

Dr inż. Patrycja KOMOLKA^{1,2}

Prof. dr hab. Danuta GÓRECKA¹

¹ Katedra Technologii Gastronomicznej i Żywności Funkcjonalnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

² Zespół Szkół Zawodowych nr 2 w Poznaniu

WPŁYW OBRÓBKİ CIEPLNEJ NA STRUKTURĘ WYBRANYCH WARZYW I OWOCÓW®

Effect of heat treatment on structure of selected vegetables and fruits®

Słowa kluczowe: warzywa i owoce, ściana komórkowa, procesy technologiczne, struktura.

Podczas obróbki cieplnej warzyw i owoców zachodzą zróżnicowane zmiany w strukturze ich ściany komórkowej. Na podstawie przeprowadzonych badań własnych w artykule opisano zmiany w strukturze ściany komórkowej kapusty białej, czerwonej, włoskiej, marchwi, ziemniaków oraz jabłek, które zachodzą podczas ich obróbki cieplnej w wodzie, parze wodnej i podczas pieczenia. Polegają one na pogrubieniu ścian komórkowych, rozluźnieniu upakowania komórek, a tym samym powiększeniu przestrzeni międzykomórkowych.

Key words: vegetables and fruits, cell wall, technological processes, structure.

During the heat treatment of vegetables and fruits there are varied changes in the structure of their cell wall. This article describes changes in cell structure of white cabbage, red cabbage, savoy cabbage, carrots, potatoes and apples during boiling, steaming and baking. They consisted of thickening of cell walls, loosening of cellular packing, and thus enlargement of intercellular spaces.

WPROWADZENIE

Składnikiem strukturalnym komórek roślinnych jest błonnik pokarmowy. Każda komórka składa się z części żywej, tj. protoplazmy oraz części martwej, która stanowi ścianę komórki. Część martwa składa się ze ściany pierwotnej zbudowanej z celulozy i hemiceluloz, blaszki środkowej składającej się z protopektyny i ściany wtórnej zbudowanej z celulozy. Podczas przetwarzania żywności, w tym obróbki wstępnej oraz termicznej owoców i warzyw, zachodzą zmiany nie tylko cech sensorycznych, ale również zmiany ich tekstury [5, 7, 9, 14]. Na zmianę tekstury owoców i warzyw wpływają przemiany polisacharydów, przy czym najmniej podatna na działanie temperatury jest celuloza, co wynika z jej budowy. Liczne wiązania wodorowe pomiędzy łańcuchami cząsteczek oraz wewnątrz cząsteczek, a także oddziaływania hydrofobowe pomiędzy łańcuchami nadają strukturę bardzo trwałą i jednocześnie odporną na działanie czynników występujących w procesach technologicznych. Podczas obróbki cieplnej zachodzi niewielkie rozluźnienie warstw zewnętrznych włókien celulozowych i ich napęcznienie. Znacznie większym przemianom ulegają hemicelulozy stanowiące galaretowatą masę, w której umieszczone są włókna celulozowe. W czasie ogrzewania warzyw i owoców w środowisku obojętnym lub kwaśnym hemicelulozy pęcznieją, a część z nich może ulec rozpuszczeniu. Przemiany hemiceluloz zależą od rodzaju cukrowców tworzących ich łańcuchy [17].

Główną przyczyną mięknięcia tkanek roślinnych w czasie obróbki cieplnej jest przemiana protopektyny do pektyny.

Wraz z hemicelulozami pektyna stanowi galaretowatą masę. Jest ona matrycą i lepiszczem dla włókien celulozy. Wysoka temperatura powoduje zmiękczenie matrycy pektynowej w ścianach komórkowych powodując osłabienie tych ścian oraz macerację połączeń międzykomórkowych i stopniową utratę spójności [22, 30, 31]. Szybkość przemiany protopektyny do pektyny zależy od temperatury, odczynu środowiska i składu produktu [17, 18, 19, 20]. Zbyt długie gotowanie surowców roślinnych powoduje całkowite wymycie pektyn i rozpad tkanki na poszczególne komórki, co jest charakterystyczne dla ziemniaków. Nie obserwuje się tego zjawiska podczas gotowania warzyw korzeniowych, które mają stosunkowo grube i twarde błony komórkowe. Różnice w grubości błon komórkowych, różna odporność protopektyny środkowych blaszek na działanie gorącej wody, różny odczyn środowiska i skład chemiczny produktów, a także wielkości przestrzeni międzykomórkowych, wielkość komórek i powierzchni błon komórkowych, a także różny stopień pęcznienia i rozklejania skrobi zawartej w komórkach jest przyczyną niejednakowego rozgotowywania się produktów roślinnych.

Skomplikowany proces przemian składników ścian komórkowych surowców roślinnych podczas obróbki cieplnej stał się asumptem do podjęcia niniejszych badań. Celem pracy zaprezentowanej w artykule było określenie wpływu obróbki cieplnej na zmiany w strukturze wybranych warzyw i owoców.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań własnych dotyczących zmian w strukturze ściany komórkowej kapusty białej, czerwonej, włoskiej, marchwi, ziemniaków oraz jabłek zachodzących podczas ich obróbki cieplnej w wodzie, parze wodnej i podczas pieczenia.

