





Панировочные системы: I. Виды, свойства, качество

Елена Н. Молчанова¹melena2004@yandex.ru 0000-0003-0708-1694Марал Бердимуратова¹maral.berdimuratova@mail.ru 0000-0002-4894-8621¹ Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. Жареные продукты ценятся во всем мире из-за их вкусовых качеств. Особая роль в текстурных свойствах таких продуктов принадлежит панировочным системам. Изменения в пищевых привычках населения способствуют увеличению потребления продуктов в кляре и панировочных сухарях. Целью работы являлось обобщение и анализ научных публикаций, посвященных панировочным системам, их классификации, составам, роли отдельных компонентов в формировании качества, а также влиянию фритюрной жарки на абсорбцию масла и способам ее уменьшения. Объектом исследования являлась рецензируемая зарубежная и отечественная научная литература, размещенная в базах данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ. Использованы методы поиска, отбора, систематизации, обобщения и анализа научных публикаций. Определено, что термином панировочные системы можно охарактеризовать любую комбинацию компонентов, наносимых на полуфабрикат для создания хрустящей корочки и желаемого вкуса при дальнейшей тепловой обработке. Основная роль в качестве традиционных панировочных систем отводится клейковинным белкам пшеницы, которые при замешивании формируют структурную матрицу, имеющую адгезивные свойства. Анализ научной литературы показал, что одной из проблем изделий в панировке является повышенная калорийность за счет абсорбции масла при приготовлении. Среди нескольких механизмов данного процесса наибольшая роль отводится «вакуумному» эффекту при охлаждении продукта. На поглощение жира влияют свойства пищевых продуктов и фритюрного масла. Установлено, что, одним из эффективных способов снижения абсорбции жира является формирование барьерной пленки дополнительными ингредиентами пищевой матрицы (белками животного и растительного происхождения, производными целлюлозы и различными камедями), а также использование новых приемов жарки. Показано, что данное направление представляет интерес для дальнейших исследований и открывает новые возможности перед промышленностью для формирования востребованной продукции.

Ключевые слова: кляр, панировка, панировочные сухари, поглощение жира, фритюрная жарка, хрусткость.

Breading systems: I. Types, properties, quality

Elena N. Molchanova¹melena2004@yandex.ru 0000-0003-0708-1694Maral Berdimuratova¹maral.berdimuratova@mail.ru 0000-0002-4894-8621¹ Russian Biotechnological University, Volokolamskoe h., 19 Voronezh, 125080, Russia

Abstract. Fried foods are valued all over the world for their taste. Breading systems play a special role in the textural properties of such products. Changes in the dietary habits of the population contribute to an increase in the consumption of products in batter and breadcrumbs. The aim of the work was to summarize and analyze scientific publications on breading systems, their classification, composition, the role of individual components in the formation of quality, as well as the effect of deep frying on oil absorption and ways to reduce it. The object of the study was peer-reviewed foreign and domestic scientific literature, placed in the Scopus, Sciencedirect, RSCI databases. Methods of search, selection, systematization, generalization and analysis of scientific publications are used. It has been determined that the term breading systems can characterize any combination of components applied to the semi-finished product to create a crispy crust and the desired taste during further heat treatment. The main role as traditional breading systems is given to wheat gluten proteins, which, when kneaded, form a structural matrix with adhesive properties. An analysis of scientific literature has shown that one of the problems of breaded products is an increased calorie content due to the absorption of oil during cooking. Among several mechanisms of this process, the greatest role is given to the "vacuum" effect during cooling of the product. Fat absorption is affected by the properties of food and cooking oil. It has been established that one of the effective ways to reduce fat absorption is the formation of a barrier film with additional ingredients of the food matrix (proteins of animal and vegetable origin, cellulose derivatives and various gums), as well as the use of new frying techniques. It is shown that this direction is of interest for further research and opens up new opportunities for the industry to form products in demand.

Keywords: batter, breading, breadcrumbs, fat absorption, deep frying, crispiness.

Введение

Несмотря на разнообразие кулинарных приемов, жареные продукты ценятся во всем мире из-за их вкусовых качеств – хрустящей корочки и приятного аромата. Продукты в кляре и панировочных сухарях давно присутствуют в питании населения, но изменения в пищевых привычках населения и появление различных панированных полуфабрикатов привели к увеличению их потребления. Процесс панирования широко применяется при приготовлении

практически всех групп пищевого сырья: рыбы, морепродуктов, сыра, овощей, птицы, мяса, как в сфере общественного питания, так и в пищевой промышленности.

Текстура является ключевым фактором приемлемости любых пищевых продуктов. Для изделий в панировочных системах главная роль отводится хрусткости [22, 62]. Восприятие хрустящей корочки является сочетанием тактильных и слуховых ощущений и зависит от макро- и микроскопических особенностей продукта [61].

Для цитирования

Молчанова Е.Н., Бердимуратова М. Панировочные системы: I. Виды, свойства, качество // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 87–98. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-87-98

For citation

Molchanova E. N., Berdimuratova M. Breading systems: I. Types, properties, quality. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 87–98. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-87-98

© 2023, Молчанова Е.Н. и Бердимуратова М. / Molchanova E. N., Berdimuratova M.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

При изменении рецептурных составов, например, для получения более здоровых продуктов стараются сохранить высокое качество именно текстурного профиля. Помимо хрустящей корочки вкус и аромат также являются важным фактором, обуславливающим популярность жареных продуктов. По сравнению с ароматами других термических обработок, в том числе и инновационных, аромат данных кулинарных изделий характеризуется богатым разнообразием летучих соединений (например, альдегидов, спиртов, кетонов, углеводов, карбоновых кислот, фуранов, пиазинов и пиридинов) и зависит как от состава продукта и вида масла для жарки, так и параметров тепловой обработки [16]. Комбинация дополнительных компонентов, например аланина и глюкозы совместно с фосфолипидами яичного желтка может обогатить профиль летучих соединений и выступить в качестве характерных одорантов липидного происхождения и реакции Майяра [66].

Помимо органолептического аспекта панировочные системы действуют как барьер против потери влаги, обеспечивая сочность и выход готового продукта после дальнейшей тепловой обработки. Немаловажно, что с их помощью можно получить большое разнообразие привычных блюд с кардинально измененным вкусом или цветом.

Цель работы – обобщение и анализ научных публикаций, посвященных панировочным системам, их классификации, составам, роли отдельных компонентов в формировании качества, а также влияния фритюрной жарки на поглощение масла. аромата.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась рецензируемая зарубежная и отечественная научная литература за последние двадцать лет, размещенная в базах данных Scopus, ScienceDirect, РИНЦ. Поиск осуществлялся по запросу слов «batter», «breader», «breeding», «breadcrumbs», «coatings», «tempura», «nuggets» а также «панировка», «панировочные сухари», «кляр». Использованы методы поиска, отбора, систематизации, обобщения и анализа научных публикаций. Обзор включал анализ исследовательских и обзорных публикаций, соответствующих тематике запроса, а также главы из книг, исключая материалы конференций, сборники трудов и т. д.

Результаты и обсуждение

1. Виды панировочных систем

Термином «панировочные системы» можно охарактеризовать любую комбинацию компонентов, наносимых на полуфабрикат (субстрат) для создания хрустящей корочки и желаемого вкуса при дальнейшей тепловой обработке.

Панировочные системы различаются по составу (одно- или многокомпонентные с присутствием большого количества как основных, так и дополнительных ингредиентов); консистенции (сухие – мука и панировочные сухари и жидкие – тесто); назначению (для жарки, запекания или приготовления в микроволновой печи); месту в многокомпонентной панировочной системе (в качестве внешнего или внутреннего слоя); цвету готовых изделий (от типичных кремового или светло-коричневого до разноцветных) и др.

Панировочные системы, представленные в сухом виде, различаются по размеру частиц (от очень мелких – 1–2 мм до крупных, как правило, удлиненных по форме с размером 10–20 мм), влажности (от сухой – 14% и менее до влажности мякиша хлеба), форме (от чешуйчатой до сферической), текстуре (от нежной до твердой) [28].

