УДК 664.95+66.093

Н.И. Дунченко, О.В. Табакаева

СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПРОДУКТОВ МОДИФИКАЦИИ МОРСКОГО СЫРЬЯ

Предложена параметрическая модель процесса гидролиза-экстрагирования для животного сырья морского происхождения, позволяющая связать параметры управления, состояния, возмущения и наблюдения. Экспериментально подтверждено, что основными влияющими факторами для процесса гидролиза-экстрагирования, оказывающими существенное влияние на состав и функционально-технологические свойства получаемых модификаций из животного сырья морского происхождения, являются продолжительность, гидромодуль, температура, концентрация кислоты (кислотный гидролиз), соотношение фермент-субстрат, размер частиц (ферментативный гидролиз) и кратность обработки (гидротермическая экстракция). Определены рациональные параметры гидролиза-экстрагирования для получения модификаций из нерыбных объектов и отходов их переработки с заданными функционально-технологическими свойствами.

Параметрическая модель, гидролиз-экстрагирование, морское сырье.

Введение

В Мировом океане сосредоточены громадные источники полноценных животных белков и ценных биологически активных соединений. Рационально использовать эти биоресурсы традиционными технологическими методами невозможно, поэтому необходимо разрабатывать и внедрять в промышленность новые эффективные методы обработки сырья морского генеза на основе комплексной безотходной и ресурсосберегающей технологии.

Различные виды двустворчатых моллюсков: гребешок приморский, спизула, мактра, мия и другие – представляют собой перспективные объекты для получения разнообразной деликатесной продукции общего и специального назначения. В настоящее время добыча двустворчатых моллюсков существенно возрастает из года в год. Исследования химического состава двустворчатых моллюсков показывают целесообразность их употребления в пищу как продуктов с высокой пищевой и биологической ценностью.

Основные виды продукции, получаемой из них, – сыромороженые полуфабрикаты и пресервы, для изготовления которых в основном используется мускул-замыкатель или двигательный мускул (нога) [1]. Другие пищевые части моллюска – мантия, мускул-замыкатель (аддуктор), являющиеся источником белков и биологически активных веществ, остаются невостребованными и в основном отправляются в отходы, что является нерациональным, так как, с одной стороны, загрязняет окружающую среду, а с другой – ограничивает перспективы использования ценных биологически активных веществ гидробионтов в питании человека. Использование данных тканей моллюсков для создания пищевых продуктов нового поколения поможет одновременно решить две проблемы: создание безотходных экологически чистых технологий их переработки и повышение доли полноценных белков и биологически активных веществ в рационе современного человека [2].

Цель исследования – разработка параметрической модели процесса гидролиза-экстрагирования и определение рациональных параметров гидролиза-экстрагирования для получения модификаций из нерыбных объектов и отходов их переработки с заданными функционально-технологическими свойствами.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использованы двустворчатые моллюски Дальневосточного региона: гребешок приморский (*Patinopecten yessoensis*), анадара Броутона (*Anadara broughtoni*), промысел которых увеличивается с каждым годом.

Мягкие ткани гребешка представлены большим мускулом-замыкателем, мантией и внутренностями, куда относятся печень, жабры и гонады. Мягкие ткани составляют до 36 % массы всего моллюска. Массовая доля съедобных частей – до 22 %. Для анадары мягкие ткани составляют 35,6 % массы всего моллюска. Массовая доля съедобных частей – 23,7 %. В зависимости от размера и массы моллюска массовое соотношение мягких тканей меняется, но общие закономерности сохраняются: самый большой орган – двигательный мускул (25–37 % от массы мягких тканей), затем следует мантия (15,7–18,4 % от массы мягких тканей) и мускул-замыкатель (12,7–13,2 % от массы мягких тканей) [3–5].

В пищу у гребешка могут использоваться мускул-замыкатель, мантия и гонады, у анадары – двигательный мускул и мантия, но на практике используются только аддуктор и двигательный мускул, а все остальное не находит пищевого применения, то есть от 35 до 50 % съедобных частей моллюсков отправляется в отходы, что является нерациональным.

Гидролизу-экстрагированию подвергались различные мягкие ткани двустворчатых моллюсков, из которых получены кислотные (КГ) и ферментативные (ФГ) гидролизаты и гидротермические экстракты (ГТЭ).

