

ПОВРЕЖДЕНИЕ МЕМБРАН КЛЕТОК ПРИ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРИ РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ Понижения ДАВЛЕНИЯ

ПЕСНЯ СЯОЮН^{1,2} и ЮНФЕЙ ЛИ^{2,3}

¹Институт холода и криогенной инженерии, Шанхайский университет Цзяо Тонг, 800 Dongchuan, Шанхай 200240, Китай

²Департамент пищевых наук и технологий, Шанхайский университет Цзяо Тонг, 800 Дунчуань, Шанхай 200240, Китай

Корреспондент. ТЕЛ: +86 21 34206918; ФАКС: +86 21 34206918; ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЧТА : yfli@sjtu.edu.cn

Принята к публикации 7 ноября 2010 г.

DOI: 10.1111 / j.1745-4530.2011.00641.x

АННОТАЦИЯ

Чтобы исследовать повреждение клеточной мембраны, вызванное вакуумной обработкой при различных скоростях снижения давления, эпидермис лука подвергли трем различным скоростям снижения давления в миниатюрной экспериментальной установке с визуальным контролем и контролем нониуса. Результаты физических испытаний хорошо согласуются с результатом оптической микроскопии, которая показала, что обработка при средней скорости снижения давления привела к минимальным изменениям в промежутках между клеточной мембраной и клеточной стенкой, потере воды, относительной электропроводности, цвету и микромеханическим свойствам. Результаты экспериментов показали, что скорость снижения давления оказывает очевидное влияние на целостность клеточной мембраны эпидермиса лука, подвергнутого вакуумной обработке.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

В этой работе была проверена степень влияния различных уровней давления на целостность клеточной мембраны во время вакуумной обработки, которая, как было продемонстрировано, дает много преимуществ для пищевой промышленности. Это исследование может помочь пользователям выбрать подходящие рабочие параметры, спрогнозировать характеристики продуктов с вакуумным охлаждением, понять механизм вакуумной обработки и изучить конструкцию оборудования для вакуумного охлаждения.

ВСТУПЛЕНИЕ

Вакуумная обработка - эффективный метод, широко используемый для охлаждения некоторых сельскохозяйственных и пищевых продуктов (Ренни и другие. 2000; Ван и Сун 2002a, b, Хэ и Ли 2003; Cheng 2006; Цзинь и Сюй 2006; Сунь и Ван, 2006; Даои другие. 2006; Чжан и Сун 2006; Джекмани другие. 2007, Озтюрк и Озтюрк 2008). Эффективность вакуумной обработки зависит от рабочих параметров вакуумной системы охлаждения, таких как скорость снижения давления. Доступно лишь несколько отчетов о влиянии скорости снижения давления на процесс охлаждения и физико-химические характеристики образцов (Self и другие. 1990; Макдональд и Сан 2001; Ренни другие. 2001a, b, Brosnan and Sun 2003). По-прежнему существует много несоответствий между точками зрения о влиянии скорости снижения давления на вакуумную обработку. Кроме того, вышеупомянутое исследование в основном было сосредоточено на некоторых объектах

макроскопический уровень, такой как потеря массы, время охлаждения, распределение температуры и т. д.

Под вакуумом нарушается баланс между внутренним тургорным давлением растительной клетки, клеточной мембраной, клеточной стенкой и атмосферой. Вода в вакуолях будет испаряться и уходить в атмосферу через систему клеточных мембран, что может увеличить осмотическое давление клетки и повредить структуру клетки. Однако доступных экспериментальных данных недостаточно, чтобы сделать вывод о том, могут ли различные скорости снижения давления во время вакуумной обработки привести к повреждению структуры ткани на клеточном уровне.

Основная цель данной работы - оценить влияние скорости снижения давления на плазматическую мембрану эпидермиса лука. Были изучены относительная электрическая проводимость (REC), изменение веса, цвет и микромеханические свойства, которые связаны с целостностью клеточных мембран многих продуктов растительного происхождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Подготовка образца

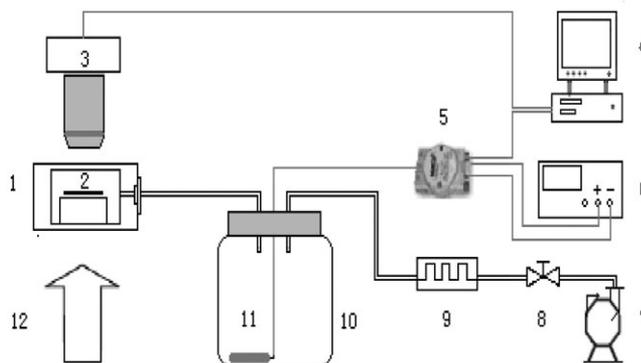
Свежий и полезный красный лук (*Allium cepa* L.) луковицы были куплены на местном рынке в Шанхае. Внешние коричневые бумажные основания листьев и нижележащие самые внешние мясистые основания листьев были удалены, и была выбрана вторая шкала ниже поверхности. Эпидермис разрежали хирургическим ножом на прямоугольные части и осторожно удаляли щипцами из экваториальной области внутренней (вогнутой) поверхности ткани. При механическом тестировании эпидермальные полоски размером примерно 30×5 мм были разрезаны в двух разных ориентациях: одна ориентация была параллельна сосудистым пучкам (продольные образцы), а другая была перпендикулярна сосудистым пучкам (поперечные образцы).

