УДК 66.061.34:613.26

А.С. Мустафина, А.Ф. Сорокопуд, К.С. Федяев

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПОЛЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Исследовано влияние основных параметров работы вибрационного экстрактора на экстрагирование аскорбиновой кислоты из замороженных плодов рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia L.)* и ягод лимонника китайского (*Schisandra chinensis*). Выявлены следующие рациональные параметры процесса экстрагирования в вибрационном экстракторе и характеристики плодово-ягодных экстрактов: диаметр отверстий вибрационной тарелки для плодов рябины – 3 мм, а для ягод лимонника – 2,5 мм; частота колебаний тарелки для плодов рябины – 11,67 $с^{-1}$, для ягод лимонника – 15 $с^{-1}$; продолжительность экстрагирования для плодов рябины и ягод лимонника – 35 мин; температура воды – (18±1) °С; выход витамина С из плодов рябины составил 52 %; выход витамина С из ягод лимонника – 46 %.

Аскорбиновая кислота, лимонник китайский, рябина обыкновенная, экстрагирование, экстрактор с вибрационной тарелкой.

Введение

Основной проблемой при переработке растительного сырья является низкая эффективность традиционных способов извлечения целевых компонентов. Наложение поля низкочастотных механических колебаний на взаимодействующие фазы позволяет интенсифицировать процесс экстрагирования биологически активных веществ из плодово-ягодного сырья, что значительно увеличивает скорость процесса и полноту извлечения растворимых компонентов. Это можно объяснить следующим [1, 2 и др.]:

1. При интенсивном воздействии на твердые частицы растительного сырья появляются сильные турбулентные течения, гидродинамические микропотоки, способствующие переносу масс, растворению компонентов. Такое явление отмечается как снаружи твердых частиц, так и внутри.

2. При интенсивном колебании частиц сырья в местах трения происходит локальное повышение температуры, уменьшение вязкости экстрагента, а следовательно, увеличение коэффициента внутренней диффузии.

3. В результате увеличения турбулентности, нарушения структуры прилегающих слоев пограничный диффузионный слой истощается или же будет иметь предельно малую толщину.

4. Следствием интенсивных колебаний является чередование зон сжатия и растяжения. При этом в момент растяжения в экстрагенте образуются полости разрыва жидкости (кавитационные зоны). Положительное качество этого процесса – диспергирование частиц, приводящее к увеличению межфазной поверхности.

Таким образом, при наложении поля низкочастотных механических колебаний на взаимодействующие фазы создается активный гидродинамический режим, и в процессе экстрагирования участвует практически вся поверхность экстрагируемого вещества, происходит активное обновление межфазной среды в условиях интенсивного перемешивания обеих фаз.

С целью изучения процесса экстрагирования плодово-ягодного сырья в поле низкочастотных механических колебаний в лаборатории кафедры МАПП КемТИППа спроектирован и изготовлен вибрационный массообменный аппарат [3]. Его перспективность заключается в комплексном воздействии на сырье ряда факторов, интенсифицирующих процесс измельчение сырья, интенсивное силовое воздействие, которое повышает скорость проникновения экстрагента в поры твердого тела; обеспечивается высокая турбулизация жидкой фазы. Достоинствами аппарата являются: простота конструкции, малая металлоемкость, низкие энергозатраты, высокая производительность, и, следовательно, низкие эксплуатационные расходы на обслуживание.

Рябина обыкновенная и лимонник китайский известны как целебные продукты. Витаминная активность плодово-ягодного сырья обусловлена главным образом содержанием аскорбиновой кислоты. При получении экстрактов из рябины и лимонника недостаточно изучено изменение содержания витамина С в поле низкочастотных механических колебаний. Поэтому целью исследований, изложенных в данной работе, явилось изучение процесса экстрагирования аскорбиновой кислоты из замороженного плодово-ягодного сырья в вибрационном экстракторе периодического действия при различных конструктивных, режимных и технологических параметрах.

Экспериментальная часть

Экспериментальные исследования проводились следующим образом: подготовленное замороженное (до –18 °С) плодово-ягодное сырье загружалось в вибрационный экстрактор (под вибрационную тарелку) и заливалось водой температурой (18±1) °С. С момента включения электродвигателя начинался отсчет времени экстрагирования. Через определенные промежутки времени пипеткой отбирались пробы (10 мл) из экстрактора для определения содержания аскорбиновой кислоты, которое проводилось йодатным методом (согласно ГОСТ 7047-55).

В качестве объектов исследования выбраны рябина обыкновенная и лимонник китайский, которые относятся к растениям, способным в значительной степени снизить дефицит природных БАВ, а во мно-

гих случаях оказать лечебно-профилактическое воздействие на некоторые заболевания.