Кислотный гидролиз проводили пищевой лимонной кислотой. Пищевые части моллюсков измель-

чали на волчке. После этого к полученной фаршевой смеси добавляли раствор лимонной кислоты определенной концентрации и проводили гидролиз в жидкостном термостате, где перемешивали, нагревали до температуры 95–97 °С и выдерживали определенное время при постоянном термостатировании. Жидкую фракцию (собственно гидролизат) отделяли от плотного осадка фильтрованием.

Для проведения ферментативного гидролиза ферментный препарат выбрали по оптимальному значению pH для проявления активности, совпадающему с диапазоном растворов коллагенового сырья (pH 7–9). Затем вносили ферментный препарат коллагеназа в виде водного раствора в соответствии с характеристикой препарата в концентрации 60 единиц активности на 1 г белка субстрата, обеспечивающей максимальный гидролиз. Пищевые части моллюсков измельчали на волчке. После этого к полученной фаршевой смеси добавляли воду в соотношении 1:2 и ферментный препарат и проводили гидролиз в суховоздушном термостате, где перемешивали, нагревали до температуры 45–48 °С и выдерживали определенное время. После окончания гидролиза фермент инактивировали путем повышения температуры в термостате до 70–75 °С в течение 10 мин и гидролизат концентрировали путем упаривания. Затем для отделения жидкой фракции (собственно гидролизата) от плотного осадка массу фильтровали.

Гидротермическую экстракцию проводили водой при температуре 100 ^{0}С в жидкостном термостате способом, аналогичным описанному для кислотного гидролиза.

В ходе гидролиза-экстрагирования контролировали содержание сухих веществ и растворимого белка, а также функционально-технологические свойства (коэффициент поверхностного натяжения, пенообразующая и эмульгирующая способности, стабильность эмульсии) с целью изучения зависимости выбранных показателей от продолжительности процесса.

Содержание сухих веществ определяли методом высушивания навески 10 г при температуре (102$\pm$2) ^{0}С до постоянной массы в сушильном электрическом шкафу СНОЛ-3,5.

Определение общего белка проводили спектрофотометрически при 650 нм на СФ VSU-2P, измеряя интенсивность окрашивания раствора, полученного при взаимодействии реактива Фолина с щелочными растворами белков.

Пенообразующие свойства полученных модификаций оценивали по пенообразующей способности, которая определяется отношением начальной высоты столба пены после 1 мин стандартных встряхиваний к 18 мл раствора с разной концентрацией сухих веществ при 21 ^{0}С и устойчивостью пены, которая характеризуется высотой столба пены после 10-минутного выдерживания.

Получение эмульсии проводили методом диспергирования с помощью микроизмельчителя тканей РТ-2 при 3000–5000 об/мин. Эмульгирование вели путем постепенного добавления растительного масла по каплям к 18 мл раствора.

Точку инверсии (обращение фаз) определяли по объему добавленного растительного масла. Рассчитывали эмульгирующую способность по отношению максимального количества эмульгированного масла к количеству эмульгатора в системе.

Результаты и их обсуждение

Структурный анализ процессов гидролиза-экстрагирования должен проводиться с учетом совокупности параметров, определяющих степень гидролиза субстрата и количество экстрактивных веществ в экстракте, формируя тем самым определенные свойства получаемой модификации, в первую очередь функционально-технологические. Операторная модель процесса гидролиза-экстрагирования, протекающего в пищевом сырье животного сырья морского происхождения, представлена в виде параметрической схемы (рис. 1).

Переменные описываемой параметрической модели процесса гидролиза-экстрагирования:

– состояния S1 (на выходе): $\omega_п$ – выход продукта, %; $\omega_б$ – содержание белков, %; $\omega_у$ – содержание углеводов, %; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Па*с; $п_с$ – пенообразующая способность, %; $э_с$ – эмульгирующая способность, %; $ао_с$ – антиокислительная способность, мг/атомов O_2/мин;

– управления S2 (на входе): $c_к$ – концентрация кислоты, %; d – размер частиц, мм; t – температура, C^0; pH – кислотность, ед.; ГМ – гидромодуль, %; E/S – соотношение фермент/субстрат, %; τ – время, мин; $к_о$ – кратность обработки, ед.;

– наблюдения S4 (снизу): $\omega_в$ – массовая доля воды, %; $\omega_э$ – массовая доля экстрактивных веществ, %; $a_о$ – остаточная активность ферментного препарата, ед.; $c_г$ – степень гидролиза, %;

– возмущения S3 (сверху): z_1 – разнообразие химического состава сырья; z_2 – особенности действия гидролизующих агентов и экстрагентов.