Эпидермальная ткань лука использовалась в качестве объекта исследования по следующим причинам. Его легко отделить от других тканей, и его можно разрезать на кусочки размера и формы, необходимых для эксперимента. Он состоит из одного слоя ячеек большого размера, которые легко описать геометрически. Его сотовую структуру можно наблюдать с помощью обычных оптических методов.

Экспериментальная установка

На рис. 1 показана экспериментальная установка, состоящая из миниатюрной вакуумной камеры на предметном столике микроскопа, преобразователя давления вакуума, системы вакуумной откачки и системы сбора данных.

Образцы наблюдали с помощью световой микроскопии (Leica DFC280, Гейдельберг, Германия) во время процессов вакуумной обработки при трех различных скоростях снижения давления: 3,61, 1,68 и 0,95 мбар / с. Серийные изображения снимались с интервалом 30 с камерой (Leica DM LB2), подключенной к



ИНЖИР. 1. СИСТЕМА МИКРОСКОПА (СЛЕВА) И СХЕМА СИСТЕМЫ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКИ (СПРАВА)

(1) Миниатюрная вакуумная камера; (2) образец; (3) видеокамера; (4) компьютер регистрации данных; (5) модуль сбора данных; (6) стабилизированный источник постоянного тока (24 В); (7) вакуумный насос; (8) клапан точной настройки высокого вакуума; (9) компрессорно-конденсаторный агрегат; (10) вакуумная камера; (11) датчик давления вакуума; (12) постоянный источник света.

микроскоп. Изображения были обработаны и проанализированы с использованием программного обеспечения для обработки изображений (Leica QWin, Кембридж, Великобритания). Преобразователь давления вакуума (NS-P-I1, TM, Шанхай, Китай) в режиме токового выхода (4–20 мА) был подключен к модулю сбора данных (ADAM-4018, Advantech, Тайвань) и компьютеру. При каждой степени снижения давления наблюдали десять образцов.

Контроль давления

Во время экспериментов давлению в камере позволяли упасть с нормального атмосферного давления до конечного значения (6 мбар). Скорость снижения давления моделировалась на основе функции экспоненциального затухания (Brosnan and Sun 2003):

$$p = p_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1)$$

куда p давление в камере (мбар), p_0 начальное давление (мбар), t время (а) начала эксперимента и τ - коэффициент, характеризующий скорость, с которой насос снижает давление в камере (с⁻¹).

Ценности τ составили 0,01860, 0,00867 и 0,00487 в данной работе, что соответствует быстрой, средней и медленной скоростям снижения давления соответственно (таблица 1). Давление менялось с изменением τ . Как только давление достигло 6 мбар, вакуум был сброшен, и образец был удален. Для каждой обработки использовали десять повторов. Изменение давления с течением времени для каждого значения представлено на рис.2.

Цветовой анализ

Использовался измеритель цветового различия (модель WSC-S, Shanghai Precision & Scientific Instrument Co., Ltd., Шанхай, Китай).

ТАБЛИЦА 1. ПРИМЕНИМОЕ СНИЖЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Уход	P_0 (мбар)	P_k (мбар)	Время (с)	Снижение давления	
				скорость (мбар / с)	β (ценности ⁻¹)
Быстро	1000	6	275	3,61	0,01860
Середина	1000	6	590	1,68	0,00867
Медленный	1000	6	1050	0,95	0,00487

P_0 , начальное давление; P_k , конечное давление.

для измерения изменения цвета эпидермиса лука.

Международная комиссия по освещению (CIE) L^* , a^* , b^*

координаты цветового пространства использовались для записи измерений цвета. Цвет был представлен с точки зрения L^* , a^* а также b^* значения, где L^* было 0 для черного и 100 для белого, a^* значения указаны от красного (+) до зеленого (-) и b^* значения указаны желтым(+) на синий (-). Кроме того, цветность (C^*) и угол оттенка (h_{sc}) рассчитывались по следующим уравнениям (Харборни *и другие*. 2009 г.).

$$C^*_{sc} = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

$$\text{знак равно} \left[(a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

Для каждой обработки было получено десять показаний.