При проведении исследований приняты постоянными следующие параметры: расстояние от дна аппарата до плоскости тарелки h = 45 мм [4]; соотношение массы экстрагента (Ж) и ягоды (Т) Ж/Т = 2,5 (Ж = 937,5 мг, Т = 375 г); амплитуда колебаний тарелки А = 14 мм; живое сечение отверстий тарелки 16,5 % [4].

В качестве варьируемых факторов выбраны: диаметры отверстий (d_0 = 2,5; 3; 3,5 и 4 мм) и частота колебаний вибрационной тарелки (n = 8,33; 10; 11,67; 13,33 и 15 $с^{-1}$). Выбор минимального диаметра отверстий связан с тем, что дальнейшее его уменьшение ведет к значительному росту сопротивления сжатию и разрушению ягод, следствием чего является повышение температуры и рост потерь БАВ. С другой стороны, увеличение диаметра выше 4 мм приводит к частичному проскальзыванию ягод через отверстия вибрационной тарелки, так как средний диаметр плодов рябины равен (5±1) мм, а ягод лимонника – (4±1) мм.

Несмотря на то, что увеличение частоты колебания приводит к интенсификации процесса экстрагирования, выбор верхнего предела (n = 15 $с^{-1}$) связан с возможностью переизмельчения сырья, что негативно влияет на сохранность аскорбиновой кислоты, а также приводит к затруднению последующей стадии технологического процесса – фильтрованию, а также увеличению энергозатрат. С другой стороны, уменьшение частоты колебаний ниже n = 8,33 $с^{-1}$ приводит к увеличению числа неразрушенных ягод.

По результатам экспериментов построены графики выхода аскорбиновой кислоты в зависимости от диаметра отверстий (рис. 1 и 2) и частоты колебаний вибрационной тарелки (рис. 3 и 4), а также обработаны данные на ЭВМ и получены уравнения множественной регрессии, описывающие процесс извлечения витамина С для плодов рябины и ягод лимонника.

Обсуждение результатов

При оценке степени извлечения аскорбиновой кислоты от продолжительности экстрагирования результаты экспериментов рассматривались в виде зависимостей: отношение массы аскорбиновой кислоты, перешедшей в раствор, к ее первоначальному содержанию в замороженном плодово-ягодном сырье ((47,5±2) мг% – для плодов рябины и (25±2) мг% – для ягод лимонника).

Из данных, представленных на рис. 1 и 2, следует, что максимальный выход витамина С при экстрагировании плодов рябины наблюдается при параметрах: do = 3 мм, для ягод лимонника – do = 2,5 мм. Полученный результат объясняется морфологическим строением плодов рябины и ягод лимонника. Плоды рябины представляют собой сочную мякоть с мелкими семенами, поэтому уменьшение диаметра отверстий ниже 3 мм приводит к переизмельчению, что негативно сказывается на сохранности аскорбиновой кислоты.

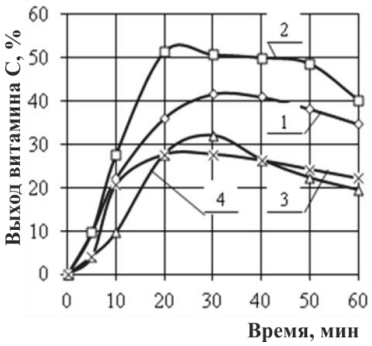

Рис. 1. Зависимость выхода витамина С от продолжительности экстрагирования плодов рябины (n = 10 $с^{-1}$): 1 – do = 2,5 мм; 2 – do = 3 мм; 3 – do = 3,5 мм; 4 – do = 4 мм

Увеличение диаметра отверстий больше 3 мм, наоборот, приводит к частичному проскальзыванию плодов, вследствие чего аскорбиновая кислота не полностью переходит в экстракт, а остается в плодовых выжимках. Ягоды лимонника представляют собой мякоть с крупными семенами ((2±0,5) мм при размере ягод (4±1) мм), и тем самым в процессе экстрагирования они быстрее размораживаются и околоплодник легко и свободно отстает от семени. При увеличении диаметра отверстий более 2,5 мм происходит проскальзывание размороженных фрагментов ягод и семян без измельчения, что приводит к снижению выхода аскорбиновой кислоты в экстракт.