Процесс приготовления панированных изделий может состоять из одного этапа, когда на полуфабрикат наносится мука (панировочные сухари / тесто), или нескольких, включающих предварительную обсыпку, погружение в тесто и нанесение панировки внешнего слоя. Последние две операции могут повторяться дважды, причем промежуточная панировка, как правило, включает мелкие панировочные сухари [28]. Известно, внешний слой отвечает за органолептические свойства после тепловой обработки, в частности, хрустящую корочку, а внутренний слой предназначен для увеличения адгезии или поглощения воды, выделяемой при тепловой обработке субстратом. Как правило, в многослойной панировочной системе на предварительное напыление приходится около 7%, жидкое тесто – 30%, – остальное – более 60% – на панировочные сухари. В целом на панировочную систему может приходиться 30–50% массы полуфабриката [28, 33, 49].

В России отсутствует специальный термин, характеризующий слой предварительного напыления. Такую предварительную «обсыпку», как и панировочные сухари, называют панировкой.

Предварительное «напыление» – первый компонент многослойной системы покрытия, целью которого является создание более прочного соединения полуфабриката с тестом. Обычно данную роль выполняет пшеничная мука. На гладких и твердых поверхностях часто возникают проблемы с адгезией, поэтому предварительное напыление улучшает удерживание теста на продукте. В продуктах с неровной поверхностью при данной операции образуется впитывающий слой, который придает большую однородность. Для субстратов, имеющих влажную поверхность, предварительная «обсыпка» поглощает влагу с поверхности, обеспечивая лучшее сцепление теста с продуктом. Во многих случаях этот компонент панировочной системы

может включать широкий спектр приправ или других добавок, способствующих вкусу.

Предварительную «обсыпку» можно разделить на три вида: мука без добавок; классическая, содержащая дополнительно соль, перец или ограниченное количество других пряностей и иногда сахар, и оригинальная – композиция различных видов муки с множеством специй, трав и приправ [17]. Пшеничная мука наиболее часто используется для этих целей, но существуют и другие альтернативы с использованием крахмала или белковых компонентов. Естественные адгезивные свойства муки способствуют ее удерживанию на субстрате, в дальнейшем это способствует лучшей адгезии для следующего слоя панировочной системы – теста [28].

Панировочные сухари (панировка) – кулинарный продукт, состоящий из более или менее крупных крошек, полученных из хлеба или сухарей. Традиционный способ производства панировочных сухарей включает приготовление теста, непродолжительное брожение и выпечку с последующим предварительным дроблением, сушкой, помолом, просеиванием до требуемого гранулометрического состава. В России в промышленности панировочные сухари получают из сухарей хлебных, приготовленных из муки пшеничной различных сортов (высшего первого, второго), кукурузных или пшеничных хлопьев или кукурузных палочек [2] или из просроченной продукции надлежащего качества. Гостом они определяются как достаточно однородная по размеру крупка.

В общественном питании панировочные сухари, полученные из пшеничного хлеба, называют красной панировкой. Для белой панировки используют мякиш белого хлеба. Подсушенный белый хлеб, нарезанный мелким кубиком или соломкой, считаются фигурной панировкой.

В зарубежной практике используют несколько видов панировочных сухарей, в том числе приготовленных не только традиционным способом из хлеба, но и из крекеров, дающих впоследствии твердую хрустящую текстуру, а также экструзионных продуктов [17, 32, 48]. Так называемые американские панировочные сухари в виде крошки обычно применяют для продуктов, предназначенных для разогрева или жарки в духовке. Их текстура менее жесткая, чем крошка из крекера. Панировочные сухари в японском стиле (панко) имеют более вытянутую форму, пористую структуру. Они обеспечивают более нежную и хрустящую корочку по сравнению с другими панировками. Хлеб для панко готовят нетрадиционным способом – с помощью электрического тока. Специализированный процесс выпечки позволяет получить булочки без корки с мякишем однородного цвета.

Повышенная влажность в панко способствует образованию пустот во время фритюрной жарки, и как следствие более хрустящей и легкой текстуре. Также панко имеют более высокую устойчивость к потемнению в процессе жарки [17, 29, 32]. Панировку из кукурузных хлопьев можно использовать для разных видов полуфабрикатов, наиболее предпочтительна она для запекания, поскольку хрустящая корочка уже сформирована [31]. Наряду с классическими вариантами панировочных сухарей производители предлагают панировку, состоящую из крошек разного размера для создания неоднородного слоя [61]. В панировку могут быть включены другие ингредиенты, такие как кусочки бекона, специи, сухие зелень или овощи [17]. Также существуют специальные виды, например, для покрытия полуфабрикатов из курицы в ряде предприятий американской кухни.

Жидкое тесто (кляр) – включает воду, муку и другие ингредиенты, обеспечивающие необходимые вкусовые и текстурные характеристики. Тесто может быть одним из промежуточных слоев панировочной системы как связывающее вещество для удержания панировочных сухарей или единственным компонентом покрытия. Рецепт теста может различаться в зависимости от используемого полуфабриката или желаемого внешнего вида готового продукта. В качестве промежуточного слоя могут выступать взбитое яйцо или отдельно взбитые белок или желток. Наиболее распространенными ингредиентами теста являются пшеничная и кукурузная мука, крахмал, камеди, белковые продукты, ароматизаторы, приправы и соль.

В зависимости от степени вязкости тесто можно разделить на адгезионное (низкой вязкости), когезионное (средней вязкости) и темпурное (высокой вязкости) [60]. Адгезионное тесто применяют в качестве промежуточного слоя между полуфабрикатом и покрытием из панировочных сухарей [25]. Для приготовления блюд японской кухни – темпуры, как правило, из морепродуктов, мяса или овощей, обжаренных во фритюре, в тесто добавляют разрыхлитель, который способствует его расширению во время жарки [17, 65]. Примечательно, что термином «темпура» обозначают не только кулинарные изделия, но и тесто, а также сам процесс приготовления.

Сохранение требуемой вязкости на протяжении всего производственного процесса является одним из необходимых условий при приготовлении теста, т. к. это обеспечивает эффективность системы покрытия во время жарки, однородность текстуры и соответствующий внешний вид. Так, по этой причине тесто темпура готовят небольшими порциями, чтобы получить продукт стабильного качества.

В настоящее время в качестве промежуточного звена между субстратом и панировкой внешнего слоя рассматривают гели на основе животного белка из высокоочищенного коллагенового сырья [5]. Такой вид покрытия предлагается для изделий, подвергающихся запеканию.

2. Роль отдельных компонентов в составе панировочных систем

Мука. Основным компонентом панировочных систем, как сухих, так и влажных, является пшеничная мука, которая обеспечивает привычный вкус и текстуру. Клейковинные белки пшеницы при замешивании формируют структурную матрицу, которая улавливает и удерживает пузырьки воздуха в тесте, а также способствуют его однородности и адгезии [37]. Особая роль клейковинных белков проявляется в тесте для темпуры, т. к. требуется удержание газов, образованных разрыхлителем. В дальнейшем это приводит к меньшей плотности и, следовательно, к более пористой и хрустящей текстуре [50]. Для панировочных систем важна стабильность качества муки, поскольку ее водопоглощательная способность влияет на физические свойства теста и в дальнейшем на технологические и функциональные свойства панировочных систем. В наибольшей степени ответственными за качество можно считать количество и качества белка, содержание поврежденных зерен крахмала, ферментативную активность и наличие пентозанов [17]. Белки в жидком тесте также ответственны за конечный выход жареных продуктов [50].

Пшеничная мука часто используется в смеси с кукурузной. Последняя поддерживает низкую вязкость теста и помогает нейтрализовать крахмалистый вкус пшеничной муки [17]. В настоящее время рассматриваются добавление и других видов муки – овсяной, амарантовой, ячменной, гречневой, чечевичной, нутовой, люпиновой, а также рыбной [11, 47, 52, 57–59]. Однако реологическое поведение теста при использовании нетрадиционной муки, например ячменной, может быть подвержено значительному варьированию в зависимости, как размера частиц, так и от добавленной жидкости [59]. Для улучшения реологических характеристик теста используется экструдированная мука [48]. Известно, что экструзия приводит к изменениям крахмала и белков, соответственно изменяются и водопоглощательная способность муки и реологические свойства жидкого теста [38]. Более высокая вязкость способствует удерживанию большего количества теста на полуфабрикате [48]. При этом наблюдается более высокая адгезия и хрустящая текстура в готовом продукте, а также происходит снижение прогорклых летучих соединений сравнению с контрольным образцом.

Однако, на наш взгляд, последняя характеристика при правильном ведении технологического процесса менее актуальна, т. к. прогорклый вкус свойственен некачественному маслу, которое не должно использоваться.

