



Практичный Приложения вакуума пропитка во фруктах и овощ обработка

Яньюн Чжао^a и Цзин Себ^{*b}

^aДепартамент пищевых наук и технологий,
Университет штата Орегон, 100 Виганд Холл,
Корваллис, OR 97331, США

^bДепартамент пищевых наук, рыболовство Шанхай
Университет, Шанхай 200090, Китай
(тел. : С1-541-737-9151; факс:С1-541-737-1877)

Вакуумная пропитка (VI) считается полезным методом для быстрого контролируемого введения внешних жидкостей в пористые структуры тканей животных и растений. Как следствие, некоторые

процессы массопереноса (например, обезвоживание) улучшаются, а также могут происходить некоторые изменения в составе пищевых продуктов. VI имеет широкое применение в переработке фруктов и овощей и обеспечивает множество уникальных преимуществ. В этом обзоре анализируются основные факторы и реакции пористых фруктов и овощей на обработку ВИ, обобщаются важные разработки, связанные с применением ВИ в фруктовой и овощной промышленности, и обсуждаются аспекты качества фруктов и овощей, обработанных ВИ, а также технические проблемы и будущие исследования. потребности в этой области.

© 2004 Elsevier Ltd. Все права защищены.

Вступление

Осмотическая обработка и вакуумная пропитка

Повышенный интерес к осмотической обработке связан, прежде всего, с необходимостью улучшения качества пищевых продуктов.

* Автор, ответственный за переписку.

продукты. Осмотическая обработка применяется с целью изменения состава пищевого материала путем частичного удаления воды и пропитки растворенными веществами без нарушения структурной целостности материала. Во время осмотического процесса существует два основных одновременных противотока из-за воды и осмотической активности растворенных веществ: поток воды из пищи в осмотический раствор и поток растворенных веществ из раствора в пищу. В этой многофазной пищевой системе скорость массопереноса приписывается градиентам активности воды и растворенных веществ через клеточные мембраны, поскольку и растворенные вещества, и вода стремятся к равновесию. Кроме того, происходит третий второстепенный процесс переноса, выщелачивание растворенных веществ продукта (сахаров, кислот, красителей, минералов и витаминов) в раствор, но это считается количественно незначительным (Диксон и Джен, 1977). Широкий спектр применений осмотической обработки возможен благодаря соответствующему выбору и контролю рабочих условий, таких как температура обработки, давление, время, состав раствора, геометрия кусочков пищи и контакт между кусочками пищи и раствором. В соответствии с этими альтернативными технологическими подходами весь спектр применений осмотического процесса для фруктов и овощей можно классифицировать по категориям, описанным в Таблица 1.

Среди разработок в области осмотической обработки пищевых продуктов вакуумная пропитка (VI) может быть новейшей. VI пористого продукта заключается в замене внутреннего газа или жидкости, заключенной в открытых порах, на внешнюю жидкую фазу из-за действия гидродинамических механизмов (HDM), вызванных изменениями давления (Фито, 1994; Фито и пастор, 1994). Операция проводится в два этапа после погружения продукта в резервуар с жидкой фазой. На первом этапе давление вакуума (p_1 50–100 мбар) кратковременно (t_1) в закрытом резервуаре, тем самым способствуя расширению и оттоку внутреннего газа в продукте. Газовыделение уносит с собой нативную жидкость из пор продукта. На втором этапе атмосферное давление (p_2) восстанавливается в баке на время (t_2) со сжатием, приводящим к значительному уменьшению объема газа, остающегося в порах, и, таким образом, к последующему притоку внешней жидкости в пористую структуру (Фито, и другие., 2001а). При обработке VI внешняя жидкость течет в капиллярную трубку из-за расширения или сжатия внутреннего газа пищевого продукта. Объемная доля образца (ИК) пропитка внешней жидкостью при достижении механического равновесия была смоделирована как функция степени сжатия, эффективной пористости образца и деформации объема образца при

Категории приложений	Конкретные примеры
Частичное удаление воды (концентрация твердых веществ) с последующим:	Пастеризация и холодное хранение Замораживание Бесплатное обезвоживание (воздух, вакуум, замораживание или микроволновая печь)
Пропитка растворенным веществом:	Сахар (засахаривание) Соли (засолка)
Формулировка продукта направлена на:	Лучшее органолептическое качество Текстуризация (улучшение текстурных характеристик за счет включения выбранных текстурирующих агентов, например, ионов кальция, ферментов и т. Д.) Лучшее питание (пищевая добавка) Микробная стабильность (антимикробные препараты) Комбинации вышеуказанных целей
Комбинации трех вышеперечисленных категорий на последовательных этапах обработки.	Разработка минимально обработанных фруктов и овощей с увеличенным сроком хранения

конец процесса, и описывается в формуле. (1) (Фито, Андрес, Чиралт и Пардо, 1996 г.):

$$Z_e = Z \frac{\rho_{\text{Икс}} \text{Грамм} \rho_{\text{р}} \text{Грамм}}{\rho_{\text{К1}}} \quad (1)$$

куда:

- Z_e Объемная доля пробы, занятая жидкостью в результате HDM в конце процесса (мз жидкости / мз образца на тZ0)
- Z_e Эффективная пористость (мз газа внутри пор / мз образца)
- Z Относительная объемная деформация образцов в конце периода вакуума (мз деформации образца / мз образца на тZ0)
- Z Относительная объемная деформация образца (мз деформации образца / мз образца на тZ0),
- ρ Коэффициент сжатия (шатмосферное давление / вакуумное давление).

Массовая доля любого компонента я (вода или растворенные вещества), достигаемая в продукте VI, оценивается по формуле. (2) (Киральти другие., 1999; Фитои другие., 1996 г.):

$$I_{\text{я}} = Z \frac{I_{\text{я}} \text{Икс} \text{СНДМУя}}{1 \text{СИксНДМ}} \quad (2)$$

куда:

- $I_{\text{я}}$ Массовая доля компонента я
- $I_{\text{я}}$ Исходный состав образца
- $I_{\text{я}}$ Массовая доля пропитываемого раствора

Массовая доля компонента я в пропиточной жидкости.

$I_{\text{я}}^{\text{СНДМ}}$ рассчитывается по формуле. (3)

$$I_{\text{я}}^{\text{СНДМ}} = Z \frac{\rho_{\text{я}}}{\rho_0} \quad (3)$$

куда:

- $\rho_{\text{я}}$ Плотность VI раствора (кг / мз)
- ρ_0 Плотность исходного продукта (кг / мз).

Обычно с очень короткими значениями t_2 механическое равновесие достигается и уравнение. (1) дает фактические значения ИКС. Тем не менее, когда равновесие не достигается в конце обработки VI, например, пропиточные жидкости с высокой вязкостью, очень долгое значение t_2 необходимы, и необходимо использовать кинетическое уравнение. Кинетическое уравнение для HDM описывается формулой Киральт и другие. (1999).

Возможность введения внешнего раствора со специфическими и / или выбранными растворенными веществами в поры продукта делает VI жизнеспособным инструментом для обработки высокопористых фруктовых и овощных продуктов.

Уникальные функции вакуумной пропитки

Вакуумная пропитка позволяет вводить желаемые пищевые ингредиенты прямо в продукты через поры контролируемым образом, в соответствии с моделью HDM (Киральти другие., 1999 г.). VI широко используется в качестве предварительной обработки перед дополнительными этапами обработки, такими как сушка, замораживание, консервирование и жарка, и имеет возможность изменять рецептуру пищевых продуктов и разрабатывать новые продукты. Две уникальные функции VI в пищевой промышленности, особенно в переработке фруктов и овощей, - это улучшение качества и энергосбережение. Улучшение качества пористой структуры пищевых продуктов за счет предварительной обработки VI в значительной степени связано с использованием щадящей обработки продукта при относительно низкой температуре обработки, что сводит к минимуму тепловое повреждение тканей растений и сохраняет цвет, естественный вкус и аромат, а также любые термочувствительные питательные компоненты. Например, известно, что использование сахара или сиропа в качестве растворов VI предотвращает потерю летучих ароматических компонентов свежих фруктов во время обычных методов воздушной или вакуумной сушки (Эскриче, Чиралт, Морено и Серра, 2000; Понтинг, 1973; Понтинг, Уоттерс, Форри, Джексон и Стэнли, 1966; Таленс, Эскриче, Мартинес-Наваррете и Киральт, 2002; Виньес, 1968 г.). Было замечено, что изменение концентрации летучей фракции в процессе VI было ниже, чем в процессе осмотической дегидратации (OD), в результате вытеснения внутреннего воздуха в течение периода вакуума (Эскриче и другие., 2000; Таленс и другие., 2002 г.). VI эффективен в предотвращении обесцвечивания кусочков фруктов от ферментативного и окислительного потемнения без использования антиоксидантов за счет удаления кислорода из пор (Альзамора и другие., 2000; Барбоса-Кановас и Вега-Меркадо, 1996; Контрерас и Смирл, 1981; Диксон, Джен и Пэйнтер, 1976; Понтинг, 1973; Понтинги другие., 1966 г.). Еще один важный фактор, способствующий повышению качества:

что функциональные пищевые ингредиенты, такие как укрепляющие агенты, антиоксиданты и антимикробные ингредиенты, проникают в пористую структуру продукта, эффективно улучшая качество и продлевая срок хранения. Например, было обнаружено, что определенные растворенные вещества, импрегнированные в поры, защищают естественную структуру ткани, тем самым улучшая качество текстуры и снижая потери стекания при последующих процессах сушки, консервирования или замораживания за счет ограничения коллапса и разрушения клеток (Болин и Хаксолл, 1993 г.).

Экономия энергии может быть достигнута за счет предварительной обработки VI двумя способами. Сначала воду удаляют в жидком виде без нагрева. Во-вторых, частичное удаление воды требует меньшего нагрева на следующих этапах обработки (Барбоса-Кановас и Вега-Меркадо, 1996; Girod, Collignan, Themelin, & Paoult-Wack, 1990; Джаяраман и Дас Гупта, 1992; Левицки и Ленарт, 1992 г.). Однако при фактическом потреблении энергии необходимо также учитывать энергию, необходимую для повторного использования пропиточных растворов.

Ткань растений имеет межклеточные пространства, которые могут содержать газовую или жидкую фазу и подвержены пропитке внешним раствором. Следовательно, пористая структура фруктов и овощей делает их пригодными для обработки VI для создания высококачественных продуктов. В этом обзоре рассматриваются важные факторы обработки, влияющие на процесс VI во фруктах и овощах, недавние достижения этого метода в производстве фруктов и овощей, а также будущие потребности в исследованиях.

Вакуумная пропитка и другие осмотические процедуры

В зависимости от давления, приложенного к системе, были определены три вида осмотической обработки: OD (осмотическая дегидратация при атмосферном давлении), VOD (осмотическая дегидратация при вакуумном давлении) и PVOD (осмотическая дегидратация в импульсном вакууме) (Фито, Андрес, пастор и Чиралт, 1994 г.). В PVOD VI с осмотическим раствором происходит в течение первых 5–10 мин процесса под действием импульса вакуума, вызывает быстрое изменение состава продукта, что влияет на осмотическую движущую силу и кинетику массопереноса (Фито и Чиралт, 2000). Наиболее распространенным или знакомым осмотическим лечением является осмотическая дегидратация (OD). Прежде чем перейти к обсуждению VI, необходимо уточнить эту технологию.

Осмотическое обезвоживание

Осмотическое обезвоживание было впервые зарегистрировано в 1966 г. (Понтинг и другие., 1966 г.). Технология включает частичное обезвоживание богатого водой твердого вещества пищевых продуктов, целиком или по частям, путем погружения в гипертонический водный раствор, то есть в высококонцентрированный сахар или солевые растворы с высоким осмотическим давлением. OD удаляет значительное количество воды из продукта при добавлении минимального количества твердых веществ и является обычным процессом для снижения активности воды продукта в минимально обработанных фруктах и овощах или в некоторых глубоко переработанных фруктах, таких как цукаты или джем. Эффективный и практичный осмотический процесс зависит от высокой осмотической скорости, которая в основном определяется типом, концентрацией и температурой осмотических растворов, и

время лечения. OD в сочетании с окончательной сушкой с использованием обычного горячего воздуха или микроволновой печи широко изучается, и эта технология была применена для создания сушеных фруктов и овощей с уникальным качеством (Альзамораи другие., 2000; Барбоса-Кановас и Вега-Меркадо, 1996; Ле Магуэр, 1988; Рауль-Вак, 1994; Ши, Фито и Чиралт, 1995; Spiazzi & Mascheroni, 1997; Торреджиани, 1993 г.). Сама технология OD выходит за рамки данного обзора.

OD в вакууме (VOD) резко усиливает капиллярный поток и способствует скорости массообмена. Предполагается, что роль вакуума в этом процессе заключается в уменьшении межфазного натяжения жидкости на границе раздела твердое тело – раствор, предотвращении коллапса ткани при миграции влаги и удалении газов из межклеточной ткани, которые заменяются раствором при высвобождении вакуума (Андрес, Сальватори, Чиралт и Фито, 2001; Фито, 1994; Фито и Чиралт, 1997; Фито, Чиралт, Барат и Мартинес-Монцо, 2000; Фито,и другие.,2001а; Шии другие., 1996 г.). Недавно было сообщено о многих применениях VOD (Бисвал, Бозоргмехр, Томпкинс и Лю, 1991; Болин и Хаксолл, 1993; Фитои другие., 1994; Фито,и другие., 2001а, б; Маэстрелли, Скальцо, Лупи, Бертоло и Торреджиани, 2001; Мартинес-Монцо, Мартинес-Наваррете, Фито и Киральт, 1997; Ростог и Рагхаварао, 1996; Шии другие., 1996; Ши и Фито, 1993; Торреджиани, 1995; Торреджиани и Бертоло, 2001 г.). В соответствии с Фито (1994), главное преимущество VOD перед OD при атмосферном давлении заключается в увеличении массопереноса из-за HDM и соответствующем приращении, производимом на твердой и жидкой межфазной поверхности, что приводит к значительному сокращению времени обработки. Фито исследовали потерю воды (WL) и увеличение сахара (SG) в ломтиках яблока, подвергнутых OD и VOD процессам в 65% растворе сахарозы при 50 ° С. 8С, и сообщил, что работа в вакууме значительно увеличивает скорость потери воды по сравнению с полученной при атмосферном давлении при той же температуре. На прирост растворенного вещества давление не повлияло. Конкретные применения VOD при разработке обезвоженных фруктов и овощей рассмотрены в разделе, посвященном применению этого обзора.

