

Влияние электрофизической обработки на структуру масличных материалов с применением X-ray микротомографии

Иван А. Шорсткий¹ i-shorstky@mail.ru

Дмитрий А. Худяков¹ dima.khudykov.1995@mail.ru

¹ Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350042, Россия

Реферат. В данной работе проведен анализ морфологической капиллярно-пористой структуры масличного материала с использованием X-ray микротомографии в продольном и поперечном разрезе и FESEM-анализ поверхностной микроструктуры после электрофизической обработки. Экспериментальные данные получены на базе Института исследования материалов и инженерии (Institute of Materials research and engineering) (респ. Сингапур). В работе рассмотрено влияние двух видов электрофизической обработки: обработка импульсным электрическим полем, создающей эффект электропорации масличной структуры, и микроволновой СВЧ-нагрев. Дана основная характеристика капиллярно-пористой структуре масличных материалов. Локальные изменения электронной плотности исследуемого масличного объекта, при прохождении излучения позволили четко определить воздушные полости в структуре ядра подсолнечника. Установлено влияние обработки импульсным электрическим полем на целостность структуры мембран масличных клеток с созданием материала, обладающего большей проницаемостью для диффузионных процессов. Экспериментальным путем определено, что на площади 1 кв.см в результате обработки импульсным электрическим полем сформировано более 2500 электрических пор. В случае обработки импульсным электрическим полем модель масличного тела может быть представлена в виде расширенной бидисперсной структуры с добавлением микрокапилляров образованных электрическим полем. Полученные данные представляют интерес не только для технологий переработки масличных культур, но и для методов анализа перспективных электрофизических методов обработки.

Ключевые слова: микроскопический анализ, микротомография, структура, масличные семена, электрофизическая обработка, импульсное электрическое поле

Influence of electrophysical treatment on oilseed crops structure with X-ray micro tomography application

Ivan A. Shorstkii¹ i-shorstky@mail.ru

Dmitry A. Khudyakov¹ dima.khudykov.1995@mail.ru

¹ Kuban State Technological University, Moskovskaya street, 2 Krasnodar, 350042, Russia

Summary. Morphological capillary-porous structure analysis of the oilseed materials, using x-ray microtomography in the longitudinal and transverse section and FESEM analysis of the surface microstructure after electrical and microwave treatment presented in current paper. Experimental data were obtained on the basis of the Institute of Materials Research and Engineering (Singapore). Two types of treatment considered: non-thermal pulsed electric field treatment, creating an electroporation effect of the oilseeds structure and microwave treatment. The main characteristic of capillary-porous structure of oil-bearing materials is given. Local changes in the electron density of the oilseed object under study, during the passage of radiation, made it possible to determine clearly the air cavities in the structure of the sunflower nucleus. The influence of a pulsed electric field treatment on the integrity of the structure of oil-cell membranes has been obtained with the creation of a material that has a greater permeability for diffusion processes. Experimentally was determined that over 2500 electric pores were formed on an area of 1 sq.cm as a result of a pulsed electric field treatment. In the case of a pulsed electric field treatment, the oil body material model can be represented as a capillary model with capillary and electroporation radii, thus expanding the model of a bidispersed structure with the addition micro capillaries, formed by an electric field. The data obtained are of interest not only for the technology of processing oilseeds, but also for the analysis methods of new electrophysical treatments.

Keywords: microscopic analysis, micro tomography, structure, oilseeds, electrophysical treatment, pulsed electric field

Введение

Современные методы электрофизической обработки представляют собой диэлектрический СВЧ нагрев, обработку ультразвуком и обработку с наложением электрического поля [1]. С появлением современных электрофизических способов обработки масличных материалов в процессах сушки [2], экстрагирования [3], прессования [4] как для теории, так и для практики важную роль играют знания капиллярно-пористой структуры, типоразмеров масличных клеток и изменения структуры материала под воздействием электрофизической обработки.