Изменение веса

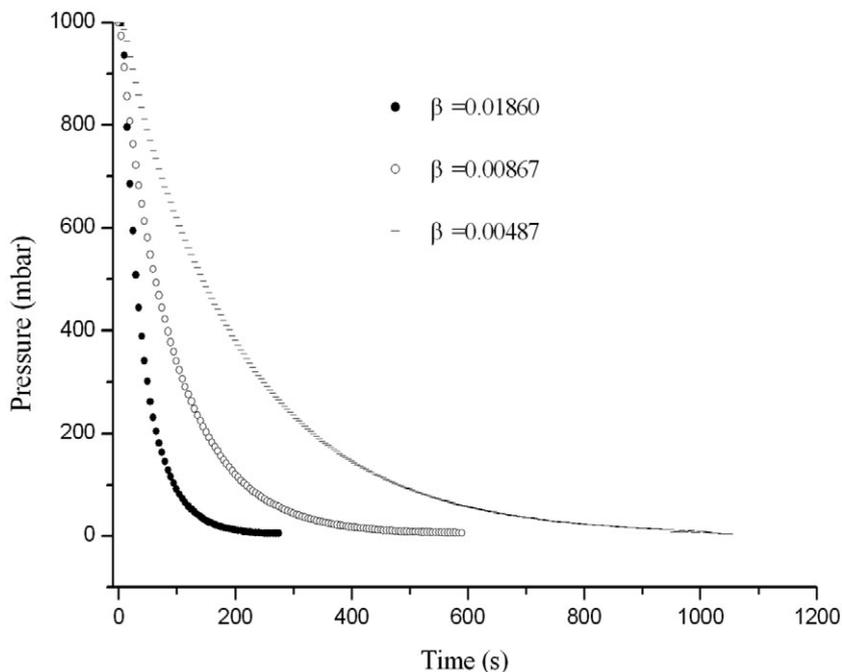
Водоотдачу образцов измеряли путем сушки образцов в сушильном шкафу с принудительной циркуляцией воздуха при 80 °С в течение 5 ч (Ю. и *другие*. 2002). Массу регистрировали до и после вакуумной обработки с помощью аналитических весов.

REC

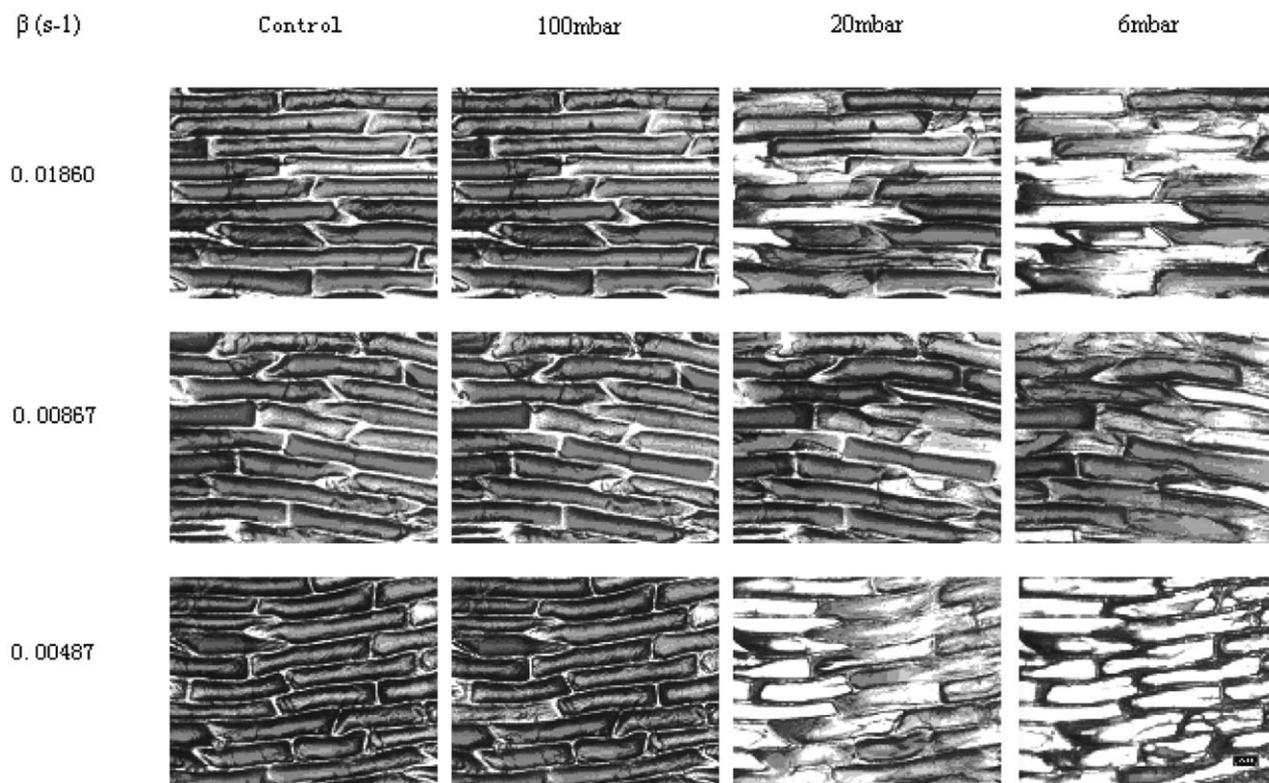
Утечку электролита выражали относительной скоростью утечки по методу Дэна. и *другие*. (2005) с небольшими изменениями. Взвешивание образцов с 0,4 г промывали деионизированной водой, осторожно промокали салфеткой для удаления избытка воды и затем погружали в химические стаканы на 25 мл с 20 мл деионизированной воды на 2 часа. Первоначальные утечки электролита из ломтиков лука определяли с помощью цифрового кондуктометра (FE30, Mettler Toledo, Columbus, OH). Образцы кипятили 30 мин и охлаждали до 25 °С для оценки общего электролита. Относительная утечка выражалась в процентах от общего количества электролитов. Было проанализировано десять повторов для каждой обработки.