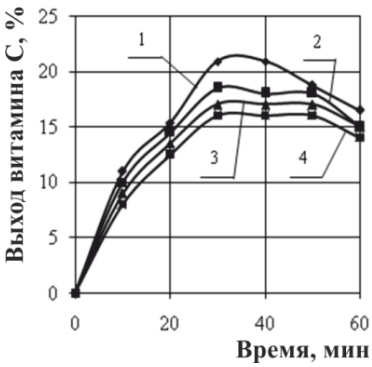

Рис. 2. Зависимость выхода витамина С от продолжительности экстрагирования ягод лимонника (n = 10 $с^{-1}$): 1 – do = 2,5 мм; 2 – do = 3 мм; 3 – do = 3,5 мм; 4 – do = 4 мм

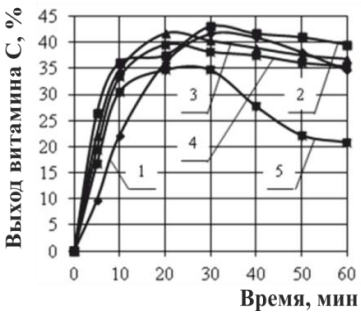

Рис. 3. Зависимость выхода витамина С от продолжительности экстрагирования плодов рябины (do = 2,5 мм): 1 – n = 8,33 $с^{-1}$; 2 – n = 10 $с^{-1}$; 3 – n = 11,67 $с^{-1}$; 4 – n = 13,33 $с^{-1}$; 5 – n = 15 $с^{-1}$

Из графиков на рис. 3 и 4 следует, что повышение частоты колебания тарелки ведет к увеличению скорости экстрагирования. Максимальный выход витамина С для плодов рябины (при n = 10 $с^{-1}$) наблюдается за 35 мин. Частота колебаний n=15 $с^{-1}$ сокращает продолжительность экстрагирования до 20 мин. Это можно объяснить тем, что степень измельчения плодово-ягодного сырья больше при n = 15 $с^{-1}$ и тем самым витамин С быстрее переходит в экстракт. Таким образом, наибольший выход витамина С для плодов рябины наблюдается при n=10 $с^{-1}$ (52 %) за 35 мин. Для ягод лимонника также характерно увеличение выхода витамина *С* с ростом частоты колебаний, несмотря на различную структуру замороженных плодов рябины и ягод лимонника.

Выход витамина С увеличивается в процессе экстрагирования (рис. 1–4), однако после 10 мин наблюдается снижение скорости его извлечения. В среднем через 30…35 мин выход витамина С достигает максимального значения при данных условиях, а после 35 мин начинается его разрушение вследствие активного пенообразования (насыщения экстракта кислородом воздуха) в аппарате и т. д. Поэтому экстрагирование необходимо прекратить, а экстракт (по причине того, что витамин С довольно неустойчивое соединение) как можно быстрее подвергнуть дальнейшей переработке, то есть фильтрованию и упариванию, и т. д.

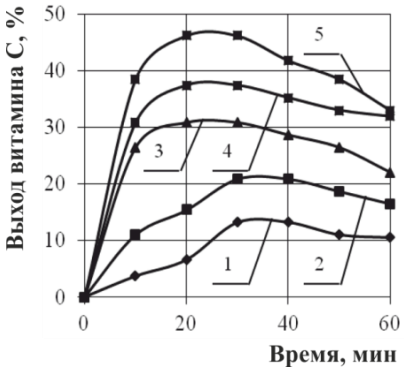

Рис. 4. Зависимость выхода витамина С от продолжительности экстрагирования ягод лимонника (do = 2,5 мм): 1 – n = 8,33 $с^{-1}$; 2 – n = 10 $с^{-1}$; 3 – n = = 11,67 $с^{-1}$; 4 – n = 13,33 $с^{-1}$; 5 – n = 15 $с^{-1}$

В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, адекватно описывающие **выход аскорбиновой кислоты** для плодов рябины и ягод лимонника соответственно:

$$\begin{gathered} АКр = -97{,}3 + 1{,}117 \cdot \tau - 0{,}0085 \cdot \tau^2 + \\ + 6{,}2 \cdot n - 0{,}5 \cdot n^2 + 57{,}4 \cdot d_0 - \\ - 12{,}2 \cdot d_0^{\,2} - 0{,}0358 \cdot \tau \cdot n - \\ - 0{,}0392 \cdot \tau \cdot d_0 + 2{,}15 \cdot n \cdot d_0, \;\; R = 83\,\%, \end{gathered} \quad (1)$$

$$\begin{gathered} АКл = -36{,}9 + 0{,}6127 \cdot \tau - 0{,}0086 \cdot \tau^2 + \\ + 6{,}4225 \cdot n - 0{,}0719 \cdot n^2 - \\ - 5{,}274 \cdot d_0 + 0{,}4467 \cdot d_0^{\,2}, \;\; R = 98{,}3\,\%, \end{gathered} \quad (2)$$

где *R* – величина коэффициента множественной регрессии.