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny stanowiły najczęściej spożywane przez człowieka warzywa i owoce, które są jednym z głównych źródeł błonnika pokarmowego w diecie człowieka, tj.:

- warzywa z rodziny kapustowatych (*Brassicaceae*): kapusta biała odmiany *Cilion*, kapusta czerwona odmiany *Lektro*, kapusta włoska odmiany *Fiona*,
- marchew (*Daucus carota*) odmiany *Dolanka*,
- ziemniaki (*Solanum tuberosum*) odmiany *Augusta*,
- jabłka (*Malus domestica*) odmiany *Szampion*.

Surowce poddano obróbce wstępnej, tj. myciu, obieraniu i rozdrabnianiu, a następnie odpowiednim zabiegom termicznym: gotowaniu w wodzie, w parze wodnej i pieczeniu.

Gotując przygotowane surowce w wodzie, uwzględniono zalecany stosunek objętościowy produktu do wody wynoszący dla ziemniaków 1:1 (v/v), dla pozostałych warzyw 2:1 (v/v). Kapusta została całkowicie przykryta wodą. Proces obróbki cieplnej w przypadku warzyw i owoców rozpoczynano od wody wrzącej. Obróbkę cieplną prowadzono do momentu uzyskania pełnej miękkości produktów.

Do obróbki cieplnej w strumieniu pary wodnej wykorzystano piec konwekcyjny, typ Rational Combi-Steamer CCC. Przygotowane surowce wkładano do perforowanych pojemników, które wstawiano do komory roboczej aparatu, nagrzaną uprzednio do temperatury zalecanej przez producenta urządzenia, odpowiedniej dla określonego surowca. Gotowanie w strumieniu pary prowadzono przy maksymalnej częstotliwości wtrysku pary wodnej (1/sek.), również w zalecanym przez producenta czasie. Wszystkie parametry, takie jak temperatura, czas, wtrysk pary oraz prędkość cyrkulacji strumienia były regulowane automatycznie. Po zakończeniu procesu otwierano komorę urządzenia i sprawdzano temperaturę wnętrza produktu za pomocą czujnika termoelektrycznego. W czasie zalecanym przez producenta, dla danego procesu termicznego, osiągnano odpowiednią miękkość wszystkich produktów oraz temperaturę w ich wnętrzu powyżej 80°C.

Proces pieczenia prowadzono, podobnie jak obróbkę cieplną w parze, przy wykorzystaniu pieca konwekcyjnego, typ Rational Combi-Steamer CCC. Przygotowane surowce układano na blasze i przykrywano folią aluminiową. Blachę z surowcami wkładano do nagrzaną komorę roboczą. Proces pieczenia prowadzono przy cyrkulacji gorącego powietrza w temperaturze 220°C, do uzyskania odpowiedniej dla konsumenta miękkości surowca.

Po obróbce technologicznej barwne warzywa (marchew i czerwoną kapustę) odbarwiono za pomocą wody Javelle'a. Po umieszczeniu tkanek roślinnych na szkiełku podstawowym, dodano kroplę safraniny, a następnie wypłukano wodą destylowaną.

Mikroskopowe obrazy struktury komórkowej tkanek owoców i warzyw poddanych procesom technologicznym uzyskano przy użyciu mikroskopu fluorescencyjnego Zeiss

Imager Z2. Zastosowano filtr FS20. Obrazy mikroskopowe wykonano w jasnym polu stosując powiększenie 200x.

WYNIKI I DYSKUSJA

W jadalnych częściach roślin występują komórki parenchymy, przewodzące i usztywniające, różniące się udziałem celulozy, ligniny i hemiceluloz. Struktura i konsystencja warzyw i owoców oparta jest na turgorze komórkowym, siłę sklejającej komórki, czyli pektynie oraz właściwościach mechanicznych ścian komórkowych, a więc zawartości celulozy i ligniny. W warzywach korzeniowych występuje duży udział tkanek usztywniających składających się głównie z celulozy, ligniny i hemiceluloz. W tkankach roślin młodych blaszka środkowa składa się z protopektyny, a w miarę starzenia się roślin zwiększa się w nich udział ligniny i celulozy. Protopektyna wytwarza ponadto dodatkowe wiązania z celulozą, które utrudniają proces gotowania. Podczas obróbki cieplnej dochodzi do przemian i rozpuszczenia substancji blaszki środkowej oraz zmiękczenia i rozluźnienia włókien celulozowych w ścianach komórkowych [17, 20].

Przeprowadzone badania wykazały, że obróbka cieplna wpłynęła w zróżnicowany sposób na zmianę struktury ściany komórkowej badanych warzyw i owoców (rys. 1a-6d).

W preparacie mikroskopowym z liści kapusty białej surowej (rys. 1a) widoczne są ściśle upakowane obok siebie komórki. Po obróbce cieplnej w wodzie (rys. 1b) i parze (rys. 1c) widoczne jest nieznaczne pogrubienie ścian komórkowych i lekkie rozluźnienie upakowania komórek.

