

Профессор Н.Г. Кульнева, аспирант М.В. Журавлев
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра технологии броидильных и сахаристых
производств. тел. (473) 255-07-51
E-mail: zyrav2014@yandex.ru

Professor N. G. Kulneva, 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 различных реагентов на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свеклы

Influence various reagents on the molecular diffusion index of sucrose from beet

Реферат. В индустрии производства продуктов питания особую роль играют пищевые продукты из растительного сырья. К числу стратегически важных продуктов относится сахар-песок. Значимость его велика ввиду широкого использования в кондитерской, хлебобулочной, ликероводочной, консервной, биохимической, фармацевтической и других отраслях человеческой деятельности. Эффективное развитие отечественного свеклосахарного производства зависит от условий конкуренции с Европейскими партнерами. Производство сахара-песка включает значительное количество энергоемких и технологически сложных операций, одной из которых является извлечение сахарозы из свекловичной стружки методом горячей противоточной экстракции. Важнейшим критерием оценки эффективности экстракционного процесса является величина коэффициента молекулярной диффузии. Исследована эффективность применения термохимической обработки свекловичной стружки перед экстрагированием в зависимости от качества перерабатываемой свеклы. Установлено, что при использовании свеклы пониженного качества величина коэффициента диффузии снижается в сравнении с показателями здоровой свеклы. Применение растворов некоторых солей для тепловой обработки свекловичной стружки оказывает общее положительное воздействие на величину коэффициента диффузии. Предложен способ извлечения сахарозы из свеклы с использованием в качестве экстрагентов растворов солей $Al_2(SO_4)_3$, $Ca(SO_4)_2$ и $(NH_4)_2SO_4$. Установлено, что обработка образцов свеклы растворами предлагаемых солей обеспечивает беспрепятственный переход сахарозы из пор свекловичной ткани в экстрагент за счет интенсивного конвективного вымывания. Это обусловлено высокой степенью плазмолиза клеток ткани, достигаемой при обработке ее растворами предлагаемых реагентов. Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении коэффициента диффузии сахарозы при использовании в качестве экстрагента раствора сульфата аммония.

Summary. Food products from vegetable raw materials play a special role in the food industry. Sugar is one of the strategically important products. The significance of its is great due to its wide use in confectionery, bakery, liquor, canning, biochemical, pharmaceutical and other branches of human activity. Effective development of the domestic sugar industry depends on the terms of competition with European partners. Production of granulated sugar includes a significant amount of energy-intensive and technologically complex operations, one of which is the extraction of sucrose from beet chips by means of hot countercurrent extraction. The most important criterion for the extraction process efficiency evaluation is the coefficient of molecular diffusion. The efficiency of using of beet chips thermo chemical processing before extraction depending on the quality of processed beet was investigated. It was found out that when using a low quality beet the diffusion coefficient decreases compared to healthy beet. The use of solutions of some salts for beet chips heat treatment has an overall positive effect on the diffusion coefficient. A method for recovering sucrose from beet with the use of compounds of $Al_2(SO_4)_3$, $Ca(SO_4)_2$, and $(NH_4)_2SO_4$ as the extractants was proposed. It was found out that beet samples treatment with solutions of proposed salts provides a sucrose smooth transition from the pores of sugar beet tissue into the extractant due to intense convective washout. It is caused by the high degree of tissue cells plasmolysis achieved in its processing with solutions of proposed reagents. The results obtained indicate a significant increase of the sucrose diffusion coefficient in the ammonium sulfate solution used as the extractant.

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

Key words: beet-sugar manufacture, extraction of sucrose, molecular diffusion index.

В индустрии производства продуктов питания особую роль играют пищевые продукты из растительного сырья, составляющие значительную долю в рационе питания человека. Высокая популярность этих продуктов обусловлена их полезными свойствами и высокой пищевой ценностью. К стратегически важным продуктам относится сахар-песок, который является основным сырьем при произ-

водстве кондитерских, хлебобулочных, ликероводочных изделий, применяется в биохимической, фармацевтической и других отраслях человеческой деятельности [1].

