

РОЛЬ ПЕПТИДНОГО ПРОФИЛЯ РЫБНЫХ ГИДРОЛИЗАТОВ В ФОРМИРОВАНИИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕН

Хадаев А. В., аспирант

Нугманов А.Х., профессор, доктор технических наук,

тел.: +79885966741, albert909@yandex.ru

Астраханский государственный технический университет

Ключевые слова: рыбные гидролизаты, пептидный профиль, пенообразование, стабильность пены, поверхностно-активные свойства, молекулярно-массовое распределение.

В статье рассматривается роль пептидного профиля рыбных гидролизатов в формировании и стабилизации пен. Показано, что молекулярно-массовое распределение пептидов определяет кинетику адсорбции на границе раздела газ-жидкость и структурно-механические свойства адсорбционного слоя. Низкомолекулярные пептиды (0,5...3 кДа) обеспечивают быстрое снижение поверхностного натяжения и высокую кратность пены, однако создают слабый слой, склонный к разрушению. Среднемолекулярные пептиды (3...10 кДа) формируют вязкоэластичный барьер, оптимально сочетающий пенообразование и стабильность. Высокомолекулярные фрагменты (>10 кДа) медленно адсорбируются, но эффективно предотвращают коалесценцию и дренаж. Дополнительным фактором выступает аминокислотный состав: гидрофобные остатки (лейцин, валин, фенилаланин) усиливают связывание с газовой фазой, а заряженные аминокислоты способствуют электростатической стабилизации. Оптимальный пептидный профиль для устойчивой пены – это смесь 60...70% пептидов 1...5 кДа и 30...40% фрагментов 5...15 кДа. Направленный ферментативный гидролиз рыбного сырья позволяет получать гидролизаты с заданным пептидным профилем и улучшенными пенообразующими свойствами.

Введение. В настоящее время в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности широко востребованы пенообразующие системы – от взбитых десертов и муссов до пен для чистящих средств и дерматологических композиций. Ключевыми требованиями к таким системам являются высокая кратность пены и её устойчивость к коалесценции, дренажу и синерезису в течение заданного времени [1, 2]. Традиционно для стабилизации пен используют синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ) или нативные белки (яичный альбумин, желатин, молочные белки). Однако синтетические ПАВ не всегда приемлемы с точки зрения натуральности продукта, а нативные белки обладают ограниченной пенообразующей способностью при определённых значениях pH и ионной силы [2, 3, 4].

Альтернативой выступают белковые гидролизаты, особенно получаемые из вторичных ресурсов рыбной промышленности. Рыбные гидролизаты доступны, экологичны, обладают высокой биодоступностью и могут проявлять поверхностную активность благодаря присутствию пептидов разной длины [5, 6]. Однако ключевая проблема заключается в том, что зависимость пенообразующих свойств гидролизатов от их пептидного профиля (молекулярно-массового распределения и аминокислотного состава) изучена фрагментарно. Низкомолекулярные пептиды быстро снижают поверхностное натяжение, но дают нестабильную пену, тогда как высокомолекулярные фракции медленно адсорбируются, но создают прочный барьер. Рациональное сочетание этих эффектов требует направленного регулирования состава гидролизата.

Целью данной работы является анализ роли пептидного профиля рыбных гидролизатов в формировании и стабилизации пен, а также обоснование подхода к получению гидролизатов с заданными пенообразующими характеристиками.

Материалы и методы исследований. Известно, что рыбные гидролизаты обладают прекрасной пенообразующей способностью, которая оценивается по кратности пены (отношение объёма пены к объёму исходного раствора) и стабильности пены во времени (время полураспада, объём выделившейся жидкости и т.д.), а также то, что рыбные гидролизаты получают ферментативным гидролизом

мышечной ткани, кожи, чешуи или внутренностей рыб. В процессе гидролиза под действием протеолитических ферментов (например, протосубтилин, алкалаза, папаин, пепсин) нативные белки расщепляются на пептиды различной молекулярной массы и свободные аминокислоты [5, 7]. Степень гидролиза и выбор ферментной системы напрямую определяют пептидный профиль конечного продукта. При этом, необходимо отметить, что для пенообразующей способности также ключевым фактором является характер распределения пептидов по фракциям, а не только их средняя молекулярная масса. Вообще, пептиды – это «младшие братья» белков (рис. 1). Белки и пептиды идентичны по своей химической природе и отличаются только длиной аминокислотной цепи: более 50 аминокислот – белок; менее 50 аминокислот – пептид [8, 9].