Крахмал. В панировочных системах используют самые различные крахмалы – кукурузный, картофельный, пшеничный, крахмал тапиоки и др. Обычно выбирают крахмалы с более высоким содержанием амилозы, которые образуют пленку, сохраняющуюся во время фритюрной жарки, что способствует уменьшению поглощения жира [25]. Поэтому крахмал из кукурузы восковой спелости (с высоким содержанием амилопектина) в производстве панировочных систем не рекомендуется. Вид и морфология гранул крахмала может влиять на степень поглощения масла. Так, менее компактная кристаллическая структура картофельного крахмала типа В по сравнению с пшеничным (типа А), способствовала большему поглощению масла [63].

Широко используются модифицированные крахмалы для полуфабрикатов, проходящих стадию замораживания – оттаивания [27]. Одним из новых достижений в линейке крахмалов являются декстрины, которые обладают превосходными пленкообразующими свойствами. Эти продукты также могут продлить срок хранения готовой продукции, это наиболее важно в предприятиях общественного питания, где предпочтительно, чтобы жареные продукты оставались хрустящими в течение максимального времени.

Белковые компоненты. В панировочных системах используют соевый изолят, белки молочной сыворотки и яиц, сухую пшеничную клейковину и другие белки. Их применение в рецептуре жидкого теста способствует предотвращению повышенной абсорбции жира из-за пленкообразующих свойств и свойств термического гелеобразования что, соответственно, снижает содержание масла в конечном продукте [13, 20, 23]. Также увеличивается водоудерживающая способность теста и улучшается показатель хрусткости.

В исследованиях смесей, включающих разные типы белков и крахмала, показано увеличение температуры клейстеризации крахмала за счет конкурентного связывания свободной воды белками. Обволакивая гранулы крахмала, полипептиды белков образуют гелевую сетку. При нагревании денатурация белков препятствует процессам набухания и клейстеризации крахмала. Повышенная гидрофильная природа белков, а также особенности сформированной структурной матрицы компонентов теста были ответственны за снижение поглощения жира.

Степень абсорбции масла для разных белков характеризовалась следующей зависимостью: сывороточные > яичные > соевые [20]. Как правило, при использовании белковых компонентов ускоряется подрумянивание теста во время жарки из-за увеличения количества аминокрупп, участвующих в реакциях Майяра [25, 50].

Гидроколлоиды и пищевые волокна. Использование гидроколлоидов в панировочных системах в основном связано с их способностью поглощать и удерживать воду, выступая в качестве загустителей или регуляторов вязкости (например, гуаровая или ксантановая камедь), а также для увеличения адгезивных свойств к продуктам или полуфабрикатам. (альгинаты или каррагинан) [8, 41]. Гидроколлоиды проявляют хорошую устойчивость к процессу замораживания-оттаивания, что важно для большой группы продуктов, выпускаемой пищевой промышленностью [60]. Камеди можно использовать в предварительной обсыпке, смешивая с инертными ингредиентами, например мукой или крахмалом. Кроме напыления, можно использовать водный раствор камедей для погружения в него продукт или вводить в кляр или тесто для приготовления панировочных сухарей. Также гидроколлоиды включают в рецептурные составы с использованием альтернативных видов муки, которые не способны к образованию вязкого теста, чтобы обеспечить качество, аналогичное классической рецептуре. Учитывая, что многие камеди обладают высокой гидрофильностью, часто требуется корректировки соотношения сухих веществ и воды в рецептуре. Добавление гидроколлоидов, как правило, эффективно на уровне всего 1–1,5% (или менее) от сухого веса компонентов рецептуры [30].

В жидком тесте гидроколлоиды способны к многочисленным взаимодействиям с другими компонентами пищевой системы, например, липидами, белками, другими видами гидроколлоидов. Комбинированный эффект распространяется на различные физические свойства: поверхностное натяжение, гидрофильную способность, способности к гелеобразованию при нагревании и способности образовывать пленки [57]. Поэтому введение гидроколлоидов в панировочные системы требует достаточно тщательного изучения для прогнозирования эффективности их применения.

Добавление пищевых волокон в панировочные системы снижает поглощение масла, а также улучшают текстуру и общую приемлемость, а также способствует более здоровым рецептурным составам. [19, 44, 51].

Пряности, приправы, сушеные овощи. Для увеличения ассортимента продукции и удовлетворения запросов покупателей для панировочных систем используют новые виды

сырья, приправ и пряностей. Например, для внешнего покрытия применялась смесь розмарина, кориандра и куркумы совместно с альгинатом натрия. [6]. Как правило, пряности добавляют в тесто для хлеба или крекеров. Другим вариантом является распыление ароматизированной эмульсии на внутренний или внешний слой панировочной системы [54]. При данном способе в качестве побочного эффекта может быть переход жирорастворимых компонентов во фритюрное масло с последующим изменением его свойств. В предприятиях ресторанного бизнеса при приготовлении в одной фритюрнице различных полуфабрикатов, возможно нежелательное изменение органолептических показателей изделий, например с более нейтральной вкусовой комбинацией. Также следует учитывать термостойкость сырья с учетом температурных и временных режимов тепловой обработки.

В качестве панировок предложено применять различные сухие овощи. Так, изучена возможность использования сушеного корня сельдерея, корня петрушки в качестве панировки замороженных рыбоовощных полуфабрикатов, которые показали хорошую приемлемость [3, 4]. Рассматривалось добавление в кляр 3, 5 и 7% лиофилизированного зеленого лука (*Allium wakegi* Araki), при этом увеличивалась вязкость теста и хрусткость готового продукта [46]. Сенсорные характеристики образцов с добавлением 3 – 5% лиофилизированного зеленого лука получили лучшие оценки дегустаторов.

В настоящее время все больше используют многокомпонентные вариации состава теста, добавляя или заменяя традиционные продукты новыми. Так, многокомпонентная смесь для рыбных нагетсов содержала равное количество пшеничной и кукурузной муки, 1% белка, 5% крахмала, 1% камеди [18]. Рассматривалось совместное включение ксантановой камеди и соевого волокна в различных соотношениях. Наименьшее содержание жира наблюдалось при соотношении компонентов 1:2 [51]. В тесте для темпуры часть традиционных ингредиентов заменили кукурузной мукой, мальтодекстрином, этанолом [39]. С добавлением мальтодекстрина вязкость теста снижалась и появлялась корочка с золотисто-коричневой окраской, которая оставалась более стабильной при хранении. Ранее было выявлено, что добавление этанола привело к снижению уровня влаги и повышению содержания жира в жареной панировке независимо от использования CO₂ [15]. Тесто темпура, содержащее комбинацию различных видов муки – ячменную, гречневую и муку из растения *Coix lacryma-jobi* (Иовлевы слезы) позволило увеличить антиоксидантную активность теста при сохранении органолептических

качеств [58]. Для получения покрытия необычного цвета использовали муку из пурпурного сладкого картофеля, изолят соевого белка и ксантановую камедь [64].

3. Изменение панировочных систем во время жарки во фритюре

Жарка во фритюре – распространенный метод приготовления пищи. При этом подготовленный полуфабрикат погружается в жировую фазу (чаще всего растительное масло или специализированный фритюрный жир). В настоящее время все больший интерес вызывают инновационные виды жарки во фритюре – в вакууме, под высоким давлением, в микроволновой печи [24, 49]. В зависимости от вида жарки происходит меньшая сорбция масла или уменьшается время приготовления, в любом случае продукты имеют лучшие органолептические свойства. [49]

Во время фритюрной жарки основными являются массо- и теплообменные процессы. Влага субстрата движется к поверхности и испаряется, обеспечивая образование корочки, а масло, диффундирующее с поверхности к центру, действует как в качестве механизма теплопередачи, так и в качестве нового ингредиента в составе продукта [40].

Существует множество теорий, объясняющих механизмы поглощения масла во время жарки, наиболее признанными считаются массообменные процессы, эффект фазы охлаждения и теория поверхностно-активных веществ [21].