Эффективное развитие отечественного свеклосахарного производства целиком зависит от условий конкуренции с Европейскими партнерами, которая обусловлена различными факторами.

© Кульнева Н.Г., Журавлев М.В., 2015

В настоящее время одной из причин торможения динамического роста свеклосахарного комплекса России является пониженное качество сахара-песка по сравнению с требованиями Европейских производителей. Это происходит на фоне удорожания энергоносителей и различных вспомогательных материалов, что в итоге приводит к колоссальным затратам. В сложившейся ситуации возникает необходимость своевременного внедрения современных технологий, эффективных с точки зрения повышения качества производимой продукции, а также экономии энергетических и материальных ресурсов [2].

Производство сахара-песка включает значительное количество энергоемких и технологически сложных операций, одной из которых является извлечение сахарозы из свекловичной стружки методом горячей противоточной экстракции. Важным показателем результативности диффузионного процесса служит коэффициент молекулярной диффузии (K_D). Данный коэффициент необходим для расчета и анализа эффективности процесса экстракции, а также выявления основных массообменных характеристик в зависимости от способа проведения экстрагирования и основных параметров, таких как температура процесса, продолжительность экстракции и др. [3]. Согласно уравнению Эйнштейна:

$$K_D = \frac{KT}{\eta} \cdot \frac{F(C-c)}{N} \left[\frac{M^2}{c} \right] \quad (1)$$

Систематический анализ данного уравнения позволяет выделить ряд факторов, влияющих на коэффициент диффузии. Основными из них являются:

- степень денатурации свекловичной ткани: с ее увеличением пропорционально возрастает величина K_D , следовательно, процесс экстрагирования протекает эффективнее. Степень денатурации протоплазмы клеток свекловичной ткани зависит в свою очередь от температуры процесса, продолжительности теплового воздействия на стружку, природы экстрагента и др.;

- размер диффундирующих частиц: с увеличением размера величина коэффициента пропорционально уменьшается;

- температура протекания процесса: при повышении температуры увеличивается кинетическая энергия молекул, скорость их движения, уменьшается вязкость взаимодействующих фаз, что способствует более эффективному протеканию процесса;

- вязкость экстрагента: с уменьшением данного параметра величина коэффициента пропорционально возрастает;

- природа экстрагирующей жидкости.

На результативность экстрагирования сахарозы из стружки оказывают влияние различные критерии: конструктивные особенности используемых диффузионных аппаратов, качество питательной воды, микробиологическая обсемененность и многие другие, но главным является качество перерабатываемого сырья. Именно качество поступающей в переработку свеклы играет ключевую роль при выборе технологического режима, обеспечивающего эффективное протекание технологических процессов при минимальных потерях сахарозы на каждом участке производства [5].

Проведенные исследования по использованию термохимической обработки свекловичной стружки перед экстрагированием сахарозы свидетельствуют о целесообразности применения данного технологического приема. Эксперименты проведены на свекле высокого технологического достоинства [6].

Исследовано влияние качества используемой сахарной свеклы на эффективность применения предварительной термохимической обработки свекловичной стружки перед экстрагированием. Основным критерием оценки принята величина молекулярного коэффициента диффузии. Исследования проводили в соответствии с методикой [7].

Согласно методике, специальным свекло-резным ножом вырезали образцы из свеклы высокого качества, а также подгнившей и увядшей. Каждый из образцов ополаскивали в течение 2-х минут в растворах солей CaSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и в чистом конденсате. Далее образцы ошпаривали 60 с и помещали в специальную лабораторную ячейку, добавляли предварительно нагретый до температуры 72 °С конденсат и проводили процесс диффундирования при интенсивном контакте образцов и экстрагента. По истечении необходимого времени отделяли экстрагент, термостатировали при температуре 20 °С и анализировали (таблица 1, 2).

В результате исследования установлено, что при переработке свеклы пониженного качества величина молекулярного коэффициента диффузии снижается в сравнении с показателями здоровой свеклы. Применение растворов предлагаемых солей при обработке свеклы перед экстрагированием оказывает положительное воздействие на величину коэффициента диффузии по сравнению с классическим способом проведения диффузионного процесса.