Рисунок 1 – К пониманию что такое пептиды (из открытых источников)

Низкомолекулярные пептиды (0,5...3 кДа) обладают высокой диффузионной подвижностью, быстро достигают границы раздела газ-жидкость и резко снижают поверхностное натяжение, что обеспечивает высокую кратность пены [8, 9, 10]. Однако образованный ими адсорбционный слой имеет малую толщину и низкую вязкость, вследствие чего пена быстро разрушается за счёт дренажа и коалесценции. Напротив, высокомолекулярные пептиды (>10 кДа) медленно диффундируют, но формируют плотный, структурированный слой с развитой сеткой межмолекулярных водородных связей и гидрофобных взаимодействий [9, 11]. Такой слой создаёт значительный структурно-механический барьер, замедляющий синерезис, однако сам процесс пенообразования при этом может быть затруднён.

Результаты исследований и их обсуждение. Нужный компромисс достигается при использовании смеси, в которой преобладают среднемолекулярные пептиды (3...10 кДа), которые обеспечивают достаточно быструю адсорбцию и при этом формируют вязкоэластичный слой, способный противостоять деформации пузырьков. В ряде исследований [12, 13, 14] показано, что гидролизаты из рыбного фарша, полученные с помощью протосубтилина G3x при степени гидролиза 18...22%, характеризовались доминированием фракции 2...8 кДа (около 65% от общего содержания пептидов). Такие гидролизаты демонстрировали кратность пены 5,2 и время полураспада пены до 45 минут, что на 60% выше, чем у исходного белкового концентрата.

Важную роль играет также аминокислотный состав пептидов [15, 16,17]. Гидрофобные аминокислотные остатки (лейцин, валин, изолейцин, фенилаланин, пролин) способствуют ориентации пептидов неполярными участками к газовой фазе, увеличивая прочность адсорбционного слоя. Заряженные аминокислоты (глутаминовая кислота, лизин, аргинин) обеспечивают электростатическое отталкивание соседних пузырьков, предотвращая их слияние.

Таким образом, направленный подбор фермента и степени гидролиза позволяет получать рыбные гидролизаты с заданным пептидным профилем, который сочетает быстрое пенообразование и длительную стабильность пены. Дополнительным преимуществом является использование вторичного рыбного сырья, что снижает экологическую нагрузку и повышает экономическую эффективность производства.

Заключение. На основе проведённого анализа установлено, что пептидный профиль рыбных гидролизатов играет определяющую роль в процессах пенообразования и стабилизации пены. Ключевое значение имеет молекулярно-массовое распределение: низкомолекулярные пептиды обеспечивают быстрое снижение поверхностного натяжения и высокую кратность пены, но не создают устойчивого слоя, тогда как высокомолекулярные фрагменты медленно адсорбируются, но формируют прочный структурно-механический барьер. Рациональными для практического применения являются

среднемолекулярные пептиды, сочетающие быструю адсорбцию с образованием вязкоэластичного слоя.

Дополнительный вклад вносит аминокислотный состав: гидрофобные остатки усиливают связывание с газовой фазой, а заряженные аминокислоты обеспечивают электростатическую стабилизацию. Направленный ферментативный гидролиз рыбного сырья позволяет получать гидролизаты с заданным пептидным профилем, обладающими улучшенными пенообразующими свойствами. Использование вторичных рыбных ресурсов при этом решает задачи безотходной переработки и повышает экономическую эффективность.