Функция оптимальности для параметрической модели процесса гидролиза-экстрагирования нерыбных объектов имеет вид: Y (SΣ) = f(S1: $\omega_п$, $\omega_б$, $\omega_у$, σ, $п_с$, $э_с$, $ао_с$) = f (S2: $c_к$, d, t, pH, ГМ, E/S, τ, $к_о$; S3: z_1, z_2; S4; $\omega_в$, $\omega_э$, $a_о$, $c_г$).

Гидролизу-экстрагированию подвергались двустворчатые моллюски, голотурии и отходы их переработки, из которых получены кислотные (КГ) и ферментативные (ФГ) гидролизаты и гидротермические экстракты (ГТЭ).

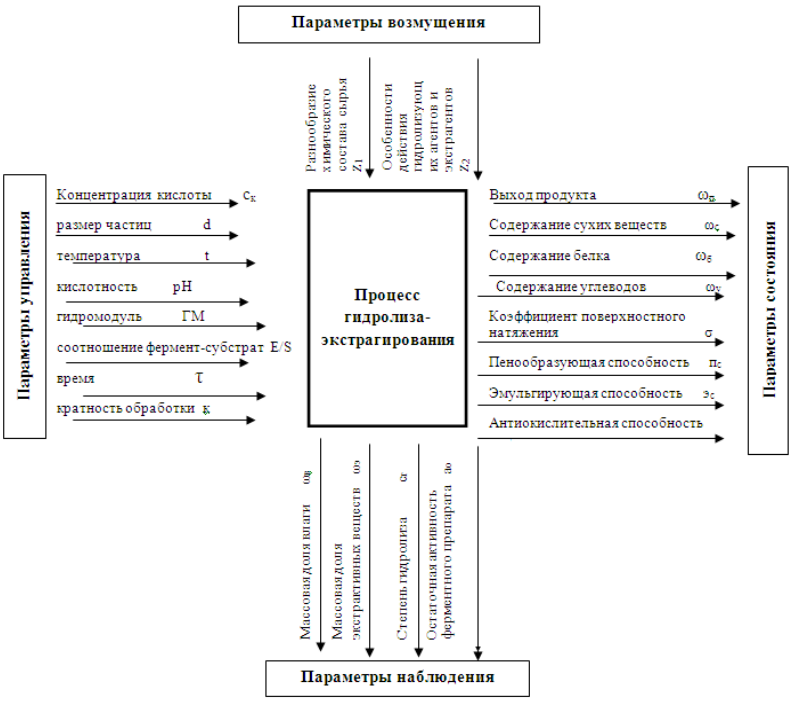

Рис. 1. Параметрическая модель процесса гидролиза-экстрагирования

Экспериментально подтверждено, что основными влияющими факторами для процесса гидролиза-экстрагирования являются продолжительность, гидромодуль, температура, концентрация кислоты (кислотный гидролиз), соотношение фермент-субстрат, размер частиц (ферментативный гидролиз) и кратность обработки (гидротермическая экстракция). Перечисленные параметры оказывают существенное влияние на состав и функционально-технологические свойства получаемых модификаций.

Проверка адекватности предлагаемой параметрической модели позволила получить параметры достоверности, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Параметры достоверности для параметрической модели процесса гидролиза-экстрагирования

Параметр	Выход продукта $\omega_п$, %	Содержание белков $\omega_б$, %	Содержание углеводов $\omega_у$, %	Коэффициент поверхностного натяжения σ, Па*с	Пенообразующая способность $п_с$, %	Эмульгирующая способность $э_с$, %
Стандартное отклонение данных	0,126763	0,10527	0,14091	0,281671	10,4755	3,2986
Среднее ошибки	–0,006178	0,01206	–0,02672	–0,006124	–0,0154	–0,4109
Стандартное отклонение ошибки	0,021428	0,17518	0,51138	0,047392	1,6293	2,0171
Среднее абсолютной ошибки	0,025660	0,15708	0,39776	0,033775	1,4001	1,6416
Отношение стандартного отклонения	0,229945	0,23105	0,12865	0,153946	0,1446	0,2185
Корреляция	0,975272	0,96603	0,98283	0,97533	0,98070	0,97435

После проведения обработки результатов и отсева незначимых коэффициентов получены уравнения регрессии, адекватно описывающие изменение содержания сухих растворимых веществ и азота в гидролизатах из двустворчатых моллюсков в ходе процесса гидролиза при различных условиях (табл. 2).