Величина молекулярного коэффициента диффузии при переработке свеклы
высокого технологического качества

Способ проведения диффузии	Типовой вариант	Обработка свекловичной стружки перед экстрагированием растворами		
		CaSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
Массовая доля сахарозы в экстрагенте, %	2,15	2,9	3,25	3,75
Дигестия свеклы, %	17	17	17	17
Отношение среднеемких концентраций сахарозы, $C_{эк} / C_{св} \times 10^{-2}$	14	17	19	20
Толщина образцов, $L \times 10^{-3}$ м	7	7	7	7
Поправочный коэффициент, $K \times 10^{-8}$, м ² /с	2	2	2	2
Величина $D' \times 10^{-2}$	22	23	26	28
Коэффициент диффузии, $D \times 10^{-10}$, м ² /с	42	43	46	49

Т а б л и ц а 2

Величина молекулярного коэффициента диффузии при переработке свеклы
пониженного технологического качества

Способ проведения диффузии	Типовой вариант	Обработка свекловичной стружки перед экстрагированием растворами		
		CaSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
Дигестия свеклы, %	17	17	17	17
Отношение среднеемких концентраций сахарозы, $C_{эк} / C_{св} \times 10^{-2}$	14	17	19	20
Толщина образцов, $L \times 10^{-3}$ м	7	7	7	7
Поправочный коэффициент, $K \times 10^{-8}$, м ² /с	2	2	2	2
Величина $D' \times 10^{-2}$	21	22	24	27
Коэффициент диффузии, $D \times 10^{-10}$, м ² /с	41	42,2	43	47

Проведение диффузии по типовой схеме с использованием в качестве экстрагента конденсата не обеспечивает высоких значений коэффициента диффузии, а, следовательно, необходимой степени извлечения сахарозы. Целесообразным является совмещенное термохимическое воздействие на ткань сахарной свеклы перед экстрагированием, позволяющее добиться ее упрочнения и ускорения экстракции сахарозы при минимальном переходе несахаров.

Проведены исследования по поиску экстрагентов, обеспечивающих высокие значения молекулярного коэффициента диффузии сахарозы. Опыты проводили в соответствии с методикой [7]. В качестве экстрагентов использовали водные растворы Al₂(SO₄)₃, Ca(SO₄)₂ и (NH₄)₂SO₄. Для сравнения проводили экстрагирование с применением конденсата (рисунок 1).

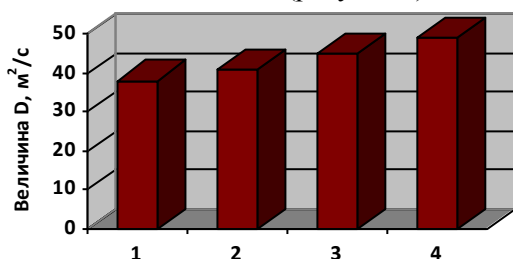


Рисунок 1. Влияние экстрагентов на коэффициент диффузии: 1 - типовая диффузия; с растворами: 2 - CaSO₄; 3 - Al₂(SO₄)₃; 4 - (NH₄)₂SO₄

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении молекулярного коэффициента диффузии при использовании в качестве экстрагента раствора сульфата аммония.

На основании проведенных исследований установлено, что применение растворов предлагаемых солей оказывает положительное влияние на величину молекулярного коэффициента диффузии.

Экстрагирование сахарозы растворами предлагаемых солей, предварительно нагретых до температуры 72 °С, позволяет осуществить беспрепятственный переход сахарозы из пор свекловичной ткани в экстрагент за счет интенсивного конвективного вымывания. Это объясняется высокой степенью плазмолиза клеток ткани, достигаемой при обработке ее растворами предлагаемых реагентов, которые проникают вглубь пор свекловичной ткани максимально интенсивно, что приводит к увеличению коэффициента диффузии, а, следовательно, ускорению перехода сахарозы.