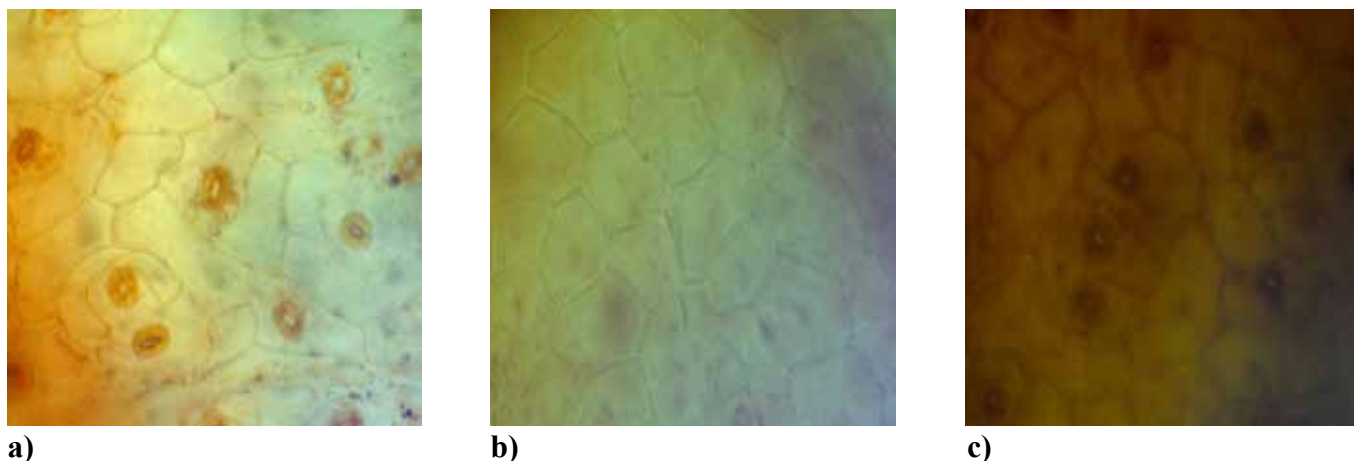
W obrazie kapusty czerwonej surowej (rys. 2a) można zauważyć ściśle przylegające do siebie komórki. Po obróbce cieplnej w wodzie (rys. 2b) i parze (rys. 2c) ściany komórkowe uległy napęcznieniu. Ponadto, w kapuście czerwonej gotowanej w wodzie (rys. 2b), przestrzenie międzykomórkowe nieznacznie się powiększyły.

W obrazie kapusty włoskiej surowej (rys. 3a) widoczne są liczne, ściśle upakowane obok siebie struktury komórkowe. W kapuście gotowanej w wodzie (rys. 3b) i parze (rys. 3c) ściany komórkowe uległy lekkiemu napęcznieniu.

Zmiany w strukturze kapusty białej, czerwonej i włoskiej wynikają z budowy ściany komórkowej. Włókna celulozy, które w surowych warzywach są bardzo silnie usztywnione, m.in. z uwagi na obecność wiązań wodorowych, pod wpływem obróbki cieplnej ulegają niewielkiemu rozluźnieniu i napęcznieniu. Hemicelulozy z kolei pęcznią, a część z nich ulega rozpuszczeniu i przechodzi do wywaru.

W surowej marchwi (rys. 4a) można zaobserwować komórki o nieregularnych brzegach, ściśle przylegające do siebie. Po obróbce cieplnej w wodzie (rys. 4b) ściany komórkowe uległy rozluźnieniu, a przestrzenie międzykomórkowe nieznacznie się powiększyły. Po obróbce cieplnej w parze (rys. 4c) przestrzenie międzykomórkowe są mniej widoczne. Marchew ma sztywną strukturę, opartą na celulozie, ligninie i częściowo hemicelulozie, która nie ulega większym zmianom podczas obróbki cieplnej. Zaobserwowane rozluźnienie upakowania komórek pod wpływem obróbki cieplnej w wodzie może wynikać z częściowego wymycia hemiceluloz.

W obrazie struktury komórkowej tkanki surowych jabłek (rys. 5a) można zauważyć ściśle przylegające do siebie komórki. Po obróbce cieplnej w wodzie (rys. 5b) i parze

