

EMILIA JANISZEWSKA-TURAK, NATALIA MUSIELIK

WPLYW STĘŻENIA NaCl W ZALEWIE NA STRUKTURĘ I TEKSTURĘ KISZONEGO BURAKA ŻÓLTEGO

Streszczenie

Wprowadzenie. Warzywa poddane procesowi fermentacji na skutek działania bakterii mlekowych oraz wymiany masy zmieniają teksturę oraz strukturę. Celem pracy było zbadanie wpływu stężenia soli w solance na zawartość suchej masy, teksturę, stopień związania wody i strukturę buraków żółtych fermentowanych z użyciem dedykowanego szczepu *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC4080. Buraki, pokrojone w kostkę, zostały poddane fermentacji mlekowej w solance o stężeniu soli 0, 1, 2, 3, 4, 5 oraz 6 %. Fermentacja była monitorowana w dniach 0., 4., 6., 8., 11. oraz 60. Po 11 dniach procesu obniżono temperaturę z 30 do 25 °C, traktując czas 49 dni jako okres przechowywania w wyższej niż tradycyjnie temperaturze. W próbkach oceniano zawartość suchej masy, teksturę, strukturę wewnętrzną oraz stopień wiązania wody w komórkach buraka.

Wyniki i wnioski. Analiza wyników wykazała wpływ zarówno czasu fermentacji jak i dodatku soli w zalewie na parametry tekstury i strukturę. Proces fermentacji spowodował obniżenie zawartości suchej masy w tkance, niezależnie od użytego stężenia soli w solance. Próbki fermentowane w 4 ÷ 6-procentowej solance wykazywały najmniejsze zmiany w teksturze w porównaniu ze świeżymi burakami. Ponadto w przypadku tych próbek zaobserwowano usztywnienie tkanek. W miarę kontynuowania procesu fermentacji widoczny był spadek jędrności, elastyczności, spoistości i żujności. Wykazano związek ilości soli w zalewie ze stanem związania wody w tkance. Analiza struktury wewnętrznej wykazała także, iż kostki buraka fermentowane w solance 2- i 3-procentowej nie były pozapadane, co widoczne było dla buraka z 0- i 1-procentową solanką. Czas przechowywania zdecydowanie obniżył twardość i żujność próbek, niezależnie od stężenia soli w zalewie.

Słowa kluczowe: burak ćwikłowy żółty, struktura, tekstura, sól

Wprowadzenie

Fermentowanie surowców pochodzenia roślinnego i nie tylko, jest jedną z najstarszych praktyk przetwarzania i utrwalania żywności, stosowaną od czasów starożytnych. Proces ten pozwala głównie na konserwowanie surowców, czyli przedłużenie ich

trwałości oraz modyfikację cech organoleptycznych. Fermentowaną żywność definiuje się jako „żywność lub napoje wytwarzane w wyniku kontrolowanego wzrostu drobnoustrojów i konwersji składników żywności w wyniku działania enzymów”. Obecnie wytwarzanie kiszonek jest coraz bardziej popularne ze względu na uzyskiwane po procesie dodatkowe cenne właściwości prozdrowotne tych produktów. Dodatkowo, fermentowane warzywa i owoce odgrywają istotną rolę w codziennej diecie ludności na wszystkich kontynentach [1, 6, 22].

Burak ćwikłowy (*Beta vulgaris* L.) to warzywo popularne na całym świecie, które jest cenione za swoje właściwości prozdrowotne oraz wielostronne zastosowanie. Zawdzięcza to zawartości związków aktywnych (m. in. betalain, polifenoli) oraz niskiej zawartości cukrów. Jednakże w burakach ćwikłowych występują także związki, których należy unikać w pożywieniu. Wadamori i wsp. [30] wykazali, iż obniżenie pH podczas fermentacji miało wpływ na proporcje rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych szczawianów w fermentowanym produkcie. Finalnie prowadziło to do zwiększenia zawartości rozpuszczalnych szczawianów w fermentującej mieszance. Szczawiany te mogą być wykorzystane przez bakterie beztlenowe, stanowiące dużą część biomasy fermentacyjnej [30]. Wygląd buraków jest różny w zależności od ich odmiany. Może być kulisty lub stożkowy oraz charakteryzować się różną barwą na przekroju, tj. czerwoną, żółtą, białą lub z widocznymi pierścieniami białymi i czerwonymi występującymi naprzemiennie (odmiana Chioggia). Żółta odmiana zawiera nieznacznie mniej białka i węglowodanów niż czerwona (odpowiednio 1,81 % i 8,28 %) oraz jest bogatsza w błonnik pokarmowy (2,74 %). Ponadto burak żółty charakteryzuje się wyższą zawartością składników mineralnych takich jak wapń, magnez oraz mangan. Dodatkowe zastosowanie procesu fermentacji w przypadku buraków kiszonych przyczynia się do podniesienia ich ogólnej atrakcyjności spożywczej [14, 18, 23, 29].