Библиографический список:

1. Недоруб Е. Ю., Власова К. В. Исследование пенообразующих свойств модельных систем // Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма. – 2015. – С. 128-130.
2. Тормозов И. В. Использование пен в пищевой промышленности // Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования. – 2017. – №. 6. – С. 356-358.
3. Степуро М. В., Лобанов В. Г. Роль функциональных свойств белков в пищевой промышленности // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – №. 5-6. – С. 25-27.
4. Колпакова В. В., Бызов В. А. Функциональные характеристики и молекулярно-структурная модификация растительных белков // Обзор. Пищевые системы. – 2024. – Т. 7. – №. 3. – С. 324-335.
5. Бредихина О. В., Зарубин Н. Ю. Разработка комплексной технологии переработки органических отходов рыбоперерабатывающих предприятий на коллагенсодержащие гидролизаты пищевого назначения // Труды ВНИРО. – 2019. – Т. 176. – С. 109-121.
6. Лысова В. Н., Никулин Ю. М. Исследование пенообразующей способности рыбного бульона // Вестник Астраханского технического института рыбной промышленности и хозяйства. – 1993. – С. 133.
7. Гришин Д. В. и др. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой

промышленности и кормопроизводстве // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86. – №. 3. – С. 19-31.

8. Шугалей, И. В. Химия белка: учебное пособие / И. В. Шугалей, А. В. Гарабиджиу, И. В. Целинский. — СПб.: Проспект Науки, 2010. — 200 с.

9. Замятнин А. А. Блистательный мир белков и пептидов // Биология. – 2002. – № 25. – С. 8-13.

10. Мартынова Н. Б., Филимонов Д. А., Поройков В. В. Компьютерное прогнозирование спектра биологической активности низкомолекулярных пептидов и пептидомиметиков // Биоорганическая химия. – 2000. – Т. 26. – №. 5. – С. 330-339.

11. Соколова О. А. Перспективы использования свиной шкурки для получения низкомолекулярных пептидов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. — 2022. — № 2. — С. 108.

12. Живлянцева Ю. В., Куранова Л. К. Научное обоснование срока годности белкового рыбного гидролизата, полученного с использованием фермента протосубтилина ГЗх // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2025. – Т. 28. – №. 3. – С. 342-347.

13. Костылева Е. В. и др. Использование протеолитических ферментов для получения белковых гидролизатов пищевого назначения из вторичного сырья // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92. – №. 1 (545). – С. 116-132.

14. Виннов А. Интенсивность гидролиза белков черноморской хамсы ферментным препаратом протосубтилин ГЗХ // Продовольственная индустрия АПК. – 2013. – №. 4. – С. 36-40.

15. Русина А. Н. Биологическая ценность рыбного гидролизата из отходов переработки пресноводной рыбы // Молодежь в науке-2018. – 2019. – С. 216-221.

16. Odintsova, A. A. Quality control system based on the HACCP principles for safety production process of toppling bread / A. A. Odintsova, N. I. Dunchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2021 года. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 022063. – DOI 10.1088/1755-1315/981/2/022063. – EDN ACAEUY.

17. Баженов Е. А. и др. Опыт получения пептидов с низкой молекулярной массой из различных видов вторичного рыбного сырья // Известия КГТУ. – 2023. – №. 71. – С. 84-101.

THE ROLE OF THE PEPTIDE PROFILE OF FISH HYDROLYSATES IN FOAM FORMATION AND STABILIZATION

**Khadayev A.V., Nugmanov A.Kh.,
Astrakhan State Technical University**

Keywords: fish hydrolysates, peptide profile, foaming, foam stability, surfactant properties, molecular weight distribution.

This article examines the role of the peptide profile of fish hydrolysates in foam formation and stabilization. It is shown that the molecular weight distribution of peptides determines the kinetics of adsorption at the gas-liquid interface and the structural and mechanical properties of the adsorption layer. Low-molecular-weight peptides (0.5–3 kDa) provide rapid reduction in surface tension and high foam expansion, but create a weak layer prone to collapse. Medium-molecular-weight peptides (3–10 kDa) form a viscoelastic barrier that optimally balances foaming and stability. High-molecular-weight fragments (>10 kDa) are slowly adsorbed but effectively prevent coalescence and drainage. The amino acid composition plays an additional role: hydrophobic residues (leucine, valine, phenylalanine) enhance binding to the gas phase, while charged amino acids promote electrostatic stabilization. The optimal peptide profile for stable foam is a mixture of 60–70% peptides of 1–5 kDa and 30–40% fragments of 5–15 kDa. Targeted enzymatic hydrolysis of fish raw materials allows for the production of hydrolysates with a specified peptide profile and improved foaming properties.