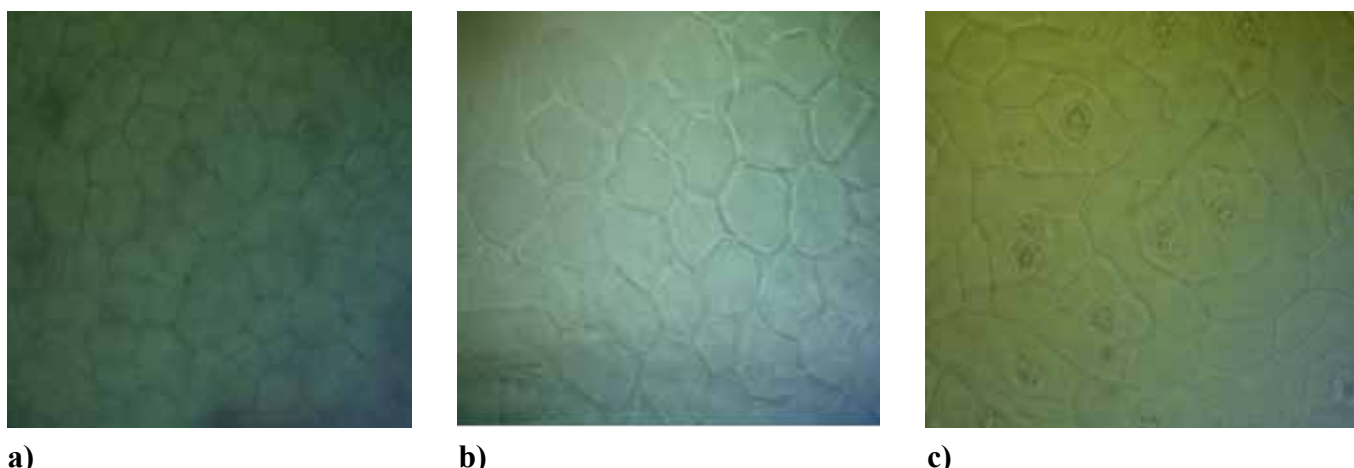


Rys. 1. Mikroskopowe obrazy struktury komórkowej tkanki kapusty białej: surowej (a), gotowanej w wodzie (b), gotowanej w parze (c) (powiększenie 200x).

Fig. 1. Microscopic image of cell structure of white cabbage tissue: raw (a), boiled (b), steamed (c) (200x magnification).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

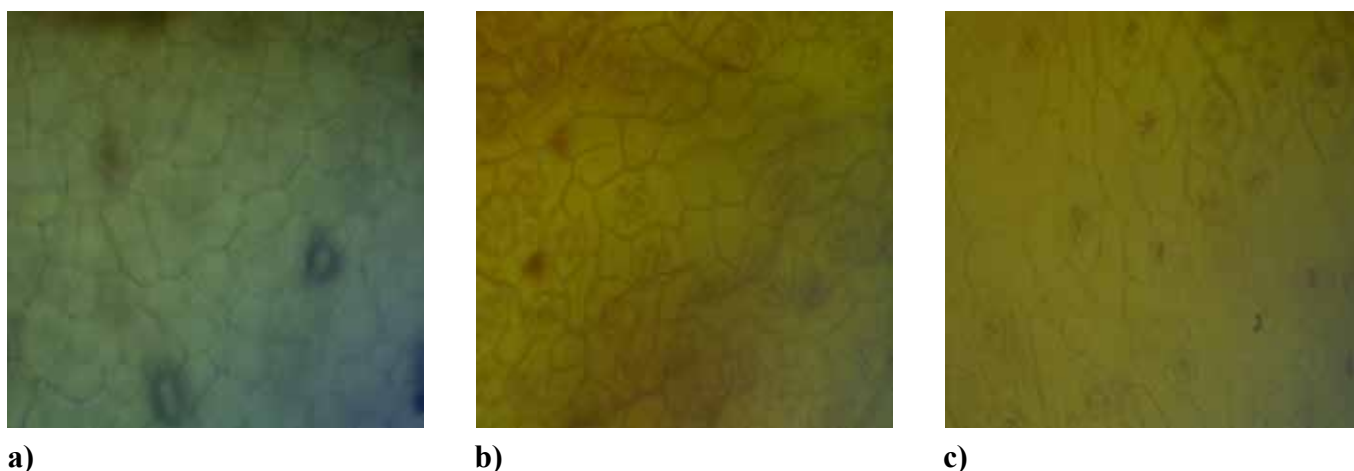


Rys. 2. Mikroskopowe obrazy struktury komórkowej tkanki kapusty czerwonej: surowej (a), gotowanej w wodzie (b), gotowanej w parze (c) (powiększenie 200x).

Fig. 2. Microscopic image of cell structure of red cabbage: raw (a), boiled (b), steamed (c) (200x magnification).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