Фито (1994) далее заметил, что наиболее важный эффект HDM очень быстр и возникает как раз при восстановлении атмосферного давления. Таким образом, была разработана новая процедура, называемая PVOD, для передачи VOD. В этой процедуре к продукту, погруженному в осмотический раствор, применяется короткий период (5–15 мин) вакуумной обработки. После этого продукт подвергается нормальному внешнему диаметру при атмосферном давлении. Таким образом, в начале обработки индуцируется заполнение пищевых пор одним и тем же осмотическим раствором. Обработка PVOD имеет большинство преимуществ обработки VOD, но включает короткое воздействие вакуума и длительность периода выдержки при атмосферном давлении. Фито и другие. (1994) обнаружили, что WL и SG, полученные с помощью процедуры PVOD (5-минутный импульс при 70 мбар с последующим восстановлением атмосферного давления), лишь немного уступали таковым, полученным с помощью процедуры VOD, но превосходили полученные при OD. В процессе PVOD предварительная обработка VI

проводились при осмотическом давлении в начале процесса.

Хотя OD традиционно использовался для обработки обезвоженных фруктов и овощей, другая подобная технология, называемая инфузией, в последнее время привлекла большое внимание и стала применяться в коммерческих целях. В то время как осмотическая дегидратация удаляет значительное количество воды из продукта при добавлении минимального количества твердых веществ, инфузия максимизирует осмотическое движение в обоих направлениях, поэтому растворенные вещества перемещаются в пищу, а не просто вызывают отток воды. Это дает другой набор характеристик в готовом продукте. В то время как конечной целью OD является удаление воды для обеспечения стабильности продукта, инфузия фокусируется на двух встречных потоках - удалении воды из пищи и вливании растворенных веществ в пищу. Инфузионная технология и ее применение в сушеных фруктах и овощах были подробно рассмотрены Кунц (1996).

Вакуумная пропитка

Термин пропитка означает наполнение, насыщение или процесс проникновения. Иногда импрегнация используется попеременно с инфузией и инфильтрацией. Следовательно, при поиске литературы необходимо использовать все термины.

Вакуумная пропитка приводит к более быстрому осмотическому процессу из-за совместного действия HDM и явления релаксации деформации (DRP) (Фито, 1994; Фито и другие., 1996, 2000; Ши и другие., 1995 г.). При обработке VI газожидкостный обмен вызывает быстрое изменение общего состава образца, что изменяет силу, обусловленную процессом, в самом начале процесса, в то время как поры остаются заполненными жидкостью. Желательно получить обезвоженный продукт высокого качества при максимально возможном ограничении продолжительности пропитки. Характеристики VI, OD и PVOD, включая условия обработки, движущую силу, механизмы управления и равновесие, показаны на Таблица 2. В VI проникновение внешней жидкости вызвано комбинированным эффектом капиллярного действия и градиента давления (Фито и пастор, 1994). HDM играет важную роль во всех операциях, связанных с вакуумной обработкой пористых пищевых продуктов. Помимо стимулирования диффузионных механизмов в порах,

VI вызывает структурные изменения в ткани, отличные от тех, которые вызваны осмотической обработкой. Различия в структурных особенностях, наблюдаемых в образцах VI и не VI, были объяснены с точки зрения разного падения давления жидкости в межклеточных пространствах, текущей в направлении объема, вызванного потерей воды в ячейках, что сильно отличается для газовой или жидкой фаз в межклеточном пространстве. межклеточное пространство (Фито и другие., 2000 г.). Когда в порах присутствует жидкость, баланс сил на двухслойной клеточной стенке плазмалеммы приводит к более позднему разделению, в то время как плазмалемма сжимается в соответствии с потерей воды с небольшой деформацией клеточной стенки. Когда работа происходит при атмосферном давлении, когда газовая фаза занимает межклеточное пространство, плазмалемма сжимается вместе с клеточной стенкой, которая сильно деформируется при прогрессировании осмотического процесса. Обмен воздух-жидкость объясняется только действием функции капиллярного потока. Разница в химическом потенциале полупроницаемой мембраны между образцом пищи и осмотическим раствором является движущей силой массопереноса, который связан с активностью воды и температурой. Основное сопротивление массопереносу - это разница концентраций с плазматической мембраной. Осмотическая дегидратация продолжается до тех пор, пока активность воды как в образце, так и в растворе не достигнет равновесия. При очень длительной обработке, такой как засахаривание фруктов, движущая сила массопереноса основана на механизме выделения газа и заполнения пор.

Основные факторы обработки, влияющие на процесс VI

Как описано в формуле. Согласно формуле (1) в VI связаны три явления: истечение газа, деформационно-релаксация твердой матрицы и приток жидкости. На кинетику этих явлений существенное влияние оказывают следующие материальные признаки (Фито и другие., 1996 г.):

- структура ткани (поры и распределение по размерам)
- время релаксации твердой матрицы в зависимости от механических свойств материала
- скорость переноса HDM в зависимости от структуры (размера и формы пор) и вязкости раствора
- размер и форма образца.

Процесс	Шкала времени	Движущая сила	Контролирующий механизм	Равновесие кон- dition	Скорость потери воды	Твердая прибыль
Вакуум пропитка	Минуты	Градиенты давления и капилляр действие	HDM	$D_{p_{\text{в текст}}}Z_0$	Высокий	Низкий
Осмотический дегидрака	Часы	Капиллярное действие и химический потенциал компоненты (в основном воды)	PDM и CMD	$D_{aw}Z_0$	Середина	Середина
Конфеты или засолка	Дни / недели	Механический силы и пресс-градиенты	Газовыделение и заполнение пор	$D_{p_{\text{DRP}}}Z_0$, DMZ_0	Низкий	Высокий

HDM, гидродинамический механизм; DRP - явления релаксации деформации; CMD, деформация клеточного матрикса. $D_{p_{\text{в текст}}}$, перепад давления между внешней и внутренней частью продукта (H / m_2); D_{aw} , разница активности воды между раствором и продуктом; $D_{p_{\text{DRP}}}$, перепад давления, связанный с DRP клеточной матрицы (H / m_2); DM, потеря веса относительно исходной массы образца (кг / кг).

^a Обобщено из Фито и другие. (2000).

Процесс VI и качество готовой продукции также определяются условиями обработки, включая предварительную обработку образцов (Альварес и другие., 1995; Валле, Арангуис и Леон, 1998 г.), температура, состав и концентрация раствора VI, давление и время погружения в вакуум, время восстановления атмосферного давления, перемешивание и соотношение раствор / образец. Влияние характеристик материала на обработку VI было подробно рассмотрено, поэтому в этом обзоре не обсуждается (Альзамора, Гершенсон, Видалес и Ньето, 1997; Беристейн, Азуара, Кортес и Гарсия, 1990; Гра, Видале, Беторет, Чиралт и Фито, 2003; Каймак-Эртекин и Султаноглу, 2000; Леричи, Пиннавая, Далла Роза и Бартоллуччи, 1985; Mavroudis, Gekas, & Sjöholm 1998a, b; Мухика-Пас, Вальдес-Фрагосо, Лопес-Мало, Палоуб и Велти-Чанес, 2003 г.; Понтинги другие., 1966; Рауль-Вак, 1994; Рауль-Вак, Ленарт и Гильберт, 1992; Ростогги и Рагхаварао, 1994, 1996, 1997; Торреджиани, 1993 г.). Цель этого обзора - рассмотреть рабочие параметры и способы расширения приложений метода VI.

Тип VI решений

Одним из ключевых факторов при любом виде осмотической обработки является выбор осмотического раствора. В осмотической операции обычно используются три типа растворов: (1) изотонический, раствор, содержащий одинаковую концентрацию растворенного вещества как снаружи, так и внутри клеточной мембраны; (2) гипотонический раствор, содержащий меньше молекул растворенного вещества вне клеточной мембраны, чем внутри нее; и (3) гипертонический раствор, содержащий больше молекул растворенного вещества вне клеточной мембраны, чем внутри. Клетки тканей растений, помещенные в разные растворы, реагируют по-разному. В изотонических растворах клетки не сжимаются и не набухают. В гипотонических растворах клетки будут набухать из-за попадания воды в клетку. При помещении в гипертонические растворы клетки сжимаются или сморщиваются из-за выхода воды из клетки. Следовательно, Мартинес-Монцо, Мартинес-Наваррете, Киральт и Фито (1998) и Мартинес-Монцо и другие. (1997) показали, что при использовании изотонических растворов (тургор клеток не изменен) не было обнаружено значительных различий в начальных и асимптотических модулях между свежими и VI яблоками. Тем не менее скорость релаксации и общий уровень релаксации в образцах VI увеличивались в зависимости от степени пропитки. Эти результаты привели к изменениям вязкоупругого поведения изотонических образцов VI, связанных с замещением газа жидкостью в порах. При использовании гипертонических растворов для операции VI одновременно происходит осмотическая дегидратация образцов. Это способствует изменению химических и физических свойств продукта, способствуя потере тургора и полной потере эластичности клеток после плазмолиза. Таким образом, кажущийся модуль упругости резко уменьшается, увеличиваясь.

вязкий характер. VI с гипотоническими растворами подразумевает только больший уровень релаксации напряжения, что можно объяснить оттоком внутриклеточной жидкости, соответствующей разрыву клетки, чему способствует избыточный тургор (Питт, 1992).

При выборе раствора VI следует также учитывать следующие факторы: нетоксичность, хорошие сенсорные характеристики, высокую растворимость и низкую стоимость. В общем, любой растворимый раствор или смешивающийся растворитель можно использовать в качестве раствора VI. Сюда входят крахмальный сироп, глицерин, этанол, полиолы, мальтодекстрин лактозы, трегалоза, L-лизин, казеин, глутамат натрия и комбинации этих растворенных веществ, такие как глюкоза с сахарозой, глицерин с сахарозой и сахароза с солью (Argaiz, Lopez-Malo, Palou, & Welte 1994; Барбоса-Кановас и Вега-Меркадо, 1996; Бисвал и Магуэр, 1989; Феррандо и Спасс, 2001; Гарроте и Бертоне, 1989; Джангиакомо, Торреджиани и Аббо, 1987; Хоукс и Флинк, 1978; Гувер и Миллер, 1975; Леричи другие., 1985 г.). В большинстве случаев низкомолекулярные углеводы используются для ИВ-обработки фруктов и овощей, поскольку растворенные вещества с низким молекулярным весом быстро проникают в образцы: чем меньше молекулярная масса, тем быстрее происходит диффузия (закон Стокса – Эйнштейна). Например, коэффициент диффузии сахарозы меньше, чем у глюкозы, потому что молекулярная масса глюкозы примерно вдвое меньше, чем у сахарозы (Гарроте и Бертоне, 1989). Раствор кукурузного сиропа с высоким содержанием фруктозы (HFCS) имел коэффициент диффузии на 32% выше, чем раствор сахарозы, из-за меньшего молекулярного размера моносахарида (Андреотти, Томазиккио и Маккиавелли, 1983; Болин, Хаксолл, Джексон и Н., 1983; Чандрасекаран и Кинг, 1972; Леричи другие., 1985; Рэй, 1960). Таким образом, плоды, пропитанные HFCS, имели более низкую активность воды, чем фрукты, обработанные при тех же условиях эксплуатации раствором сахарозы из-за более высокой скорости проникновения HFCS (Болин и другие., 1983; Чандрасекаран и король, 1972 г.). VI в HFCS также привел к более низкому WL и более высокому SG, чем у сиропа мальтодекстрина (Мастрокола, Серверни, Леричи и Сенсидони, 1987 г.).

Хотя сахара с малой молекулярной массой приводят к более быстрой диффузии, чем сахара с большой молекулярной массой, некоторые из них могут влиять на вкус пропитанных продуктов. Кукурузные сиропы могут придавать продуктам с тонким вкусом их характерный аромат. Сенсорное исследование показало, что обезвоженные фрукты с HFCS слаще, чем фрукты, обработанные раствором сахарозы. Хотя декстроза является более эффективным осмотическим агентом, чем сахароза, из-за ее высокой скорости обезвоживания (Каймак-Эртекин и Султаноглу, 2000 г.), было обнаружено, что раствор сахарозы немного лучше, чем раствор глюкозы, в отношении обесцвечивания и увеличения содержания сахара в клубничном продукте (Ян и Магуэр, 1992). Сахароза, кукурузный сироп и концентрированные фруктовые соки чаще всего используются во фруктах VI (Фито и другие., 2000 г.).

Растворимость - еще одна важная характеристика, поскольку выбранное растворенное вещество должно растворяться в используемых системах при соответствующей концентрации и температуре. Растворимость обычно определяется молекулярной массой, скоростью переноса,

и проницаемость. Фруктоза очень растворима и является очень хорошим пластификатором или смягчающим агентом. Глицерин составляет половину молекулярной массы и, следовательно, более эффективен в снижении активности воды.

Было предложено использовать смешанные растворы, состоящие из двух или более растворенных веществ, чтобы воспользоваться характеристиками каждого раствора (Рауль-Вак, 1994). Было обнаружено, что смесь декстрозы и сахарозы обеспечивает самый высокий коэффициент диффузии воды при увеличении концентрации декстрозы в смешанном растворе. Таким образом, растворенные вещества с низкой молекулярной массой способствуют процессу пропитки, тогда как растворенные вещества с высокой молекулярной массой полезны для эффекта обезвоживания (Каймак-Эртекин и Султаноглу, 2000 г.). Хоукс и Флинк (1978) объединили сахарозу с лактозой или мальтодекстрином для обезвоживания колец яблока и сообщили, что во время сушки на воздухе и последующего замораживания мальтоза обеспечивала лучшую защиту, чем сахароза, в отношении удерживания аскорбиновой кислоты и стабильности цвета. Это было связано со снижением активности фермента из-за низкого уровня структурных повреждений при сушке (Форни, Сормани, Скализ и Торреджиани, 1997 г.).

Во многих исследованиях при переработке фруктов и овощей использовались смеси сахарозы и соли для получения максимального WL с низким SG (Бисвал и Бозоргмехр, 1992; Giangiacomi и другие., 1987; Ислам и Флинк, 1982; Ленарт и Флинк, 1984; Лериччи и другие., 1985; Ци, Шарма и Лемагер, 1999; Серено, Морейра и Мартинес, 2001 г.). Было обнаружено, что добавление небольшого количества хлорида натрия к раствору сахарозы значительно увеличивает скорость обезвоживания фруктов (Бисвал и Бозоргмехр, 1992; Лериччи и другие., 1985; Серено и другие., 2001 г.). Также было обнаружено, что взаимодействие между сахарозой и солью ограничивает солевой остаток в образцах фруктов. Из-за его более низкой молекулярной массы небольшое постепенное увеличение концентрации хлорида натрия приводит к значительному изменению осмотического давления, тогда как такое же постепенное увеличение концентрации сахарозы (более высокая молекулярная масса) - нет. Это означает, что коэффициенты диффузии более чувствительны к изменениям концентрации хлорида натрия, чем концентрации сахарозы (Адэ-Омовай, Растоги, Ангерсбах и Кнорр, 2002 г.). Высокий уровень сахара может снизить вкусовой порог соли. И наоборот, соль может усилить сладость сахарозы (Адэ-Омовай и другие., 2002; Саккетти, Джанотти и Далла Роза, 2001 г.). Как правило, при переработке фруктов следует использовать низкие концентрации соли, чтобы избежать значительного снижения органолептических свойств.