Уравнения (1) и (2) получены при изменении параметров в следующих пределах: продолжительность экстрагирования τ = 10…60 мин, частота колебания вибрационной тарелки n = 8,33…15 $с^{-1}$, диаметр отверстий вибрационной тарелки do = 2,5…4 мм.

Анализ уравнений (1) и (2) показывает, что наибольшее влияние на выходной параметр оказывает диаметр отверстий вибрационной тарелки. Причем данный фактор оказывает влияние как сам по себе, так и в межфакторном взаимодействии с такими параметрами, как частота колебания тарелки и продолжительность экстрагирования. Изменение диаметра отверстий в вибрационной тарелке влияет на такие факторы, как интенсивность процесса и степень измельчения плодово-ягодного сырья. Уменьшение диаметра отверстий приводит к увеличению скорости истечения жидкости, что в свою очередь интенсифицирует процесс размораживания плодово-ягодного сырья и дополнительное их измельчение, увеличивая тем самым поверхность контакта фаз. Большие значения коэффициентов при данном факторе в уравнении (2), в отличие от (1), указывают на то, что данный фактор более значим при экстрагировании плодов рябины. Ягоды лимонника в отличие от плодов рябины имеют большие семечки, которые при экстрагировании в большей степени засоряют отверстия тарелки, что приводит к снижению эффективности процесса.

Выводы

1. Изучен процесс интенсификации извлечения витамина С плодов рябины и ягод лимонника.

2. Выявлены следующие рациональные параметры процесса экстрагирования в вибрационном экстракторе:

- диаметр отверстий вибрационной тарелки для плодов рябины 3 мм, а для ягод лимонника 2,5 мм;
- частота колебаний тарелки для плодов рябины 11,67 $с^{-1}$, для ягод лимонника 15 $с^{-1}$;
- продолжительность экстрагирования для плодов рябины и ягод лимонника 35 мин;
- выход витамина С из плодов рябины составил 52 %;
- выход витамина С из ягод лимонника составил 46 %.

Различный выход витамина С при экстрагировании плодов рябины и ягод лимонника объясняется химическим составом, а именно: содержанием сахаров и биофлавоноидов, так как сахара и витамин Р являются естественными стабилизаторами этого витамина [5]. Так, содержание сахаров в плодах рябины составляет 5 %, когда содержание сахаров в ягодах лимонника всего лишь 1,5 %; содержание витамина Р в плодах рябины – 120 мг%, в ягодах лимонника – 62 мг%.

Список литературы

1. Аксельруд, Г.А. Экстрагирование. Система твердое тело – жидкость / Г.А. Аксельруд, В.М. Лысянский. – Л.: Химия, 1974. – 256 с.

2. Мустафина, А.С. Разработка технологии плодово-ягодных экстрактов с целью их использования в производстве молочных продуктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04: защищена 23.12.1999 г. / Мустафина Анна Сабирдзяновна. – Кемерово, 1999. – 165 с.

3. Пат. 2341979 Российская Федерация, МПК[7] A23L 1/212/. Способ получения экстрактов / Сорокопуд А.Ф., Суменков М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». – № 2007116408/13; заявл. 02.05.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.

4. Сороопуд, А.Ф. Исследование работы виброэкстрактора при растворении сахарного сиропа / А.Ф. Сорокопуд, А.Е. Ворыханов, П.П. Иванов // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 4. – С. 91–97.

5. Шнайдман, Л.О. Производство витаминов из растительного и животного сырья / Л.О. Шнайдман. – М.: Пищепромиздат, 1950. – 168 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел./факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

A.S. Mustafina, A.F. Sorokopud, K.S. Fedyaev

INCREASE IN EXTRACTION OF ASCORBIC ACID IN THE FIELD OF LOW-FREQUENCY MECHANI CAL FLUCTUATIONS

Influence of key work parameters of a vibrating extractor on the extraction of ascorbic acid from the frozen fruits of *Sorbus aucuparia L.* and *Schisandra chinensis* berries is investigated. The following rational parameters of the extraction process and the vibration characteristics of the extractor and fruit extracts are identified: the vibrating plate hole diameter for *Sorbus aucuparia L.* is 3 mm, for *Schisandra chinensis* berries – 2,5 mm; plate vibration frequency for *Sorbus aucuparia L.* – 11,67 s^{-1}, for Schisandra berries – 15 s^{-1}, the extraction duration for Sorbus aucuparia fruits and Schisandra berries is 35 min, water temperature is (18±1) °C, the yield of vitamin C from the fruits is 52 %, and from Schisandra barries is 46 %.

Ascorbic acid, *Schisandra chinensis*, *Sorbus aucuparia L.*, extraction, extractor with a vibrating plate.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7(3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru