

УДК 664.1.035.1

Профессор Н.Г. Кульнева, аспирант М.В. Журавлев

(Воронеж.гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии бродильных и сахаристых производств.
тел. (473) 255-07-51

E-mail: zyrav2014@yandex.ru

Professor N.G. Kulneva, post graduate M.V. Zhuravlev

(Voronezh state university of engineering technologies) Department of Fermentation and
Sugar industries technology phone (473) 255-07-51

E-mail: zyrav2014@yandex.ru

Влияние термохимической обработки на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свеклы

The influence of thermo-chemical treatment on the molecular diffusion coefficient of sucrose from sugar beet

Реферат. Традиционные методы экстрагирования не обеспечивают требуемой величины извлечения сахарозы из свекловичной стружки. Для совершенствования процесса целесообразно применять дополнительные методы обработки стружки, в том числе теплофизические методы с использованием различных теплоносителей. Предварительная тепловая обработка свекловичной стружки позволяет увеличить время активного экстрагирования, повысить степень извлечения из нее сахарозы и снизить потери сахара в жоме, увеличить производительность диффузионной установки. Одним из важнейших критериев оценки эффективности экстракционного процесса является величина коэффициента молекулярной диффузии D , м²/с. Коэффициент является физической константой, характеризующей способность вещества проникать вследствие диффузии в неподвижную среду. Одним из перспективных технологических направлений, способствующих повышению эффективности процесса экстракции и ускорению извлечения сахара из стружки, является ее ошпаривание, а также применение различных экстрагентов для диффузионного процесса. Предложен способ проведения экстрагирования сахарозы из свеклы с применением предварительного ошпаривания образцов свеклы и использованием растворов различных солей в качестве экстрагентов. Экспериментально установлено положительное влияние тепловой обработки на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свеклы. Величина оптимальной продолжительности ошпаривания составляет 30 с. Выявлено, что тепловая обработка образцов свеклы растворами предлагаемых солей приводит к постепенному равномерному прогреванию свекловичной ткани и денатурации белков, что повышает коэффициент диффузии сахарозы свекловичной ткани. Максимальное значение величины коэффициента диффузии достигается при использовании в качестве экстрагента раствора сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Установлена оптимальная величина продолжительности контакта свекловичной стружки и предлагаемого реагента – 30 с.

Summary. Traditional methods of extraction do not provide the required amount of sucrose extraction from sugar beet pulp. To improve the process it is advisable to use additional methods of processing pulp, including the thermo-physical methods using various coolants. Thermal pre-treatment of sugar beet pulp can increase the period of active extraction, the recovery of sucrose from it and reduce the loss of sugar in the pulp, increase the productivity of diffusion unit. One of the most important criteria for evaluating the efficiency of the extraction process is the value of the molecular diffusion coefficient D , m²/s. The coefficient is a physical constant that characterizes the ability of a substance to penetrate by diffusion in the stationary medium. One of the most promising technological directions that increases the efficiency of the extraction process and accelerates the extraction of sugar from the pulp, is its scalding, as well as the use of different extractants for the diffusion process. The method of extraction sucrose from sugar beet with the application of preliminary scalding of sugar beet samples and the use of solutions of various salts as extractants was proposed. Positive effect of heat treatment on the molecular diffusion coefficient of sucrose from sugar beet was found experimentally. The value of the optimal duration of scalding is 30 seconds. It was found out that the heat treatment of sugar beet samples with the solutions of proposed salts leads to a gradual uniform heating of beet tissues and denaturation of proteins, which increases the diffusion coefficient of the sugar beet tissue sucrose. The maximum value of the diffusion coefficient is achieved by using as an extractant solution of ammonium sulfate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. The optimal value of the duration of contact of sugar beet pulp and the proposed reactant was determined and it accounted 30 seconds.