Механические свойства

Испытания на прочность на разрыв проводили с использованием анализатора TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, UK) в соответствии с ASTM D882-00 (ASTM 2000) со скоростью испытания 0,05 мм / с. Образцы зажимали зажимами для растяжения с начальным расстоянием между двумя зажимами 20 мм. Были получены растягивающее напряжение (МПа) и деформация при разрыве (%).



ИНЖИР. 2. ГРАФИК ДАВЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ТРЕХ β ЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ



ИНЖИР. 3. СЫРЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛУКОВОГО ЭПИДЕРМИСА ПРИ 1000 (КОНТРОЛЬ), 100, 20 И 6 МБАР (МАСШТАБ СООТВЕТСТВУЕТ 500 ММ)

из кривых зависимости напряжения от деформации. Для каждой степени снижения давления использовали 10 продольных и 10 поперечных образцов.

Анализ данных

Был проведен дисперсионный анализ, и среднее разделение было определено с помощью критерия наименьшей значимой разницы ($p < 0.05$) с помощью программы SPSS 13.0 для Windows (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Необработанные изображения

На рис. 3 представлены типичные изображения эпидермиса лука при давлении 1000, 100, 20 и 6 мбар при трех степенях снижения давления. На уровне 100 мбар они не показывают очевидных изменений по сравнению со свежим образцом (контролем) при всех скоростях снижения давления. При давлении 20 мбар наблюдались незначительные изменения цвета эпидермиса лука; цвет некоторых клеток изменился с пурпурно-красного на белый. Из трех скоростей наименьшее изменение было обнаружено при умеренной скорости снижения давления ($b = 0,00867$), а наиболее заметное изменение наблюдалось при низкой скорости снижения давления ($b = 0,00487$). При давлении 6 мбар цвет большего количества отдельных ячеек изменился с пурпурно-красного на белый. Это

Было отмечено, что степень разрушения эпидермальной ткани лука при медленном снижении давления была достоверной ($p < 0,05$) отличается от такового с двумя другими степенями снижения давления; большинство внутриклеточных областей изменилось с пурпурно-красного на белый при медленной скорости снижения давления, тогда как при двух других скоростях некоторые внутриклеточные области остались красными, особенно при умеренной скорости снижения давления.

Цвет клеток во многом определяется антоцианом в вакуоли. Антоцианин - это органическая макромолекула, не проникаемая для мембран. В наших предварительных тестах был выбран эпидермис лука, чтобы проверить проницаемость мембран для антоциана во время осмотической дегидратации. Результаты показали, что вода вытягивается из клеток, уменьшая вакуоль и цитоплазму. Произошел плазмолиз, красные участки стали намного меньше, а антоцианы накапливались и оставались в вакуолях. Был сделан вывод, что в этом исследовании изменение цвета, возможно, имело место, когда произошло разрушение вакуоля и клеточной мембраны. Вакуумные процедуры с постоянным снижением давления в вакуумной камере вызывают изменения в пространственном распределении градиентов давления в ткани. Эпидермис лука имеет однослойную структуру, в которой клетки эпидермиса подвергаются прямому воздействию вакуума, что приводит к разрушению клеток и снижению тургорного давления. Кроме того, микронапряжения из-за переноса воды

ТАБЛИЦА 2. ВЛИЯНИЕ СНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ЦВЕТ ЛУКОВОГО ЭПИДЕРМИСА

Цвет	Перед вакуумной обработкой	После вакуумной обработки		
		b = 0,01860	b = 0,00867	b = 0,00487
L^*	20,57–1,3350 _a	44,70 - 0,0862 _b	38,97 - 0,0000 _c	48,54 - 0,0252 _d
a^*	25,75–1,0013 _a	16,67 - 0,2868 _b	17,43 - 0,0458 _c	13,24 - 0,3306 _d
b^*	5,64 - 0,2150 _a	1,29 - 0,1815 _b	1,84 - 0,1572 _c	0,53 - 0,0808 _d
c^*	26,37 - 0,9381 _a	16,72 - 0,2738 _b	17,52 - 0,0370 _c	13,25 - 0,3334 _d
$час^o$	12,38–0,9019 _a	4,42–0,6854 _b	6,03 - 0,5211 _c	2,27 - 0,2922 _d

Значения - средние 10 повторений - SD. Значительные отличия ($p < 0,05$) в одном ряду обозначаются разными буквами.

