікації за допомогою використання водопровідної та активованої води. Термообробка застосовувалась при 68 °С, оскільки таке значення є середнім значенням температурного діапазону клейстеризації кукурудзяного крохмалю. В температурному діапазоні 25—68 °С крохмаль поступово переходив з одного стану в інший (Malumba та ін., 2010).

Визначення реологічних характеристик проводили на реометрі Kinexus Pro+, використовуючи геометрію — Starch Paddle Plastic 2 Blade, яка являє собою коаксіальний циліндр з лопатевою мішалкою (PC34 SL0007 SS), закріпленою на вертикальному валу. Підготовану суспензію поміщали у циліндр на висоту 70 мм, опускали мішалку доводили до температури 25 °С. Криві залежності реологічних параметрів від частоти визначали в діапазоні частотної розгортки 0—10 Гц при сталій деформації зсуву 1%. Кожен крок підтримувався до досягнення стабільного стану за мінімальний час. Аналогічно експеримент було проведено після нагрівання суспензії до 68 °С (Alvarez, Fuentes, & Canet, 2015).

Статистичний аналіз. Усі досліді проводили в трьох повторях, як кінцеве значення обирали середнє арифметичне значення трьох проб.

Викладення основних результатів дослідження. Кукурудзяний крохмаль володіє емульгуючими властивостями, здатністю до набухання та гелеутворення при нагріванні в присутності води, завдяки чому здатен відігравати важливу роль у формуванні структури харчових продуктів.

Для характеристики еластичних і в'язких властивостей крохмальної суспензії визначали зміну показників модуля зберігання G' і модуля втрат G'' (рис. 1), а також комплексну компоненту модуля зсуву G^* (рис. 2) (Sudheesh та ін., 2019).

При нульовій частоті модуль пружності G' зразків на католіті та аноліті при 25 °С мав значно вище значення за контрольний зразок (2,5, 1,9 та 0,5 Па відповідно). При 68 °С тенденція аналогічна, однак різниця значень менша (0,6, 0,7 та 0,2 Па відповідно). G' усіх крохмальних суспензій збільшувався зі збільшенням частоти до певного значення, після чого всі криві мали виражений мінімальний екстремум (значення модуля зсуву різнилось не значно і становило 0,2—0,7 Па для усіх зразків) з подальшим збільшенням значень досліджуваного параметра. Для суспензій на католіті та аноліті при 25 °С екстремум досягався за частоти 6,3 Гц в той час, як для контрольного зразка раніше — при 4 Гц. Схожа тенденція спостерігалась для клейстерів: на католіті та аноліті — при 3,2 Гц, на водопровідній воді — при 2 Гц. Це можна пояснити тим, що в суспензії твердих частинок важливу роль відіграють міжчасткові контакти, а при певних частотах відстань між окремими частинками крохмалю різко зменшується, особливо при

високій об'ємній частці гранул крохмалю (Gálvez, De Beer, van der Meer, & Pons, 2017).

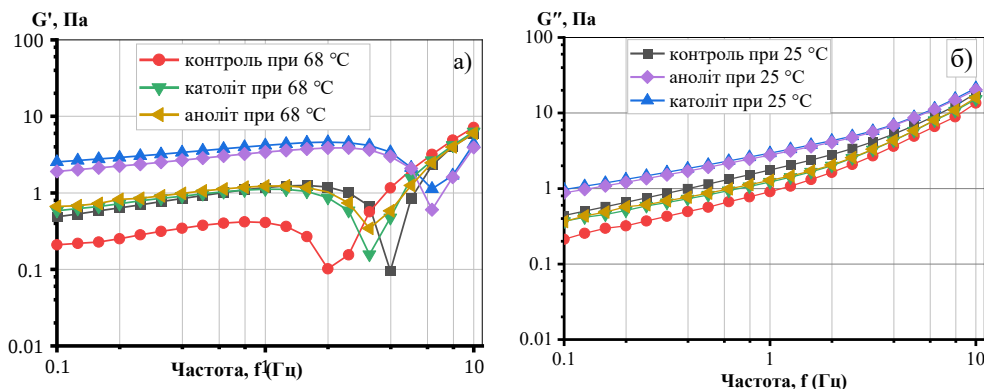


Рис. 1. Залежність модуля пружності (модуля зберігання) G' (а) та модуля в'язкості (модуля втрат) G'' (б) зразків суспензій кукурудзяного крохмалю при температурах 25 °С та 68 °С, приготованих на воді з різними показниками ОВП, від частоти

G'' усіх крохмальних клейстерів збільшувався зі збільшенням частоти розгортки, однак в усіх зразках при температурі клейстеризації збільшення відбувалось менш інтенсивно: в діапазоні частот 0,1—10 Гц для зразка на водопровідній воді досліджуваній показник збільшився у $63,6 \pm 0,5$ разів, на католіті та аноліті — у $41,5 \pm 0,5$ та $43,7 \pm 0,5$ раза відповідно.