При взаимодействии свекловичной ткани с горячими растворами солей происходит тепловое расширение клеток, обусловленное высоким градиентом температур, что приводит к образованию пор и каверн в оболочках клеток ткани и частичной их деструкции. Это снижает внутриклеточное давление, наблюдается «эффект квазидиффузии».

Установлено положительное влияние обработки растворами предлагаемых солей образцов сахарной свеклы различного качества с точки зрения повышения коэффициента диффузии. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности данного приема в независимости от качества перерабатываемой свеклы. Максимальная величина коэффициента наблюдается при использовании раствора сульфата аммония.

Достигнутые результаты свидетельствуют о высоких коагуляционных свойствах растворов предлагаемых солей, что объясняется взаимодействием химически активных реагентов с высокомолекулярными соединениями, находящимися на поверхности свекловичной ткани. Это приводит к их частичной нейтрали-

зации и последующей гетерокоагуляции. Происходит комплексное химическое и физико-химическое воздействие на высокомолекулярные сахара свекловичной ткани.

Кроме того, данные соли снижают растворимость белковых и пектиновых веществ, повышая прочность и упругость свекловичной стружки.

Выявлено, что использование растворов предлагаемых солей в качестве экстрагентов позволяет добиться высоких значений коэффициента диффузии в сравнении с типовым способом экстрагирования. Максимальное значение величины молекулярного коэффициента диффузии достигается при использовании в качестве экстрагента раствора сульфата аммония.

ЛИТЕРАТУРА

1 Бердников А.С., Карташов А.Н. Сахар: вред и польза // Сахар. 2010. № 9. С. 8-11.

2 Кульнева Н.Г., Журавлев М. В., Парамонова К.А. Разработка эффективного способа экстрагирования сахарозы из свеклы // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 1. С. 162-164.

3 Кульнева Н.Г., Журавлев М. В. Инновационная технология подготовки свекловичной стружки к экстрагированию // Материалы международной научно-технической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение». Воронеж: ВГУИТ, 2014. С. 117-121.

4 Слива Ю.В., Попова И.В., Мазур Л.М. Электрогидравлическая обработка ткани сахарной свеклы: коэффициент диффузии сахарозы в зависимости от режима обработки // Сахар. 2014. № 9. С. 52-54.

5 Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. М.: Колос, 1999. 495 с.

6 Кульнева Н.Г., Журавлев М. В. Влияние термохимической обработки на молекулярный коэффициент диффузии сахарозы из свеклы // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 3. С. 146-149.

7 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; Заявл. 24.05.1984; Опубл. 15.11.1986, Бюл. № 42.

REFERENCES

1 Berdnikov A.S., Kartashov A.N. Sugar: harm and benefits. *Sakhar*. [Sugar], 2010, no. 9, pp. 8-11. (In Russ.).

2 Kulneva N.G., Zhuravlev M.V., Paramonova K.A. Development of effective method of sucrose extraction from sugar beet. *Vestnik VGUIT*. [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2014, no. 1, pp. 162-164. (In Russ.).

3 Kulneva N.G., Zhuravlev M.V. Innovative technology of beet chips preparation to extracting. *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Prodovol'stvennaya bezopasnost', kadrovoe i informatsionnoe obespechenie"* [Proceedings of the International Scientific- and Technical Conference "Food security: scientific, personnel and information security"]. Voronezh: VGUIT, 2014. pp. 117-121. (In Russ.).

4 Sliva Yu.V., Popova I.V., Mazur L.M. Electrohydraulic processing of sugar beet tissues: the sucrose diffusion coefficient depending on the mode of treatment. *Sakhar*. [Sugar], 2014, no. 9, pp. 52-54. (In Russ.).

5 Sapronov A.R. *Tekhnologiya sakharnogo proizvodstva* [Sugar production technology]. Moscow: Kolos, 1999. 495 p. (In Russ.).

6 Kulneva N.G. M.V. Zhuravlev The influence of thermo-chemical treatment on the sugar beet sucrose molecular diffusion coefficient *Vestnik VGUIT*. [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2014, no. 3, pp. 146-149. (In Russ.).

7 Karmaev V.N., Kornienko T.S. *Sposob opredeleniya 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.).