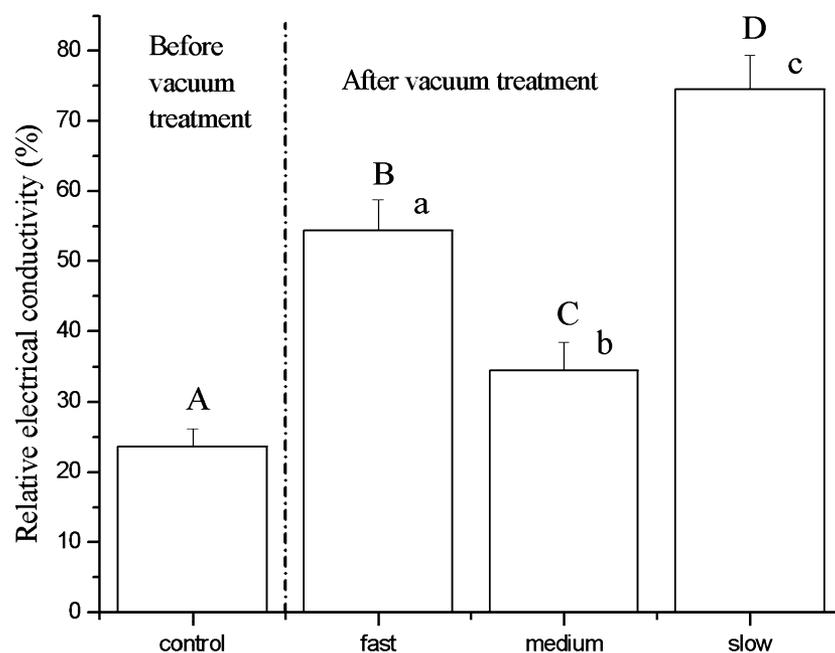
являются одной из основных причин, приводящих к разрыву клеток (мэри другие. 2008 г.). Настоящие результаты показали, что целостность клеточной мембраны эпидермиса лука была значительно нарушена ($p < 0,05$) за счет разной скорости снижения давления при вакуумной обработке.

Цветовой анализ

Изменения цвета эпидермиса лука при трех степенях снижения давления приведены в таблице 2. Образцы были светлее после вакуумной обработки, чем до вакуумной обработки (т.е. L^* ценить). Эпидермис свежего лука имел более высокий c^* значение (26,37), а образцы после обработки имели более низкую c^* значения, которые составили 16,72, 17,52 и 13,25 для быстрого, среднего и медленного снижения давления соответственно. Цветность - это мера чистоты или насыщенности цвета; поэтому была бы желательна низкая цветность по сравнению с микрофотографиями морфологии поверхности эпидермиса лука, сделанными под оптическим микроскопом (рис. 4). Таблица 2 также показывает, что цвет

значения для a^* , b^* а также $час^o$ были значительно уменьшены по сравнению со свежими образцами. Кроме того, среди трех скоростей снижения давления умеренная скорость привела к самому высокому a^* а также c^* значения и самые низкие L^* , b^* а также $час^o$ значений образцов, прошедших вакуумную обработку. Напротив, медленный темп привел к самому низкому a^* а также c^* значения и наивысший L^* , b^* а также $час^o$ значения. Это свидетельствует о значительном влиянии скорости снижения давления ($p < 0,05$) от цвета эпидермиса лука. Максимальное изменение наблюдалось при низкой скорости снижения давления, а минимальное изменение было обнаружено при умеренной скорости снижения давления.

Интенсивность цвета положительно коррелирует с концентрацией антоцианов (Nørbæk и другие. 1998). В этой работе система клеточных мембран может быть повреждена, что приведет к искажению цвета. Результаты показали, что на целостность клеточной мембраны эпидермиса лука влияет вакуумная обработка, а степень воздействия зависит от скорости снижения давления. Из трех степеней снижения давления как медленная, так и быстрая вакуумная обработка привели к заметному разрушению,



ИНЖИР. 4. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ (%) ЛУКОВОГО ЭПИДЕРМИСА. БЫСТРОЕ, СРЕДНЕЕ И МЕДЛЕННОЕ СНИЖЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, соответствующее б ОТВЕТСТВЕННО ЗНАЧЕНИЯ 0,01860, 0,00867 И 0,00487. ДЛЯ КАЖДОГО ДАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬ СНИЖЕНИЯ, значения, следующие РАЗЛИЧНЫМИ БУКВАМИ (A - D) и (a - c), УКАЗЫВАЮТ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ ($p < 0,05$, p знак равно 10)

б ценности (-)	Изменения промежутков между клеточной мембраной и клеточной стенкой (%)			
	Контроль*	100 мбар	20 мбар	6 мбар
0,01860	100	97,76–2,1425 _a	50,37–4,1987 _a	40,46–3,8354 _a
0,00867	100	95,64 - 2,5 5 · 10 _a	55,87–5,5124 _b	54,11–4,8875 _b
0,00487	100	98,23–2,1002 _a	32,23 - 6,3 · 107 _c	14,57–5,5268 _c

* Пространства между клеточной мембраной и клеточной стенкой до вакуумной обработки (принимается за 100%). Значения - средние 10 повторений - SD. Значительные отличия (при $p < 0,05$) в одном столбце обозначаются разными буквами.

в то время как средняя обработка нанесла меньший ущерб. Можно предположить, что обработка с умеренной скоростью снижения давления дает лучшие результаты.