Первый механизм описывает поглощение масла относительно большими пустотами в корочке, которые образуются из-за испарения воды. В результате высокой температуры теплоносителя (160–190 °C) внутри продукта нарастает давление за счет скопления избыточного пара, что приводит к разрушению поверхностного слоя путем образования трещин. С другой стороны, показано, что давление увеличивается в течение только нескольких секунд, остальное время процесс массопереноса происходит при отрицательном давлении [34]. Также пар выходит через каналы и капилляры, присутствующие в пищевой матрице, которые становятся доступными для проникновения масла [21, 40, 61]. Традиционно считалось, что степень нарушения целостности корочки связана с количеством выделяемого пара, и одним из факторов поглощения масла в значительной степени является исходное количество влаги в субстрате. Например, для жидкого теста высокое содержание воды приводит к взрывному испарению, вызывая разрушение поверхности и, следовательно, увеличивая ее проницаемость для поглощения масла [26]. Однако, для картофельных чипсов показано, что начальная влажность сама по себе не может влиять на конечное содержание масла, или на соотношение фракций масла,

поглощаемых продуктом [69]. Предполагают, что процесс абсорбции больше связан с типом образующегося свободного пространства (например, крупных или мелких трещин) при испарении воды. Хотя микроструктура рассматриваемых панировочных систем и картофеля сильно отличается, данные результаты дают основание говорить, что процессы массообмена еще не до конца изучены.

Второй механизм дает объяснение поглощения значительного количества масла, когда продукт вынимается из фритюрницы [42, 61]. При остывании происходит конденсации водяного пара и последующее снижение внутреннего давления, поэтому масло, оставшееся на поверхности, всасывается из-за образующегося «эффекта вакуума» [21]. Считают, что характеристики поверхности продукта и вязкость масла играют первостепенную роль. Фактически, чем меньше поры, тем больше количество жира, поглощаемого капиллярными силами во время охлаждения [61]. В настоящее время находит подтверждение теория, что поглощение масла при охлаждении обусловлено не конденсацией водяного пара, а силой капиллярного давления [22].

Третий механизм объясняет повышенную абсорбцию масла при длительном использовании фритюрного жира. Нагрев масла во время жарки вызывает ряд химических и физических изменений, включая процессы гидролиза и окисления, что приводит к образованию различных поверхностно-активных соединений, например, моно- и диглицеридов, которые снижают поверхностное натяжение между маслом и пищевыми продуктами, действуют как смачивающие агенты. Но более реальной выглядит версия об увеличении вязкости масла в связи с реакциями полимеризации триглицеридов при длительном температурном воздействии [21].

Основываясь на различных механизмах абсорбции масла, фракции масла в жареных продуктах делят на категории в зависимости от их расположения: поверхностное, структурное и масло, проникающее через поверхность [12]. Поверхностное масло, представляет собой масляную фракцию, которая остается на поверхности продукта после удаления из жарочной среды и регулируется взаимосвязью между капиллярными силами и межфазным натяжением. Структурное масло проходит внутрь через щели, возникающие в результате непрерывного замещения влаги жиром во время жарки. Масло, проникающее через поверхность, всасывается в продукт на стадии охлаждения за счет «вакуумного» эффекта. Общеизвестно, что наибольшее поглощение масла продуктом происходит в период охлаждения. При этом количество масла, впитавшегося в продукт после жарки, сильно зависит от количества масла на поверхности [44].

В панировочных системах, как и в других продуктах, жареных во фритюре содержание масла, проникающего через поверхность, является наиболее значимой фракции, т. к. на его долю приходится наибольший процент от общего содержания масла для продуктов. При этом максимальное количество масла в продуктах характерно при более высокой температуре обжаривания [44].

На поглощение жира влияют различные факторы, например, свойства пищевых продуктов: их состав, форма и характеристики поверхности, плотность и размер продукта. Так, например, для кабачков в кляре более тонкие ломтики приводили к более высокому поглощению масла [39]. Продукты с более высокой степенью шероховатости поглощают больше масла [43]. Кроме того, важны свойства масла, включая тип и степень его деградации в процессе фритюрной жарки, а также параметры процесса – условия предварительной обработки, обжаривания и постобжаривания [49, 71].

Учитывая ячеистую структуру панировочных систем и различное состояние их поверхности в зависимости от вида, изучались изменения физически и механических характеристики панировочных сухарей различного размера от 355 мкм до 4 мм на креветках. [61, 62]. Показатель общей пористости покрытий в целом уменьшался с увеличением размера панировочных сухарей. Наибольшие различия наблюдались у крупных панировочных сухарей по сравнению с остальными [61]. Близкие значения общей пористости между крошкой размером 500 мкм и менее и покрытием только из теста объяснялись тем, что панировочные сухари наименьшего размера способны обеспечивать равномерный слой на поверхности продукта и создавать герметичный барьер для предотвращения потери влаги. Более крупные панировочные сухари подвергаются большему воздействию масла в процессе жарки. С точки зрения атрибутов текстуры, по мере того, как размер хлебных крошек уменьшался с 4,0 до 355 мкм, значительно уменьшались и показатели «хрусткости» ($p < 0,0001$) и «твердости» ($p < 0,0001$) [62].

Для изделий в панировочных системах предложены различные математические модели массопереноса фритюрного обжаривания [53, 67, 70]. Например, изменение влажности корки подчиняется второму закону диффузии Фика, а изменение жира – кинетической модели первого порядка. Кроме массо- и теплообмена во время фритюрной жарки происходят и традиционные для тепловой обработки процессы –

клейстеризация и деструкция крахмала, денатурация белков, реакция меланоидинообразования, совокупность которых оказывает положительное влияние на текстуру и аромат, способствует образованию хрустящей корочки золотистого цвета, так высоко ценимой потребителями.

4. Способы уменьшения поглощения масла

Высокое содержание масла в продукции с использованием панировочных систем вызывает беспокойство в связи с рядом заболеваний, в том числе заболеваний сердечно-сосудистой системы, ожирения, повышенного уровня холестерина. В жареных продуктах на жир может приходиться до 75% калорий [13], в то время как в рекомендации по здоровому питанию предполагают 30–35% калорий. Соответственно, разработка продукции с пониженной жирностью является одним из приоритетных направлений в данной области [19, 22, 36].

Были изучены многочисленные методы снижения содержания жира в жареных продуктах, в том числе: создание съедобного физического барьера (пленки) на продуктах, изменение поверхности продуктов, их предварительную обработку, новые методы жарки (жарка в вакууме, горячем воздухе и микроволновой печи или их комбинация), контроль полярности масла для жарки путем частой замены свежего масла и модификация жарочной среды путем корректировки температуры, времени или метода жарки [14, 19, 45]. Одним из простых приемов является промакивание поверхности продукта впитывающей бумагой, либо сдувание горячим воздухом или перегретым паром поверхностного масла с продукта, а также поддержание постоянной температуры, препятствующей охлаждению и образованию «вакуумного» эффекта [1].

Одним из эффективных способов уменьшения всасывания жира продуктами с использованием панировочных систем является формирование пленки в качестве барьера. Более того, физическими и механическими свойствами таких продуктов можно управлять в зависимости от физико-химической природы пленки, образующейся под слоем панировочной матрицы [13]. Данными свойствами обладает достаточно большое разнообразие пищевых ингредиентов: животные белки и растительные белки, производные целлюлозы и различные камеди [18, 55]. Сообщается, что дополнительными механизмами, ингибирующими абсорбцию жира белками и гидроколлоидами, кроме образования пленки, являются повышение гидрофильности поверхности и гелеобразование при нагревании [60].

Компонентами панировочных систем, которые могут снизить поглощение масла на 35–50%, являются метилцеллюлоза, изоляты соевого белка, белки молочной сыворотки и пшеничной клейковины, ксантановая или гуаровая камедь [9, 35, 36]. Еще одним потенциальным ингредиентом, препятствующим впитыванию масла, является пищевая клетчатка из побегов бамбука, вводимая с яичным белком. Ингибирование поглощения жира в жареных наггетсах зависело от уровня добавления ее в тесто, при этом 6% демонстрировало максимальный эффект [68]. Исследование влияние типа масла на свойства теста, обжаренного во фритюре, показало, что образцы, обжаренные в кокосовом масле, имели меньшую плотность, более высокое поглощение масла, но лучшую текстуру, чем те, что были обжарены в пальмовом масле [56]. Использование олеогелей также способствует снижению поглощения масла [7, 10]. Так, луковые кольца, обжаренные в олеогеле, впитали на 33–37% меньше масла по сравнению с контрольной группой [10].

