

**Природа прочности растительной ткани
с позиций селективной дезинтеграции**

С.Д.Руднев, А.В. Грачев, Е.А. Лавринова

sdrudnev@yandex.ru

Кемеровский технологический институт пищевой
промышленности

Дезинтеграция растительной ткани (дробление и измельчение) - процесс образования новой поверхности в растительной ткани – один из наиболее распространенных и древних процессов, осуществляемых человеком. Выявление природы прочности растений и целенаправленное ее разупрочнение в процессе разрушения позволит создавать энергосберегающие высокоэффективные технологии, модернизировать существующие технологические процессы, получать полуфабрикаты и продукты с новыми потребительскими свойствами.

Ключевые слова: растительная ткань, селективное разрушение, адгезия, когезия, биополимеры, классификация.

Strength of plant tissue from the standpoint of selective disintegration

Rudnev S.D., Grachev A.V., Lavrinova E.A.

sdrudnev@yandex.ru

Kemerovo Technological Institute of the Food Industry

The disintegration of plant tissue (crushing and grinding) – is the formation of new surface in the plant tissue - one of the most common and ancient processes carried out by man. Identifying the nature and strength of plants targeted its softening in the process of destruction would create a highly energy-efficient technology, modernize existing processes, to obtain semi-finished products with new consumer properties.

Большинство технологических процессов переработки растительного сырья связано с его дезинтеграцией (разрушением). Развитие технологии потребовало новых подходов и методов дезинтеграции растительной ткани. Одним из них является селективное разрушение – процесс, в результате которого продукты разрушения легко разделяются по компонентному составу [1]. Всякое разрушение связано с преодолением прочности

материалов, из которых состоят тела. Научный подход к проблеме селективной дезинтеграции невозможен без полного представления природы прочности растительной ткани.

Высшие растения состоят из клеток, которые, несмотря на микроскопически малую величину, имеют очень сложное строение. Высокая степень организации клеток выражается в бесконечном разнообразии процессов, совершающихся в них, результатом чего является огромное количество химических веществ, добываемых из продуктов растительного происхождения. Клетки растений имеют твердые, нерастворимые в воде, клеточные стенки, которые придают клетке определенную форму, ограничивают размер клетки, защищают протопласт, противостоят внутриклеточному тургорному давлению, которое составляет 0,5...1,0 МПа и препятствуют разрыву клетки. Клеточные стенки, являясь внутренним скелетом растения, обеспечивают его механическую прочность [2].

Клеточные оболочки состоят преимущественно из целлюлозы или клетчатки – углевода типа полисахарида с эмпирической формулой $C_6H_{10}O_5$. В клеточной стенке линейные очень длинные (несколько микрометров) молекулы целлюлозы собраны в пучки – мицеллы, которые в свою очередь, объединяются в фибриллы – тончайшие (1,5...4 нм) волоконца неопределенной длины. Целлюлоза образует многомерный каркас, который погружен в аморфный, сильно обводненный матрикс из нецеллюлозных углеводов: гемицеллюлоз и примеси пектиновых веществ. Каркасные фибриллы целлюлозы, молекулы гемицеллюлоз и протопектина матрикса связаны друг с другом ковалентными сшивками и слабыми взаимодействиями различной природы в единую сложную структуру. В ней молекулы гемицеллюлоз связаны с поверхностью целлюлозных микрофибрилл водородными связями [3]. Микрофибриллы клетчатки эластичны и по прочности на разрыв сходны со сталью. Полисахариды матрикса определяют такие свойства стенки, как высокая проницаемость для воды, растворенных мелких молекул и ионов, сильная набухаемость [4]. На долю матрикса приходится до 60% сухого вещества оболочек, а на долю скелетного вещества – целлюлозы – всего 30%, остальные 10% составляют белки, липиды и другие вещества. Прочность клеточной стенки обуславливает целлюлоза. В клеточной стенке присутствуют белки: во-первых, это ферменты, участвующие в ее синтезе, во-вторых, белки, защищающие клетку от инфекции путем разрушения оболочки и самой клетки патогена (хитиназы, протеазы). Для клеточной оболочки специфичен белок экстензин, богатый аминокислотой пролином.