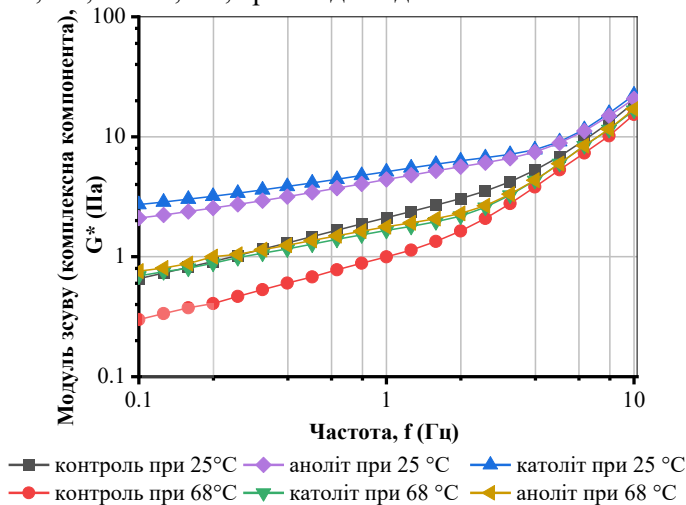


Рис. 2. Залежність модуля зсуву (комплексної компоненти) G^* зразків суспензій кукурудзяного крохмалю при температурах 25 °С та 68 °С, приготованих на воді з різними показниками ОВП, від частоти

При 25 °С G'' зразків збільшився у $41,7 \pm 0,5$; $22,1 \pm 0,5$ та $23,1 \pm 0,5$ раза. При цьому значення модуля зсуву контрольного зразка значно нижче, ніж на аноліті

та католіті в усьому діапазоні частот та при досліджуваних температурах суспензій. Це пояснюється підвищенням міцності гелю крохмалю за рахунок того, що під час приготування суспензії при взаємодії активованої води та крохмального зерна на поверхні гранул крохмалю відбувається перегрупування одиниць амілози (Sudheesh та ін., 2020).

Значення модуля в'язкості зразків клейстеризованого крохмалю нижчі за значення при 25 °С, що пов'язано з властивостями кукурудзяного крохмалю.

На основі проведених досліджень встановлено, що електрохімічна активація води сприяє зміні властивостей сировини з її вмістом, зокрема крохмалю, а також значно впливає на реологічні показники крохмальних суспензій. Це, у свою чергу, відобразиться на структурно-механічних властивостях і консистенції продуктів з вмістом таких суспензій у рецептурі.

Висновки

1. Активована вода впливає на еластичні властивості суспензій кукурудзяного крохмалю. Модуль зберігання (G') зразків на католіті та аноліті при 25 °С мав значно вище значення за контрольний зразок при нульовій частоті модуль зсуву. Зі збільшенням частоти цей показник збільшувався.

2. Вплив активованої води прослідковується також і на в'язкі властивості суспензій кукурудзяного крохмалю. Модуль втрат усіх зразків крохмальних клейстерів збільшувався зі збільшенням частоти розгортки, однак при температурі клейстеризації збільшення відбувалось менш інтенсивно: в діапазоні частот 0,1—10 Гц для зразка на водопровідній воді досліджуваний показник збільшився у $63,6 \pm 0,5$ разів, на католіті та аноліті — у $41,5 \pm 0,5$ та $43,7 \pm 0,5$ рази відповідно. При 25 °С цей показник збільшився у $41,7 \pm 0,5$; $22,1 \pm 0,5$ та $23,1 \pm 0,5$ рази.

3. Отже, активована вода впливає на реологічні показники крохмальних суспензій, що, у свою чергу, відобразиться на структурно-механічних властивостях та консистенції продуктів з вмістом таких суспензій у рецептурі.

Література

Большак, Ю. В., Маринін, А. І., Святненко, Р. С., Шпак, В. В. (2021). Біоелектроніка і закономірності набуття оздоровчих властивостей питною водою, збагаченою молекулами водню. *Наукові праці НУХТ*, 27(5), 57—66. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-5-9>.