Для цитирования

Шорсткий И.А., Худяков Д.А. Влияние электрофизической обработки на структуру масличных материалов с применением X-ray микротомографии // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 116–123. doi:10.20914/2310-1202-2018-3-116-123

Методы предварительной электрофизической обработки активно внедряются в технологический цикл переработки масличных материалов как на стадиях подготовки материала, так и при непосредственной переработке. Несмотря на достаточно широкое распространение и значительный объем исследований существуют недостаточно изученные научно-практические аспекты применения электрофизических воздействий к масличным материалам на стадиях предварительной подготовки. Основной проблемой является недостаточность знаний об изменении морфологической капиллярно-пористой

For citation

Shorstkii I.A., Khudykov D.A. Influence of electrophysical treatment on oilseed crops structure with X-ray micro tomography application. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 116–123. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-3-116-123

структуры материала после электрофизической обработки. Примером наиболее широко распространенных масличных материалов, могут выступать семена подсолнечника, сои. Компоненты таких материалов обладают различными свойствами и могут по-разному реагировать на воздействие электрофизической обработки.

За последние десять лет трехмерная компьютерная микротомография все активнее используется в пищевой промышленности для анализа различных культур сои, рапса [5, 6]. Технология микротомографии позволяет оперативно определять не только такие параметры как масличность семян, но и показатель содержания белков или процентное содержание защитной оболочки. Одним из широко распространенных направлений применения микротомографии является анализ всхожести и жизнедеятельности семян [7, 8].

Разнообразие практических задач, решаемых на основе методов и средств микротомографии, как по своей цели и содержанию, так и по своим условиям, позволяет решать проблему анализа внутренней морфологии материала с помощью различных физических методов. В настоящее время число научно-исследовательских работ применяющих интроскопические методы исследования, в том числе рентгеновскую томографию, мало, а сами исследования ограничиваются только микрофокусной рентгенографией [9] и образцами толщиной до 2 мм [10] с использованием методов ртутной пирометрии.

Данная работа направлена на получение данных морфологической капиллярно-пористой структуры масличного материала до и после электрофизической обработки с использованием технологии высокого разрешения x-гау микротомографии и электронной микроскопии.

Материалы и методы

В качестве исследуемого материала были взяты образцы ядра подсолнечника сорта «Передовик» и сои, взятых с производственного цикла маслоперерабатывающего предприятия на территории Краснодарского края.

Микроскопический анализ поверхности ядра подсолнечника проводился с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JEOL SEM 6360LA (A*Star, IMRE, Сингапур). Данный вид микроскопа позволяет исследовать поверхность материала без дополнительных операций подготовки.

X-ray микротомография

Для изучения внутренней морфологии масличного материала применялась рентгеновская

микротомография (PMT) на установке (X-ray Micro Tomography, NUS, Сингапур) совместно с SEM - микроскопом при 60 кВ и 35 мкА. Размер вокселя составлял порядка 10 мкм. Исследуемые семена не подвергались дополнительной обработке перед анализом. Для анализа было взято по пять образцов каждой культуры.

Фокусировка проводилась на тех участках структуры ядра подсолнечника, которые обладали наиболее контрастной структурой. То есть участки, различные по своим свойствам, где происходили затемнения рентгеновских лучей (граница воздушных полостей и твердой структуры ядра).

Обработка импульсным электрическим полем

Разрушение целостности масличных клеток проводилось с использованием обработки импульсным электрическим полем (ИЭП), представляющее собой механизм разрушения мембран клеток за счет сосредоточивания разно полярных ионов у границы мембран клеток. За счет импульсного характера электрического поля заряженные ионы под действием силы электрического поля вырываются из структуры масличных клеток по направлению приложенного электрического поля. Для проведения процесса обработки семядоля масличной культуры помещалась в камеру обработки импульсным электрическим полем по схеме, представленной на рисунке 1. При помощи функционального генератора Agilent 33220A (Agilent Technologies, USA) создавались положительные электрические импульсы прямоугольного типа длительностью 40 мкс, которые в усилителе напряжения Trek COR-A-TROL 610D (TREK Inc, Lockport, USA) усиливались по амплитуде до напряжения 10 кВ. Для оцифровки и контроля качества, подаваемого на обработку импульсов, использовался осциллограф Tektronix TDS 220, с дополнительным высоковольтным делителем (400 МГц, X1000).