Стенки соседних клеток скреплены межклеточным веществом – срединной пластинкой. Срединная пластинка – единый слой, общий для двух соседних клеток. Срединная пластинка состоит из протопектина, она менее обводнена, в ней могут присутствовать молекулы лигнина (в тканях, клетки которых одревесневают) [5]. Межклеточные пространства заполнены органическим веществом, которое скрепляет клетки между собой. Состав этого вещества зависит от природы растительной ткани, ее нахождения в тех или иных морфологических структурах растения, но всегда в межклетниках находятся либо белки, либо пектины как связующие вещества растительной ткани. Между периферийными белками мембран клеток и веществами межклетников существуют устойчивые межмолекулярные связи, в которых непосредственно участвуют молекулы воды. Глобулы белка удерживают воду пептидными связями – $CO - NH$ – (одну молекулу H_2O), аминными группами – NH_2 – (одну молекулу H_2O), карбоксильными группами – $COOH$ – (четыре молекулы H_2O). Другой полюс диполя воды удерживается соседней макромолекулой. Таким образом, межмолекулярная связь в межклеточных областях является преимущественно водородной. Энергия водородной связи составляет значение порядка 40 кДж/моль. Обезвоживание приводит к слипанию глобул белка, т.е. установлению поперечных связей между макромолекулами без участия молекул воды. Пектины обладают структурой с ограниченной гибкостью, стабилизируемой водородными и гидрофобными связями [4]. Растворимый пектин находится в межклеточных слоях ткани зрелых плодов. Молекулы пектина в воде легко ассоциируются друг с другом, либо с крупными молекулами сопутствующих веществ. Так же, как и в случае с белком, пектин устанавливает с соседними молекулами водородные связи. Таким образом, поверхностные белки клеточных мембран могут взаимодействовать с белками соседней мембраны как непосредственно, так и с участием молекул воды и веществом межклетников, содержащим белки либо пектины.

Один из типов межклеточного взаимодействия – это простой контакт. Простые контакты занимают наиболее обширные участки соприкасающихся клеток. Расстояние между билипидными мембранами соседних клеток составляет 15-20 нм, а связь между клетками осуществляется за счет взаимодействия макромолекул соприкасающихся гликокаликсов (клеточных оболочек). Посредством простых контактов осуществляется слабая механическая связь – адгезия, не препятствующая транспорту веществ в межклеточных пространствах. Разновидностью простого контакта является контакт "типа замка", когда плазмолеммы соседних клеток вместе с участком

цитоплазмы как бы впячиваются друг в друга (интердигитация), чем достигается большая поверхность соприкосновения и более прочная механическая связь.