Другие аспекты пропиточных растворов

Концентрация, температура, соотношение раствора и продукта и перемешивание пропиточного раствора играют важную роль в обработке VI. Их влияние на скорость массопереноса и состав конечного продукта было изучено на нескольких фруктах, включая яблоко (Барат, Чиралт и Фито, 1998; Каймак-Эртекин и Султаноглу, 2000; Лазаридес и Маврудис, 1995; Мартинес-Монцои и другие., 1998; Серено и другие., 2001 г.), манго, киви (Леунда, Герреро и Альзамора, 2000 г.) и банан (Соуза, Сальватори, Андрес и Фито, 1998 г.).

Лазаридес и Маврудис (1995) наблюдали соответствующее увеличение скорости обезвоживания с увеличением концентрации раствора из-за увеличения разницы осмотического давления. Ленарт и Левицки (1990) и Ростоги и Рагхаварао (1996) обнаружили, что скорость массопереноса в определенной степени увеличивается с увеличением концентрации и температуры осмотического раствора, выше которых происходят нежелательные изменения вкуса, текстуры и цвета. Ян и Магуэр (1992) сообщили, что стабилизация или уменьшение массопереноса происходило, когда концентрация раствора достигала 50-60%. Гарроте и Бертоне (1989) изучили влияние концентрации глицерина, глюкозы и сахарозы в растворе на половину клубники и обнаружили, что увеличение вязкости раствора вместе с увеличением концентрации раствора привело к снижению скорости переноса растворенного вещества, которое нивелировалось увеличением градиента концентрации. Наименьшая потеря экссудата была достигнута у фруктов, содержащихся в растворах 50% глюкозы и 50% сахарозы. Следовательно, существует оптимальная концентрация раствора в зависимости от типа конечного продукта. Барат, Чиралт и Фито (2001) наблюдали разные результаты у ломтиков яблока, подвергнутых VI обработке 25–65% сахарозой при 30, 40 или 50 °C, где концентрация осмотического раствора не оказала значительного влияния на эффективный коэффициент диффузии. Было объяснено, что диффузии, по-видимому, препятствует неуказанный активный транспорт. Морейра и Серено (2003) дополнительно исследовали влияние температуры, концентрации и скорости потока раствора на скорость осмотической дегидратации / пропитки во время погружения цилиндров для яблок в растворы сахара на 25%. 8C, и предположил, что образец SG контролируется диффузией внутри материала, в то время как потеря воды регулируется смешанным внутренним и внешним потоком. Кроме того, изменения объема, наблюдаемые в образцах, линейно коррелировали с содержанием влаги (в сухом состоянии) и чистым изменением веса образца. Эти результаты показали, что усадка в основном связана с удалением воды / увеличением твердого вещества и предлагает простой способ прогнозирования таких изменений во время промышленной обработки. Саблани и Шафиур Рахман (2003) недавно изучили влияние начальной концентрации сахарозы (30–70%) и температуры раствора (22–90%). 8C от коэффициентов равновесного распределения для манго во время обработки осмотической дегидратацией. Они сообщили, что коэффициент распределения воды уменьшался с увеличением температуры и концентрации сиропа, в то время как коэффициент распределения твердых веществ увеличивался с температурой и уменьшался с увеличением концентрации сиропа.

Как правило, повышение температуры увеличивает WL, не вызывая при этом значительного изменения SG (Каймак-Эртекин и Султаноглу, 2000; Лазаридес и Маврудис, 1995; Ленарт и Флинк, 1984; Серено и другие., 2001; Ян и Магуэр, 1992). Влияние температуры на кинетику массопереноса можно хорошо предсказать с помощью уравнения Аррениуса (Барати и другие., 2001 г.). Высокая температура также ускоряет осмотический процесс, но может отрицательно сказаться на цвете, текстуре и вкусе образцов. Оптимальная температура зависит от

тип используемого сырья, тип готового продукта и скорость обработки.

Отношение раствора VI к продукту является важным параметром.

Оптимальное значение обычно определяется двумя факторами: стабильностью раствора во время обработки и экономичностью транспортировки и повторного использования раствора. Высокое соотношение раствора к образцу обеспечивает поддержание постоянной концентрации раствора во время обработки. Однако высокое соотношение увеличивает стоимость и требует повторного использования раствора. Ленарт и Флинк (1984) предположил, что значение 4–6 может быть оптимальным для наилучшего осмотического эффекта.

Было исследовано влияние перемешивания раствора на обработку ВИ (Бонгирвар и Шринивасан, 1977; Гарроте, Сильва и Бертоне, 1992; Маврудиси другие., 1998а; Понтинг и другие., 1966 г.). Понятно, что перемешивание влияет на WL и SG при пропитке (Пеанайоту, Каратанос и Марулис, 1998 г.). WL выше в области турбулентного, чем ламинарного потока, т.е. обработка VI может быть ускорена, когда образец перемешивается в растворе. Однако на SG не оказывает значительного влияния агитация между двумя регионами (Маврудис и другие., 1998а). В некоторых случаях преимущества агитации не оправдывают затрат (Понтинги другие., 1966 г.).

Давление вакуума и время

Исследования показали, что массоперенос при осмотической обработке происходит намного быстрее в вакууме из-за взаимодействия осмотического / диффузионного механизма и НДМ (Фито, 1994; Фитои другие., 1994; Фито и Пастор, 1994; Хоукс и Флинк, 1978). На протяжении всей обработки VI давление вакуума вызывает изменения в структуре продукта, что приводит к изменениям кинетики дегидратации. Эффективная пористость (Z_e) является важным параметром для описания поведения образца во время обработки VI, поскольку он определяет объем, который может занимать внешняя жидкость в ткани продукта (Фито и пастор, 1994). Когда давление ниже 600 мбар, экспериментальная Z_e значение практически не меняется для большинства фруктов и овощей, за исключением таких фруктов, как манго и персик, где Z_e увеличивается с понижением давления из-за потери собственной жидкости при расширении и выделении газа в порах (Фито и другие., 1996 г.). Высокая скорость WL может быть получена в системах низкого давления (Леричи и другие., 1985; Ши и Фито, 1993), но SG отличается незначительно между обработками вакуумом и атмосферным давлением, поскольку основным фактором, влияющим на SG, являются биологические микроструктурные характеристики растительной ткани (Ши и Фито, 1993). Был сделан вывод, что вакуумная обработка эффективна для увеличения диффузии воды и приводит к значительному увеличению WL, но незначительна для SG из-за разницы между коэффициентом диффузии воды и растворенного вещества в продукте (Болин и другие., 1983; Spiazzi & Mascheroni, 1997 год.). Технология VI позволяет использовать более низкую температуру раствора или более короткое время пропитки для получения более высокой скорости WL.

Андрес и другие. (2001) недавно изучили влияние уровня вакуума на яблоки VI (Бабушка Смит) и обнаружил, что только

Объемная доля образца, занятая жидкостью (X_1), зависит от уровня вакуума: чем выше вакуум, тем больше отрицательное значение X_1 . Используя вакуум ниже 400 мбар, можно было удалить практически всю естественную жидкость из пористой структуры. Мухика-Пас, Вальдес-Фрагозо, Лопес-Мало, Палоу и Велти-Чанес (2002) оценили влияние вакуумного давления (135–674 мбар) и времени его применения (3–45 мин) на объем изотонического раствора, пропитанного ломтиками манго, яблока, папайи, банана, персика, дыни и мамей, и сообщили, что давление вакуума и время оказали значительное влияние на объем всех фруктовых ломтиков. Как правило, чем выше вакуум, тем больше объем пропитываемого раствора. Мухика-Паси другие. (2003) дополнительно исследовали комбинированные эффекты уровня вакуума (135–674 мбар) и концентрации ОС (41–60 мбар). 8Vrix по параметрам обезвоживания яблока, манго и дыни. Они обнаружили, что самый низкий конечный уровень активности воды был достигнут при давлении вакуума 674 мбар и 50 мбар. 8Сироп Vrix в яблоках, 593 мбар и 578Брикс в дыне.

Влияние времени пропитки на деформацию образца и количество растворенных веществ, пропитанных образцами, зависит от свойств сырья, уровня вакуума и других факторов. Фито и другие. (1996) и Сальватори, Андрес, Чиралт и Фито (1998) оценил ИКС, Z_e , а также грамм значения яблока, грибов, банана, клубники, манго и абрикоса как функция времени в вакууме (5–20 мин) и времени после восстановления атмосферного давления (5–15 мин). Ни один из периодов не оказал существенного влияния на Z_e ценности. Однако разные результаты были получены от Мухика-Пас и другие. (2002) при оценке влияния времени вакуума (3–45 мин) на объем изотонического раствора, пропитанного ломтиками манго, яблока, папайи, банана, персика и дыни. Было показано, что пропитка существенно зависит от времени VI, за исключением яблочного. Таблица Зрезюмирует обычно используемые параметры обработки при переработке фруктов и овощей.

Таблица 3. Диапазон рабочих параметров VI, обычно используемых в овощах и фруктах.

Параметры	Условия
Решение соп-центрирование	Изотонические растворы, имеют активность воды, равную активности продуктов, чаще всего используется сахароза. Для продуктов с минимальной обработкой используется от 20 до 1508 Brix Для обезвоженных продуктов используйте 50–758Brix
Решение температура	Обычно 20–50 8С
Уровень вакуума	Для продуктов с минимальной обработкой, используя 5–50 мбар Для обезвоженных продуктов с использованием 50–200 мбар
Время вакуума	Обычно 10–30 мин.
Атмосферный восстановление время	Для продуктов с минимальной обработкой - 10–20 мин. Для обезвоженных продуктов: от минут до часов.

Реакция фруктов и овощей на вакуумную пропитку

Реакция многих фруктов и овощей на обработку VI в отношении деформации и пропитки была охарактеризована математически и экспериментально. Объемная доля пропитанного образца, относительный объем деформации образца и эффективная пористость сильно зависят от характеристик исходного материала (пористость, размер и форма), а также условий вязкости (типа и концентрации раствора, уровня вакуума и времени). Как правило, положительные объемные деформации (уменьшение объема) в конце этапа вакуумирования были получены из-за деформации твердой матрицы, связанной с депрессией и расширением газа. В конце периода сжатия деформация была отрицательной или положительной в зависимости от характера плода. Что касается потоков жидкой фазы, большинство фруктов получили чистый прирост жидкости в конце этапа вакуумирования из-за потери естественной жидкости, поскольку объем пор, первоначально занятый природной жидкостью, доступен для пропитки внешним раствором. Затем вытесненная нативная жидкость заменялась внешней на всем этапе сжатия. [Фито и другие. \(1996\)](#) и [Сальватори и другие. \(1998\)](#) сообщили, что на уровень окончательной пропитки сильно влияет сочетание явлений проникновения и деформации из-за вязкоупругого отклика растительной ткани на градиенты давления. Проведен обзор изменений состава, механики и структуры плодов VI ([Фито и Чиралт, 2000](#); [Сальватори и другие., 1998 г.](#)). Цель этого обзора - предоставить самую свежую информацию о реакции микроструктурных, термических и физико-химических свойств фруктов и овощей на процесс VI с точки зрения практических приложений.

Микроструктура фруктов и овощей

Структурные свойства осмотически обработанного растительного материала обычно определяются анализом текстуры, главным образом, повреждением ткани или изменениями в объемном объеме ([Барат и другие., 1998](#); [Мальтини, Торреджиани, Рондо Броветто и Бертоло, 1993](#)). В нескольких исследованиях сообщалось о структурных изменениях на клеточном уровне, которые доступны только через микроскопические наблюдения. [Феррандо и шпионы \(2001\)](#) проанализировали влияние трех дисахаридов (сахарозы, мальтозы и трегалозы) на сокращение клеток и жизнеспособность клеток в эпидермисе лука и ткани коры клубники во время осмотической обработки с использованием конфокального сканирующего лазерного микроскопа. Структурные и функциональные характеристики образца, обработанного VI, зависели от повреждения клеточной стенки, средней ламеллы и плазматической мембраны. Выбор используемого сахара значительно повлиял на усадку эпидермиса лука, но не ткани клубники. Было обнаружено, что мальтоза и трегалоза защищают плазматическую мембрану эпидермиса лука ([Феррандо и шпионы, Фито, и другие. \(2001а\)](#)) провели структурный анализ корок баклажанов и апельсинов, пропитанных изотоническим раствором, содержащим соли железа и кальция, с помощью Cryo-Scanning Electron.

Микроскопия. Они сообщили, что чем выше пористость продукта, тем шире межклеточные пространства. [Торреджиани и Бертоло \(2001\)](#) проанализировали микроструктуру продукта методами световой и просвечивающей электронной микроскопии. Их результаты показали, что ткани, подвергшиеся воздействию вакуума, имели более высокую целостность клеточной ткани. [Мауро, Таварес и Менегалли \(2002\)](#) изучили влияние растворов сахарозы на клеточную структуру ткани картофеля в равновесии при 27 8С с использованием гистологического метода фотографирования клеток картофеля после осмотической обработки и показал, что длительное воздействие осмотических растворов в равновесии приводит к деградации клеточной структуры. [Гра, Видаль-Бротоны, Беторет и Фито \(2002\)](#) оценивали изменения микроструктуры различных овощей, в том числе грибов (*Pleurotus* а также *Agaricus spp.*), моркови, свеклы, баклажанов и кабачков с помощью наблюдения с помощью крио-сканирующей электронной микроскопии и обнаружили, что VI можно использовать для заполнения межклеточных пространств в растительной матрице, и он эффективен даже для непористых образцов, таких как морковь. [Чафер, Гонсалес-Мартинес, Чиралт и Фито \(2003\)](#) также использовали метод крио-сканирующей электронной микроскопии для анализа микроструктуры кожуры цитрусовых до и после процесса VI. Результаты отражают высокую способность к пропитке (45–70% от исходного объема образца) и набуханию (12–33% от исходного объема образца) отслаиваний из-за большой пористости зоны альбеда. В этой зоне большие межклеточные пространства могут быть затоплены внешним раствором, что делает кожуру цитрусовых очень подходящей для обработки VI для получения новых продуктов с улучшенными функциональными возможностями и сенсорным восприятием. Предыдущие исследования пытались объяснить механизмы обработки VI на микроструктуре образцов. [Ньето, Сальватори, Кастро и Альзамора \(1998\)](#) сообщили, что когда пропитка проводится в вакууме, клетки становятся более округлыми с сохранением некоторых межклеточных пространств, но расстояние между клетками не уменьшается. [Фито и другие.\(2000\)](#) показали, что клеточная стенка отделилась от плазмалеммы, а жидкая фаза из межклеточных пространств протекала в полость клетки через клеточную стенку, таким образом, клеточная стенка не сжималась с плазмалеммой, но деформировалась в некоторой степени из-за общей потери объема. [Фито, и другие. \(2001b\)](#) далее пояснил, что внешний раствор заполнял пустоты в образце и поперечные сечения ячейки были заняты в этой области. Внутреннее и внешнее содержимое клеток имело сходный дендритный вид, поскольку жидкость в обеих областях имела одинаковую концентрацию.