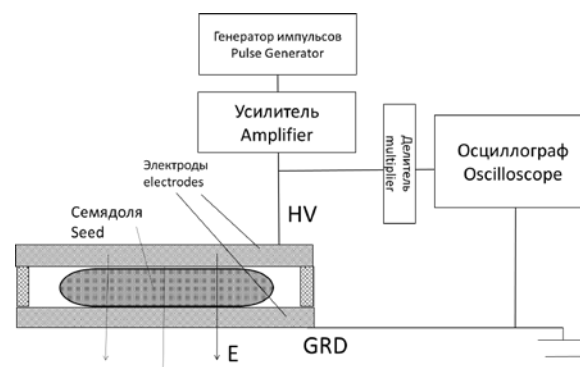


Рисунок 1. Схема установки обработки ИЭП

Figure 1. Pulsed electric field treatment setup

Моделирование процесса обработки ИЭП

Для моделирования процесса воздействия импульсного электрического поля на семядолю масличной культуры была использована программа QuickField (TeraAnalysis Ltd, Denmark). Величина напряженности $E=7$ кВ/см в камере двух оппозитно расположенных титановых электродов, с показателями электропроводности $\sigma = 2,8 \times 10^6$ См/м и обрабатываемого материала прямоугольной формы, с показателем электропроводности $\sigma = 0,28$ См/м распределена в межэлектродном пространстве.

Диэлектрический СВЧ нагрев

Обработка масличных материалов проводилась в СВЧ камере, мощностью 600 Вт в течении 10, 30 и 60 секунд. После обработки материал охлаждался до комнатной температуры. Влажность материала определялась гравиметрическим методом, путем определения массы навески до и после СВЧ нагрева до установления равновесной массы.

Результаты и обсуждение

Микротомография масличного материала

На рисунках 2 и 3 представлены микротомографические изображения: общий вид, поперечный и продольный срез образца ядра подсолнечника. В крупных частях ядра (рисунок 2а), в связи с незначительно разнородностью структуры благодаря РМТ определены воздушные полости в верхней части ядра (зона прокамбия), отмеченная стрелкой. В данной зоне содержится запасной кислород, в роли регулирующего механизма во избежание аноксии в семенах.

Метод РМТ дает возможность четко представить внешнюю морфологию 3D структуры ядра, объем и площадь которых потом легко определить количественно (рисунок 3). Различия в затемнениях рентген лучей при прохождении через структуру в первую очередь зависят от толщины и плотности материала, плотности мембран клеток и содержимого.

В отличие от атомного магнитного резонанса (АМР), РМТ позволяет визуализировать сухие объекты, поскольку он может проникать в более плотные слои материала и зависит от общего контраста плотности, а не от влагосодержания [11]. Однако использование РМТ невозможно в реальном времени (*in vivo*), поскольку используемые рентгеновские лучи – смертельны.

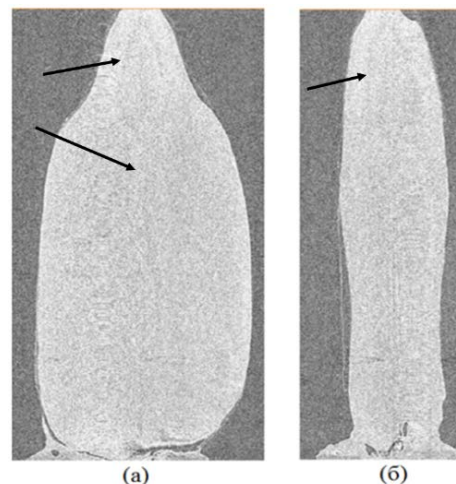


Рисунок 2. Поперечный (а) и продольный разрез (б) ядра подсолнечника

Figure 2. Transverse section (a) and longitudinal section (b) of sunflower kernel



Рисунок 3. Общий вид ядра подсолнечника, полученный на установке микротомографии

Figure 3. Main view of the sunflower kernel obtained on x-ray microtomography

Микроскопический анализ структуры семян подсолнечника показывает отчетливое деление ядра на две семядоли, которые имеют достаточно плотную структуру и высокое сжатие семени.

Рисунок 4 демонстрирует особенности морфологической структуры семян подсолнечника и сои. Показано, что внутри семядоли ядра расположение клеток имеет палисадообразный характер, клетки цилиндрической вытянутой формы, характеризуются отчетливо выраженными липидными сферосомами и белковыми глобулами, диффузно расположенными в объеме клеток и объединенные цитоплазменной матрицей.