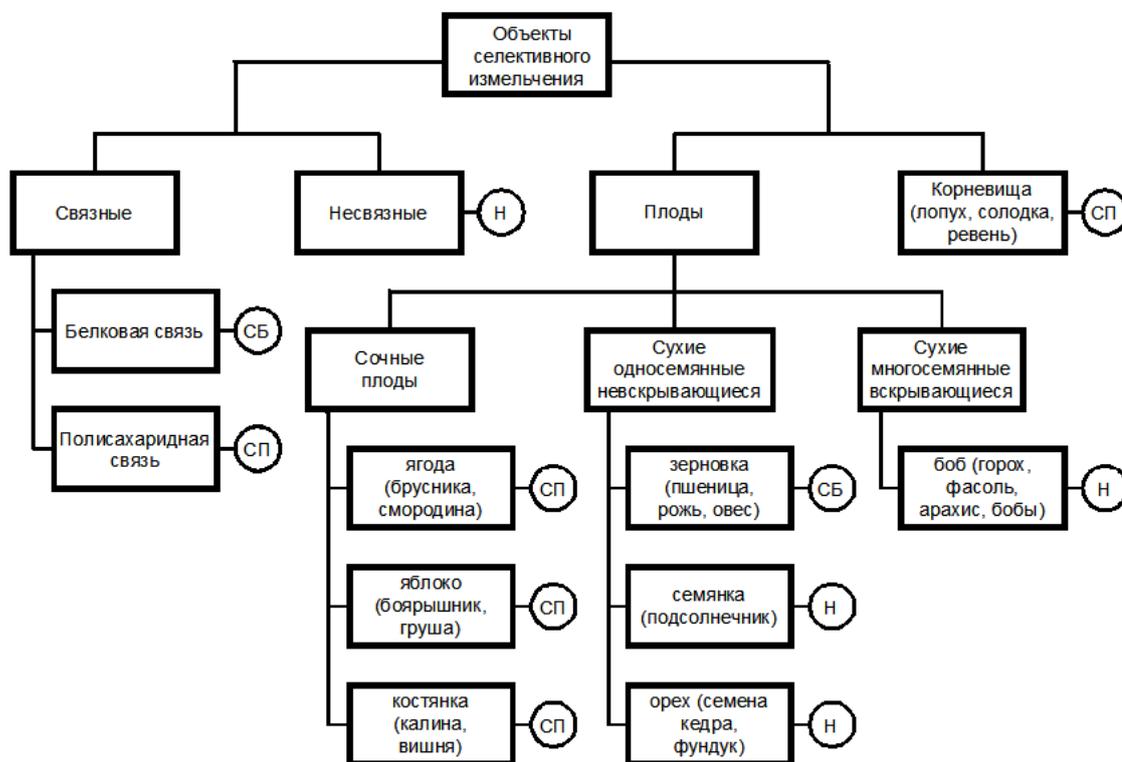
Объекты переработки растительного происхождения чаще всего в нативном состоянии представляют собой коагуляционные дисперсные системы, влага в которых находится во всех формах связи с макромолекулами биополимеров. Но эти формы бывают ограничены химической и физико-химической связями, например для злаковых. Механическое обезвоживание либо сушка создают условия для перехода структур из коагуляционных, когда поверхностное взаимодействие микроструктур, в частности – растительных клеток, осуществляется адгезионно (дисперсная фаза – дисперсионная среда), в конденсационно-кристаллизационные [6]. Прочность обезвоженного растительного сырья определяется когезионным поверхностным взаимодействием его макроструктур и «кирпичиков» (опять же – частично обезвоженных растительных клеток).

Литературный анализ морфологии и состава растительного сырья позволил выявить наличие или отсутствие внутренней структурной связи между морфологическими структурами. Классификация растительного сырья представлена на рисунке 1. В основу градации растительных объектов положено два признака: анатомически-морфологический (правая часть схемы) и характер связности морфологических структур (левая часть схемы). Окончания СП, СБ и НС связывают две части схемы воедино. На схеме: Н – несвязные структуры, СБ – структуры, связанные белками, СП – структуры, связанные полисахаридами (в первую очередь – пектином).

Из анализа строения и состава растительной ткани, а также проведенной классификации следует, что необходимыми для расчётов оборудования параметрами сырья при механической переработке (селективной дезинтеграции – дроблении и измельчении) являются поверхностная энергия и адгезионная прочность веществ, соединяющих растительные структуры, (белки или пектины) с учётом их влагосодержания.

Рисунок 1 - Классификация растительного сырья по характеру поверхностных взаимодействий между структурами

Следовательно, задача определения внутренней прочности в дисперсных



системах растительного происхождения, а также прочности их взаимодействия с поверхностями рабочих органов машин и аппаратов сводится к определению удельной поверхностной энергии дисперсных систем, содержащих биополимеры и влагу в различной концентрации.

Интенсификация и повышение качества дезинтеграционных процессов растительной ткани возможны при направленном адгезионном разупрочнении между морфологическими структурами, ослаблении межклеточных взаимодействий в растительных объектах переработки. На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие пути.

1. Биохимический: пектиновые вещества межклетных пластинок нередко претерпевают химические изменения и под действием энзимов разрушаются, после чего клетки разъединяются: такое явление происходит, например, при созревании сочных плодов (арбузов, груш и др.). Такое разрушение межклеточного вещества и разъединение тканей на отдельные клетки носит название мацерации (от лат. *maceratio* – размягчение) [7]. Этот путь представляется наиболее проблемным, так как требует точной технологической настройки и подбора взаимодействующих веществ, происходит необратимое изменение основных биополимеров растительной ткани.

2. Снижение прочности адгезионного взаимодействия растительных структур насыщением водой (размачивание): влага повышает подвижность связей, снижает энергию поверхностных взаимодействий, замещая более прочные связи межмолекулярными водородными [8, 9]. При таком понижении адгезионной прочности целесообразно получать пюреобразные стерилизованные продукты с заданной концентрацией сухих веществ, минуя стадию высушивания с целью консервации, или же низкотемпературного хранения. Для таких материалов как семена злаковых насыщение влагой (отволаживание) приводит к формированию сложного напряженного состояния в поверхностях адгезионного взаимодействия морфологических структур, что является основой их селективной дезинтеграции.