W procesie fermentacji produktów spożywczych dużą rolę ogrywa dodatek soli kuchennej (NaCl). W użyciu codziennym służy ona do stabilizowania produktów warzywnych i niektórych owocowych. W procesie fermentacji sól zatrzymuje rozwój mikroorganizmów odpowiedzialnych za proces psucia, jak drożdże i pleśnie rodzaju *Aspergillus* oraz *Penicillium* [17]. Sól może być dodawana w postaci stałej lub jako roztwór solanki w różnych stężeniach, a jej dodatek zależy przede wszystkim od rodzaju surowca, który ulega przetwarzaniu oraz tego jaki efekt końcowy chce się osiągnąć. Jednakże zbyt wysoka zawartość NaCl (> 10 %) może osłabiać wartość odżywczą materiału oraz hamować aktywność enzymów podczas fermentacji. Dodatkowo nadmierna ilość soli w solance może zapoczątkować proces odwadniania osmotycznego, któremu towarzyszy wymiana składników między tkanką roślinną i zalewą. Zjawisko to pomaga w utrwaleniu warzyw poprzez hamowanie rozwoju mikroorganizmów i aktywności enzymów [4, 5, 25, 29].

Ocena sensoryczna żywności jest kluczowym elementem decydującym o jej akceptacji przez konsumentów, a istotnym czynnikiem wpływającym na tę ocenę jest tekstura produktu. Cechy tekstury często decydują o właściwościach kulinarnych. Definicja tekstury obejmuje kompleksowy opis uwzględniający aspekty strukturalne, mechaniczne, wzrokowe, słuchowe i dotykowe. Ze względu na to obecne urządzenia do pomiaru tekstury skupiają się na określonych parametrach fizycznych istotnych dla oceny sensorycznej. Tekstura jawi się więc jako złożona właściwość, wynikająca z różnorodności strukturalnej na poziomie molekularnym, mikroskopowym i makroskopowym. Obejmuje ona cechy takie jak elastyczność, twardość, wilgotność i wytrzymałość, zależne od specyfiki danego produktu spożywczego [2].

Błonnik pokarmowy jest kluczowym składnikiem znajdującym się w komórkach roślin. Przetwarzanie żywności, które skutkuje przemianami w substancjach błonnikowych, może mieć znaczący wpływ na smak owoców i warzyw. Podczas obróbki cieplnej włókna celulozowe ulegają procesowi nieznacznego pęcznienia, podczas gdy hemicelulozy mogą ulegać pęcznieniu lub rozpuszczaniu w środowisku obojętnym lub kwaśnym. Temperatura ma również wpływ na tkanki roślinne, powodując ich zmiękczenie poprzez przekształcenie protopektyny w pektynę i jednoczesne osłabienie ścian komórkowych. Nadmierne ogrzanie może prowadzić do rozpadu tkanek, szczególnie widocznego w przypadku bulw ziemniaków, choć warzywa korzeniowe, jak burak ćwikłowy, dzięki grubszyom błonom komórkowym, są mniej podatne na ten proces [15].