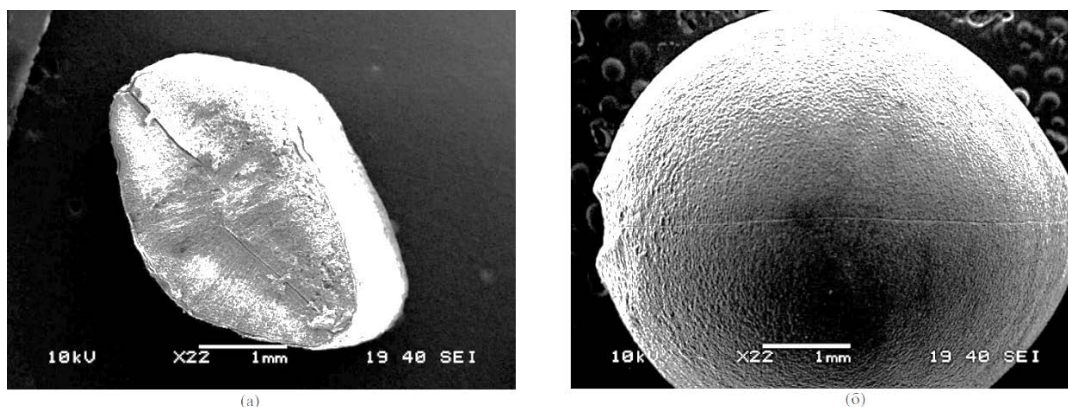


Рисунок 4. SEM-изображение структуры среза ядра семян подсолнечника (а) и сои (б), увеличенные в 22 раза и напряжении электронов 10кВ

Figure 4. SEM image of the structure of the cut sunflower seeds (a) and soybean (b), 22 times magnified and the 10 kV electron voltage

Ориентация длинной оси клеток – радиальная, упаковка достаточно плотная (рисунок 5). Толщина посевного слоя составляет в среднем 50 мкм, а палисад занимает более половины ширины семенного слоя. Размер клеток ядра подсолнечника составляет от 100 до 200 мкм в длину и шириной от 10 до 60 мкм. Все масляные тела имеют сферическую форму размером

от 0,2 до 6 мкм с большинством масляных тел диаметром менее 2 мкм. Интересным представляется сравнение данных работы [12], в которой указана размерность клеток для исследуемого сорта длиной от 650 до 850 мкм и шириной от 200 до 300 мкм для сорта Передовик, отличающиеся от полученных в данной работе.

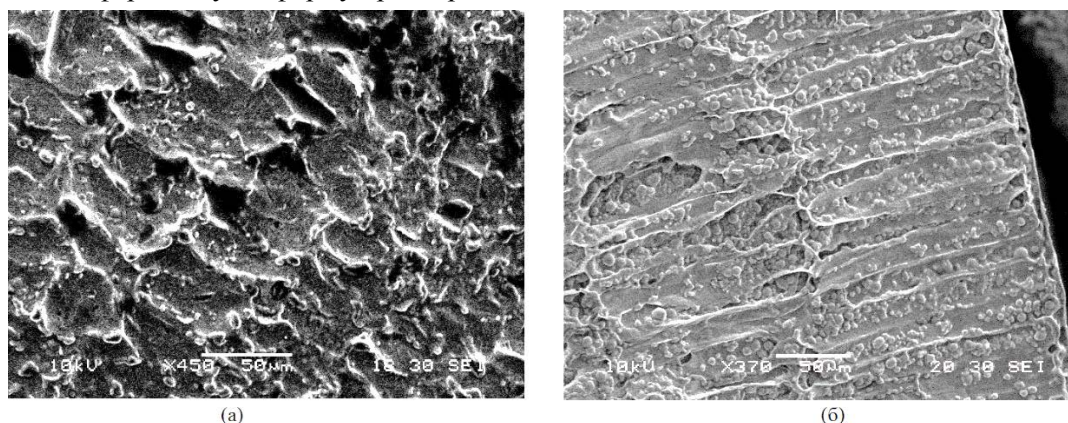


Рисунок 5. Внутренняя структура клеток семян подсолнечника при поперечном (а) и продольном (б) разрезе, при U = 10кВ, увеличение: x450 и x370.

Figure 5. Internal structure of sunflower seeds cells with transverse (a) and longitudinal (b) section, U = 10kV, increased x450 and x370 times

Установлено, что для структуры семян подсолнечника современной селекции характерно наличие мезопор, макропор и супермакропор, средним размером от 500 нм до 75 мкм, форма которых варьируется от правильной окружности до каверн различной формы (рисунок 6). Следует отметить, что главные технологические свойства материала такие, как диффузионная проницаемость, гидродинамическое сопротивление, фильтрующая способность, развитость внутренней поверхности и сорбционные свойства в определяющей степени зависят от характеристик капиллярно-пористой структуры ядра.