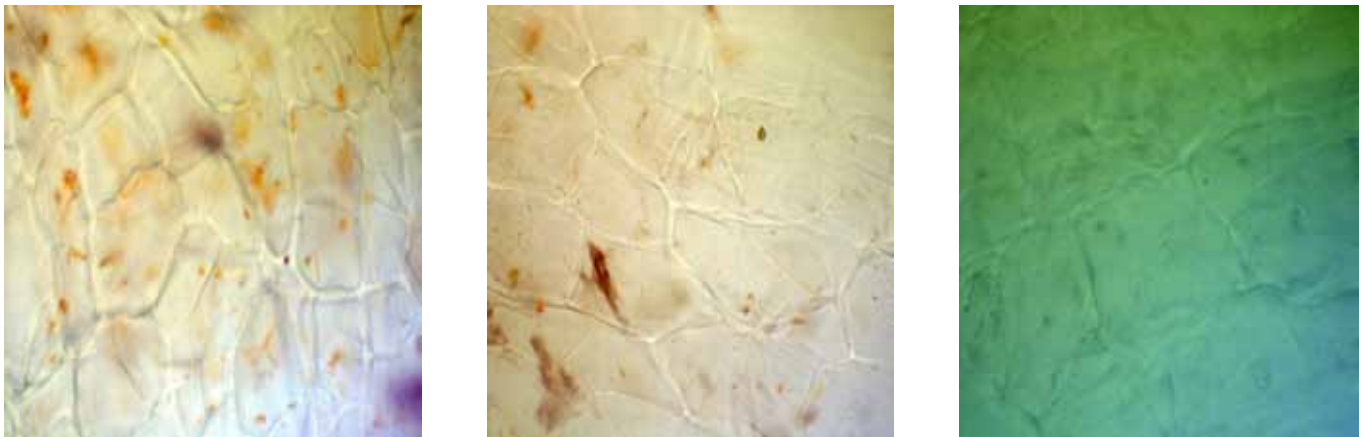


Rys. 3. Mikroskopowy obraz struktury komórkowej tkanki kapusty włoskiej: surowej (a), gotowanej w wodzie (b), gotowanej w parze (c) (powiększenie 200x).

Fig. 3. Microscopic image of cell structure of savoy cabbage tissue: raw (a), boiled (b), steamed (c) (200x magnification).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

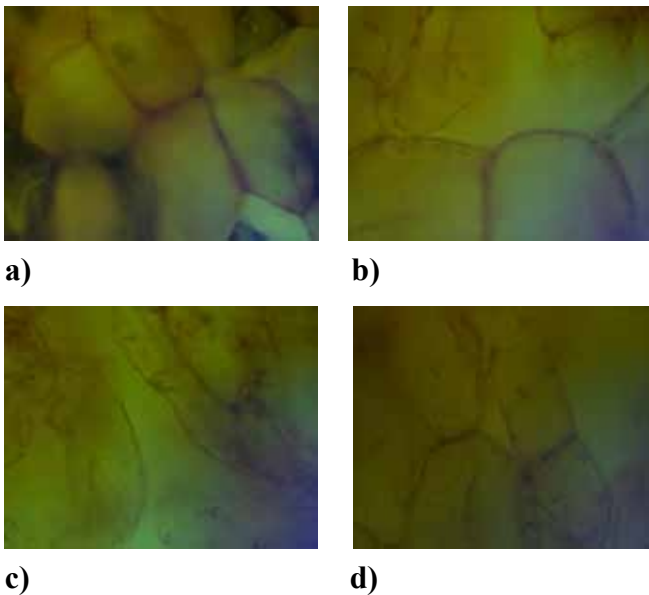


a) b) c)
Rys. 4. Mikroskopowe obrazy struktury komórkowej tkanki marchwi: surowej (a), gotowanej w wodzie (b), gotowanej w parze (c) (powiększenie 200x).

Fig. 4. Microscopic image of cell structure of carrots tissue: raw (a), boiled (b), steamed (c) (200x magnification).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

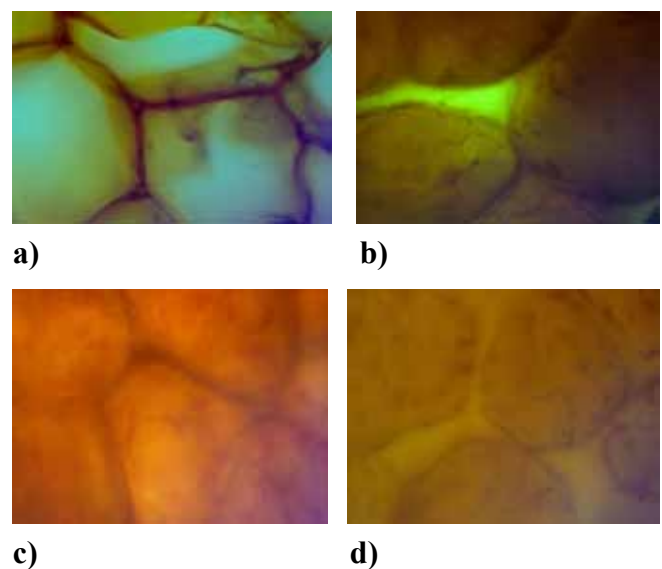


a) b) c) d)
Rys. 5. Mikroskopowe obrazy struktury komórkowej tkanki jabłka: surowego (a) gotowanego w wodzie (b), gotowanego w parze (c) oraz piezonego (d) (powiększenie 200x).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

(rys. 5c) ściany komórkowe uległy zgrubieniu, doszło też do rozluźnienia upakowania komórek, w wyniku czego pojawiły się liczne przestrzenie międzykomórkowe. W obrazie mikroskopowym tkanki jabłek piezonych (rys. 5d) widoczne są mniejsze przestrzenie międzykomórkowe w porównaniu z tkanką jabłek gotowanych. Zwiększenie odległości między komórkami jabłek wynika z hydrolizy protopektyny do rozpuszczalnej w wodzie pektyny, która przechodzi do roztworu, a tkanka pozbawiona lepiscza ulega rozluźnieniu.



a) b) c) d)
Rys. 6. Mikroskopowy obraz struktury komórkowej tkanki ziemniaka: surowego (a), gotowanego w wodzie (b), gotowanego w parze (c) oraz piezonego (d) (powiększenie 200x).