Fermentacja w procesie kiszenia warzyw zmienia nie tylko trwałość i smak produktów, ale również ma wpływ na strukturę i teksturę produktu. W przypadku kiszenia buraków odmiany żółtej proces ten może mieć istotne znaczenie dla składników aktywnych oraz tekstury. Istnieje szereg badań na temat procesu kiszenia warzyw, w tym buraków, jednakże badania te nie obejmują oceny wpływu soli na właściwości teksturalne i strukturalne. Niewiele jest także badań odmiany żółtej buraka ćwikłowego. Celem pracy było zbadanie wpływu stężenia soli w solance na zawartość suchej masy, teksturę, stopień związania wody i strukturę buraków żółtych fermentowanych z użyciem dedykowanego szczepu *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC4080. Postawiono zatem hipotezę badawczą, iż ilość dodanej soli w solance oraz czas fermentacji będą miały wpływ na teksturę i strukturę kiszzonego surowca oraz stan związania wody w tkance.

Material i metody badań

Material badawczy stanowiła żółta odmiana buraka ćwikłowego Golden (*Beta vulgaris* L. *subsp. vulgaris*) uprawiana w Holandii, sprowadzona do Polski, a zakupiona w sklepie internetowym. Do zaszczepienia użyto bakterii *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC4080 (szczep z kolekcji Katedry Mikrobiologii i Biotechnologii Żywności

Instytutu Nauk o Żywności SGGW w Warszawie). Zastosowana w badaniach sól (NaCl) była czystości cz.d.a (Chempur, Piekary Śląskie, Polska).

Inokulum przygotowano w soli fizjologicznej. Pobrano materiał biologiczny bakterii kwasu mlekowego (LAB – Lactic Acid Bacteria) - szczep *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC4080 i ustalono gęstość optyczną na 0,5 °McF w skali McFarlanda (Densimat, BioMerieux), co odpowiada w przybliżeniu 1×10^8 (jtk/cm³). Następnie przeprowadzono rozcieńczenie dziesiętne, a do procesu fermentacji zastosowano inokulum zawierające około 1×10^7 jtk/cm³.

Wolny od uszkodzeń i śladów zepsucia surowiec został umyty, osuszony, obrany i pokrojony w kostkę (1 x 1 cm). W kolejnym etapie dla wybranych dni prowadzenia procesu (4, 6, 8, 11 i 60 dzień) przygotowywano osobne słoje z surowcem. W tym celu 250 g buraków umieszczano w słojach o pojemności 500 ml, dodawano 200 g roztworu wody z solą (solanka) w stężeniach 0, 1, 2, 3, 4, 5 i 6 % oraz zaszczerpiono w ilości 1 % m/v przygotowanym inokulum bakteryjnym. Po dodaniu inokulum słoje były szczelnie zamykane, aby uniknąć kontaktu z powietrzem. Fermentacja buraków prowadzona była w temperaturze 30 °C. Po 11 dniach procesu obniżono temperaturę z 30 do 25 °C, traktując czas 49 dni jako okres przechowywania w wyższej niż tradycyjnie temperaturze. Aby zapewnić powtarzalność, dwa powtórzenia doświadczenia nastawiono w tym samym czasie, dzięki czemu była możliwość użycia buraków z tej samej partii.

Świeże buraki oraz część buraków fermentowanych z każdego dnia badań były liofilizowane w celu utrwalenia tkanki do badań struktury wewnętrznej (badanie z użyciem mikroskopu skaningowego oraz mikrotomografu). Kostki buraka zamrażano w temperaturze -40°C (Zamrażarka szokowa HCM 51.20, Irinox, Treviso, Włochy) przez 5h. Następnie prowadzono proces liofilizacji przez 24 h w liofilizatorze ALPHA 1-4 (Christ, Osterode, Niemcy) przy temperaturze półki grzewczej 25 °C i stałym ciśnieniu 63 Pa. Ciśnienie bezpieczeństwa ustawiono na 103 Pa. Analizy wykonywano w trzech powtórzeniach, chyba że zaznaczono inaczej.

Suchą masę w buraku surowym oraz w kiszonych bezpośrednio po procesie kiszenia oraz po procesie liofilizacji oznaczano metodą grawimetryczną. Do naczynek wagowych odważano około 1 g rozdrobnionego produktu. Suszenie próbek wykonano w suszarce próżniowej (Memmert VO400, Schwabach, Niemcy) pod ciśnieniem 10 mPa w temperaturze 75 °C przez 24 h do uzyskania stałej masy.