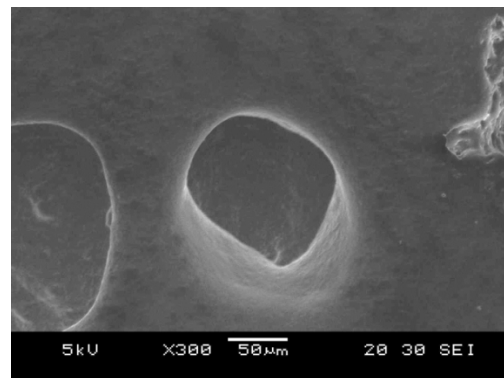


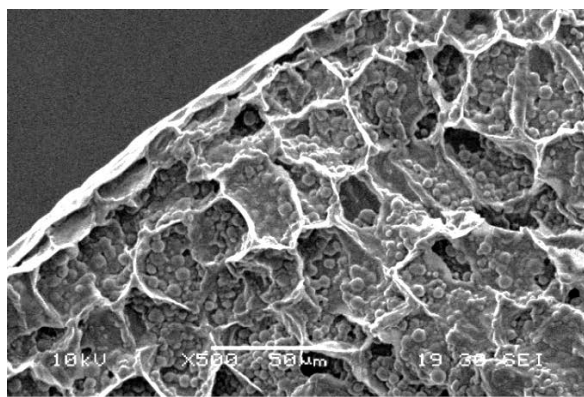
Рисунок 6. Одиночная пора на поверхности семядоли подсолнечника

Figure 6. Single pore on the surface of the sunflower cotyledon

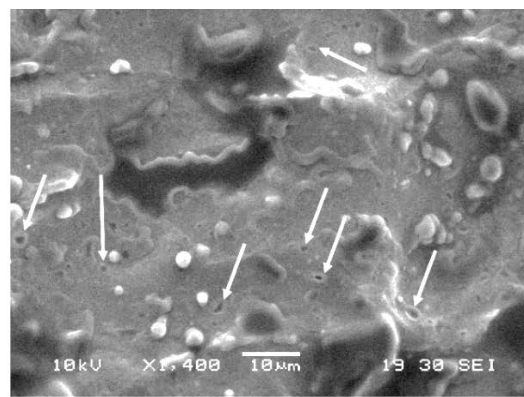
Влияние обработки ИЭП

Основой для создания новых технологий, в первую очередь является использование данных строения капиллярно-пористой структуры различных масличных семян и данных о закономерностях воздействия технологических факторов (температура, давление, влажность, физические поля), позволяющих направленно воздействовать на капиллярно-пористую структуру семян при извлечении масла. По данным работы [13] более 40% сферосом остается неразрушенным после измельчения и влаготепловой обработки, что лимитирует остаточную масличность в шроте. Воздействие на семядолю подсолнечника проводилось импульсным электрическим полем, напряженностью $E = 7 \text{ кВ/см}$. Количество импульсов $n = 120$, длительность импульса составляла 50 мкс. Учитывая, что векторные линии напряженности представляют собой эквипотенциальное распределение поля (рисунок 7), а пиковое значение напряженности поля 7 кВ/см находится ближе к поверхности высоковольтного электрода, то разрушение целостности клеток будет более ярко выражено на верхней поверхности материала.

Структура поверхности семядоли подсолнечника после обработки ИЭП представлена на рисунке 8. Отчетливо заметно изменение целостности структуры масличных клеток с разрушением мембраны. При более приближенном изображении заметны электрические пробой на поверхности клеток в виде выпуклых кратеров размером менее 1 мкм. Экспериментальным путем было определено, что на площади 1 см^2 расположено более 2500 электрических пор.



(a)



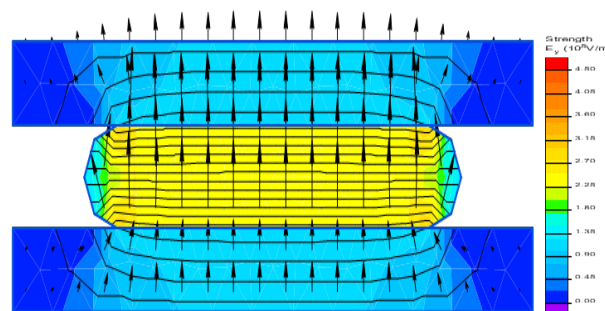
(б)