Źródło: Badania własne

Source: The own study

Ziemniaki surowe (rys. 6a) zbudowane są ze ściśle upakowanych komórek. Po gotowaniu w wodzie (rys. 6b), podobnie jak po procesie pieczenia ziemniaków (rys. 6d), można zaobserwować duże przestrzenie międzykomórkowe. W przypadku ziemniaków gotowanych w parze (rys. 6c) widoczne są nieznacznie powiększone przestrzenie międzykomórkowe. Pod wpływem obróbki cieplnej zachodzi deformacja ziaren skrobiowych i jej żelatynizacja oraz rozpuszczenie substancji pektynowych w ścianie komórkowej. Pektyny,

będące najczęściej polimerami kwasu D-galakturonowego, mogą podczas obróbki cieplnej w wodzie ulegać rozpuszczeniu. Proces ten może być utrudniony przez enzym metylosterazę i jony metali dwuwartościowych [3].

Zaobserwowane zmiany w strukturze badanych warzyw i owoców po obróbce cieplnej znajdują odzwierciedlenie w literaturze. Neri i in. [21] badając surową marchew zwrócili uwagę na jej zwartą strukturę. Rastogi i in. [26] zaobserwowali bardziej oddzielone struktury komórkowe po obróbce cieplnej marchwi w wodzie, a Fuchigami i in. [8] uszkodzone komórki po gotowaniu. Podobne spostrzeżenia poczynili Kidmose i Martens [12]. Z kolei w przypadku migdałów ich pieczenie spowodowało większe uszkodzenia komórek z uwagi na pękające ściany i błony komórkowe [1]. Badania Alvarez i in. [2] wykazały, że obróbka cieplna ziemniaków spowodowała deformację ziaren skrobiowych i jej żelatylnizację oraz rozpuszczenie substancji pektynowych w ścianie komórkowej. Ek i in. [6] stwierdzili, że obróbka cieplna ziemniaków wpłynęła na ich strukturę mikroskopową, w szczególności na strukturę skrobi, a Nyman i Haska [24] zauważyli, że podczas obróbki cieplnej ziemniaków powstaje skrobia oporna, zaliczana do błonnika pokarmowego. Według Van Buren [29] oraz Nyman i Haska [24] obróbka cieplna powoduje degradację polisacharydów takich jak pektyny. Pod wpływem temperatury rozrywaniu ulegają wiązania poprzeczne pomiędzy ścianami komórkowymi polisacharydów, co powoduje zmiany w składzie ścian komórkowych warzyw i owoców. Zhang i in. [32] zaobserwowali, że w surowej brzoskwini znajduje się dużo, ściśle przylegających do siebie, mięsistych komórek, podczas gdy w brzoskwini gotowanej w wodzie powiększają się komórki mięsiste i przestrzenie pozakomórkowe. Pod wpływem wysokiej temperatury rozpuszczeniu ulega międzykomórkowa pektyna i dochodzi do rozluźnienia ścian komórkowych, co wpływa na zmianę tekstury. Według Knockaerta i in. [13] proces pasteryzacji marchwi powoduje oddzielenie ścian komórkowych i rozpuszczenie pektyny. Na skutek β -eliminacyjnej depolimeryzacji pektyn zwiększa się rozpuszczalność pektyn oraz przyspiesza się mięknięcie surowca [18, 28]. Ponadto Waldron i in. [31] dowiedli, że osłabiona adhezja komórek po obróbce cieplnej powoduje utratę ich sztywności.

Autorzy licznych prac podkreślają, że zmiana tekstury warzyw i owoców podczas obróbki cieplnej, jest spowodowana głównie zmianami pektyn, które stają się rozpuszczalne i w związku z tym są wypłukiwane podczas gotowania [3, 11]. według Brandta i in. [4] rozpuszczalność pektyn i hemiceluloz podczas procesów cieplnych zależy głównie od odczynu środowiska, natomiast zawartość celulozy nie ulega zmianie. Anderson i Clydesdale [3] stwierdzili, że przyrost zawartości błonnika pokarmowego, a zwłaszcza frakcji ligninowej w produktach ogrzewanych, związany jest z powstającymi produktami reakcji Maillarda, które są nierozpuszczalne w 72% H_2SO_4 i dlatego mogą być izolowane i oznaczane wraz z frakcją ligninową. Herranz i in. [10] zaobserwowali zwiększoną zawartość błonnika pokarmowego w gotowanym szpinaku. Podobne wyniki uzyskał Mathee i Appledorf [19] w przypadku marchwi, kapusty i brukselki. Cytowani autorzy wiążą przyrost błonnika pokarmowego ze wzrostem zawartości celulozy, której ilość zwiększała się wraz z wydłużonym czasem ogrzewania. Badania Nyman i in. [23] wykazały, że zamrażanie i blanszowanie marchwi nie wpłynęło