Пространства между клеточной мембраной и клеточной стенкой

В таблице 3 показано влияние скорости снижения давления на промежутки между клеточной мембраной и клеточной стенкой, которые были проанализированы с использованием программного обеспечения для обработки изображений (Leica QWin). Для каждой степени снижения давления использовали десять образцов. Пространства немного уменьшились, когда давление снизилось со стандартного атмосферного давления (контроль) до 100 мбар, и не было никаких существенных различий ($p > 0,05$) среди различных скоростей снижения давления. Уменьшение пространства было очень значительным, когда давление снизилось со 100 мбар до 20 мбар. Для трех значений 0,01860, 0,00867 и 0,00487, промежутки уменьшились с 97,35, 94,63 и 98,11% до 51,52, 56,32 и 31,66% ($p < 0,05$) соответственно. При 6 мбар зазоры, вызванные тремя степенями снижения давления, достигли своих конечных значений, которые составили 39,95, 54,54 и 12,26% ($p < 0,05$) соответственно.

При понижении давления в вакуумной камере с помощью вакуумного насоса разница между окружающей атмосферой и тургорным давлением в образце, помещенном в камеру, постепенно увеличивалась, что приводило к увеличению силы, действующей на плазматическую мембрану. Следовательно, движущая сила градиента тургорного давления вызывала набухание клеток, что приводило к уменьшению промежутков между клеточной мембраной и клеточной стенкой. Текущие результаты показали, что степень уменьшения промежутков между клеточной мембраной и клеточной стенкой зависит от скорости снижения давления; самое значительное изменение

наблюдалось при низкой скорости снижения давления, а наименьшее изменение было обнаружено при умеренной скорости снижения давления.

Изменение веса

Можно видеть, что скорость снижения давления имела замечательный эффект ($p < 0,05$) от потери воды обработанным эпидермисом лука (таблица 4).

Для максимально медленной вакуумной обработки ($b = 0,00487$), наибольшие потери массы и воды составили 81,47 и 97,90% соответственно. Минимумы массы и потери воды найдены при скорости снижения давления с значением 0,00867, что составило примерно 16,65 и 20,53% соответственно. По сравнению с быстрым и медленным снижением давления, потеря массы и воды при средней скорости снижения давления заметно уменьшилась. Это значительное уменьшение массы и потери воды может быть полезным для сохранения большей свежести и качества. Результаты показали, что потерю массы можно контролировать, регулируя вакуум.

Основным недостатком вакуумного охлаждения является потеря веса из-за удаления влаги, что теперь можно объяснить разрывом ячеек в этом исследовании. Распространение воды в ткани стало легче, когда цитоплазма и мембраны вакуолей были разрушены.

REC

На рис. 4 показаны изменения КВЭ при различных скоростях снижения давления. НОК существенно различались ($p < 0,05$) до и после вакуумной обработки. Например, исходное значение REC эпидермиса лука составляло 23,67%; после вакуумной обработки значения REC при быстром, умеренном и медленном снижении давления составили 54,47, 32,45 и

ТАБЛИЦА 3. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ Понижения ДАВЛЕНИЯ НА ПРОСТРАНСТВА МЕЖДУ МЕМБРАНОЙ ЯЧЕЙКИ И СТЕНКОЙ ЯЧЕЙКИ

ТАБЛИЦА 4. ВЛИЯНИЕ СНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ВЕСА ЛУКОВОГО ЭПИДЕРМИСА

б-ценности (-)	I_0 (10 г грамм)	I_1 (10 г грамм)	I_2 (10 г грамм)	$D I_{I_0}$ (%)	$D I_{I_2}$ (%)
0,01860	124,13 - 2,442 _a	56,09 - 6,167 _a	22,16 - 3,134 _a	54,86–4,162 _a	66,74 - 4,194 _a
0,00867	127,83 - 2,120 _a	106,53 - 0,642 _b	24,13 - 1,253 _a	16,65 - 1,631 _b	20,53 - 2,182 _b
0,00487	125,30 - 0,700 _a	23,23 - 2,334 _c	21,04 - 2,060 _a	81,47–1,772 _c	97,90 - 0,956 _c

I_0 , исходная масса образца; I_1 , масса образца после вакуумной обработки; I_2 , масса образца после вакуумной обработки с последующим запеканием в сушильном шкафу при 80 ° C в течение 5 ч; $D I_{I_0}$ знак равно $(I_0 - I_1) / I_0 \times 100\%$ / I_0 , процент потери массы образца; $D I_{I_2}$ знак равно $(I_0 - I_2) / I_0 \times 100\%$ / $(I_0 - W_{в})$, процент потери массы образца. Значения - средние 10 повторений - SD. Значительные отличия (при $p < 0,05$) в одном столбце обозначаются разными буквами. (p знак равно 10).