Рисунок 8. Поверхность семядоли подсолнечника после обработки ИЭП, увеличение: $\times 500$ (a) и $\times 1400$ (б)Figure 8. Sunflower cotyledon surface after pulsed electric field treatment, increased: $\times 500$ (a) and $\times 1400$ (b) times

Влияние СВЧ нагрева

СВЧ излучение проникает в структуру материала и взаимодействует с полярными молекулами посредством ионной проводимости и дипольного вращения, сопровождающихся

В литературе различают две модели построения пористых тел – капиллярные и глобулярные. Простейшей капиллярной моделью является совокупность сквозных, не сообщающихся между собой цилиндрами капилляроводного радиуса. Модель пористого тела является пористое тело, образованное одинаковыми сферическими частицами. Большую часть масличных материалов следует отнести к телам капиллярной модели. В случае обработки импульсным электрическим полем модель масличного тела может быть представлена в виде капиллярной модели с капилляроводными и электропорационными радиусами пор. Нами сделана попытка расширить модель бидисперсной структуры с добавлением микрокапилляров образованных за счет воздействия электрического поля. На основе данной модели могут быть описаны свойства движения влаги в капиллярах.

Рисунок 7. Моделирование распределения напряженности поля в момент разряда импульса $t = 9,48 \cdot 10^{-18}$ секFigure 7. Simulation of the distribution of the field strength at the moment of the pulse discharge $t = 9,48 \cdot 10^{-18}$ sec

выработкой тепла. Для масличного материала в качестве дипольного материала, воспринимающего СВЧ излучение, выступает влага, соли и белки.

Поскольку напряженность поля и частота (2450 МГц) постоянны для промышленного СВЧ излучения, единственным варьируемым

параметром обработки является коэффициент диэлектрических потерь ε'' . На основе данных диэлектрических потерь семян подсолнечника [14] определена степень нагрева влажностью 7% до 105 градусов. На рисунке 9 представлена структура поверхности материала подсолнечника после СВЧ обработки мощностью 600 Вт в течении 1 минуты, достаточной для оценки эффекта СВЧ обработки. С помощью внутренней программы Jeol было определено, что дисперсия размеров частиц после СВЧ-нагрева уменьшилась примерно в 2 раза с 35,3 мкм² до 18,1 мкм². Данное снижение вызвано формированием более однородной структуры масляного материала, возможной денатурации белков и лопания масляных капсул. При этом получаемые размеры агломератов частиц зависят от исходного содержания влажности в семенах, и длительности СВЧ нагрева. Таким образом выявление оптимального условия СВЧ нагрева масляного материала может способствовать его эффективной переработке в процессе прессования или экстрагирования. Благодаря доступности лабораторных

установок СВЧ обработки данный метод был испытан множеством авторов. Так в работе [15] отмечено увеличение выхода масла сои на стадии прессования на 10% после предварительной СВЧ обработки в течении 1 минуты мощностью 600Вт. Дополнительным преимуществом предварительной обработки СВЧ является объемный характер воздействия на материал в отличие от традиционных процессов жаровни на производстве.

В случае агрегирования частиц в процессе СВЧ нагрева пористое тело может быть образовано за счет близких к сферической форме тел, т. е. может быть представлено как глобулярная модель тела. Размеры и расположение белковых глобул при обработке характеризуют прочность получаемых формоизмененных частиц. Интересным представляет комбинированная электрофизическая обработка, совмещающая СВЧ нагрев и обработку импульсным электрическим полем, с получением новой модели пористого масляного тела.