w sposób istotny na zawartość błonnika pokarmowego, chociaż stwierdzono jego straty podczas blanszowania (szczególnie związków zawierających arabinozę, galaktozę i glukozę). Głównym składnikiem polimerów frakcji nierozpuszczalnej błonnika pokarmowego marchwi jest glukozę, zaś frakcji nierozpuszczalnej polimery zawierające kwasy uroonowe, galaktozę i arabinozę. Próbę wyjaśnienia zmian w zawartości substancji pektynowych podczas procesów technologicznych podjął Plat i in. [25]. Z ich obserwacji wynika, że tkanka marchwi gotowanej różni się pod względem zawartości cukrów neutralnych od tkanki marchwi surowej. Autorzy ci stwierdzili znaczny wzrost glukozy i ramnozy, odpowiednio 10-cio i 3-krotny, w marchwi gotowanej, co tłumaczył hydrolizą wiązań glikozydowych obecnych w neutralnych cukrach. Wyniki badań Komolki i Góreckiej [14] oraz Komolki i in. [15, 16] również wskazują na wyraźny związek stopnia zmian błonnika pokarmowego z zastosowanym zabiegiem cieplnym. Stwierdzono, że proces obróbki cieplnej, niezależnie od jej rodzaju, spowodował istotny przyrost zawartości błonnika pokarmowego, wyrażonego jako NDF (neutralny detergentowy błonnik), w porównaniu z błonnikami warzyw i owoców surowych. Warzywa gotowane w parze cechowały się istotnie wyższą zawartością błonnika niż gotowane w wodzie. Obróbka cieplna warzyw w wodzie i w parze spowodowała także zmianę zawartości poszczególnych frakcji. Największe różnice zaobserwowano w zawartości frakcji hemicelulozowej. Badania te potwierdziły, że podczas procesów cieplnych zachodzą zmiany ilościowe i jakościowe w poszczególnych frakcjach błonnika pokarmowego wszystkich badanych surowców [16]. Elleuch i in. [7] zaobserwowali obniżenie zawartości hemiceluloz i celulozy podczas ogrzewania pod zwiększonym ciśnieniem, co może wiązać się z degradacją polisacharydów do prostych cukrów. Rodríguez i in. [27] wskazali, że trudno jednoznacznie określić, które ze składników błonnika pokarmowego podlegają największym zmianom podczas procesów termicznych, sugerują jednak, że najbardziej wrażliwe pod tym względem są hemicelulozy i pektyny. Według tych autorów względny przyrost zawartości błonnika pokarmowego wynika z tworzenia różnorodnych kompleksów pomiędzy polisacharydami a innymi składnikami, takimi jak białka i związki fenolowe, które są oznaczane jako błonnik pokarmowy.

PODSUMOWANIE

Obróbka cieplna w różnicowany sposób wpłynęła na zmianę struktury ściany komórkowej badanych warzyw i owoców. Poznanie czynników wpływających na zmianę składników ścian komórkowych jest zatem istotne i umożliwia dobór warunków przeprowadzenia procesów technologicznych pozwalających uzyskać potrawy z warzyw i owoców o odpowiednich właściwościach teksturotwórczych.

LITERATURA

- [1] ALTAN A., L. McCARTHY, R. TIKEKAR, M.J. McCARTHY., N. NITIN. 2011. "Image analysis of microstructural changes in almond cotyledon as a result of processing". *Journal of Food Science* 76(2): 212-221.