Ключевые слова: свеклосахарное производство, экстрагирование сахарозы, молекулярный коэффициент диффузии

Keywords: beet-sugar manufacture, sucrose extraction, molecular diffusion coefficient

Использование традиционных методов экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки не всегда обеспечивает требуемой величины извлечения более 98 %. Для совершенствования процесса целесообразно применять дополнительные методы обработки стружки, в том числе теплофизические методы с использованием различных теплоносителей. Предварительная тепловая обработка свекловичной стружки позволяет увеличить время активного экстрагирования, повысить степень извлечения из нее сахарозы и снизить потери сахара в жоме, увеличить производительность диффузионной установки [5].

В качестве теплоносителей для обработки свекловичной стружки можно использовать горячий воздух, водяной пар и дополнительно подогретый диффузионный сок [7].

Горячий воздух не нашел широкого применения в промышленных установках в связи с негативным воздействием кислорода, что сильно понижает pH среды в аппарате, приводит к износу оборудования и ухудшению качества диффузионного сока.

Нагревание стружки паром позволяет получить сок высокого качества и снизить потери сахара в жоме, но паровое ошпаривание не обеспечивает равномерного прогрева стружечной массы, что приводит к снижению проницаемости свекловичной ткани. В промышленных условиях наибольшее распространение получил нагрев стружки диффузионным соком.

Процесс перехода сахарозы из свекловичной стружки в экстрагент протекает при определенных условиях (температура 72-75 °C) и осуществляется в два этапа: сначала из внутренних слоев свекловичной ткани к ее поверхности, а затем от поверхности стружки в экстрагент [6]. По своей сущности процесс экстрагирования сахарозы является сложным процессом массопередачи, при котором скорость массопередачи связана с механизмом переноса распределяемого вещества в фазах, между которыми происходит массообмен. Наибольшее влияние на массообмен оказывает молекулярная диффузия.

Одним из важнейших критериев оценки эффективности экстракционного процесса является величина коэффициента пропорциональности (D) в выражении закона Фика - коэффициента молекулярной диффузии. Данный коэффициент выражается следующим образом:

$$[D] = [Mdn/dcFdt] = \text{м}^2/\text{сек} \quad (1)$$

и показывает, какая масса вещества диффундирует в единицу времени через единицу поверхности при градиенте концентраций, равном единице.

Коэффициент пропорциональности D представляет собой физическую константу, характеризующую способность данного вещества проникать вследствие диффузии в неподвижную среду. Значения данного коэффициента являются функцией свойств распределяемого вещества, среды, через которую оно диффундирует, а также температуры и давления [4]. С увеличением размера частиц его величина пропорционально уменьшается, а с повышением температуры увеличивается кинетическая энергия молекул, скорость их движения и уменьшается вязкость взаимодействующих фаз, что способствует более быстрому протеканию массообменного процесса экстрагирования.

Одним из значимых факторов, оказывающих влияние на коэффициент диффузии, является степень денатурации свекловичной ткани: с ее увеличением возрастает величина D, а значит, процесс экстрагирования протекает эффективнее. Степень денатурации протоплазмы клеток свекловичной ткани зависит от различных факторов, таких как температура процесса, продолжительность теплового воздействия на стружку, природа экстрагента и концентрация сахарозы.

Одним из технологических направлений, способствующих повышению эффективности процесса экстрагирования и ускорению извлечения сахарозы из стружки, является обработка свекловичной стружки паром. Проведены исследования зависимости качественных показателей диффузионного и очищенного сока от режимов применяемого теплового воздействия на свекловичную стружку, а также влияния данных факторов на молекулярный коэффициент диффузии D. Исследования проводили в соответствии с методикой [1].

Согласно методике получали образцы сахарной свеклы диаметром 25×10^{-3} м и толщиной 7×10^{-3} м. Полученные образцы свеклы подвергали ошпариванию продолжительностью 0, 30, 60, 90 и 120 с соответственно. Далее образцы помещали в лабораторную установку, добавляли экстрагент, предварительно нагретый до температуры 72 °C, осуществляли процесс экстрагирования при интенсивном контакте образцов и экстрагента. По истечении времени экстрагирования отделяли экстрагент, термостатировали при температуре 20 °C и анализировали (таблица 1).