Тип раствора VI играет различную роль в микроструктуре образцов VI ([Мартинес-Монцо и другие., 1998 г.](#)). VI с изотоническим раствором создавал новый вид межклеточных пространств, которые полностью заполнены раствором, и имел дендритный вид, аналогичный внутриклеточному объему. После введения VI в клетку нет явных нарушений ([Мартинес-Монцо и другие, 1997 г.](#)). Наблюдали усадку плазмалеммы из-за потери воды, но не было обнаружено значительного сжатия клеточной стенки. В инфузирванной ткани без вакуума

После обработки пространство между плазмалеммой и клеточной стенкой было полностью заполнено раствором, что указывало на то, что внешняя жидкость попала в полость клетки через проницаемую клеточную стенку, заменяя внутриклеточную воду, что позволило избежать деформации клеточной стенки (Альборс, Сальватори, Андрес, Чиралт и Фито, 1996 г.). Еще одно существенное отличие, наблюдаемое в образцах VI, - это более компактный аспект дендритной поверхности по сравнению со свежим образцом. Наблюдение под микроскопом показало, что атмосферная пропитка вызывает сокращение клеточных мембран, разрушение клеточных стенок и уменьшение межклеточного контакта. Напротив, микроскопический анализ тканей VI показал, что они были похожи на свежие ткани (Мунтада, Гершенсон, Альзамора и Кастро, 1998 г.).

Для VI при гипертоническом лечении дегидратация ткани приводит к плазмолизу, но наблюдается гораздо меньшее сокращение клеток клеточной стенки по сравнению с тем, что происходит в осмосной ткани при нормальном давлении. Более того, наблюдения за клеточной стенкой ткани осмоса с помощью просвечивающей электронной микроскопии показали гораздо лучше сохранившуюся ультраструктуру клеточной стенки, которая похожа на текстуру свежих фруктов, когда VI использовался для снижения активности воды при минимальной обработке фруктов (Альзамора и Гершенсон, 1997 г.). Ростоги, Ангерсбах и Кнорр (2000) указали, что наиболее вероятная причина повреждения клеток может быть связана с уменьшением размера, вызванным WL во время VI, что приводит к потере контакта между клеточной мембраной и стенкой позвонка. Кроме того, сахар, используемый в качестве раствора VI, также по-разному влияет на микроструктуру фруктов и овощей. Например, при использовании сахарозы сокращение клеток увеличивается, и в противном случае клетка остается в своей первоначальной форме с использованием глюкозы (Монсальве Гонсалес, Барбоса-Кановас и Кавальери, 1993; Мунтада и другие., 1998 г.).

Физико-химические свойства

Текстура, общее количество кислот и цвет относятся к числу физико-химических свойств, на которые в наибольшей степени влияет ИВ в результате изменения плотности продукта, особенно в высокопористых образцах. Качество текстуры продуктов, обработанных VI, в значительной степени зависит от типа используемых растворов VI. VI с гипотоническими или изотоническими растворами не изменяет твердости свежих яблок (Мартинес-Монцо и другие., 1998; Се и Чжао, 2003а), но при VI с гипертоническим раствором твердость сильно снижается, и одновременно происходит обезвоживание образца. Дегидратация дополнительно способствовала потере тургора и эластичности клеток, изменению сопротивления клеток, увеличению вязкости, изменениям объемных долей воздуха и жидкости в продукте, а также изменениям размера и формы образца (Киральт и другие., 2001; Фито и другие., 2000; Питт, 1992). Падение тургорного давления происходит либо из-за плазмолиза, либо из-за разрушения тонопласта и плазмалеммы. Потеря упругости происходит из-за обмена воздух-жидкость во время работы в вакууме (Альзамора и другие., 1997, 2000). Киральт и другие. (2001) изучили влияние предварительной обработки VI (5 мин при 50 мбар) на механическое

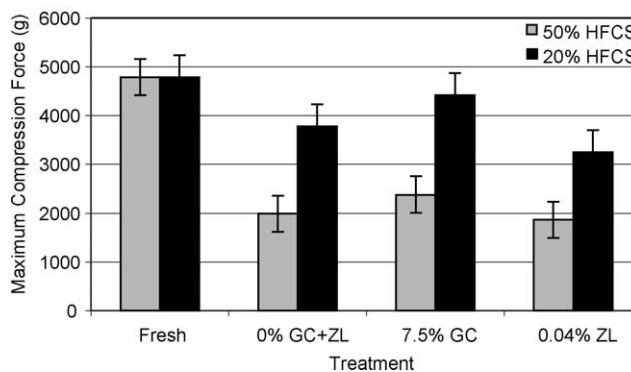


Рисунок 1. Твердость свежесрезанных яблок (Королевский гала) подвергнуты обработке VI в различных условиях (HFCS, кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы; GC, Gluconal₃ Cal; ZL, лактат цинка). (Се и Чжао, 2003а).

свойства киви, манго и клубники, подвергнутых осмотической обработке 35–65^oBrix. Растворы сахарозы по шкале Брикса при 30^oC, и обнаружил, что VI снижает сохранение механических свойств в киви и манго, но не в клубнике. Се и Чжао (2003а) оценили твердость свежих ломтиков яблока, пропитанных 20 или 50% разведенным кукурузным сиропом с высоким содержанием фруктозы (HFCS), и обнаружили, что 50% раствор HFCS значительно снижает твердость фруктов, но 20% раствор HFCS, содержащий кальций, позволяет избежать потери плотности (рисунок 1). Наоборот, Альзамора и другие. (1997, 2000) и Мунтада и другие. (1998) сообщили, что обработанные VI минимально обработанные фрукты воспринимаются как заведомо более сочные, чем свежие фрукты и овощи, и в целом демонстрируют лучшее качество текстуры.

Влияние обработки VI на кислотность продукта зависит от природы сырья, типа и концентрации раствора VI. Торреджани (1993) сообщили, что значение pH фруктов до и после обработки VI существенно не изменилось. Се и Чжао (2003а, б) показали, что 3% -ный НМР (пектин с высоким содержанием метоксильных групп) и 50% -ный раствор HFCS увеличивают pH и снижают общую кислотность клубники и малины, подвергнутых обработке VI. Эффект 20% раствора HFCS был значительно ниже, чем эффект 50% раствора HFCS в свежесрезанных яблоках (Таблица 4). Во время обработки VI может происходить частичное удаление природных растворимых кислот из плодов, что приводит к заметному снижению общей титруемой кислотности при использовании раствора VI высокой концентрации. Таблица 4 показывает изменение некоторых физико-химических свойств плодов после обработки VI.

Обработка VI может изменить цвет фруктов и овощей. Газо-жидкостный обмен во фруктах и овощах предполагает более однородный показатель преломления через образец. Когда цвет измеряется по диффузному отражению, для образцов VI было получено уменьшение коэффициентов отражения по сравнению со свежими, что подразумевает более низкие значения четкости и цветовых координат хрома и небольшие изменения оттенка (Мартинес-Монцо и другие., 1997 г.). Эти изменения вызвали осветление и меньшую насыщенность цвета образцов (Торреджани, Форни и Риццоло, 1987 г.). Фито и Чиралт (2000) сообщили, что лечение VI вызывает большие

С-

Таблица 4. Физико-химические свойства плодов, пропитанных вакуумом в различных условиях.

VI	МС (%)			а.ш.			рН			Всего кислот (%)		
	50% HFCS	3% HMP	50% HFCS	50% HFCS	3% HMP	50% HFCS	50% HFCS	3% HMP	50% HFCS	3% HMP	50% HFCS	3% HMP
Марионберри Свежий	84,51 _a (0,60)	84,51 _a (0,60)	12,12 _a (1,62)	0,981 _a (0,001)	0,981 _a (0,001)	0,981 _a (0,001)	3,20 _a (0,02)	0,981 _a (0,001)	1,62 _a (0,02)	3,20 _a (0,02)	1,62 _a (0,02)	1,62 _a (0,02)
	81,79 _b (0,30)	84,31 _a (0,50)	15,78 _b (1,16)	0,972 _b (0,001)	12,02 _a (1,76)	0,982 _a (0,001)	3,59 _b (0,08)	0,972 _b (0,001)	1,14 _b (0,02)	3,66 _b (0,02)	1,14 _b (0,02)	1,37 _c (0,04)
	81,87 _b (0,25)	84,56 _a (0,30)	16,02 _b (1,08)	0,973 _b (0,001)	12,08 _a (1,65)	0,982 _a (0,001)	3,53 _b (0,08)	0,973 _b (0,001)	1,13 _b (0,02)	3,71 _c (0,03)	1,13 _b (0,02)	1,42 _c (0,04)
	88,58 _a (0,35)	88,58 _a (0,35)	9,90 _a (0,59)	0,996 _a (0,001)	9,90 _a (0,59)	0,996 _a (0,001)	3,51 _a (0,04)	0,996 _a (0,001)	1,09 _a (0,03)	3,51 _a (0,04)	1,09 _a (0,03)	1,09 _a (0,03)
Клубника (Тотем) Свежий	85,73 _b (0,28)	87,96 _a (0,49)	13,93 _b (0,43)	0,992 _b (0,001)	8,90 _{ab} (0,36)	0,996 _a (0,001)	3,75 _b (0,02)	0,992 _b (0,001)	0,74 _b (0,01)	3,66 _b (0,02)	0,74 _b (0,01)	0,75 _b (0,02)
	85,65 _b (0,42)	88,33 _a (0,85)	14,42 _b (0,73)	0,992 _b (0,001)	8,88 _{ab} (0,34)	0,996 _a (0,001)	3,71 _c (0,01)	0,992 _b (0,001)	0,75 _b (0,02)	3,71 _c (0,03)	0,75 _b (0,02)	0,74 _b (0,01)
	86,04 _a (0,36)	86,04 _a (0,36)	14,8 _c (0,89)	0,980 _a (0,002)	14,8 _c (0,89)	0,980 _a (0,002)	3,87 _d (0,05)	0,980 _a (0,002)	0,34 _a (0,01)	3,87 _d (0,05)	0,34 _a (0,01)	0,34 _a (0,01)
	80,43 _{до н.э.} (0,52)	84,41 _c (0,43)	20,7 _a (0,61)	0,975 _b (0,001)	16,2 _a (0,56)	0,978 _b (0,001)	4,35 _a (0,05)	0,975 _b (0,001)	0,28 _c (0,01)	4,19 _a (0,07)	0,28 _c (0,01)	0,32 _c (0,01)
Яблоко (Роял Галла) Свежий	80,24 _c (0,50)	84,44 _c (0,33)	19,8 _{до н.э.} (0,93)	0,975 _b (0,001)	15,8 _a (0,55)	0,978 _b (0,001)	4,33 _a (0,03)	0,975 _b (0,001)	0,29 _b (0,01)	4,21 _a (0,05)	0,29 _b (0,01)	0,32 _c (0,01)
	80,36 _{до н.э.} (0,42)	84,46 _c (0,30)	20,3 _{аб} (0,93)	0,974 _b (0,001)	16,2 _a (0,54)	0,979 _b (0,001)	4,27 _b (0,03)	0,974 _b (0,001)	0,28 _c (0,01)	4,18 _a (0,03)	0,28 _c (0,01)	0,32 _c (0,01)
	80,43 _{до н.э.} (0,52)	84,41 _c (0,43)	20,7 _a (0,61)	0,975 _b (0,001)	16,2 _a (0,56)	0,978 _b (0,001)	4,35 _a (0,05)	0,975 _b (0,001)	0,28 _c (0,01)	4,19 _a (0,07)	0,28 _c (0,01)	0,32 _c (0,01)
	80,36 _{до н.э.} (0,42)	84,46 _c (0,30)	20,3 _{аб} (0,93)	0,974 _b (0,001)	16,2 _a (0,54)	0,979 _b (0,001)	4,27 _b (0,03)	0,974 _b (0,001)	0,28 _c (0,01)	4,18 _a (0,03)	0,28 _c (0,01)	0,32 _c (0,01)

HFCS, кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы; HMP, лектин с высоким содержанием метоксильных групп; ГХ, глюконол калий; ZL, лактат цинка. Значения в скобках - стандартные отклонения. Средние значения в столбце с одинаковым надстрочным индексом существенно не различаются при 20,05. Обработка VI состояла из 15-минутного вакуума при 50 мм рт.ст. и 30-минутного восстановления при атмосферном давлении.

цвет яблока, клубники и папайи меняется по сравнению с абрикосом, бананом и киви. **Альзамора и другие. (2000)** показали, что для светлых фруктов, чувствительных к ферментативному потемнению, воздух покидает поры плодов во время вакуумной обработки, снижает концентрацию кислорода в образцах тканей, следовательно, скорости окислительной реакции замедляются и приводят к конечному продукту с хорошим естественным качеством. цвет. **Леунда и другие. (2000) и Се и Чжао (2003а)** подтвердили эти результаты на свежесрезанных киви и яблоках, подвергнутых обработке VI, где их цвет был стабильным и подобным свежим образцам во время хранения в холодильнике. Кроме того, было обнаружено, что цвет раствора VI влияет на цвет продуктов VI из-за заполнения пор раствором, особенно для светлых продуктов (**Се и Чжао, 2003а**).