Данные регрессивные уравнения позволили определить рациональную концентрацию кислоты и продолжительность гидролиза, при которых в гидролизатах обеспечивается максимальное содержание азота: концентрация кислоты 2–6 %, время процесса 4–8 ч.

Таблица 2

Уравнения регрессии, описывающие зависимость содержания сухих веществ и азота в гидролизатах от концентрации лимонной кислоты и времени

Гидролизат	Уравнение регрессии	Коэффициент аппроксимации
Из мантии анадары	$Y_1 = 0{,}5487\ X_1 + 2{,}0243X_2 - 0{,}0097X_1^2 + 0{,}0037X_1X_2 - 0{,}0512X_2^2 - 9{,}3865$	$R^2 = 0{,}84$
	$Z_1 = 0{,}0232X_1 + 0{,}051X_2 - 0{,}0006X_1^2 - 0{,}0001X_1X_2 - 0{,}0015X_2^2 + 0{,}3694$	$R^2 = 0{,}89$
Из мускула анадары	$Y_2 = 0{,}3014X_1 + 3{,}1512X_2 - 0{,}0091X_1^2 + 0{,}004X_1X_2 - 0{,}0451X_2^2 - 5{,}097$	$R^2 = 0{,}85$
	$Z_2 = 0{,}0404X_1 + 0{,}052X_2 - 0{,}0002X_1^2 - 0{,}0006X_1X_2 - 0{,}0211X_2^2 + 0{,}3159$	$R^2 = 0{,}82$
Из гонад гребешка	$Y_3 = 1{,}4992X_1 + 0{,}4473X_2 - 0{,}0317X_1^2 + 0{,}0135X_1X_2 - 0{,}0067X_2^2 - 3{,}4566$	$R^2 = 0{,}83$
	$Z_3 = 0{,}0139X_1 + 0{,}1291X_2 - 0{,}0002X_1^2 - 0{,}0001X_1X_2 - 0{,}0032X_2^2 + 0{,}0334$	$R^2 = 0{,}85$
Из мантии гребешка	$Y_4 = 0{,}7176X_1 + 0{,}8643X_2 - 0{,}0136X_1^2 + 0{,}0053X_1X_2 - 0{,}0198X_2^2 - 3{,}4449$	$R^2 = 0{,}86$
	$Z_4 = 0{,}0316X_1 + 0{,}0853X_2 - 0{,}0003X_1^2 - 0{,}0008X_1X_2 - 0{,}0022X_2^2 - 0{,}0316$	$R^2 = 0{,}86$

Примечание. Y (%) – содержание сухих веществ в гидролизате; Z (%) – содержание азота в гидролизате; X_1 (ч) – продолжительность гидролиза; X_2 (%) – концентрация кислоты.

На следующем этапе были изучены пенообразующие и эмульгирующие свойства гидролизатов с минимальным коэффициентом поверхностной активности. Полученные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Функционально-технологические свойства гидролизатов из животных нерыбных объектов

Объект	Пенообразующая способность, %	Устойчивость пены, %	Эмульгирующая способность, $см^3$ масла	Стойкость эмульсии, % неразрушенной эмульсии
Кислотные гидролизаты				
Из мантии анадары	470±23	95,9±4,7	3,11±0,15	45,8±2,2
Из мантии гребешка	490±24	93,9±4,6	2,67±0,13	44,9±2,1
Из гонад гребешка	520±26	96,2±4,7	3,06±0,15	49,3±2,4
Из мускула анадары	550±27	96,2±4,8	3,17±0,15	55,1±2,7
Ферментативные гидролизаты				
Из мантии анадары	430±21,0	93,0±4,6	2,94±0,14	53,5±2,6
Из мантии гребешка	460±23,0	97,8±4,8	2,51±0,12	54,2±2,7
Из гонад гребешка	500±25,0	96,0±4,7	3,12±0,15	52,5±2,6
Из мускула анадары	510±25,0	98,0±4,9	3,04±0,15	54,8±2,7

В результате проведения серии различных двухфакторных экспериментов установлено, что для получения модификаций из нерыбных объектов, обладающих максимальными функционально-технологическими свойствами, рациональными условиями являются:

1) кислотные гидролизаты: гидромодуль 1:1–2; температура 90–100 ^{0}С; продолжительность 4–8 ч; концентрация лимонной кислоты 6–8 %;

2) ферментативные гидролизаты: гидромодуль 1:1–1,5; температура 45 ^{0}С; продолжительность 2–8 ч; размер частиц 3–7 мм; активность ферментного препарата 2,5–3,0 ПЕ/г сырья;

3) гидротермические экстракты: гидромодуль 1:1; температура 90–100 ^{0}С; продолжительность 60–180 мин; размер частиц 5–10 мм; кратность обработки 3–5 раз.