ТАБЛИЦА 5. ВЛИЯНИЕ СНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛУКОВОГО ЭПИДЕРМИСА

Переменная	Ориентация	Перед вакуумной обработкой	После вакуумной обработки		
			b = 0,01860	b = 0,00867	b = 0,00487
Напряжение (МПа)	Продольный	2,490 - 0,1890 _a	1,870 - 0,2447 _б	2,353 - 0,1481 _a	2,291 - 0,1354 _a
	Поперечный	1,725 - 0,2694 _a	0,856 - 0,0821 _б	1,547 - 1,5470 _a	1,467 - 0,3427 _a
Напряжение (%)	Продольный	26,278 - 0,2517 _a	7,378 - 0,4042 _б	2,271 - 0,2918 _с	2,412-0,1528 _{сd}
	Поперечный	27,345-2,3000 _a	11,944-1,1540 _б	4,359 - 0,2254 _с	4,578 - 0,4509 _{сd}

Значения - средние 10 повторений - SD. Значительные отличия (при $p < 0,05$) в одном ряду обозначаются разными буквами. Толщина образцов 0,10 - 0,00 мм. (p знак равно 10).

68,54% соответственно. Это свидетельствовало о серьезном повреждении клеточной мембранной системы. Кроме того, степень разрушения структуры эпидермиса лука была связана со скоростью снижения давления. Из трех скоростей снижения давления обе медленные ($b = 0,00487$) и быстрые темпы снижения давления ($b = 0,01860$) привели к серьезным повреждениям; повреждение было особенно серьезным при низкой скорости снижения давления, в то время как умеренная скорость снижения давления ($b = 0,00867$) привело к незначительным повреждениям.

Изменение утечки электролитов является важным показателем целостности плазматической мембраны клеток (Deng и другие. 2005). Разрушение и повреждение клеточных мембран изменяет проницаемость, что приводит к потере электролитов. Такое поведение проводимости вполне может отражать изменение цвета (рис. 3) во время вакуумной обработки.

Механические свойства

Механические свойства - важный атрибут качества многих фруктов и овощей (Vanstreels и другие. 2005). Изменения механических свойств образцов, обработанных с различной скоростью снижения давления, показаны в таблице 5. Напряжение в любой ориентации при высокой скорости снижения давления после вакуумной обработки было меньше, чем до вакуумной обработки ($p < 0,05$); однако никаких существенных различий до и после вакуумной обработки для средних и медленных скоростей снижения давления не наблюдалось ($p > 0,05$). Что касается деформации как в продольной, так и в поперечной ориентации, существенные различия наблюдались до и после вакуумной обработки с тремя различными степенями снижения давления ($p < 0,05$).

Взаимосвязь между механическими свойствами и структурными параметрами клетки (клеточная мембрана, клеточная стенка и тургорное давление) исследовалась рядом исследователей (Zhu and Melrose 2003; Vanstreels и другие. 2005; Эй и другие. 2007). Однако отсутствуют отчеты о влиянии скорости снижения давления на микромеханические свойства эпидермальной ткани лука, подвергнутой вакуумной обработке. Текущее исследование показало, что из трех скоростей снижения давления как напряжение, так и деформация в любой ориентации при высокой скорости снижения давления заметно отличаются от таковых при двух других скоростях снижения давления ($p < 0,05$), и никаких явных различий между средним и медленным вакуумом не наблюдалось.

Из таблицы 5 видно, что на механическое поведение эпидермиса лука повлияла разная скорость снижения давления во время вакуумной обработки.

ВЫВОДЫ

Изменение скорости снижения давления оказало очевидное влияние на морфологию поверхности, промежутки между клеточной мембраной и клеточной стенкой, массу, REC, цвет и механические свойства. Все эти показатели могут в основном отражать повреждение клеточной мембраны. Из трех степеней снижения давления обработка с медленной и быстрой скоростью снижения давления привела к заметным эффектам на целостность клеточной мембраны эпидермиса лука, в то время как обработка со средней скоростью снижения давления вызвала меньший ущерб. Можно предположить, что обработка с умеренной скоростью снижения давления дала относительно хорошее качество.

Эпидермис лука имеет однослойную структуру, в которой клетки эпидермиса непосредственно подвергаются воздействию вакуума. Различные скорости снижения давления приводили к изменению скорости испарения воды и распределения давления в тканях. Следовательно, микростресс, действующий на структуру ткани, варьировался из-за переноса воды и градиентов давления, что приводило к разной степени повреждения клеточной мембраны. Для более глубокого понимания поведения тканей при различных скоростях снижения давления в нашей будущей работе необходима более подробная микромеханическая модель.

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ

Это исследование финансировалось Национальным фондом естественных наук Китая (№ 30771504).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ASTM. 2000. Стандартный метод испытания свойств на растяжение тонких полиэтиленовая пленка. Обозначение: D882-00. ВАННА. Книга стандартов ASTM, pp. 160-168, ASTM, Philadelphia, PA. BROSANAN, T. и SUN, DW 2003. Влияние модулированного вакуумного охлаждения от скорости охлаждения, потери массы и срока годности срезанных цветов лилии. Биосист. Англ.86, 45-49.