Тепловые свойства

Теплопроводность и коэффициент диффузии во многом зависят от состава и структуры продукта. Обработка VI способствует изменению состава и структуры продукта, что приводит к изменению тепловых свойств, особенно теплопроводности высокопористых матриц. Пористость, размер пор и распределение в зависимости от направления теплового потока, состав пропиточного раствора и рабочие параметры сильно влияют на изменения тепловых свойств (**Фито, и другие., 2001b; Фито, Пинага и Аранда, 1984; Мартинес-Монцо, Барат, Гонсалес-Мартинес, Чиралт и Фито, 2000; Нджи, Рассси и Сингх, 1998 г.**). **Фитои другие. (2000)** сообщили, что VI с изотоническими растворами увеличивает теплопроводность из-за замещения газа, но вызывает только небольшие изменения температуропроводности из-за одновременного увеличения плотности. **Мартинес-Монцои другие. (2000)** также показали, что VI приводит к увеличению теплопроводности яблок, подвергнутых обработке VI, на 15–24%, тогда как коэффициент температуропроводности изменился только на 2–4%. **Njie и другие. (1998)** предложил математическую модель для прогнозирования влияния пропитки на термические свойства и сообщил, что чем больше пористость и более перпендикулярна ориентация пор, тем выше термические свойства улучшаются за счет VI. Также наблюдалась линейная зависимость между тепловыми свойствами и содержанием влаги. **Мартинес-Монцо и другие. (2000)** показали, что теплопроводность, коэффициент диффузии и удельная теплоемкость линейно уменьшаются с увеличением концентрации раствора VI. **Фито, и другие.(2001b)** далее указали, что удельная теплоемкость не изменяется, если в процессе VI не было вызвано изменений в составе образца.

Практическое применение VI в переработке фруктов и овощей

Пищевая промышленность проявляет растущий интерес к продуктам на основе фруктов и овощей, особенно на рынке с добавленной стоимостью и минимально обработанной продукцией из-за их значительной пользы для здоровья и благоприятного вкуса и цвета. Технология VI выполняет функции обезвоживания и приготовления рецептур, что обеспечивает широкое применение во фруктовых и овощных культурах.

обработка. Некоторые из потенциальных применений включают предварительную обработку перед сушкой или замораживанием для улучшения качества конечного продукта и разработку продукта с композиционным составом путем введения функциональных пищевых ингредиентов (Киральт и другие., 1999; Фито,и другие., 2001а, б; Фитои другие.,2000; Гувер и Миллер, 1975; Хавери, Толедо и Викар, 1991; Понаппа, Шееренс и Миллер, 1993; Торреджиани, 1995; Се и Чжао, 2003б). Агент против потемнения, понижающий рН, укрепляющий агент и антимикробный агент могут быть включены в продукт для продления срока хранения и повышения микробной безопасности, или нутрицевтики могут быть импрегнированы в пористую структуру тканей растений для развития обогащенных питательными веществами фруктов. и овощные продукты (Беторет и другие., 2003; Фито,и другие., 2001а; Граи другие., 2003; Се и Чжао, 2003а). Некоторые потенциальные применения VI в переработке фруктов и овощей проиллюстрированы наРис. 2.

Предварительное обезвоживание фруктов и овощей

Обезвоживание путем частичного удаления воды для снижения активности воды широко используется для продления срока хранения фруктов и овощей. Обезвоженные фрукты и овощи можно использовать в качестве пищевого ингредиента во многих продуктах, их также добавляют в крупы, батончики мюсли, выпечку и смеси, и их даже можно есть сразу. Традиционный метод сушки на воздухе потребляет много энергии и вызывает значительную потерю вкуса и питательных веществ из-за воздействия высокой температуры. VI был предложен в качестве предварительной обработки перед этапом окончательной сушки, в основном для достижения двух целей: снижения содержания влаги перед окончательной сушкой для экономии энергии и включения функциональных растворенных веществ, таких как антимикробные, антиоксидантные и вещества, препятствующие потемнению, для улучшения качества продукта (Барат и другие., 2001; Фитои другие., 1994; Фитои другие., 2001b; Саперс, Гарцарелла и Пилизота, 1990; Торреджиани, 1995 г.).

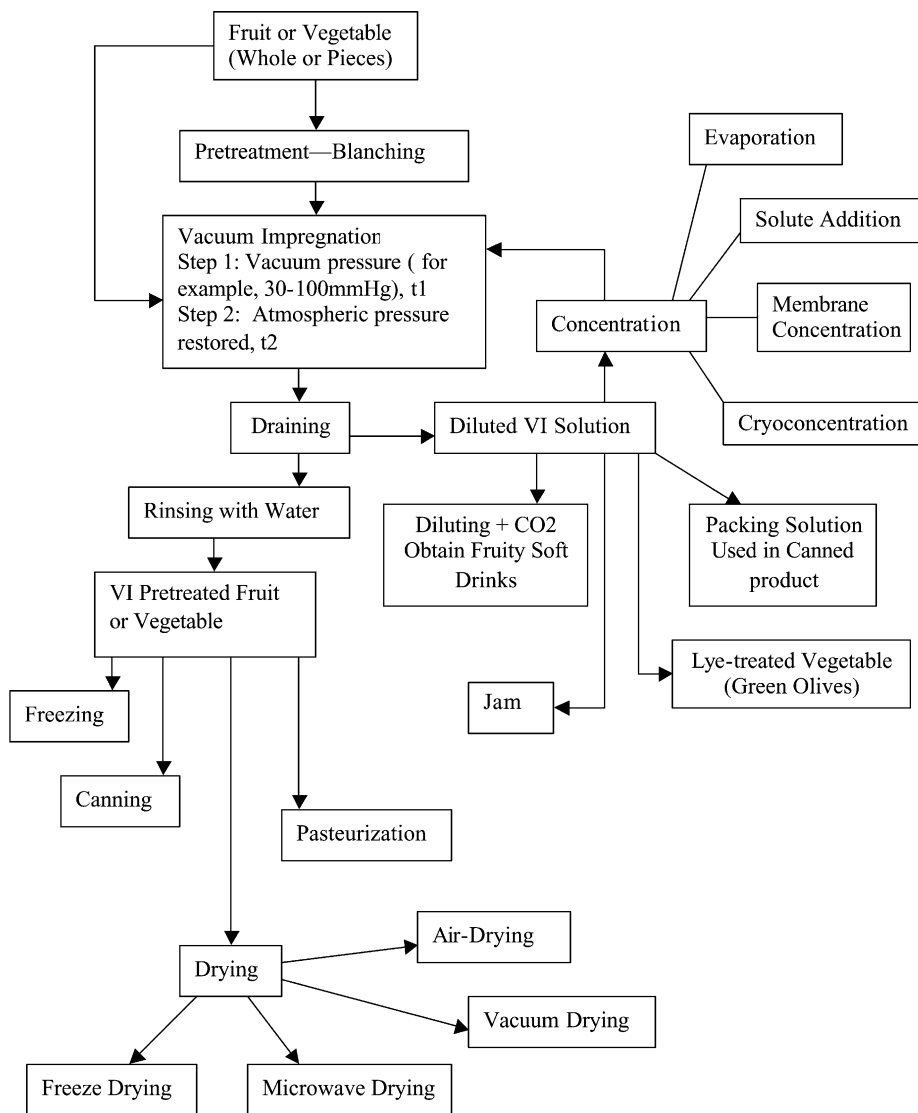


Рис. 2. Некоторые потенциальные применения VI в переработке фруктов и овощей.

Фито и другие. (2001b) рассмотрели эффективность VI при формировании пористых структур во фруктах и овощах для улучшения их свойств при сушке. Обсуждались эффекты обработки VI на структуру пищи, физические свойства, скорость сушки и механизм релаксации клеточной сети фруктов и овощей. Этот обзор был сосредоточен на аспектах качества сухофруктов, подвергшихся предварительной обработке VI.

Мальтини и другие. (1993) сообщили, что по сравнению с простой дегидратацией воздуха комбинация предварительной обработки VI и окончательной сушки воздухом дает более мягкий продукт при низкой активности воды. Чем выше твердый прирост продукта, тем больше улучшается качество его текстуры. **Ким** (1990), **Мальтини, Пиццокарро, Торреджиани и Бертоло** (1991) и **Торреджиани** (1995) показали, что предварительная обработка VI повышает стабильность пигментов при дальнейшей сушке и последующем хранении без использования диоксида серы, обычного химического консерванта для сохранения цвета фруктов и овощей. **Альварес и другие.** (1995) и **Prothon и другие.** (2001) показали, что предварительная обработка VI увеличивала коэффициент диффузии влаги образцов по сравнению с образцами, не обработанными VI, из-за того, что поглощение растворенных веществ увеличивало сопротивление переносу воды. Следовательно, пропитанные растворенные вещества концентрируются внутри ткани, вызывая кристаллизацию в некоторых частях внешних слоев во время следующего этапа сушки (**Nieto и другие.**, 1998; **Prothoni другие.**, 2001; **Рахман и Лэмб**, 1991; **Санкат, Кастень и Махарадж**, 1996 г.). **Nieto и другие.** (1998) показали, что перенос влаги и уменьшение объема во время сушки яблок на воздухе сильно уменьшаются из-за поглощения глюкозы во время пропитки, когда распределение сахара в клеточной ткани влияет на процесс сушки. **Барат и другие.** (2001) подтвердили, что VI оказывает значительное влияние на изменения веса и концентрации растворенных веществ в ломтиках яблок при обработке VI при 180 мбар в течение 5 мин.

Также сообщалось, что предварительная обработка VI перед сушкой влияет на регидратационную способность образцов. Регидратационная способность в воде предварительно обработанных VI образцов ниже, чем у необработанных (**Prothon и другие.**, 2001 г.). Этот феномен можно объяснить тем фактом, что VI привел к уменьшению количества пор, доступных для растворенных веществ, пропитывающих межклеточные пространства и вдоль клеточных стенок. Таким образом, клеточная стенка менее проницаема для воды. **Prothon и другие.** (2001) наблюдали, что клеточная стенка становится толще после пропитки и меньше разрушается после микроволновой сушки с пропиткой, чем без предварительной обработки VI.

Предварительная обработка перед замораживанием

Замораживание - это традиционный метод консервирования овощей и фруктов. Он лучше сохраняет питательные вещества в конечном продукте, чем другие средства консервирования. Однако фазовый переход воды в продукте нарушает целостность и компартментацию клеток, тем самым увеличивая нежелательные физико-химические изменения. Частичное удаление воды перед замораживанием может снизить замораживание

содержание воды и сделать замороженный продукт стабильным в результате повышения температуры стеклования максимально криоконцентрированной жидкой фазы пищевого продукта (**Мартинес-Монцо и другие.**, 1998 г.). Предварительная обработка VI была изучена для улучшения качества замороженных фруктов и овощей за счет, в основном, снижения потерь стекания и улучшения качества текстуры, а также экономии энергии при замораживании (**Бенгтссон и Фернквист**, 1971; **Biswali другие.**, 1991; **Болин и Хаксолл**, 1993; **Гарроте и Бертоне**, 1989; **Ленарт и Флинк**, 1984; **Маэстрелли другие.**, 2001; **Мартинес-Монцои другие.**, 1998; **Сормани, Маффи, Бертоло и Торреджиани**, 1999; **Торреджиани**, 1995; **Торреджиани и Бертоло**, 2001; **Се и Чжао**, 2003b).

VI с криопротекторами (обычно гипертоническим раствором сахара) или криостабилизаторами (например, пектин с высоким содержанием метоксильных групп и глицерин) было предложено уменьшить количество замораживаемой воды и уменьшить повреждение кристаллов льда в замороженных растениях (**Левин и Слэйд**, 1990; **Мартинес-Монцои другие.**, 1998 г.). Было показано, что чем выше подразумеваемая концентрация осмотического раствора, тем меньше количество замораживаемой воды доступно во время процесса замораживания, следовательно, меньше потери капель во время оттаивания (**Мартинес-Монцо и другие.**, 1998 г.). Когда для лечения VI используется гипертонический раствор, осмотическая дегидратация образца происходила одновременно из-за комбинированного воздействия градиентов давления и капиллярного действия (**Фито и пастор**, 1994). **Мартинес-Монцо и другие.** (1998) протестировали использование VI для введения концентрированного виноградного суслу и растворов пектина в качестве криопрепаратов в яблоко перед замораживанием и обнаружили, что механические свойства яблок улучшились в результате уменьшения количества замораживаемой воды за счет предварительной обработки VI концентрированным раствором виноградного суслу, в то время как VI с пектином улучшил стабильность замороженного продукта за счет увеличения температуры стеклования жидкой фазы. Пектин может также укреплять структуру клеточного матрикса с помощью межклеточного «мостика», образованного из полисахаридных гелей. **Сормани и другие.** (1999) подтвердили, что обработка VI улучшает тканевую организацию размороженных продуктов, поскольку защитный эффект, возникающий в результате снижения содержания воды, преодолевает повреждение ткани, вызванное процессом замораживания. Однако аналогичные результаты не были получены для манго, киви и клубники, подвергнутых ИВ с раствором сахарозы при 30 ° С.8С (**Киральт и другие.**, 2001 г.). **Се и Чжао** (2003b) далее оценили использование HFCS и пектина с высоким содержанием метила (HMP) в качестве криопротекторов с включением 7,5% глюконола кальция в раствор VI для клубники и маррионники. Сообщалось, что VI с криопротекторами и кальцием значительно улучшил качество текстуры и снизил капельную потерю замороженных размороженных ягод (**Рис. 3**), максимальная сила сжатия увеличилась примерно на 50–100%, а потеря стекания снизилась примерно на 20–50% по сравнению с необработанными образцами. Значительное уменьшение капельной потери после оттаивания продемонстрировало, что уменьшение содержания влаги во время VI с использованием HFCS защищает ткани от повреждения замораживанием за счет уменьшения количества замораживаемой воды.

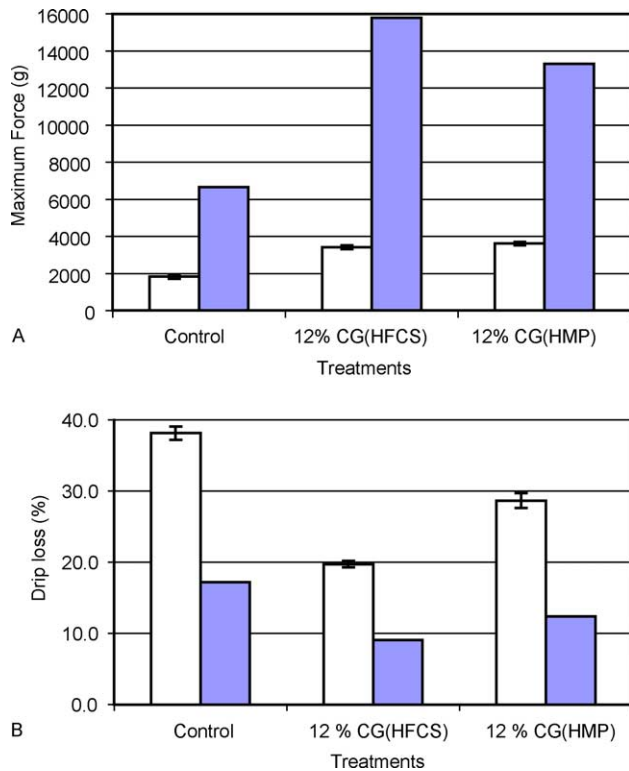


Рис 3. Плотность (А) и потеря стекания (В) пропитанной клубники (Тотем) ломтики (белые) и целые Марионберри (серый) после процесса замораживания-оттаивания (HFCS, 50% -ный разбавленный раствор кукурузного сиропа с высоким содержанием фруктозы; HMP, 3% -ный высокометилпектин; GC, Gluconal Calsh).