3. Тепловое разупрочнение межструктурных поверхностных взаимодействий. Тепловая энергия вызывает деструкцию биополимеров, молекулы воды высвобождаются из поперечных мостиков макромолекул, Наиболее перспективным методом теплового разупрочнения, по мнению автора, является воздействие на растительную ткань полями СВЧ, непосредственно повышающее кинетическую энергию молекул воды, что приводит к их высвобождению, растительная ткань «разжижается».

4. Адгезионное разупрочнение путём изменения агрегатного состояния воды в объектах переработки: замораживание до температур ниже криоскопических (вплоть до криогидратных), при этом молекулы воды выходят из связанного с биополимерами состояния и образуют кристаллы льда; взрывное парообразование (в частности - экструзионные технологии), когда межструктурная влага при резком сбросе внешнего давления испаряется и разрывает связи в объектах дезинтеграции изнутри, резко расширяясь. При таких способах обработки в определенных технологических режимах могут разрушаться все клеточные мембраны, что повышает доступность внутриклеточных веществ.

5. Обезвоживание растительной ткани до такой влажности, когда адгезионное взаимодействие практически исчезнет и заместится когезионным, более слабым; либо механическим сцеплением между структурами, в таком состоянии обеспечивается высокое качество селективной дезинтеграции, когда образование новой поверхности в объектах разрушения проходит по границам взаимодействий различных морфологических структур.

6. Вибрационное разупрочнение адгезионного взаимодействия [10]. При вибрационном разупрочнении необходимо стремиться создать максимально

высокую частоту колебаний рабочего органа при малой амплитуде, тогда направленно снижается именно адгезионная прочность между морфологическими структурами и растительная ткань разрушается селективно и с минимальными затратами энергии.

Целенаправленное применение перечисленных методов адгезионного разупрочнения растительной ткани позволит создавать энергосберегающие высокоэффективные технологии, модернизировать существующие технологические процессы, получать полуфабрикаты и продукты с новыми потребительскими свойствами.

Список литературы

1. Руднев, С.Д. О селективности разрушения материалов [Текст] /С.Д.Руднев, Д.В.Клеников//Научное обозрение.-2006. №1.-С.70-73.
2. Андреева, И.И. Ботаника [Текст] / И.И. Андреева, Л.С. Родман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1999. – 488 с.
3. Донченко, Л.В. Технология пектина и пектинопродуктов: учеб. Пособие [Текст] / Л.В. Донченко. – М.: ДеЛи, 2000. –256 с.
4. Абрамова, Л.И. Анатомия, морфология и систематика растений [Текст] / Л.И. Абрамова, Н.А. Березина. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 131 с.
5. Семенов, И.Л. Физиолого - биохимические исследования поверхности растительных клеток [Текст] / И.Л. Семенов, Э.И. Выскребенцева // Новые направления в физиологии растений. – М.: Наука, 1985. – 288 с.
6. Попов, А.М. Физико-химические основы технологий полидисперсных гранулированных продуктов питания [Текст] / А.М. Попов. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2002. – 324 с.
7. Биохимия растительного сырья [Текст] / В.Г. Щербаков, В.Г. Лобанов, Т.Н. Прудников и др., под ред. В.Г. Щербакова.- М.: КолосС, 1999. – 376 с.
8. Руднев, С.Д. Термодинамический подход к определению прочности взаимодействия биологических дисперсных структур [Текст] /С.Д. Руднев, О.С. Карнадуд// Хранение и переработка сельхозсырья. -2009.–№4.-С.12-15.
9. Руднев, С.Д. Поверхностные свойства межклеточного вещества растительного сырья [Текст] / С.Д. Руднев, А.М. Попов, Е.А. Шелеметева // Известия вузов. Пищевая технология, №4, 2009. С.17-19.
10. Руднев, С.Д. Моделирование процесса селективного разрушения двухкомпонентных тел в конусном виброизмельчителе [Текст] / С.Д.Руднев, Д.В.Клеников // Вестник молодых ученых. - 2004. - №8. - Серия: Технические науки. - 2004. - №2. - С.33-38.