- CHENG, HP 2006. Вакуумное охлаждение в сочетании с гидроохлаждение и вакуумная сушка побегов бамбука. Прил. Thermal Eng. 26, 2168–2175.
- ДЭНГ, Ю., В.У., Ю. и Л.И., Ю.Ф. 2005. Влияние высоких уровней O₂ на послеуборочное качество и срок хранения столового винограда при длительном хранении. Евро. Food Res. Technol. 221, 392–397.
- HARBOURNE, N., JACQUIRE, JC, O'RIORDAN, D. 2009. Оптимизация условий добычи и обработки ромашки (*Ромашка ромашка* L.) для добавления в напиток. Food Chem. 115, 15–19.
- HE, SY и LI, YF 2003. Теоретическое моделирование вакуума охлаждение сферических продуктов. Прил. Thermal Eng. 23(12), 1489–1501.
- JACKMAN, P., SUN, DW и ZHENG, LY 2007. Эффект комбинированное вакуумное охлаждение и охлаждение обдувом, что снижает время обработки и потери при охлаждении крупных вареных говяжьих кусков. J. Food Eng. 81 год, 266–271.
- JIN, TX и XU, L. 2006. Численное исследование производительности вакуумный охладитель и явления испарения – кипения при вакуумном охлаждении вареного мяса. Energy Convers. Manag. 47, 1830–1842 гг.
- МЭР, Л., ПИССАРРА, Дж. И СЕРЕНО, А. М. 2008. Изменения микроструктуры при осмотической дегидратации паренхиматозной ткани тыквы. J. Food Eng. 85, 326–339.
- MCDONALD, K. и SUN, DW 2001. Влияние скорости эвакуации о процессе вакуумного охлаждения вареного говяжьего продукта. J. Food Eng. 48, 195–202.
- НЁРБЭК Р., КРИСТЕНСЕН Л.П. и БРЕНДТ К. 1998. An ВЭЖХ исследование окраски цветков и селекция антоцианов у видов и гибридов альстромерий. Порода растений. 117, 63–67.
- ОЙ, М.Л., ВАНСТРИЛС, Э., ДЕ БАЭРДЕМАКЕР, Дж., TIJSKENS, E., RAMON, H., HRTOG, MLATM и NICOLĀ, B. 2007. Влияние тургора на микромеханические и структурные свойства ткани яблока: количественный анализ. Послеуборочная биол. Technol. 44, 240–247.
- OZTURK, HM и OZTURK, HK 2008. Влияние давления на вакуумное охлаждение салата айсберг. Int. J. Холодильное оборудование, 1-9.
- РЕННИ, Т.ДЖ., РАГАВАН, GSV и ВИНЬО, К. 2000. Определение холодопроизводительности продукта при вакуумном охлаждении салата. Прил. Англ. Agric. 16, 459–464.
- РЕННИ, ТДЖЕЙ, РАГХАВАН, GSV, ВИНЬО, К. и ГАРИЕПЫ Ю. 2001а. Вакуумное охлаждение салата с различной степенью снижения давления. Пер. ASAE 44, 89–93.
- РЕННИ, Т.Д., ВИНЬО, К., РАГАВАН, GSV и ДЕЛЛ, JR 2001b. Влияние скорости снижения давления на качество салата, охлажденного под вакуумом, во время хранения. Жестяная банка. Биосист. Англ. 43 год, 339–343. SELF, KP, NUTE, GR, BURFOOT, D. и MONCRIEFF, CD 1990. Влияние варки под давлением и изменения давления во время охлаждения в вакууме на качество и выход куриной грудки. J. Food Sci. 55, 1531–1535, 1551.
- SUN, DW и WANG, LJ 2006. Разработка математическая модель вакуумного охлаждения колбасных изделий. J. Food Eng. 77(3), 379–385.
- ТАО, F., ZHANG, M., HANG, QY and JIN, CS 2006. Влияние различные условия хранения по химическим и физическим свойствам белых грибов после охлаждения в вакууме. J. Food Eng. 77, 545–549.
- ВАНСТРИЛС, Э., АЛАМАР, МС, ВЕРЛИНДЕН, БЭ, ENNINGHORST, A., LOODTS, JKA, TIJSKENS, E., RAMON, H. и NICOLĀ, BM 2005. Микромеханическое поведение эпидермальной ткани лука. Послеуборочная биол. Technol. 37, 163–173.
- WANG, LJ and SUN, DW 2002a. Моделирование вакуумного охлаждения процесс приготовления мяса. Часть 1. Анализ вакуумной системы охлаждения. Int. J. Холодильное оборудование 25, 854–861.
- WANG, LJ and SUN, DW 2002b. Моделирование вакуумного охлаждения процесс приготовления мяса. Часть 2. Массо- и теплообмен приготовленного мяса под вакуумом. Int. J. Холодильное оборудование 25, 862–871.
- Ю, Л.Д., ФАНЧЕЙСРИ, Б., АПАВАТДЖРУТ, П., ANUNTALAVHOSNAI, S., VILAITHONG, T. и BROWN, IG 2002. Некоторые исследования эффектов ионной бомбардировки на поверхности стенок растительных клеток. Прибой. Покрытия Технол. 158–159, 146–150.
- ZHANG, ZH и SUN, DW 2006. Влияние методов охлаждения на эффективность охлаждения и качество приготовленных ломтиков брокколи и моркови. J. Food Eng. 77, 320–326.
- ZHU, HX и MELROSE, JR 2003. Зависящие от времени аспекты механические свойства растений и вегетативных тканей. J. Mater. Sci. 38, 2489–2498.