Малкін, Є. С., Фуртат, І. Є., Журавська, Н. Є., Усачов, В. П. (2014). Перспективи створення ресурсозберігаючих технологій шляхом магнітної обробки води та водних розчинів. *Вентиляція, освітлення та водопостачання*, 17, 120—127.

Alvarez, M. D., Fuentes, R., Canet, W. (2015), Effects of Pressure, Temperature, Treatment Time, and Storage on Rheological, Textural, and Structural Properties of Heat-Induced Chickpea Gels. *Foods*, 4(2), 80—114. <https://doi.org/10.3390/foods4020080>.

Al-Ghouti, M. A., Al-Kaabi, M. A., Ashfaq, M. Y., Da'na, D. A. (2019). Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 28, 222—239. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.001>.

Aoki, K., Ida, Y., Fukushima, N., Matsumura, H. (2022). Topical application of oxygen nanobubble water enhances the healing process of ischaemic skin wound healing in an animal model. *International Wound Journal*, 19(7), 1843-1852. <https://doi.org/10.1111/iwj.13790>.

Cloete, T. E., Thantsha, M. S., Maluleke, M. R., Kirkpatrick, R. (2009). The antimicrobial mechanism of electrochemically activated water against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli*

as determined by SDS-PAGE analysis. *Journal of Applied Microbiology*, 107(2), 379—384. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04233.x>.

Gálvez, L. O., De Beer, S., van der Meer, D., Pons, A. (2017). Dramatic effect of fluid chemistry on comstarch suspensions: Linking particle interactions to macroscopic rheology. *Physical Review E*, 95(3), 030602. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.95.030602>.

Kolli, V. G., Pollauf, E. J., Gadala-Maria, F. (2002). Transient normal stress response in a concentrated suspension of spherical particles. *Journal of Rheology*, 46(1), 321—334. <https://doi.org/10.1122/1.1428320>.

Kurokawa, R., Seo, T., Sato, B., Hirano, S. I., Sato, F. (2015). Convenient methods for ingestion of molecular hydrogen: drinking, injection, and inhalation. *Medical Gas Research*, 5(1), 1—8. <https://doi.org/10.1186/s13618-015-0034-2>.

Malumba, P., Janas, S., Roiseux, O., Sinnave, G., Masimango, T., Sindic, M., Deroanne, C., Béra, F. (2010). Comparative study of the effect of drying temperatures and heat-moisture treatment on the physicochemical and functional properties of corn starch. *Carbohydrate polymers*, 79(3), 633—641. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.09.013>.

Majzoobi, M., Farahnaky A. (2021). Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. *Food Hydrocolloids*, 111, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106393>.

Miyaji, A., Kohno, M., Inoue, Y., Baba, T. (2017). Hydroxyl radical generation by dissociation of water molecules during 1.65 MHz frequency ultrasound irradiation under aerobic conditions. *Biochemical and biophysical research communications*, 483(1), 178—182. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2016.12.171>.

Mghaiouini, R., Elmlouky, A., El Moznine, R., Monkade, M., El Bouari, A. (2020). The influence of the electromagnetic field on the electric properties of water. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 10(5), 507-515.

Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., Katsura, K.-I., Katayama, Y., Asoh, S., Ohta, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature medicine*, 13(6), 688-694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>

Robinson, G.M., Lee, S.W-H., Greenman, J., Salisbury, V.C., Reynolds, D.M. (2010). Evaluation of the efficacy of electrochemically activated solutions against nosocomial pathogens and bacterial endospores. *Letters in Applied Microbiology*, 50(3), 289—294. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02790.x>.

Sudheesh, C., Sunooj, K. V., Sinha, S. K., George, J., Kumar, S., Murugesan, P., Arumugam, S., Kumar, K. A., Kumar, V. A. S. (2019). Impact of energetic neutral nitrogen atoms created by glow discharge air plasma on the physico-chemical and rheological properties of kithul starch. *Food Chemistry*, 294, 194—202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.067>.

Sudheesh, C., Sunooj, K. V., Anjali, K. U., Aaliya, B., Navaf, M., Kumar, S., Sajeekumar, V. A., George, J. (2020). See fewer authors Effect of lysine incorporation, annealing and heat moisture treatment alone and in combination on the physico-chemical, retrogradation, rheological properties and in vitro digestibility of kithul (*Caryota urens L.*) starch. *International Journal of Food Science & Technology*, 55, 2391—2398. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14488>.

Xu, Z., Zhang, Q., Li, X., Huang, X. (2022). A critical review on chemical analysis of heavy metal complexes in water/wastewater and the mechanism of treatment methods. *Chemical Engineering Journal*, 429, 131688. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131688>.