- [2] **ALVAREZ M.D., W. CANET, M.E. TORTOSA. 2001.** "Kinetics of thermal softening of potato tissue (cv. Monalisa) by water heating". *European Food Research and Technology* 212: 588-596.
- [3] **ANDERSON N.E., F.M. CLYDESDALE. 1980.** "Effect of processing on the dietary fibre content of wheat bran, pureed green beans, and carrots". *Journal of Food Science* 45: 1533.
- [4] **BRANDT L.M., M.A. JELTEMA, M.E. ZABIK, B.D. JELTEMA. 1984.** "Effects of cooking of varying pH on the dietary fiber components of vegetables". *Journal of Food Science* 49: 900-909.
- [5] **CHANG M., M. MORIS. 1999.** "Effect of heat treatment on chemical analysis of dietary fibre". *Journal of Food Science* 55: 1647-1675.
- [6] **EK K.L., J. BRI-MILLER, L. COPELI. 2012.** "Glycemic effect of potatoes". *Food Chemistry* 133: 1230-1240.
- [7] **ELLEUCH M., D. BEDIGIAN, O. ROISEUX, S. BESBES, C. BLECKER, H. ATTIA. 2011.** "Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review". *Food Chemistry* 124: 411-421.
- [8] **FUCHIGAMI M., K. MIYAZAKI, N. HYACUMOTO. 1995.** "Frozen carrots texture and pectic components as affected by low-temperature blanching and quick freezing". *Journal of Food Science* 60: 132-136.
- [9] **GÓRECKA D. 2004.** "Zabiegi technologiczne jako czynniki determinujące właściwości funkcjonalne włókna pokarmowego". *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Rozprawy naukowe* 344: 1-79.
- [10] **HERRANZ J., C. VIDAL-VALVERDE, E. ROJAS-HIDALGO. 1983.** "Cellulose, hemicellulose and lignin content in raw and cooked processed vegetables". *Journal of Food Science* 48: 274-275.
- [11] **HUGHES J.C., A. GRANT, R.M. FAULKES. 1975.** "Texture of cooked potatoes: the effect of ions and pH on the compressive strength of cooked potatoes". *Journal of Science Food and Agriculture* 26: 739-748.
- [12] **KIDMOSE U., H. MARTENS. 1999.** "Changes in texture, microstructure and nutritional quality of carrot slices during blanching and freezing". *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79: 1747-1753.
- [13] **KNOCKAERT G., A. De ROECK, L. LEMMENS, S. VAN BUGGENHOUT, M. HENDRICKX, A. VAN LOEY. 2011.** "Effect of thermal and high pressure processes on structural and health-related properties of carrots (*Daucus carota*)". *Food Chemistry* 125(3): 903-912.
- [14] **KOMOLKA P., D. GÓRECKA. 2012.** „Wpływ obróbki termicznej warzyw kapustnych na zawartość błonnika pokarmowego”. *Żywność Nauka Technologia Jakość* 2: 68-76.
- [15] **KOMOLKA P., D. GÓRECKA, M. DUDZIAK. 2014.** „Wpływ obróbki termicznej marchwi i ziemniaków na zawartość błonnika pokarmowego i jego frakcji”. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 2: 51-55.
- [16] **KOMOLKA P., D. GÓRECKA, K. DZIEDZIC. 2012.** "The effect of thermal processing of cruciferous vegetables on their content of dietary fiber and its fractions". *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria* 11(4): 347-354.
- [17] **KORCZAK J. 2001.** Przemiany węglowodanów w procesie produkcji potraw. W *Współczesna wiedza o węglowodanach*. Red. J. Gawęcki, Wyd. Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu 92-94.
- [18] **LOPEZ-SANCHEZ P., J. NIJSEE, H.C.G. BLONK, L. BIALEK, S. SCHUMM, M. LANGTON. 2011.** "Effect of mechanical and thermal treatments on the microstructure and rheological properties of carrot, broccoli and tomato dispersions". *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 207-217.
- [19] **MATHEE Y., A. APPLIEDORF. 1980.** "Effect of cooking on vegetable fiber". *Journal of Food Science* 45: 336-340.
- [20] **Mc DOUGALL G.J., I.M. MORRISON, D. STEWART, J.R. HILLMAN. 1996.** "Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function". *Journal Science of Food and Agriculture* 70: 133-150.
- [21] **NERI L., I. HERNANDO, I. PEREZ-MUNUERA, G. SACCHETTI, P. PITTIA. 2011.** "Effect of blanching in water and sugar solutions on texture and microstructure of sliced carrots". *Journal of Food Science* 76(1): 23-30.
- [22] **NG A., W.K. WALDRON. 1997.** "Effect of steaming on cell chemistry of potatoes (*Solanum tuberosum* cv. Bintje) in relation to firmness". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 3411-3418.
- [23] **NYMAN M., K.-E. PÅLSSON, N.-G. ASP. 1987.** "Effects of processing on dietary fibre in vegetables". *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 20: 29-36.
- [24] **NYMAN M., L. HASKÅ. 2013.** "Vegetable, fruit and potato fibres. Fibre-Rich and Wholegrain Foods. Improving Quality". A volume in *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* 193-207.
- [25] **PLAT D., N. BEN-SHALOM, A. LEVI, D. REID, E.E. GOLDSCHMIDT. 1988.** "Degradation of pectic substances in carrots by heat treatment". *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 36, 2: 362-365.
- [26] **RASTOGI N.K., L.T. NGUYEN, V.M. BALASUBRAMANIAM. 2008.** "Effect of pretreatments on carrot texture after thermal and pressure-assisted thermal processing". *Journal of Food Engineering* 88(4): 541-547.
- [27] **RODRÍGUEZ R., A. JIMÉNEZ, J. FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, R. GUILLÉN, A. HEREDIA. 2006.** "Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients". *Trends in Food Science & Technology* 17: 3-15.
- [28] **VAN BUGGENHOUT S., D.N. SILA, T. DUVETTER, A. VAN LOEY, M. HENDRICKX. 2009.** "Pectins in processed fruits and vegetables: Part III – Texture engineering". *Food Science and Food Safety* 8(2): 105-117.

- [29] **VAN BUREN J.P. 1979.** “The chemistry of texture in fruits and vegetables”. *Journal of Texture Studies* 10(1): 1-23.
- [30] **WALDRON K.W., A.C. SMITH, A.J. PARR, A. NG, M.L. PARKER. 1997.** “New approaches to understanding and controlling cell separation in relation to fruit and vegetable texture”. *Trends in Food Science & Technology* 8: 213-221.
- [31] **WALDRON K.W., M.L. PARKER, A.C. SMITH. 2003.** “Plant cell walls and food quality”. *Food Science and Food Safety* 2: 101-119.
- [32] **ZHANG F., P. DONG, L. FENG, F. CHEN, J. WU, X. LIAO, X. HU. 2012.** “Textural changes of yellow peach in pouches processed by high hydrostatic pressure and thermal processing during storage fusheng”. *Food and Bioprocess Technology* 5: 3170-3180.