В результате исследования установлено, что максимальное значение коэффициента диффузии D достигается при продолжительности ошпаривания 60 с.

Влияние продолжительности ошпаривания образцов свеклы на величину молекулярного коэффициента диффузии

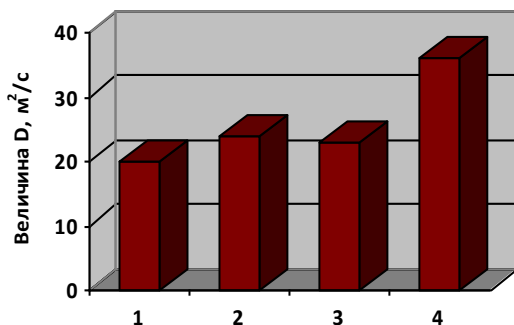
Продолжительность ошпаривания, с	0	30	60	90	120
Массовая доля сахарозы в экстрагенте, %	2,35	3,25	3,4	3,25	2,3
Дигестия свеклы, %	17	17	17	17	17
Отношение среднеобъемных концентраций сахарозы, $C_{эк} / C_{св} \times 10^{-2}$	14	19	20	19	13,5
Толщина образцов, $L \times 10^{-3}$ м	7	7	7	7	7
Поправочный коэффициент, $K \times 10^{-8}$, м ² /с	2	2	2	2	2
Величина $D' \times 10^{-2}$	21,5	24	28	24	11
Искомый коэффициент диффузии, $D \times 10^{-10}$, м ² /с	42	43	48	43	22

Интенсивная тепловая обработка свекловичной стружки различными теплоносителями оказывает общее положительное влияние на процесс экстракции сахарозы. На основании экспериментальных данных [2], полученных с применение различных экстрагентов, установлено, что применение воды в качестве жидкой фазы для тепловой обработки свекловичной стружки не позволяет достичь оптимальной степени денатурации клеток свекловичной ткани, приводит к местным перегревам свекловичной стружки, что ухудшает проницаемость ее пор и в целом снижает эффективность процесса экстрагирования.

Целесообразным является совмещенное термохимическое воздействие на свекловичную стружку, что позволяет добиться упрочнения свекловичной ткани при экстрагировании и ускорения извлечения сахарозы из нее.

Изучено влияние обработки свекловичной стружки горячими жидкими реагентами на молекулярный коэффициент диффузии D . В качестве экстрагентов использовали водные растворы сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$, сульфата кальция $Ca(SO_4)$ и сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$.

Образцы сахарной свеклы заданного размера ополаскивали и прогревали в течение 20 мин. Затем помещали в лабораторную установку, добавляли нагретый экстрагент. В качестве экстрагентов использовали водные растворы предлагаемых нами солей. Для сравнения проводили экстрагирование с применением конденсата (рисунок 1).

Рисунок 1. Влияние различных экстрагентов на коэффициент диффузии: 1 - типовая диффузия; 2 - $CaSO_4$; 3 - $Al_2(SO_4)_3$; 4 - $(NH_4)_2SO_4$

Полученные результаты свидетельствуют, что максимальное значение коэффициента диффузии достигается при использовании в качестве экстрагента раствора сульфата аммония.

Проведены исследования по изучению влияния продолжительности контакта раствора $(NH_4)_2SO_4$, используемого в качестве экстрагента, на коэффициент D . Подготовленные образцы сахарной свеклы подвергали предварительной обработке раствором предлагаемой соли с длительностью контакта 0, 10, 20, 30 и 60 с. После чего образцы помещали в лабораторную установку для экстрагирования (рисунок 2).