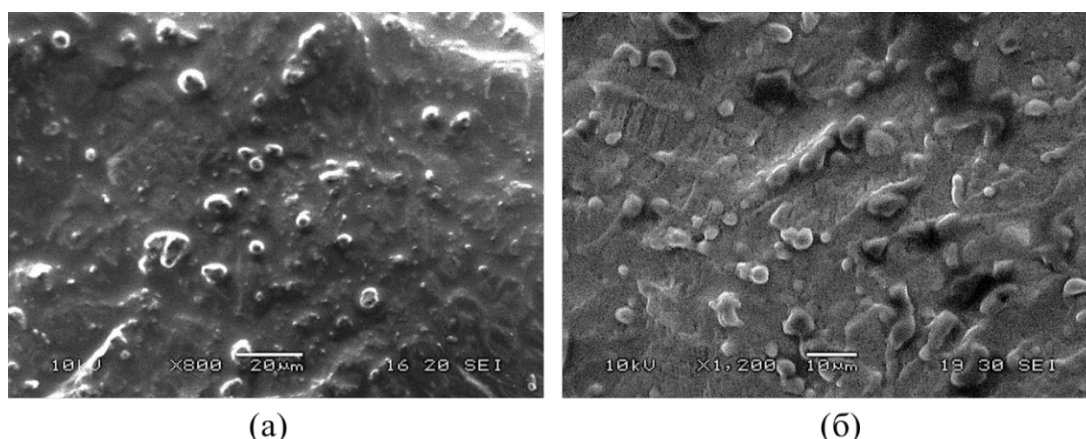


Рисунок 9. Структура материала подсолнечник до обработки (а) и после обработки (б) СВЧ.

Figure 9. Sunflower material structure before microwave treatment (a) and after microwave treatment (b)

Выводы

Полученные структурные данные ядра подсолнечника и характеристика капиллярно-пористой структуры являются определяющими данными при определении главных технологических свойства материала, как диффузионная проницаемость, гидродинамическое сопротивление, фильтрующая способность, развитость внутренней поверхности и сорбционные свойства. Данные размерности клеток масляного материала могут быть использованы при расчете режимных характеристик электрофизических методов обработки сырья. В случае обработки импульсным электрическим полем модель масляного тела может быть представлена в виде капиллярной модели с бидисперсной структурой с добавлением микрокапилляров образованных наложением электрических полей.

С расширением разрешающей способности, X-гау микротомография обладает большим потенциалом для новых возможностей качественного и количественного исследования внешней и внутренней морфологии масляных культур с более детальным рассмотрением процессов воздействия физических сил на клеточном уровне.

Полученные данные представляют интерес не только для технологии переработки масляных материалов, но и для анализа новых электрофизических методов обработки.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00448

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Puertolas E., Barba F.J. Electrotechnologies applied to valorization of by – products from food industry: Main findings, energy and economic cost of their industrialization // Food and Bioproducts Processing. № 100. P. 172–184.
- 2 Budnikov D., Vasiliev A. The Use of Microwave Energy at Thermal Treatment of Grain Crops //Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development // IGI Global. 2018. P. 475–499.
- 3 Шорсткий И.А., Кошевой Е.П. Экстракция с наложением импульсного электрического поля. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4. С. 40–42.
- 4 Антипов С.Т., Шахов С.В., Мартеха А.Н., Берестовой А.А. Разработка способа получения растительного масла из семян сафлора методом прессования в поле ультразвука // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 4 (66).
- 5 Hu Z.Y. et al. Seed structure characteristics to form ultrahigh oil content in rapeseed //PLOS One. 2013. V. 8. № 4. P. e62099.
- 6 Rocha C.R.M., Silva V.N., Cicero S.M. Internal morphology and germination of sunflower seeds //Journal of Seed Science. 2014. V. 36. № 1. P. 48–53.
- 7 Dudak J. et al. High-contrast X-ray micro-radiography and micro-CT of ex-vivo soft tissue murine organs utilizing ethanol fixation and large area photon-counting detector //Scientific reports. 2016. V. 6. P. 30385.
- 8 Безух Е.П., Потрахов Н.Н., Бессонов В.Б. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества семян плодовых культур // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 89.
- 9 Никольский М.А. Мировой опыт использования интроскопических методов исследования в сельскохозяйственной биологии // Наука. Техника. Технологии. 2015. С. 137.
- 10 Schoeman L. et al. X-ray micro-computed tomography (μCT) for non-destructive characterisation of food microstructure //Trends in Food Science & Technology. 2016. V. 47. P. 10–24.
- 11 Windt C.W., Blümner P. A portable NMR sensor to measure dynamic changes in the amount of water in living stems or fruit and its potential to measure sap flow //Tree physiology. 2015. V. 35. № 4. P. 366–375.
- 12 Ключкин В. В., Быкова С. Ф. Новые представления о неоднородности структуры масличных семян и ее влиянии на технологические свойства // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2008. № 2-3.
- 13 Лисицын А.Н., Григорьева В.Н. Научно-обоснованные тенденции переработки масличного сырья // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2015. № 1–2. С. 5–16.
- 14 Shorstkii I., Koh X.Q., Koshevoi E. Influence of temperature and solvent content on electrical properties of sunflower seed cake //Journal of food processing and preservation. 2015. V. 39. № 6. P. 3092–3097.
- 15 Koubaa M. et al. Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview //Food Research International. 2016. V. 85. P. 59-66.