Полученные из частей двустворчатых моллюсков были использованы в качестве структурообразующих компонентов в технологии получения масложирового эмульсионного продукта – соуса майонезного. В качестве дополнительного эмульгатора использовалась обезжиренная соевая мука в количестве 3 %. Исследования показали, что гидролизаты и гидротермические экстракты из нерыбных объектов обладают функционально-технологическими свойствами, обеспечивающими создание эмульсии, и одновременно вносят в рецептуру продукта биологически активные вещества гидробионтов. Полученный эмульсионный продукт имел среднюю калорийность, повышенную пищевую и биологическую ценность, но в то же время по органолептическим характеристикам не отличался от традиционного.

Использование в технологии масложировых эмульсионных продуктов биологически активных веществ морской природы, в частности двустворчатых моллюсков, является перспективным направлением, позволяющим получать новые пищевые продукты, обладающие различными лечебно-профилактическими свойствами, и одновременно создавать малоотходные технологии переработки двустворчатых моллюсков Дальневосточного региона.

Список литературы

1. Щенникова, Н.В. Технология кулинарной продукции из нерыбного сырья водного происхождения / Н.В. Щенникова, И.В. Кизеветер. – М.: Пищепромиздат, 1979. – 166 с.
2. Табакаева, О.В. Кислотные гидролизаты из отходов переработки двустворчатых моллюсков Дальневосточного региона // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – № 2. – С. 27–30.
3. Дацун, В.М. Вторичные ресурсы рыбной промышленности. – М.: Колос, 1992. – 97 с.
4. Зюзьгина, А.А. Технохимическая и биохимическая характеристика двустворчатого моллюска *Anadara broughtoni* // Комплексные исследования и переработка морских и пресноводных гидробионтов. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2003. – С. 128–130.
5. Киселев, В.В. Технохимическая характеристика некоторых видов двустворчатых моллюсков / В.В. Киселев, Н.М. Купина, Н.Т. Поваляева // XXI век – перспективы развития рыбохозяйственной науки: материалы Всероссийской интернет-конференции молодых ученых. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2002. – С. 155–162.

ФГБОУ ВПО Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,
127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.
Тел./факс: (499) 976-12-69
e-mail: umoagro@timacad.ru

ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет»,
филиал в г. Находка,
692900, Россия, Приморский край,
г. Находка, ул. Спортивная, 6.
Тел./факс: (4236) 62-41-50
e-mail: yankovskaya68@mail.ru

SUMMARY

N.I. Dunchenko, O.V. Tabakaeva

MANAGEMENT POSSIBILITIES IS FUNCTIONAL-TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF PRODUCTS OF TECHNOLOGICAL AND BIOTECHNOLOGICAL PROCESSING OF SEA RAW MATERIALS

The parametrical model of process of hydrolysis-ekstragirovanija for animal raw materials of the sea origin is offered, allowing to connect parameters of management, a condition, indignation and supervision. Being based on the offered model it is experimentally confirmed that the basic influencing factors for hydrolysis-ekstragirovanija process making essential impact on structure and is functional-technological properties of received updatings from animal raw materials of a sea origin are: duration, the hydromodule, temperature, concentration of acid (acid hydrolysis), a parity enzyme-substratum, the size of particles (hydrolysis) and frequency rate Processings (hydrothermal). Rational parameters of hydrolysis-ekstragirovanija for reception of updatings from not fish objects and a waste of their processing with the set is functional-technological properties are defined.

Parametrical model, hydrolysis-ekstragirovanie, sea raw materials.

The Russian state agrarian University
127550, Russia, Moscow, Timiryazevskaya, 49
Phone/Fax: (499) 976-12-69
e-mail: umoagro@timacad.ru

Far East federal university
692900, Primorskii region, Nakhodka, Sportivnaya, 6
Phone/Fax: (4236) 62-41-50
e-mail: yankovskaya68@mail.ru