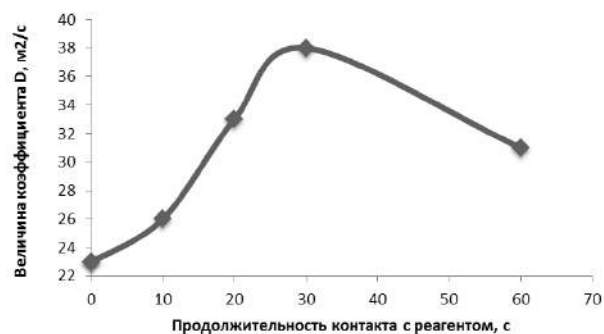


Рисунок 2. Влияние продолжительности контакта с реагентом на величину коэффициента диффузии

Полученные данные свидетельствуют, что оптимальная продолжительность контакта образцов свеклы и реагента составляет 30 с.

В результате проведенного исследования установлено положительное влияние тепловой обработки на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свеклы. Величина оптимальной продолжительности ошпаривания составляет 30 с.

Выявлено, что тепловая обработка образцов свеклы растворами предлагаемых солей приводит к постепенному равномерному прогреванию свекловичной ткани и денатурации белков, что повышает коэффициент диффузии сахарозы из свекловичной ткани. Максимальное значение величины коэффициента диффузии достигается при использовании в качестве экстрагента раствора сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$.

Установлена оптимальная величина продолжительности контакта образцов свеклы и предлагаемого реагента – 30 с.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пат. №1270698, RU, A1 4 G 01 N 33/00. Способ определения коэффициента диффузии сахарозы в сахарной свекле / Кармаев В.Н., Корниенко Т.С. № 2000132175/13; Заявлено 24.05.1984. Оpubл. 15.11.1986, Бюл. № 42.
- 2 Гулый И.С., Лысянский В.М., Рева Л.П. Физико-химические процессы сахарного производства. М.: Агропромиздат, 1987. 264 с.
- 3 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие 13-е изд. М.: ООО ИД Альянс, 2006. 753 с.
- 4 Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. 2-е изд. М.: Колос, 1999. 495 с.
- 5 Решетова Р.С., Кондратова О.Ю. Подготовка свекловичной стружки к экстракции сахарозы // Сахар. 2007. №3. С. 28-29.
- 6 Лысянский В.М., Гребенюк С.М. Экстрагирование в пищевой промышленности. М.: Агропромиздат, 1987. 188 с.
- 7 Кухар Н.С., Липец А.А., Лысянский В.М. Предварительная тепловая обработка свекловичной стружки // Сахарная промышленность. 1974. С. 28.

REFERENCES

- 1 Karmaev V.N., Kornienko T.S. Spособ opredeleniia koeffetsienta diffuzii sakharozy v sakharnoi svekle [A method for determining the diffusion index of sucrose in sugar beet]. Patent RF, no. 1270698, 1984. (In Russ.).
- 2 Gulyi I.S., Lysianskii V.M., Reva L.P. Phiziko-khimicheskie protsessy sakharnogo proizvodstva [Physico-chemical processes of sugar manufacture]. Moscow, Agropromizdat, 1987. 264 p. (In Russ.).
- 3 Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii [Basic processes and apparatuses of chemical technology]. Moscow, ООО ID Al'ians, 2006. 753 p. (In Russ.).
- 4 Sapronov A.R. Tekhnologiya sakharnogo proizvodstva [Sugar production technology]. Moscow, Kolos, 1999. 495 p. (In Russ.).
- 5 Reshetova R.S., Kondratova O.Iu. Preparation of sugar beet cossettes to the extraction of sucrose. *Sakhar*. [Sugar], 2007, no. 3, pp. 28-29. (In Russ.).
- 6 Lysianskii V.M., Grebeniuk S.M. Ekstragirovanie v pishchevoi promyshlennosti [Extraction in the food industry]. Moscow, Agropromizdat, 1987. 188 p. (In Russ.).
- 7 Kukhar N.S., Lipets A.A., Lysianskii V.M. Thermal pre-treatment of sugar beet cossettes. *Sakharnaia promyshlennost'*. [Sugar Industry], 1974, 28 pp. (In Russ.).