Энергетические ресурсы стали более ограниченными, поэтому необходимость повышения общей эффективности работы становится все более важной. Процесс замораживания требует значительных затрат энергии. Снижение содержания влаги в продукте с использованием обработки VI перед замораживанием может значительно снизить холодопроизводительность (Хаксолл, 1982 г.).

Разработка обогащенных питательными веществами фруктов и овощей

Повышенный интерес потребителей к пользе пищевых продуктов для здоровья привел к значительному развитию нутрицевтиков и функциональных пищевых продуктов. Мировой рынок функциональных продуктов питания оценивается в 47,6 миллиарда долларов в 2001 году по сравнению с 30 миллиардами долларов в 1995 году (Аноним, 2001), и сегодня постоянно возглавляет разработку пищевых продуктов (Беррингтон, 2000; Слоан, 2002 г.).

VI считается полезным способом введения желаемых растворенных веществ в пористую структуру пищевых продуктов, удобного изменения их исходного состава в качестве инструмента для разработки новых продуктов (Киральти другие., 1999, 2001; Фито, 1994; Фитои другие., 1996; Мартинес-Монцои другие., 2000, 1998). Нутрицевтики можно вводить во фруктовые и овощные продукты с использованием метода VI без изменения их целостности. Эта так называемая «прямая формулировка» отличает его от других методов обработки (Маврудис и другие., 1998а, б; Торреджиани, 1993 г.).

Использование VI для разработки продуктов, обогащенных питательными веществами, является относительно новым по сравнению с другими его приложениями. Фито, и другие. (2001а) сначала оценили возможность использования VI для обогащения минералами фруктов и овощей с инженерной точки зрения. Были разработаны математические модели для определения концентрации различных минералов в растворах VI, необходимой для достижения 20-25% обогащения в 200 г образцов. После предсказания моделирования экспериментальная проверка подтвердила, что VI может быть эффективным методом обогащения фруктов и овощей минералами, витаминами или другими физиологически активными компонентами. Беторет и другие. (2003) изучали обогащенные пробиотиками сухофрукты с использованием метода VI, применяя процесс VI либо с коммерческим яблочным соком, содержащим *Saccharomyces cerevisiae*, или с цельным молоком или яблочным соком, содержащим 10^7 или 10^8 КОЕ / мл *Lactobacillus casei* (виды рамнозус). Сообщается, что образцы сушеных яблок могут содержать около 10 штук. 10^6 КОЕ / г *Lactobacillus casei* (виды рамнозус), такой же уровень, как и в коммерческих молочных продуктах. Граи другие. (2003) оценили обогащение кальцием баклажанов, моркови и вешенки с использованием ИВ с растворами сахарозы и обнаружили, что варибельность сырья вызывает значительные различия в конечном уровне пропитки, когда баклажаны и грибы достигают наибольшего уровня пропитки из-за их большой эффективной межклеточной пористости, таким образом, хорошо подходят для получения обогащенных продуктов за счет использования небольшой концентрации кальция в пропиточном растворе. Микроанализ распределения кальция в тканях растений показал, что пропитка кальцием происходит в межклеточных пространствах баклажанов и вешенок, но в киселе моркови. Се и Чжао (2003а, б) изучали обогащение фруктов кальцием и цинком с использованием VI обработки раствора HFCS, содержащего кальций и / или цинк, в свежесрезанных яблоках, ломтиках клубники и целых ягодах марионетки. Результаты показали, что 15-20% DRI кальция и более 40% DRI цинка могут быть обогащены в 200 г свежесрезанных яблок, а примерно 11 и 23% DRI кальция и цинка могут быть получены в 200 г ягод. соответственно, не влияя на физико-химические свойства плодов (Таблица 5).

VI для разработки минимально обработанных фруктов и овощей

Минимально обработанные фрукты и овощи - это продукты, которые сохраняют свои качественные характеристики, аналогичные характеристикам свежих продуктов. В некоторых случаях минимально обработанный продукт представляет собой «сырую» пищу, а клетки тканей живы. VI может быть уместным при разработке продуктов из фруктов и овощей с минимальной обработкой, так как правильный состав пропиточного раствора позволяет оперативно изменять состав твердой матрицы, что может привести к повышению качества и стабильности конечного продукта, не подвергая структуру продукта возможному стрессу. Путем частичного удаления воды, пропитки органических кислот для снижения pH и антимикробных и антиоксидантных агентов для подавления

Таблица 5. Обогащение фруктов питательными веществами с использованием процесса VI.

Фрукты	VI раствор	% DRI из кальция	% DRI из цинк	
Яблоко (Королевский Гала)	Контроль (необработанный)	0,82	2,02	
	20% HFCSC5. 24% GC	11,20		
	50% HFCSC5. 24% GC	15,41		
	20% HFCSC7. 50% GC	15,93		
	50% HFCSC7. 50% GC	20,24		
	20% HFCSC0. 02% ZL		32,40	
	20% HFCSC0. 04% ZL		40,71	
	50% HFCSC0. 04% ZL		42,58	
	клубника (Тотем)	Контроль (необработанный)	3,26	1,77
		50% HFCSC 12,00% CG	25,31	
3% HMPCC 12,00% CG		30,53		
50% HFCSC0. 04% CG			17,3	
3% HMPCC0. 04% CG			19,8	
Марионберри		Контроль (необработанный)	7,10	3,95
	50% HFCSC 12,00% CG	16,36		
	3% HMPCC 12,00% CG	18,02		
	50% HFCSC0. 04% CG		64,72	
	3% HMPCC0. 04% CG		42,63	
	HFCS, раствор кукурузного сиропа с высоким содержанием фруктозы; HMP, пектин с высоким содержанием метилов; GX, глюконол калш; ZL, лактат цинка. Обработка VI состояла из 15-минутного вакуума при 50 мм рт.ст. и 30-минутного восстановления при атмосферном давлении.			

рост микробов и окисление в сочетании с хранением при низких температурах, срок годности продукта может быть значительно увеличен. Тапиа, Лопес-Мало, Консуэгра, Корте и Велти-Шанс (1995) оценили возможность получения минимально обработанной папайи методом VOD. Комбинация использования VOD для снижения активности воды, пропитки лимонной кислотой для снижения pH и сорбата калия в качестве консерванта была применена на основе барьерной технологии. Кусочки папайи в целом хорошо себя восприняли даже после 1 месяца хранения при 15 ° С.8С. Тапиа, Ранирес, Кастанон и Лопес-Мало (1999) и Вергара-Бальдерас, Сантакрус, Лопес-Мало и Тапиа (1998) исследовали вакуумную пропитку дыни с высокой влажностью, отправив цилиндры дыни в PVOD в 408Раствор сахарозы Brix, содержащий 0,6 мас.% Фосфорной кислоты, 1000 ч. / Млн сорбата калия и 0,2 мас.% Лактата кальция, для снижения водной активности продукта до 0,98 и pH до 4,3.

Микробиологический анализ, тесты на цвет и текстуру, а также органолептические исследования показали, что продукты, упакованные в стеклянные банки, покрытые сиропом, хорошо переносятся через 15 дней хранения при 25 ° С. 8С. Велти-Чанес, Сантакрус, Лопес-Мало и Веш-Эбелинг (1998) изучили стабильность минимально обработанных апельсиновых сегментов, используя VI в 558Раствор сахарозы Brix, содержащий органическую кислоту и сорбат калия для снижения активности воды до 0,98. Было обнаружено, что продукт был микробиологически стабильным и хорошо принимался по цвету, текстуре и органолептической оценке на сроке до 50 дней при расфасовке в стеклянные банки с сиропом и хранении при температуре! 25 ° С.8С. Леунда и другие. (2000) далее сообщили, что обработка VI в сочетании с бланшированием и добавлением хлорида цинка к раствору VI значительно улучшила стабильность цвета минимально обработанных киви во время хранения.

Технические проблемы и будущие потребности в исследованиях в области техники VI

Технические проблемы техники VI

Считается, что технология VI улучшает качество продукта, изменяет рецептуру продукта и экономит энергию при переработке некоторых фруктов и овощей. Выбирая соответствующие условия процесса, можно контролировать и оптимизировать конкретное применение VI. Тем не менее, необходимы обширные исследования, чтобы в полной мере использовать его уникальные особенности и применять в крупномасштабных промышленных операциях. Ниже приведены некоторые технические проблемы и потребности будущих исследований.

Контроль скорости массообмена

Несмотря на то, что были предприняты многочисленные исследования по изучению массопереноса при обработке VI, механизмы, участвующие в этих одновременных взаимодействующих противоточных потоках, и их влияние на физико-химические и сенсорные свойства пищевых продуктов до сих пор полностью не изучены. Контроль различных типов растворов VI (изотонических, гипертонических и гипотонических) на скорость массопереноса важен, особенно когда VI используется для разработки композиционно сформулированных или минимально обработанных фруктовых и овощных продуктов. Оптимальный массоперенос, обеспечивающий попадание достаточного количества растворенных веществ в продукты без отрицательного воздействия на физико-химические и сенсорные свойства, является ключом к его успешному применению.

Другие методы могут использоваться для ускорения массопереноса при лечении VI. Например, импульс сильного электрического поля (Ростоги, Эштиаги и Кнорр, 1999 г.) и ультразвук (Сималь, Бенедито, Санчес и Росселло, 1998 г.) было предложено увеличить коэффициенты диффузии за счет увеличения проницаемости клеточной стенки при обработке VI. Однако необходимы дополнительные исследования, чтобы лучше понять их эффекты.

Повторное использование решений VI

Одной из основных проблем крупномасштабного промышленного применения VI и любой другой осмотической обработки является управление

оставшегося раствора в конце процесса. Возможные применения концентрированных растворов включают повторное использование в качестве столовых сиропов, фруктовых начинок, основ напитков или сиропов в процессе консервирования. С инженерной точки зрения возможно повторное использование раствора не менее 20 циклов тех же переработанных растворов (Роза и Жиру, 2001; Вальдес-Фрагозо, Мухика-Пас, Жиру и Велти-Шанс, 2002 г.). Вальдес-Фрагозо и другие. (2002) обнаружили, что потеря воды, увеличение количества твердых веществ и цвет дегидратированных кубиков яблока, полученных в процессе осмотической дегидратации с повторно использованным осмотическим раствором, аналогичны тем, которые получены со свежим осмотическим раствором. К сожалению, переработка осмотического раствора по-прежнему остается одним из основных недостатков и проблем. Одна из причин заключается в том, что некоторые характеристики растворов изменились в конце процесса из-за одновременного выщелачивания цвета, кислот и фрагментов из продукта и растворенных веществ в растворах, проникающих в продукт. Чтобы сделать процесс осуществимым, растворы обычно повторно концентрируют перед повторным использованием путем нагревания или фильтрации. Однако процесс реконструкции может изменить свойства решений. Например, нагревание может привести к потемнению или коричневому цвету растворов, а также к выделению летучих компонентов запаха. Повторное использование становится еще более сложным в случае смешанных растворенных веществ: необходимо проверить и отрегулировать пропорцию каждого растворенного вещества. Кроме того, раствор VI не является экологически чистым из-за выщелачивания органических кислот и других ингредиентов. Методы обработки отработанных концентрированных растворов, особенно смешанных растворов, очень важны и требуют дополнительных исследований.

Микробная безопасность растворов VI

Недостаток знаний, касающихся микробной безопасности растворов VI и обработанного продукта, является еще одним важным аспектом, который необходимо изучить, и, вероятно, также препятствует применению метода VI. Заражение продукта могло начаться с фермы. Если сырье загрязнено, оно может загрязнить растворы VI во время обработки VI. Дальнейшее загрязнение может произойти, если загрязненные растворы будут использоваться повторно. В этом аспекте было опубликовано очень мало исследований, что потребовало значительных исследовательских усилий.

Полное погружение образцов в растворы VI.

Поддержание хорошего контакта между образцами пищевых продуктов и раствором VI - еще один сложный метод в VI и других осмотических процессах. Плотность овощей и фруктов около 800–900 кг / м³.з (Рахман, 1995 г.), ниже, чем у растворов (например, 1300 кг / м³ для 60% раствора сахарозы при 20 °C). Следовательно, продукт имеет тенденцию плавать на растворах. Полное погружение продуктов в раствор и поддержание хорошего контакта на протяжении всего процесса необходимы для обработки VI. В настоящее время промышленные предприятия используют для этой цели перемешивание или сжатие, но это увеличивает стоимость и может также

повредить продукты. Необходимо рассмотреть другие подходы.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность доктору Алану Т. Бакалински за редакционный обзор и предложения.

использованная литература

- Адэ-Омовай, БИО, Растроги, Н.К., Ангерсбах, А., и Кнорр, Д. (2002). Осмотическое обезвоживание красного перца (*Capsicum annuum* L.). Журнал пищевой науки, 67, 1790–1796 гг. Альборс, А., Сальватори, Д., Андрес, А., Киралт, А., и Фито, П. (1996). Профили структурных изменений в ткани яблока во время явлений массопереноса. ВТруды совещания по минимальной переработке пищевых продуктов и оптимизации процессов. Программа Коперник Варшава.
- Альварес, Калифорния, Агерре, Р., Гомес, Р., Видалес, А., Альзамора, С.М., И Гершенсон, Л.Н. (1995). Обезвоживание клубники воздухом: влияние предварительной очистки и осмотической обработки на кинетику переноса влаги. Журнал пищевой инженерии, 25, 167–178. Альзамора, С.М., и Гершенсон, Л.Н. (1997). Влияние воды снижение активности по текстурным характеристикам минимально обработанных плодов. В GV Barbosa-Canovas, S. Lombardo, G. Narsimhan, & MR Okos, Новые рубежи в пищевой инженерии Труды Пятой конференции пищевой инженерии (С. 72–75). Нью-Йорк: АЙЧ.
- Альзамора, С.М., Гершенсон, Л.Н., Видалес, С., и Нието, А. (1997). Структурные изменения при минимальной обработке плодов: Некоторые эффекты бланширования и сахарной пропитки. В П. Фито, Э. Ортега-Родригес и Г.В. Барбоса-Кановас (ред.), Пищевая инженерия 2000 (С. 117–140). Нью-Йорк: Чепмен и Холл.
- Альзамора, С.М., Тапиа, М.С., Леунда, А., Герреро, С.Н., Рохас, АМ, Гершенсон, Л.Н., и Парада-Ариас, Э. (2000). Минимальная сохранность фруктов: цитируемый проект. В JE Lozano, С. Anon, E. Parada-Arias, & GV Barbosa-Canovas (Eds.), Тенденции пищевой инженерии (С. 205–225). Пенсильвания: Издательская компания Technomic. Глава 16.
- Андреотти, Р., Томасиккио, М., и Маккиавелли, Л. (1983). Disidratatione parziale della frutta per osmosi. Индустриальный заповедник, 58, 90–95.
- Андрес И., Сальватори Д., Киралт А. и Фито П. (2001). Вакуум пропитка жизнеспособности некоторых фруктов и овощей. В: П. Фито, А. Киралт, Дж. М. Барат, У. Э. Спасс, Д. Бехснилиан, Дж. М. Барат, WEL Spiess, & D. Behnsnilian (Eds.), Осмотическая дегидратация и вакуумная пропитка. Бехснилиан.
- Анон (2001). Отчет о функциональных продуктах питания. Бизнес-журнал о питании Сан Диего 2001 г. www.nutritionbusiness.com.
- Argaiz, A., Lopez-Malo, A., Palou, E., & Welte, J. (1994). Осмотический обезвоживание папайи твердыми частицами кукурузного сиропа. Технология сушки, 12, 1709–1725.
- Барат, Дж. М., Киралт, А., и Фито, П. (1998). Равновесие в клеточной пище системы осмотических растворов в зависимости от структуры. Журнал пищевой науки, 63, 836–840.
- Барат, Дж. М., Киралт, А., и Фито, П. (2001). Действие осмотического раствора концентрация, температура и предварительная обработка вакуумной пропиткой на кинетику осмотической дегидратации ломтиков яблока. Food Science and Technology International, 7, 451–456. Барбоса-Кановас, Г. В., и Вега-Меркадо, Х. (1996). Осмотический обезвоживание. Обезвоживание продуктов. Флоренция: International Thomson Publishing, стр. 265–288.
- Бенгтссон, Н., и Фернквист, И. (1971). Новые методы сверхбыстрой замораживание продуктов. Годовой отчет SIK № 294-301. Беристейн, К.И., Азуара, Э., Кортес, Р., и Гарсия, Х.С. (1990). Масса перенос при осмотическом обезвоживании колец ананаса. Международный журнал пищевой науки и технологий, 25, 576–582.

- Беторет, Н., Пуэнте, Л., Диас, М.Дж., Паган, М.Дж., Гарсия, М.Дж., Гра, М.Л., Марто Дж. И Фито П. (2003). Разработка сухофруктов, обогащенных пробиотиками, методом вакуумной пропитки. *Журнал пищевой инженерии*, 56 (2–3), 273–277.
- Biswal, R.N., & Bözorgmehr, K. (1992). Массообмен в смешанном осмотической дегидратация растворенных веществ яблочных колец. *Транзакции ASAE*, 35, 257–262.
- Бисвал, Р.Н., Бозоргмехр, К., Томпкинс, Ф.Д., и Лю, Х. (1991). Осмотическая концентрация зеленой фасоли перед замораживанием. *Журнал пищевой науки*, 56, 1008–1012.
- Бисвал, Р.Н., & Магер, Л.М. (1989). Массообмен в растительном сырье в водных растворах этанола и хлорида натрия: данные о равновесии. *Журнал инженерии пищевых процессов*, 1, 149–153. Болин, Х.Р., и Хаксолл, С.К. (1993). Частичная сушка разрезанной груши для улучшения текстуры при замораживании-оттаивании. *Журнал пищевой науки*, 58, 357–360.
- Болин, Х.Р., Хаксолл, С.К., Джексон, Р., и Нг, К.С. (1983). Эффект осмотические агенты и концентрация на качестве фруктов. *Журнал пищевой науки*, 48, 202–205.
- Бонгирвар Д.Р., и Шринивасан А. (1977). Исследования по осмотическому обезвоживанию банана. *Журнал пищевой науки и технологий*, 14, 104–112.
- Беррингтон, К.Дж. (2000). Питательные и полезные ингредиенты. *Еда Продукция и дизайн*, 10, 38–80.
- Чафер М., Гонсалес-Мартинес К., Чиралт А. и Фито П. (2003). Микроструктура и реакция на вакуумную пропитку кожуры цитрусовых. *Food Research International*, 36 (1), 35–41.
- Чандрасекаран, С. К., и Кинг, Дж. К. (1972). Многокомпонентный диффузия и парожидкостное равновесие разбавленных органических компонентов в водных растворах сахаров. *Журнал Айше*, 18, г. 513–518.
- Киральт, А., Фито, П., Андрес, А., Барат, Дж. М., Мартинес-Монцо, Дж., & Мартинес-Наваррете, Н. (1999). Вакуумная пропитка: инструмент минимальной обработки пищевых продуктов. В FAR Oliveira, & JC Oliveira (ред.), *Обработка пищевых продуктов: оптимизация качества и оценка процесса* (С. 341–356). Бока-Ратон, Флорида: CRC Press LLC.
- Киральт, А., Мартинес-Наваррете, Н., Мартинес-Монцо, Дж., Таленс, П., Морага, Г., Аяла, А., и Фито, П. (2001). Изменение механических свойств при осмотических процессах криопротекторного действия. *Журнал пищевой инженерии*, 49, 129–135.
- Контрерас, Дж. Э. и Смирл, Т. К. (1981). Оценка осмотического концентрирование яблочного кольца твердыми растворами кукурузной патоки. *Журнал Канадского института пищевых наук и технологий*, 14, 310–315.
- Диксон, ГМ, и Джен, JJ (1977). Изменения сахаров и кислот осмовач-сушеные яблочные дольки. *Журнал пищевой науки*, 42, 1136–1141.
- Диксон, Дж. М., Джен, Дж. Дж. и Пэйнтер, Вирджиния (1976). Вкусные дольки яблока результат комбинированного процесса осмотической дегидратации и вакуумной сушки. *Разработка пищевых продуктов*, 10, 60. См. Также страницы 62 и 64.
- Escriche, I., Chiralt, A., Moreno, J., & Serra, JA (2000). Влияние бланширующе-осмотические обезвоживающие процедуры на летучей фракции клубники. *Журнал пищевой науки*, 65, 1107–1111.
- Феррандо, М., & Spiess, WEL (2001). Клеточный ответ растения ткани при осмотической обработке растворами сахарозы, мальтозы и трегалозы. *Журнал пищевой инженерии*, 49, 115–127. Фито, П. (1994). Моделирование вакуумно-осмотического обезвоживания пищи. *Журнал пищевой инженерии*, 22, 313–328.
- Фито, П., Андрес, А., Киралт, А., и Пардо, П. (1996). Соединение гидродинамический механизм и явления релаксации деформации при вакуумной обработке твердых пористых жидкостных систем. *Журнал пищевой инженерии*, 27, 229–240.
- Фито П., Андрес А., Пастор Р. и Чиралт А. (1994). Моделирование вакуумно-осмотическое обезвоживание продуктов. В П. Сингх и Ф. Оливейра (ред.), *Оптимизация процесса и минимальная обработка продуктов* (стр. 107–121). Бока-Ратон: CRC Press.
- Фито, П., и Киралт, А. (1997). Подход к моделированию твердого тела Пищевое-жидкостные операции: Применение для осмотической дегидратации. В П. Фито, Э. Ортега и Г. Барвоза (ред.), *Пищевая инженерия 2000* (стр. 231–252). Нью-Йорк: Чепмен и Холл.
- Фито, П., и Киралт, А. (2000). Вакуумная пропитка тканей растений. В С. М. Альзамора, М. С. Тапиа и А. Лопес-Мало (ред.), *Минимально обработанные фрукты и овощи: основные аспекты и применение* (С. 189–204). Гейтерсбург: Публикация Аспена.
- Фито, П., Киралт, А., Барат, Дж. М., Андрес, А., Мартинес-Монцо, Дж., & Мартинес-Наваррете, Н. (2001b). Вакуумная пропитка для разработки новых обезвоженных продуктов. *Журнал пищевой инженерии*, 49, 297–302.
- Фито, П., Киралт, А., Барат, Дж. М., и Мартинес-Монцо, Дж. (2000). Вакуумная пропитка при переработке фруктов. В JE Lozano, C. Anon, E. Parada-Arias, & GV Barbosa-Canovas (Eds.), *Тенденции пищевой инженерии* (С. 149–164). Пенсильвания: Издательская компания Technomic.
- Фито, П., Киральт, А., Беторет, Н., Гра, М., Чафер, М., Мартинес-Монцо, Дж., Андрес, А., и Видаль, Д. (2001a). Применение вакуумной пропитки и осмотической дегидратации в матричной инженерии при разработке функциональных свежих продуктов питания. *Журнал пищевой инженерии*, 49, 175–183.
- Фито П. и Пастор Р. (1994). Происходящие не диффузионные механизмы при вакуумно-осмотической дегидратации. *Журнал пищевой инженерии*, 21, 513–519.
- Фито П., Пинага Ф. и Аранда В. (1984). Теплопроводность пористые тела при низком давлении: Часть I. *Журнал пищевой инженерии*, 3, 75–88.
- Форни, Э., Сормани, А., Скализ, С., и Торреджиани, Д. (1997). В влияние сахарного состава на стабильность цвета осмодегидрозамороженных абрикосов промежуточной влажности. *Food Research International*, 30, г. 87–97.
- Гарроте, Р.Л. и Бертоне, Р.А. (1989). Осмотическая концентрация при низкой температура замороженных половинок клубники. Влияние растворов глицерина, глюкозы и сахарозы на потерю и оттаивание экссудата. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 22, 264–267.
- Гарроте, Р.Л., Сильва, Е.Р., и Бертоне, Р.А. (1992). Осмотический концентрация на 5 °C и 25 °C кубиков груши и яблока и половинки клубники. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 25, 133–138.
- Джангиакомо Р., Торреджиани Д. и Аббо Е. (1987). Осмотический обезвоживание фруктов: обмен сахара между фруктами и экстрактом сиропа. *Журнал обработки и консервирования пищевых продуктов*, 2, 265–284. Жирод, Дж. Ф., Коллинъян, А., Темелин, А., и Пауль-Вак, А. Л. (1990). Энергетическое исследование обработки пищевых продуктов осмотической дегидратацией и сушкой на воздухе. В *Материалы Международной конференции по сельскохозяйственной инженерии* (Vol. IV, с. 1345–1351). Бангкок, Гра, М., Видаль-Бротонс, Н., Беторет, А., и Фито, П. (2002). В реакция некоторых овощей на вакуумную пропитку. *Инновационная наука о продуктах питания и новые технологии*, 3 (3), 263–269. Гра, М.Л., Видаль, Д., Беторет, Н., Киралт, А., и Фито, П. (2003). Обогащение овощей кальцием вакуумной пропиткой. *Журнал пищевой инженерии*, 56 (2–3), 279–284.
- Хоукс Дж. И Флинк Дж. М. (1978). Осмотическая дегидратация фруктовых ломтиков перед замораживанием-обезвоживанием. *Журнал обработки и консервирования пищевых продуктов*, 2, 265–284.
- Гувер, М.В., и Миллер, Северная Каролина (1975). Факторы, влияющие пропитка яблочных ломтиков и проявка в непрерывном процессе. *Журнал пищевой науки*, 40, 698–700.
- Хаксолл, СС (1982). Снижение холодильной нагрузки путем частичного концентрация пищи перед замораживанием. *Пищевые Технологии*, 5, 98–102.
- Ислам, Миннесота, и Флинк, Дж. М. (1982). Обезвоживание картофеля: II. Осмотическая концентрация и ее влияние на поведение при сушке на воздухе. *Журнал пищевых технологий*, 17, 387–403.

- Хавери, Р., Толедо, Р., и Викиер, Л. (1991). Вакуумная инфузия влияние пектинметилэстеразы цитрусовых и кальция на твердость персиков. *Журнал пищевой науки*, 56, 739–742. Джаяраман, К.С., и Дас Гупта, Д.К. (1992). Обезвоживание фруктов и овощи - последние разработки в принципах и методах. *Технология сушки*, 10, 10–50. Каймак-Эртекин Ф. и Султаноглу М. (2000). Моделирование массы перенос при осмотическом обезвоживании яблок. *Журнал пищевой инженерии*, 46, 243–250.
- Ким, МН (1990). Осмотическая концентрация яблок и ее влияние на реакция потемнения при обезвоживании воздуха. *Журнал Корейского общества пищевых продуктов и питания*, 19, 121–126.
- Кунц, Лос-Анджелес (1996). Изучение настоя. *Дизайн пищевых продуктов*, 10, 38–80.
- Лазаридес, НН, и Маврудис, NE (1995). Эффекты замораживания / оттаивания на скорости массопереноса при осмотической дегидратации. *Журнал пищевой науки*, 60, 826–828. См. Также стр. 857.
- Ле Магуэр, М. (1988). Осмотическая дегидратация: обзор и будущее направление. В *Материалы Международного симпозиума по программе процессов сохранения пищевых продуктов* (п. 238). CERIA, Брюссель.
- Ленарт, А., Флинк, Дж. М. (1984). Осмотическая концентрация картофеля: I. Критерии конечной точки процесса осмоса. *Журнал пищевых технологий*, 19, 45–63.
- Ленарт, А., и Левицки, П.П. (1990). Осмотическое обезвоживание моркови при высокая температура. В *WEL Spiess и H. Schubert, Инженерные процессы и процессы консервирования пищевых продуктов и связанные с ними методы* (Vol. 2) (стр. 731–740). Лондон: Эльзевьер.
- Lerici, CR, Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., & Bartolucci, L. (1985). Осмотическая дегидратация фруктов: влияние осмотических агентов на сушку и качество продукта. *Журнал пищевой науки*, 50, 1217–1219.
- Леунда, Массачусетс, Герреро, С.Н., и Альзамора, С.М. (2000). Цвет и изменение содержания хлорофилла в минимально обработанных плодах киви. *Журнал пищевой промышленности и консервирования*, 24, 17–38.
- Левин, Х., & Слэйд, Л. (1990). Технология криостабилизации: Термоаналитическая оценка пищевых ингредиентов и систем. В *VR Nagwalkar, & CY Ma (Eds.), Термический анализ продуктов* (С. 221–305). Лондон: Эльзевьер.
- Левицки П.П. и Ленарт А. (1992). Потребление энергии во время осмо-конвекционная сушка фруктов и овощей. В *А.С. Муджумдар (Ред.), Сушка твердых тел* (С. 354–366). Нью-Йорк: Международное научное издательство.
- Маэстрелли А., Скальцо Р.Л., Лупи Д., Бертоло Г. и Торреджиани Д. (2001). Частичное удаление воды перед замораживанием: сорт и предварительная обработка как факторы качества замороженной дыни (*Cucumis melo*, cv ретикулирует Науд). *Журнал пищевой инженерии*, 49, 255–260.
- Мальтини, Э., Пиццокарро, Ф., Торреджиани, Д., и Бертоло, Г. (1991). Эффективность антиоксидантной обработки при приготовлении обезвоженных яблочных кубиков без содержания серы. В *8-й Всемирный конгресс: Пищевая наука и технологии* (С. 087–091). Торонто, Канада.
- Мальтини, Э., Торреджиани, Д., Рондо Броветто, Б., и Бертоло, Г. (1993). Функциональные свойства фруктов с пониженным содержанием влаги в качестве ингредиентов пищевых систем. *Food Research International*, 26, 413–419.
- Мартинес-Монцо, Дж., Барат, Дж. М., Гонсалес-Мартинес, К., Чиральт, А., и Фито, П. (2000). Изменение термических свойств яблока из-за вакуумной пропитки. *Журнал пищевой инженерии*, 43, 213–218.
- Мартинес-Монцо, Дж., Мартинес-Наваррете, Н., Киральт, А., и Фито, П. (1998). Механические и структурные изменения яблока (вар. Грэнни Смит) из-за вакуумной пропитки криопротекторами. *Журнал пищевой науки*, 63, 499–503.
- Мартинес-Монцо, Дж., Мартинес-Наваррете, Н., Фито, П., и Киральт, А. (1997). Влияние вакуумно-осмотической дегидратации на физико-химические свойства и консистенцию яблока. В *Р. Джовитте (ред.), Инжиниринг и питание в МИЭФ 7* (С. ГГ 17 – ГГ 21). Шеффилд: Academic Press.
- Мастрокола, Д., Серини, К., Леричи, CR, и Сенсидони, А. (1987). *Disidratazione per via osmotica della carota. Industrie Alimentari*, 26, 133–138.
- Мауро, Массачусетс, Таварес, Д.К., и Менегалли, ФК (2002). Поведение растительные ткани в осмотических растворах. *Журнал пищевой инженерии*, 56, 1–15.
- Маврудис, Н.Е., Гекас, В., и Шохолм, И. (1998а). Осмотический обезвоживание яблок - влияние перемешивания и характеристик сырья. *Журнал пищевой инженерии*, 35, 191–209. Маврудис, Н.Е., Гекас, В., и Шохолм, И. (1998b). Осмотический обезвоживание яблок - явления усадки и значение исходной структуры для скорости массообмена. *Журнал пищевой инженерии*, 38, 101–123.
- Монсальве Гонсалес, А., Барбоса-Кановас, Г. В., и Кавальери, Р. П. (1993). Массообмен и изменение текстуры при обработке яблок комбинированными методами. *Журнал пищевой науки*, 58, 1118–1124.
- Морейра Р. и Серено АМ (2003). Оценка массопереноса коэффициенты и объемная усадка при осмотической дегидратации яблока растворами сахарозы в статических и нестатических условиях. *Журнал пищевой инженерии*, 57, 25–31. Мухика-Пас, Х., Вальдес-Фрагосо, А., Лопес-Мало, А., Палоуб, Э., & Велти-Чейнс, Дж. (2002). Пропиточные свойства некоторых фруктов при вакуумном давлении. *Журнал пищевой инженерии*, 56, 307–314.
- Мухика-Пас, Х., Вальдес-Фрагосо, А., Лопес-Мало, А., Палоуб, Э., & Велти-Чейнс, Дж. (2003). Пропитка и осмотическое обезвоживание некоторых фруктов: влияние вакуума и концентрации сиропа. *Журнал пищевой инженерии*, 57, 305–314. Мунтада, В., Гершенсон, Л. Н., Альзамора, С. М., и Кастро, Массачусетс (1998). Настой растворенного вещества влияет на консистенцию минимально обработанных фруктов киви. *Журнал пищевой науки*, 63, 616–620.
- Ньето, А., Сальватори, Д., Кастро, Массачусетс, и Альзамора, Х. (1998). Воздух поведение яблок при сушке под воздействием бланширования и пропитки глюкозой. *Журнал пищевой инженерии*, 36, 63–79. Нджи, Д.Н., Рассси, Т.Р., и Сингх, Р.П. (1998). Тепловые свойства ямса кассавы и подорожника. *Журнал пищевой инженерии*, 37, 63–73.
- Пеанайоту, Н. М., Каратанос, В. Т., и Марулис, З. Б. (1998). Моделирование массообмена при осмотическом обезвоживании некоторых фруктов. *Международный журнал пищевой науки и технологий*, 33, 267–284.
- Питт, Р. Э. (1992). Вязко-вязкие свойства фруктов и овощей. В *М.А. Рао и Дж. Ф. Стеффе (ред.), Вязкоупругие свойства пищевых продуктов* (стр. 49–76). Лондон: Эльзевьер.
- Понаппа, Т., Шееренс, Дж. К., и Миллер, А. Р. (1993). Вакуум проникновение полиаминов увеличивает прочность ломтиков клубники при различных условиях хранения. *Журнал пищевой науки*, 58, 361–364.
- Понтинг, Дж. Д. (1973). Осмотическое обезвоживание фруктов - недавнее модификации и приложения. *Биохимия процессов*, 8, 18–20.
- Понтинг, Д. Д., Уоттерс, Г. Г., Форри, Р. Р., Джексон, Р., и Стэнли, WL (1966). Осмотическое обезвоживание плодов. *Пищевые технологии*, 29, 125.
- Протон, Ф., Арне, Л. М., Фунебо, Т., Кидман, С., Лэнгтон, М., & Шохольм И. (2001). Влияние комбинированной осмотической и микроволновой дегидратации яблока на текстуру, микроструктуру и характеристики регидратации. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 34, 95–101.
- Ци, Х., Шарма, С.К., и Лемагер, М. (1999). Моделирование мульти-компонент массообмена растительного материала контактирует с водным раствором сахарозы и хлорида натрия при осмотической дегидратации. *Международный журнал пищевых свойств*, 2, 39–54. Рахман, С. (1995). *Справочник по свойствам пищевых продуктов*. Флорида: CRC Press LLC (стр. 190–213).

- Рахман, С., и Лэмб, Х. (1991). Свойства свежих и свежих продуктов при сушке на воздухе. осмотически обезвоженный ананас. Журнал инженерии пищевых процессов, 14, 163–171.
- Рауль-Вак, А.Л. (1994). Последние достижения в осмотической обезвоживающей продукции. Тенденции в пищевой науке и технологиях, 5, 255–260.
- Рауль-Вак, А.Л., Ленарт, А., и Гильберт, С. (1992). Недавний продвигается во время обезвоживания за счет погружения в концентрированный раствор. В AS Majumdar (Ed.), Сушка твердых тел (стр. 21–51). Нью-Йорк: Международное научное издательство.
- Рэй, РМ (1960). К теории осмотического движения воды. Растение Физиология, 35, 783–790.
- Роастогги, Н.К., Ангерсбах, А., и Кнорр, Д. (2000). Оценка механизмы массообмена при осмотической обработке растительного сырья. Журнал пищевой науки, 65, 838–841.
- Ростогги, Н.К., Эштиаги, М.Н., и Кнорр, Д. (1999). Ускоренный массоперенос во время осмотической дегидратации предварительно обработанной импульсом электрического поля высокой интенсивности. Журнал пищевой науки, 64, 1020–1023.
- Roastogi, NK, & Raghavarao, KSMS (1994). Эффект осмотического обезвоживания под вакуумом. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 27, 564–567.
- Roastogi, NK, & Raghavarao, KSMS (1996). Кинетика осмотической дегидратации в вакууме. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 29, 669–672.
- Roastogi, NK, & Raghavarao, KSMS (1997). Вода и растворенные вещества коэффициенты диффузии моркови в зависимости от температуры и концентрации. Журнал пищевой инженерии, 31, 423–432.
- Роза, доктор медицины, и Жиру, Ф. (2001). Осмотические процедуры (ОТ) и проблемы, связанные с менеджментом решения. Журнал пищевой инженерии, 49, 223–236.
- Саблани, СС, и Шафиур Рахман, М. (2003). Эффект сиропа концентрация, температура и геометрия образца от коэффициентов равновесного распределения при осмотической дегидратации манго. Food Research International, 36, 65–71.
- Саккетти, Дж., Джанотти, А., и Далла Роза, М. (2001). Сахароза-соль совместное воздействие на кинетику массопереноса и приемлемость продукта. Исследование осмотической обработки яблок. Журнал пищевой инженерии, 47, 163–173.
- Сальватори Д., Андрес А., Киралт А. и Фито П. (1998). Ответ некоторых свойств плодов к вакуумной пропитке. Журнал пищевой инженерии, 21, 59–73.
- Санкат, СК, Castaigne, F., & Maharaj, R. (1996). Сушка на воздухе поведение свежих и осмотически обезвоженных ломтиков банана. Международный журнал пищевой науки и технологий, 31, 123–135.
- Саперс, Г.М., Гарцарелла, Л., и Пилизота, В. (1990). Применение ингибиторы потемнения для разрезания яблока и картофеля путем инфильтрации под вакуумом и под давлением. Журнал пищевой науки, 55, 1049–1053.
- Серено, А.М., Морейра, Р., и Мартинес, Э. (2001). Массообмен коэффициенты при осмотической дегидратации яблока в однократных и комбинированных водных растворах сахара и соли. Журнал пищевой инженерии, 47, 43–49.
- Shi, XQ, Chiralt, A., Fito, P., Serra, J., Escoin, C., & Gasque, L. (1996). Применение технологии осмотической дегидратации при переработке джема. Техника сушки, 14, 841–847.
- Ши, ХQ, и Фито, П. (1993). Вакуумно-осмотическая дегидратация плодов. Технология сушки, 11, 1429–1442.
- Ши, ХQ, Фито, П., и Киралт, А. (1995). Влияние вакуума лечение по массообмену при осмотической дегидратации плодов. Food Research International, 28, г. 445–454.
- Сималь С., Бенедито Дж., Санчес Е.С. и Росселло К. (1998). Использование ультразвук для увеличения скорости массопереноса во время осмотической дегидратации. Журнал пищевой инженерии, 36, 323–336.
- Слоан, ЕА (2002). Десять основных трендов функционального питания: Следующие поколение. Пищевые Технологии, 56, 32–57.
- Сормани А., Маффи Д., Бертоло Г. и Торреджиани Д. (1999). Текстурные и структурные изменения ломтиков клубники, замороженных дегидрофризом: влияние различных предварительных обезвоживания. Food Science and Technology International, 5, 479–485.
- Соуза, Р., Сальватори, Д., Андрес, А., и Фито, П. (1998). Анализ вакуумная пропитка банана (*Musa acuminata* резюме. Гигант Кавендиш). Food Science and Technology International, 4, г. 127–131.
- Sriazzi, E., & Mascheroni, R. (1997). Модель массопереноса для осмотической дегидратации фруктов и овощей - I. Разработка имитационной модели. Журнал пищевой инженерии, 34, 387–410.
- Таленс П., Эскриче И., Мартинес-Наваррете Н. и Киралт А. (2002). Изучение влияния осмотического обезвоживания и замораживания на профиль летучих веществ клубники. Журнал пищевой науки, 67, 1648–1653.
- Тапиа, М.С., Лопес-Мало, А., Консуэгра, Р., Корте, П., и Велти-Чейнс, Дж. (1995). Минимально обработанная папайя методом вакуумно-осмотической дегидратации (VOD). Food Science and Technology International, 5, 41–49.
- Тапиа, М.С., Ранирес, М.Р., Кастанон, Х., и Лопес-Мало, А. (1999, Июль). Стабильность минимально обработанной дыни (*Cucumis melon*, L.) при хранении и эффект лечения депрессией водной активности. №22Д-13. Представлено на ежегодном собрании IFT 1999 г., Чикаго, Иллинойс.
- Торреджиани, Д. (1993). Осмотическое обезвоживание фруктов и овощей обработка. Food Research International, 26, 59–68.
- Торреджиани, Д. (1995). Технологические аспекты осмотического обезвоживания употребление пищи. В GV Barbosa-Canovas, & J. Welti-Chanes (Eds.), Сохранение пищевых продуктов за счет контроля влажности. Основы и приложения (С. 281–304). Ланкастер: Technomic Publisher Co. Inc.
- Торреджиани Д. и Бертоло Г. (2001). Осмотическая предварительная обработка фруктов обработка: химические, физические и структурные воздействия. Журнал пищевой инженерии, 49, 247–253.
- Торреджиани Д., Форни Э. и Риццола А. (1987). Осмотический дегидратирование фруктов, Часть II: Влияние осмотического времени на стабильность обработанной вишни. Журнал пищевой промышленности и консервирования, 12, 27–44.
- Вальдес-Фрагосо, А., Мухика-Пас, Х., Жиру, Ф., и Велти-Чанес, Дж. (2002). Повторное использование сахарозного сиропа в экспериментальной осмотической дегидратации яблочных кубиков. Журнал инженерии пищевых процессов, 25, 125–140.
- Валле, Дж. М., Арангуис, В., и Леон, Х. (1998). Эффекты бланширования инфильтрация кальция на активность ППО, текстуру, микроструктуру и кинетику осмотической дегидратации ткани яблока. Food Research International, 31, 557–569.
- Вергара-Бальдерас, Ф., Сантакрус, В., Лопес-Мало, А., и Тапиа, М.С. (1998, июнь). Стабильность минимально обработанной дыни, полученной методом вакуумной дегидратации (VOD). №20А-1. Представлено на ежегодном собрании IFT 1998 г., Атланта, Джорджия.
- Велти-Чанес, Дж., Сантакрус, К., Лопес-Мало, А., и Веш-Эбелинг, П. (1998). Стабильность минимально обработанных сегментов апельсина, полученных методом вакуумной дегидратации. № 34Б-8. Представлено на ежегодном собрании IFT 1998 г., Атланта, Джорджия.
- Виньес, А.Г. (1968). Влияние концентрации сахара на давление паров летучих веществ пищевого запаха в водных растворах. Журнал пищевой науки, 33, 1–2.
- Се, Дж., и Чжао, Ю. (2003а). Питательная ценность свежего яблока (Royal Gala) методом вакуумной пропитки. Международный журнал пищевой науки и питания, 54, 387–398.
- Се, Дж., и Чжао, Ю. (2003б). Улучшение физико-химических и питательных качества замороженного марионетки путем предварительной пропитки в вакууме криопротекторами и минералами. Журнал садоводства и биотехнологии, 78, 248–253.
- Ян, округ Колумбия, и Магуэр, М.Л. (1992). Осмотическая дегидратация клубника в замкнутой системе рециркуляции. Журнал качества пищевых продуктов, 15, 387–397.