Заключение

Панировочные системы можно определить как любую комбинацию ингредиентов для покрытия полуфабриката для придания готовым изделиям таких свойств как вкус, текстура и внешний вид. Основными видами панировочных систем являются предварительное «напыление», панировочные сухари и жидкое тесто. Современные рецептуры включают различные виды муки, белковые вещества, крахмал, гидроколлоиды, пряности и специи. Одним из приоритетных направлений в исследованиях с панировочными системами является разработка продукции с пониженной жирностью. Основным механизмом, приводящим к абсорбции масла панировочными системами, является «вакуумный» эффект во время фазы охлаждения. На поглощение жира влияют различные факторы: свойства пищевых продуктов и фритюрного масла, а также параметры процесса жарки. Изменение рецептурных составов и приемов приготовления может способствовать уменьшению впитывания жира.

Литература

- 1 Васькина В.А., Львович Н.А., Вайншенкер Т.С. Обжаривание мучных изделий во фритюре. механизмы впитывания жира // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2013. № 11–12. С. 46–48.
- 2 ГОСТ 28402–89. Сухари панировочные. Общие технические условия.
- 3 Наumenko Е.А. Изучение возможности использования растительного покрытия в качестве панировки // Инновации в науке, образовании и бизнесе-2013. 2013. С. 168–171.
- 4 Наumenko Е.А. Разработка рыбного полуфабриката с использованием панировок из растительного сырья // Известия КГТУ. 2014. № 3. С. 99–107.
- 5 Сложенкина М.И., Сивко А.Н., Асеев Н.А. Эффективность применения растительной панировки в технологии цельномышечных изделий // Аграрно-пищевые инновации. 2021. Т. 16. № 4. С. 55–65. doi:10.31208/2618-7353-2021-16-55-65.
- 6 Фадеева Е.А. Панировка из растительного сырья–полезное покрытие // Редакционная коллегия. 2016. С. 144.
- 7 Adrah K., Adegoke S.C., Tahergorabi R. Physicochemical and microbial quality of coated raw and oleogel-fried chicken // LWT. 2022. V. 154. P. 112589. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112589
- 8 Albert A., Perez-Munuera I., Quiles A., Salvador A. et al. Adhesion in fried battered nuggets: Performance of different hydrocolloids as predests using three cooking procedures // Food Hydrocoll. 2009. V. 23. №. 5. P. 1443-1448. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.11.015
- 9 Altunakar B., Sahin S., Sumnu G. Functionality of batters containing different starch types for deep-fat frying of chicken nuggets // Eur Food Res Technol. 2004. V. 218. № 4. P. 318–322. doi: 10.1007/s00217-003-0854-5
- 10 Aydeniz-Guneser B., Yilmaz E. Sunflower oil-polyglycerol stearate oleogels: Alternative deep-fat frying media for onion rings // J Oleo Sci. 2022. V. 71. № 5. P. 651–662. doi: 10.5650/jos.ess21446
- 11 Bonfim B. de C., Monteiro M.L.G., Santos A.F.G.N. do, Vilar J. dos S. et al. Nutritional improvement and consumer perspective of fish nuggets with partial substitution of wheat flour coating by fish (*Priacanthus arenatus*, Cuvier, 1829) waste flour // J Aquat Food Prod Technol. 2019. P. 1–15. doi: 10.1080/10498850.2019.1693462
- 12 Bouchon P., Aguilera J.M., Pyle D.L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying // Journal of Food science. 2003. V. 68. № 9. P. 2711–2716.
- 13 Brannan R.G., Mah E., Schott M., Yuan S. et al. Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods: Influence of ingredients that reduce oil absorption // Eur J Lipid Sci Technol. 2014. V. 116. № 3. P. 240–254. doi: 10.1002/ejlt.201200308
- 14 Brannan R.G., Pettit K. Reducing the oil content in coated and deep-fried chicken using whey protein // Lipid Technol. 2015. V. 27. № 6. P. 131–133. doi: 10.1002/lite.201500022
- 15 Carvalho M.J., Ruiz-Carrascal J. Improving crunchiness and crispness of fried squid rings through innovative tempura coatings: addition of alcohol and CO2 incubation // J Food Sci Technol. 2018. V. 55. № 6. P. 2068–2078. doi: 10.1007/s13197-018-3121-2
- 16 Chang C., Wu G., Zhang H., Jin Q. et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors // Crit Rev Food Sci Nutr. 2020. V. 60. № 9. P. 1496–1514. doi: 10.1080/10408398.2019.1575792
- 17 Chen R.Y., Wang Y., Dyson D. Breadcrumbs-What They Are and How They Are Used // Batters and Breadcrumbs in Food Processing. 2011. P. 169–184. doi: 10.1016/b978-1-891127-71-7.50015-2
- 18 Chen S.-D., Chen H.-H., Chao Y.-C., Lin R.-S. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets // J Food Eng. 2009. V. 95. № 2. P. 359–364. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.05.016
- 19 Ching L.W., Zulkipli N., afifah M., Muhamad I.I., Marsin A.M. et al. Dietary management for healthier batter formulations // Trends Food Sci Technol. 2021. V. 113. P. 411–422. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.054

- 20 Cui L., Chen J., Wang Y., Xiong Y.L. The effect of batter characteristics on protein-aided control of fat absorption in deep-fried breaded fish nuggets. *Foods*. 2022. V. 11. № 2. P. 147. doi: 10.3390/foods11020147
- 21 Dana D., Saguy I.S. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth // *Adv Colloid Interface Sci*. 2006. V. 128–130. P. 267–272. doi: 10.1016/j.cis.2006.11.013
- 22 Dehghannya J., Ngadi M. Recent advances in microstructure characterization of fried foods: Different frying techniques and process modeling // *Trends Food Sci Technol*. 2021. V. 116. P. 786–801. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.033
- 23 Dogan S.F., Sahin S., Sumnu G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets // *Eur Food Res Technol*. 2005. V. 220. № 5–6. P. 502–8. doi: 10.1007/s00217-004-1099-7
- 24 Faruq A., Khatun A., Azam M.H.A., Sarker S.R. et al. Recent advances in frying processes for plant-based foods // *Food Chemistry Advances*. 2022.
- 25 Fiszman S.M., Salvador A. Recent developments in coating batters // *Trends Food Sci Technol*. 2003. V. 14. № 10. P. 399–407. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00153-5
- 26 Gazmuri A.M., Bouchon P. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying // *Food Chem*. 2009. V. 115. № 3. P. 999–1005. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.020
- 27 Gerdes S. Batters and Breadings Live Tastes. *Naturalproductsinsider.com*. URL: <https://www.naturalproductsinsider.com/archive/batters-and-breadings-liven-tastes>
- 28 Hall R.H. Applications of natural ingredients in savoury food products // In: *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*. Elsevier; 2012. P. 281–317.
- 29 Hui Y.H. Handbook of meat and meat processing. CRC press, 2012. doi: 10.1201/b11479
- 30 Izadi S., Ojagh S.M., Rahmanifarah K., Shabanpour B., Sakhale B.K. Production of low-fat shrimps by using hydrocolloid coatings // *J Food Sci Technol*. 2015. V. 52. № 9. P. 6037–6042. doi: 10.1007/s13197-014-1632-z
- 31 Johnson L.A., Deak N., Vignaux N., Burge R.M. Dry-milled corn ingredients in food coatings // In: *Batters and Breadings in Food Processing*. Elsevier, 2011. P. 25–51.
- 32 Kalschne D.L., Corso M.P., Canan C. Advances in meat processing technologies: Modern approaches to meet consumer demand // *Bentham Science Publishers*. 2020.
- 33 Kulp K. Batters and breadings in food processing. Academic Press, 2016,
- 34 Lalam S., Sandhu J.S., Takhar P.S., Thompson L.D., Alvarado C. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets // *Lebenson Wiss Technol*. 2013. V. 50. № 1. P. 110–119. doi: 10.1016/j.lwt.2012.06.014
- 35 Lee S., Inglett G.E. Effect of an Oat β – Glucan-Rich Hydrocolloid (C-trim30) on the Rheology and Oil Uptake of Frying Batters // *Journal of Food Science*. 2007. V. 72. № 4. P. E222–6. doi: 10.1111/j. 1750-3841.2007.00326.x
- 36 Liberty J.T., Dehghannya J., Ngadi M.O. Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review // *Trends Food Sci Technol*. 2019. V. 92. P. 172–183. doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.050
- 37 Mallikarjunan P., Ngadi M.O., Chinnan M.S. Breaded fried foods. CRC Press, 2009.
- 38 Martínez M.M., Sanz T., Gómez M. Influence of wheat flour subjected to different extrusion conditions on the rheological behaviour and thermal properties of batter systems for coating // *Lebenson Wiss Technol*. 2015. V. 64. № 2. P. 1309–1314. doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.037
- 39 Martínez-Pineda M., Yagüe-Ruiz C., Vercet A. How batter formulation can modify fried tempura-battered zucchini chemical and sensory characteristics? // *Foods*. 2020. V. 9. № 5. P. 626. doi: 10.3390/foods9050626
- 40 Mellema M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods // *Trends Food Sci Technol*. 2003. V. 14. № 9. P. 364–373. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00050-5
- 41 Meyers M.A., Grazela A. Functionality of hydrocolloids in batter coating systems // *Batters and breadings in food processing*. 2011. P. 117–138.
- 42 Moreno M.C., Bouchon P. Microstructural characterization of deep-fat fried formulated products using confocal scanning laser microscopy and a non-invasive double staining procedure // *J Food Eng*. 2013. V. 118. № 2. P. 238–246. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.03.007
- 43 Moreno M.C., Brown C.A., Bouchon P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products // *J Food Eng*. 2010. V. 101. № 2. P. 179–186. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.06.024
- 44 Onipe O.O., Beswa D., Jideani A.I.O. Quantification of oil fractions of deep-fried wheat dough and batter enriched with oat and wheat bran // *J Food Qual*. 2021. P. 1–9. doi: 10.1155/2021/5552951
- 45 Pankaj S.K., Keener K.M. A review and research trends in alternate frying technologies // *Curr Opin Food Sci*. 2017. V. 16. P. 74–79. doi: 10.1016/j.cofs.2017.09.001
- 46 Park S.-Y., Kim H.-Y. Effect of lyophilized chive (*Allium wakegi* Araki) supplementation to the frying batter mixture on quality attributes of fried chicken breast and tenderloin // *Food Chem X*. 2022. V. 13. P. 100216. doi: 10.1016/j.fochx.2022.100216
- 47 Reddy D.M., Reddy V.B., Gupta R., Vani S. Effect of oat flour on physico-chemical characteristics of mutton nuggets // *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2017. V. 6. № 1. P. 248–253.
- 48 Román L., Pico J., Antolín B., Martínez M.M. et al. Extruded flour improves batter pick-up, coating crispness and aroma profile // *Food Chemistry*. 2018. V. 260. P. 106–114. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.136
- 49 Safari A., Salamat R., Baik O.-D. A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors // *J Food Eng*. 2018. V. 230. P. 114–123. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.022
- 50 Salvador A., Sanz T., Fiszman S. Effect of the addition of different ingredients on the characteristics of a batter coating for fried seafood prepared without a pre-frying step // *Food Hydrocoll*. 2005. V. 19. № 4. P. 703–708. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.07.003
- 51 Shan J., Chen J., Xie D., Xia W. et al. Effect of Xanthan Gum/Soybean Fiber Ratio in the Batter on Oil Absorption and Quality Attributes of Fried Breaded Fish Nuggets // *Journal of Food Science*. 2018. V. 83. № 7. P. 1832–1838.
- 52 Shokrollahi Yancheshmeh B., Mohebbi M., Varidi M., Razavi S.M. et al. Performance of lentil and chickpea flour in deep-fried crust model (DFCM): oil barrier and crispy properties // *J Food Meas Charact*. 2019. V. 13. № 1. P. 296–304. doi: 10.1007/s11694-018-9944-8
- 53 Soorgi M., Mohebbi M., Mousavi S.M., Shahidi F. The effect of methylcellulose, temperature, and microwave pretreatment on kinetic of mass transfer during deep fat frying of chicken nuggets // *Food Bioproc Tech*. 2012. V. 5. № 5. P. 1521–1530. doi: 10.1007/s11947-011-0520-z
- 54 Suderman D.R. Effective use of flavorings and seasonings in batter and breadings systems // *Batters and breadings in food processing*. 2011. P. 73–91.

- 55 Sun J., Wu R., Hu B., Jia C. et al. Effects of konjac glucomannan on oil absorption and safety hazard factor formation of fried battered fish nuggets // *Foods*. 2022. V. 11. № 10. P. 1437. doi: 10.3390/foods11101437
- 56 Surojanametukul V., Karnasuta S., Satmalee P. Effect of oil type and batter ingredients on the properties of deep-frying flakes // *Food Sci Technol*. 2020. V. 40. № 2. P. 592–596. doi: 10.1590/fst.32919
- 57 Tamsen M., Shekarchizadeh H., Soltanizadeh N. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties // *Lebenson Wiss Technol*. 2018. V. 91. P. 580–587. doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.001
- 58 Taniguchi A., Kyogoku N., Kimura H., Kondo T. et al. Antioxidant capacity of tempura deep-fried products prepared using barley, buckwheat, and Job's tears flours // *Foods*. 2020. V. 9. № 9. P. 1246. doi: 10.3390/foods9091246
- 59 Taniguchi A., Miura M., Ikeda T.M., Kaneko S. et al. Factors affecting rheological properties of barley flour-derived batter and dough examined from particle properties // *Food Hydrocoll*. 2022. V. 129. P. 107645. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.107645
- 60 Varela P., Fiszman S.M. Hydrocolloids in fried foods. A review // *Food Hydrocoll*. 2011. V. 25. № 8. P. 1801–1812. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
- 61 Voong K.Y., Norton A.B., Mills T.B., Norton I.T. Characterisation of deep-fried batter and breaded coatings // *Food Structure*. 2018. V. 16. P. 43–49. doi: 10.1016/j.foostr.2018.03.002
- 62 Voong K.Y., Norton-Welch A., Mills T.B., Norton I.T. Understanding and predicting sensory crispness of deep-fried battered and breaded coatings // *Journal of Texture Studies*. 2019. V. 50. № 6. P. 456–464. doi:10.1111/jtxs.12456
- 63 Wang Y., McClements D.J., Long J., Qiu C. et al. Structural transformation and oil absorption of starches with different crystal types during frying // *Food Chem*. 2022. V. 390. P. 133115. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133115
- 64 Xu J., Ji H., Dong H., Duan S. et al. A promising natural purple batter system with antioxidant activity for vacuum fried breaded shrimp // *Food Sci Technol*. 2021. doi: 10.1590/fst.35220
- 65 Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids // *J Sci Food Agric*. 2007. V. 87. № 7. P. 1292–1300. doi: 10.1002/jsfa.2845
- 66 Ye T.-T., Guo D., Zhao Z.-J., Liu J. et al. Use of egg yolk phospholipids as well as alanine and glucose to generate the key odorants of fried battered and breaded fish nuggets // *Lebenson Wiss Technol*. 2022. V. 162. P. 113489. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113489
- 67 Yuan Z., Chen J., Zeng H., Xia W. et al. Kinetic modeling for mass transfer of breaded and battered fish nuggets (BBFNs) with soybean fiber, xanthan gum and whey protein during deep-fat frying // *Shipin Kexue/Food Science*. 2018. V. 39. № 3. P. 34–40.
- 68 Zeng H., Chen J., Zhai J., Wang H. et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber // *Lebenson Wiss Technol*. 2016. V. 73. P. 425–431. doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.052
- 69 Zhang J.T.W., Li Z.S., Ding L.P. Fan Effects of initial moisture content on the oil absorption behavior of potato chips during frying process // *Food and Bioprocess Technology*. 2016. V. 9. P. 331–340.
- 70 Zhang W., Chen J., Yue Y., Zhu Z. et al. Modelling the mass transfer kinetics of battered and breaded fish nuggets during deep-fat frying at different frying temperatures // *J Food Qual*. 2020. P. 1–8. doi: 10.1155/2020/8874163
- 71 Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. et al. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process // *Int J Food Sci Technol*. 2008. V. 43. № 8. P. 1410–1423. doi: 10.1111/j. 1365–2621.2007.01664.x

References

1. Vaskina V.A., Lvovich N.A., Weinshenker T.S. Deep frying of flour products. mechanisms of fat absorption. Confectionery and bakery production. 2013. no. 11-12. pp. 46-48. (in Russian).
2. GOST 28402-89. Breadcrumbs. General technical conditions. (in Russian).
3. Naumenko E.A. Studying the possibility of using vegetable coating as breading. Innovations in science, education and business 2013. pp. 168-171. (in Russian).
4. Naumenko E.A. Development of fish semi-finished product using breading from vegetable raw materials. News of KSTU. 2014. no. 3. pp. 99-107. (in Russian).
5. Skladenkina M.I., Sivko A.N., Aseev N.A. The effectiveness of the use of vegetable breading in the technology of whole-muscle products. Agrarian and food innovations. 2021. vol. 16. no. 4. pp. 55-65. doi:10.31208/2618-7353-2021-16-55-65. (in Russian).
6. Fadeeva E.A. Breading from vegetable raw materials–useful coating. Editorial Board. 2016. pp. 144. (in Russian).
7. Adrah K., Adegoke S.C., Tahergorabi R. Physicochemical and microbial quality of coated raw and oleogel-fried chicken. LWT. 2022. vol. 154. pp. 112589. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112589
8. Albert A., Perez-Munuera I., Quiles A., Salvador A. et al. Adhesion in fried battered nuggets: Performance of different hydrocolloids as preducts using three cooking procedures. Food Hydrocoll. 2009. vol. 23. no. 5. pp. 1443-1448. doi:10.1016/j.foodhyd.2008.11.015
9. Altunakar B., Sahin S., Sumnu G. Functionality of batters containing different starch types for deep-fat frying of chicken nuggets. Eur Food Res Technol. 2004. vol. 218. no. 4. pp. 318–322. doi: 10.1007/s00217-003-0854-5
10. Aydeniz-Guneser B., Yilmaz E. Sunflower oil-polyglycerol stearate oleogels: Alternative deep-fat frying media for onion rings. J Oleo Sci. 2022. vol. 71. no. 5. pp. 651–662. doi: 10.5650/jos.ess21446
11. Bonfim B. de C., Monteiro M.L.G., Santos A.F.G.N. do, Vilar J. dos S. et al. Nutritional improvement and consumer perspective of fish nuggets with partial substitution of wheat flour coating by fish (*Priacanthus arenatus*, Cuvier, 1829) waste flour. J Aquat Food Prod Technol. 2019. pp. 1–15. doi: 10.1080/10498850.2019.1693462
12. Bouchon P., Aguilera J.M., Pyle D.L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. Journal of Food science. 2003. vol. 68. no. 9. pp. 2711–2716.
13. Brannan R.G., Mah E., Schott M., Yuan S. et al. Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods: Influence of ingredients that reduce oil absorption. Eur J Lipid Sci Technol. 2014. vol. 116. no. 3. pp. 240–254. doi: 10.1002/ejlt.201200308
14. Brannan R.G., Pettit K. Reducing the oil content in coated and deep-fried chicken using whey protein. Lipid Technol. 2015. vol. 27. no. 6. pp. 131–133. doi: 10.1002/lite.201500022
15. Carvalho M.J., Ruiz-Carrascal J. Improving crunchiness and crispness of fried squid rings through innovative tempura coatings: addition of alcohol and CO2 incubation. J Food Sci Technol. 2018. vol. 55. no. 6. pp. 2068–2078. doi: 10.1007/s13197-018-3121-2
16. Chang C., Wu G., Zhang H., Jin Q. et al. Deep-fried flavor: characteristics, formation mechanisms, and influencing factors. Crit Rev Food Sci Nutr. 2020. vol. 60. no. 9. pp. 1496–1514. doi: 10.1080/10408398.2019.1575792

- 17.Chen R.Y., Wang Y., Dyson D. Breadings-What They Are and How They Are Used. *Batters and Breadings in Food Processing*. 2011. pp. 169–184. doi: 10.1016/b978-1-891127-71-7.50015-2
- 18.Chen S.-D., Chen H.-H., Chao Y.-C., Lin R.-S. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets. *J Food Eng*. 2009. vol. 95. no. 2. pp. 359–364. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.05.016
- 19.Ching L.W., Zulkiply N., 'afifah M., Muhamad I.I., Marsin A.M. et al. Dietary management for healthier batter formulations. *Trends Food Sci Technol*. 2021. vol. 113. pp. 411–422. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.054
- 20.Cui L., Chen J., Wang Y., Xiong Y.L. The effect of batter characteristics on protein-aided control of fat absorption in deep-fried breaded fish nuggets. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 2. pp. 147. doi: 10.3390/foods11020147
- 21.Dana D., Saguy I.S. Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Adv Colloid Interface Sci*. 2006. vol. 128–130. pp. 267–272. doi: 10.1016/j.cis.2006.11.013
- 22.Dezhghannya J., Ngadi M. Recent advances in microstructure characterization of fried foods: Different frying techniques and process modeling. *Trends Food Sci Technol*. 2021. vol. 116. pp. 786–801. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.033
- 23.Dogan S.F., Sahin S., Sumnu G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets. *Eur Food Res Technol*. 2005. vol. 220. no. 5–6. pp. 502–8. doi: 10.1007/s00217-004-1099-7
- 24.Faruq A., Khatun A., Azam M.H.A., Sarker S.R. et al. Recent advances in frying processes for plant-based foods. *Food Chemistry Advances*. 2022.
- 25.Fiszman S.M., Salvador A. Recent developments in coating batters. *Trends Food Sci Technol*. 2003. vol. 14. no. 10. pp. 399–407. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00153-5
- 26.Gazmuri A.M., Bouchon P. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chem*. 2009. vol. 115. no. 3. pp. 999–1005. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.020
- 27.Gerdes S. Batters and Breadings Live Tastes. *Naturalproductsinsider.com*. Available at: <https://www.naturalproductsinsider.com/archive/batters-and-breadings-live-tastes>
- 28.Hall R.H. Applications of natural ingredients in savoury food products. In: *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*. Elsevier, 2012. pp. 281–317.
- 29.Hui Y.H. *Handbook of meat and meat processing*. CRC press, 2012. doi: 10.1201/b11479
- 30.Izadi S., Ojagh S.M., Rahmanifarah K., Shabanpour B., Sakhale B.K. Production of low-fat shrimps by using hydrocolloid coatings. *J Food Sci Technol*. 2015. vol. 52. no. 9. pp. 6037–6042. doi: 10.1007/s13197-014-1632-z
- 31.Johnson L.A., Deak N., Vignaux N., Burge R.M. Dry-milled corn ingredients in food coatings. In: *Batters and Breadings in Food Processing*. Elsevier, 2011. pp. 25–51.
- 32.Kalschne D.L., Corso M.P., Canan C. *Advances in meat processing technologies: Modern approaches to meet consumer demand*. Bentham Science Publishers. 2020.
- 33.Kulp K. *Batters and breadings in food processing*. Academic Press, 2016,
- 34.Lalam S., Sandhu J.S., Takhar P.S., Thompson L.D., Alvarado C. Experimental study on transport mechanisms during deep fat frying of chicken nuggets. *Lebenson Wiss Technol*. 2013. vol. 50. no. 1. pp. 110–119. doi: 10.1016/j.lwt.2012.06.014
- 35.Lee S., Inglett G.E. Effect of an Oat β – Glucan-Rich Hydrocolloid (C-trim30) on the Rheology and Oil Uptake of Frying Batters. *Journal of Food Science*. 2007. vol. 72. no. 4. pp. E222–6. doi: 10.1111/j. 1750-3841.2007.00326.x
- 36.Liberty J.T., Dezhghannya J., Ngadi M.O. Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review. *Trends Food Sci Technol*. 2019. vol. 92. pp. 172–183. doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.050
- 37.Mallikarjunan P., Ngadi M.O., Chinnan M.S. *Breaded fried foods*. CRC Press, 2009.
- 38.Martínez M.M., Sanz T., Gómez M. Influence of wheat flour subjected to different extrusion conditions on the rheological behaviour and thermal properties of batter systems for coating. *Lebenson Wiss Technol*. 2015. vol. 64. no. 2. pp. 1309–1314. doi: 10.1016/j.lwt.2015.07.037
- 39.Martínez-Pineda M., Yagüe-Ruiz C., Vercet A. How batter formulation can modify fried tempura-battered zucchini chemical and sensory characteristics? *Foods*. 2020. vol. 9. no. 5. pp. 626. doi: 10.3390/foods9050626
- 40.Mellema M. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends Food Sci Technol*. 2003. vol. 14. no. 9. pp. 364–373. doi: 10.1016/s0924-2244(03)00050-5
- 41.Meyers M.A., Grazela A. Functionality of hydrocolloids in batter coating systems. *Batters and breadings in food processing*. 2011. pp. 117–138.
- 42.Moreno M.C., Bouchon P. Microstructural characterization of deep-fat fried formulated products using confocal scanning laser microscopy and a non-invasive double staining procedure. *J Food Eng*. 2013. vol. 118. no. 2. pp. 238–246. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.03.007
- 43.Moreno M.C., Brown C.A., Bouchon P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products. *J Food Eng*. 2010. vol. 101. no. 2. pp. 179–186. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.06.024
- 44.Onipe O.O., Beswa D., Jideani A.I.O. Quantification of oil fractions of deep-fried wheat dough and batter enriched with oat and wheat bran. *J Food Qual*. 2021. pp. 1–9. doi: 10.1155/2021/5552951
- 45.Pankaj S.K., Keener K.M. A review and research trends in alternate frying technologies. *Curr Opin Food Sci*. 2017. vol. 16. pp. 74–79. doi: 10.1016/j.cofs.2017.09.001
- 46.Park S.-Y., Kim H.-Y. Effect of lyophilized chive (*Allium wakegi* Araki) supplementation to the frying batter mixture on quality attributes of fried chicken breast and tenderloin. *Food Chem X*. 2022. vol. 13. pp. 100216. doi: 10.1016/j.fochx.2022.100216
- 47.Reddy D.M., Reddy V.B., Gupta R., Vani S. Effect of oat flour on physico-chemical characteristics of mutton nuggets. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 2017. vol. 6. no. 1. pp. 248–253.
- 48.Román L., Pico J., Antolín B., Martínez M.M. et al. Extruded flour improves batter pick-up, coating crispness and aroma profile. *Food Chemistry*. 2018. vol. 260. pp. 106–114. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.136
- 49.Safari A., Salamat R., Baik O.-D. A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors. *J Food Eng*. 2018. vol. 230. pp. 114–123. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.01.022
- 50.Salvador A., Sanz T., Fiszman S. Effect of the addition of different ingredients on the characteristics of a batter coating for fried seafood prepared without a pre-frying step. *Food Hydrocoll*. 2005. vol. 19. no. 4. pp. 703–708. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.07.003
- 51.Shan J., Chen J., Xie D., Xia W. et al. Effect of Xanthan Gum/Soybean Fiber Ratio in the Batter on Oil Absorption and Quality Attributes of Fried Breaded Fish Nuggets. *Journal of Food Science*. 2018. vol. 83. no. 7. pp. 1832–1838.


- 52.Shokrollahi Yancheshmeh B., Mohebbi M., Varidi M., Razavi S.M. et al. Performance of lentil and chickpea flour in deep-fried crust model (DFCM): oil barrier and crispy properties. *J Food Meas Charact.* 2019. vol. 13. no. 1. pp. 296–304. doi: 10.1007/s11694-018-9944-8
- 53.Soorgi M., Mohebbi M., Mousavi S.M., Shahidi F. The effect of methylcellulose, temperature, and microwave pretreatment on kinetic of mass transfer during deep fat frying of chicken nuggets. *Food Bioproc Tech.* 2012. vol. 5. no. 5. pp. 1521–1530. doi: 10.1007/s11947-011-0520-z
- 54.Suderman D.R. Effective use of flavorings and seasonings in batter and breading systems. *Batters and breadings in food processing.* 2011. pp. 73–91.
- 55.Sun J., Wu R., Hu B., Jia C. et al. Effects of konjac glucomannan on oil absorption and safety hazard factor formation of fried battered fish nuggets. *Foods.* 2022. vol. 11. no. 10. pp. 1437. doi: 10.3390/foods11101437
- 56.Surojanametukul V., Karnasuta S., Satmalee P. Effect of oil type and batter ingredients on the properties of deep-frying flakes. *Food Sci Technol.* 2020. vol. 40. no. 2. pp. 592–596. doi: 10.1590/fst.32919
- 57.Tamsen M., Shekarchizadeh H., Soltanizadeh N. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties. *Lebenson Wiss Technol.* 2018. vol. 91. pp. 580–587. doi: 10.1016/j.lwt.2018.02.001
- 58.Taniguchi A., Kyogoku N., Kimura H., Kondo T. et al. Antioxidant capacity of tempura deep-fried products prepared using barley, buckwheat, and Job's tears flours. *Foods.* 2020. vol. 9. no. 9. pp. 1246. doi: 10.3390/foods9091246
- 59.Taniguchi A., Miura M., Ikeda T.M., Kaneko S. et al. Factors affecting rheological properties of barley flour-derived batter and dough examined from particle properties. *Food Hydrocoll.* 2022. vol. 129. pp. 107645. doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.107645
- 60.Varela P., Fiszman S.M. Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocoll.* 2011. vol. 25. no. 8. pp. 1801–1812. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
- 61.Voong K.Y., Norton A.B., Mills T.B., Norton I.T. Characterisation of deep-fried batter and breaded coatings. *Food Structure.* 2018. vol. 16. pp. 43–49. doi: 10.1016/j.foostr.2018.03.002
- 62.Voong K.Y., Norton-Welch A., Mills T.B., Norton I.T. Understanding and predicting sensory crispness of deep-fried battered and breaded coatings. *Journal of Texture Studies.* 2019. vol. 50. no. 6. pp. 456–464. doi:10.1111/jtxs.12456
- 63.Wang Y., McClements D.J., Long J., Qiu C. et al. Structural transformation and oil absorption of starches with different crystal types during frying. *Food Chem.* 2022. vol. 390. pp. 133115. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133115
- 64.Xu J., Ji H., Dong H., Duan S. et al. A promising natural purple batter system with antioxidant activity for vacuum fried breaded shrimp. *Food Sci Technol.* 2021. doi: 10.1590/fst.35220
- 65.Xue J., Ngadi M. Rheological properties of batter systems containing different combinations of flours and hydrocolloids. *J Sci Food Agric.* 2007. vol. 87. no. 7. pp. 1292–1300. doi: 10.1002/jsfa.2845
- 66.Ye T.-T., Guo D., Zhao Z.-J., Liu J. et al. Use of egg yolk phospholipids as well as alanine and glucose to generate the key odorants of fried battered and breaded fish nuggets. *Lebenson Wiss Technol.* 2022. vol. 162. pp. 113489. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113489
- 67.Yuan Z., Chen J., Zeng H., Xia W. et al. Kinetic modeling for mass transfer of breaded and battered fish nuggets (BBFNs) with soybean fiber, xanthan gum and whey protein during deep-fat frying. *Shipin Kexue/Food Science.* 2018. vol. 39. no. 3. pp. 34–40.
- 68.Zeng H., Chen J., Zhai J., Wang H. et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber. *Lebenson Wiss Technol.* 2016. vol. 73. pp. 425–431. doi: 10.1016/j.lwt.2016.06.052
- 69.Zhang J.T.W., Li Z.S., Ding L.P. Fan Effects of initial moisture content on the oil absorption behavior of potato chips during frying process. *Food and Bioprocess Technology.* 2016. vol. 9. pp. 331–340.
- 70.Zhang W., Chen J., Yue Y., Zhu Z. et al. Modelling the mass transfer kinetics of battered and breaded fish nuggets during deep-fat frying at different frying temperatures. *J Food Qual.* 2020. pp. 1–8. doi: 10.1155/2020/8874163
- 71.Ziaifar A.M., Achir N., Courtois F., Trezzani I. et al. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *Int J Food Sci Technol.* 2008. vol. 43. no. 8. pp. 1410–1423. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01664.x

Сведения об авторах

Елена Н. Молчанова к.б.н., профессор, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., д.11 г. Москва, 125080, Россия, melena2004@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Марал Бердимуратова магистрант, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., д.11 г. Москва, 125080, Россия, maral.berdimuratova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4894-8621>

Вклад авторов

Елена Н. Молчанова концепция и дизайн рукописи, рецензирование и редактирование


Марал Бердимуратова сбор материала и первоначальный вариант рукописи

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena N. Molchanova Cand. Sci. (Biochem.), professor, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11 Moscow, 125080, Russia, melena2004@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0708-1694>

Maral Berdimuratova master student, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe highway, 11 Moscow, 125080, Russia, maral.berdimuratova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4894-8621>

Contribution

Elena N. Molchanova conception and design, reviewing and editing

Maral Berdimuratova collection of material and the original draft

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/01/2023	После редакции 03/02/2023	Принята в печать 22/02/2023
Received 04/01/2023	Accepted in revised 03/02/2023	Accepted 22/02/2023