REFERENCES

- 1 Puertolas E., Barba F.J. Electrotechnologies applied to valorization of by – products from food industry: Main findings, energy and economic cost of their industrialization. Food and Bioproducts Processing, no. 100, pp. 172–184.
- 2 Budnikov D., Vasiliev A. The Use of Microwave Energy at Thermal Treatment of Grain Crops. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global, 2018. pp. 475–499.
- 3 Shorstkii I.A., Koshevoi E.P. Extraction with imposing of pulsed electric field. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Pishhevaia tehnologiya* [News institutes of higher Education. Food technology]. 2015. no. 4 pp. 40–42. (in Russian)
- 4 Antipov S.T., Shahov S.V., Marteha A.N., Berestovoi A.A. Development a method for producing vegetable oil from safflower seeds by pressing in the field of ultrasound. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin on Voronej state university of engineering]. 2015. no 4 (66). (in Russian)
- 5 Hu Z.Y. et al. Seed structure characteristics to form ultrahigh oil content in rapeseed. PLoS One. 2013. no 4. pp. e62099.
- 6 Rocha C.R.M., Silva V.N., Cicero S.M. Internal morphology and germination of sunflower seeds. Journal of Seed Science. 2014. no 1. pp. 48–53.
- 7 Dudak J. et al. High-contrast X-ray micro-radiography and micro-CT of ex-vivo soft tissue murine organs utilizing ethanol fixation and large area photon-counting detector. Scientific reports. 2016. pp. 30385.
- 8 Bezuh E.P., Potrahov N.N., Bessonov V.B. Application of the method of microfocus radiography for quality control of fruit seeds. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. [Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products] 2016. no. 89. pp.106–112. (in Russian)
- 9 Nikol'skij M.A. World experience in the use of introsopic research methods in agricultural biology *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii*. [Science. Technics, technologies] 2015. P. 137. (in Russian)
- 10 Schoeman L. et al. X-ray micro-computed tomography (μCT) for non-destructive characterisation of food microstructure. Trends in Food Science & Technology. 2016. no. 47.pp. 10–24.
- 11 Windt C.W., Blümner P. A portable NMR sensor to measure dynamic changes in the amount of water in living stems or fruit and its potential to measure sap flow. Tree physiology. 2015. no 4. 366–375 pp.
- 12 Lisicyn A.N., Grigor'eva V.N. Scientifically grounded trends in the processing of oilseeds. *Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov*. [Bulletin of VNIIZ] 2015. no. 1–2. pp. 5–16. (in Russian)
- 13 Klyuchkin V. V., Bykova S. F. New ideas about the heterogeneity of the structure of oil seeds and its impact on technological properties. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Pishhevaya tekhnologiya*. [News institutes of higher Education. Food technology]. 2008. no 2, pp.8-12. (in Russian)
- 14 Shorstkii I., Koh X.Q., Koshevoi E. Influence of temperature and solvent content on electrical properties of sunflower seed cake. Journal of food processing and preservation. 2015. no 6. pp. 3092–3097.
- 15 Koubaa M. et al. Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview. Food Research International. 2016. vol. 85. pp. 59-66.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иван А. Шорсткий к.т.н., доцент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350042, Россия, i-shorstky@mail.ru

Дмитрий А. Худяков магистр, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350042, Россия, dima.khudykov.1995@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Иван А. Шорсткий провел обзор литературных данных, предложил методику проведения эксперимента и организовал экспериментальные испытания, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Дмитрий А. Худяков провёл эксперимент, выполнил первичный анализ

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 26.07.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.08.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ivan A. Shorstkii Cand. Sci. (Engin.), associate professor, Department of technological equipment and life support systems, Kuban State Technological University, Moskovskaya street, 2 Krasnodar, 350042, Russia, i-shorstky@mail.ru

Dmitry A. Khudyakov master student, technological equipment and life support systems, Kuban State Technological University, Moskovskaya street, 2 Krasnodar, 350042, Russia, dima.khudykov.1995@mail.ru

CONTRIBUTION

Ivan A. Shorstkii review of the literature on an investigated problem, proposed a scheme of the experiment and organized production trials, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Dmitry A. Khudyakov conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 7.26.2018

ACCEPTED 8.20.2018