Do określenia tekstury buraków surowych i fermentowanych zastosowano analizę profilu tekstury (TPA). TPA przeprowadzono przy użyciu analizatora TA.XT2i (Stable Micro Systems, UK). Analizę tekstury wykonano w dwóch cyklach ściskania, przy zastosowaniu tłoku o średnicy 75 mm, z 5-sekundowym okresem pomiędzy cyklami. Ściskanie było prowadzone do odkształcenia 50 % próbki (do wysokości 0,5 cm), z zastosowaniem czujnika siły 750 kg, z prędkością testową 1 mm/s. Twardość, sprę-

żystość, kohezyjność i żujność wyliczono za pomocą wzorów podanych przez Guiné i Barroca [10]. Ze względu na dużą zmienność materiału badawczego pomiar wykonano w dziesięciu powtórzeniach.

Magnetyczny rezonans jądrowy (TD-NMR) to nieinwazyjna technika umożliwiająca analizę stopnia związania wody w komórkach roślinnych. Poprzez pomiar czasów relaksacji poprzecznej (T2) możliwe jest monitorowanie ruchu wody zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz komórek w trakcie różnych procesów. Czas T2 został wyznaczony przy użyciu spektrometru TD-NMR (Minispec mq20, Bruker) pracującego przy częstotliwości 20 MHz i temperaturze 22 ± 1 °C poprzez wykorzystanie sekwencji impulsów CPMG zgodnie z metodyką podaną przez Dellarosa i wsp. [8]. Próbkę wycięto z surowca za pomocą wiertła korkowego o średnicy 8 mm. Następnie przenoszono je do próbek NMR. Każdy pomiar wykonywany był przy użyciu 6000 ech i odstępie między impulsami 0,3 ms. Opóźnienie recyrkulacji ustawiono na 10 s, a dla każdej próbki wykonano 6 skanów.

Analizę powierzchni świeżych i fermentowanych buraków przeprowadzono przy użyciu mikroskopu cyfrowego KEYENCE 950F (Keyence, Japonia) przy powiększeniu 200x.

Analizę struktury określano dla zliofilizowanych próbek buraka żółtego. Strukturę wewnętrzną oraz analizę pierwiastkową fermentowanego buraka żółtego wykonano z użyciem mikroskopu elektronowego (SEM, Phenom XL, Thermo Fisher Scientific, USA) wyposażonego w detektor elektronów wtórnych EDS. W tym celu zliofilizowaną kostkę buraka przekrajano na pół, jedną z połówek przyklejano na taśmie węglowej, tak aby strona wewnątrz była skierowana do góry, następnie napyłano złotem i umieszczano w mikroskopie skaningowym, stosując napięcie przyspieszenia 10 kV i niską próżnię (60 Pa). Zdjęcia wykonano w powiększeniu 500x.

Skład mineralny określono za pomocą detektora spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii (SEM-EDS) przy użyciu spektrometru z dyspersją energii (typ SDD) zintegrowanego z w/w skaningowym mikroskopem elektronowym. Analizę przeprowadzono dla 6 losowo wybranych miejsc na obrazie mikroskopowym.

Zdjęcia wysuszonej tkanki buraka żółtego w formie 3D wykonano za pomocą systemu mikrotomografii komputerowej Skyscan 1272 (Bruker, Kontich, Belgia). Skany przeprowadzono przy napięciu źródła 40 kV i prądzie 193 μ A, z rozdzielczością 25 μ m i krokiem obrotu 0,3°. Uzyskane obrazy surowe binaryzowano w zakresie 25–755, stosując oprogramowanie CTAn (Bruker). Do zobrazowania struktury wewnętrznej wybrano zdjęcie przedstawiające przekrój w środku materiału.

Uzyskane z oznaczeń dane zostały poddane analizie statystycznej w programie Statistica v 13.1 (StatSoft, Warszawa, Polska.). Do ustalenia istotności różnic występujących pomiędzy próbkami wykorzystano test analizy wariancji z uwzględnieniem stę-

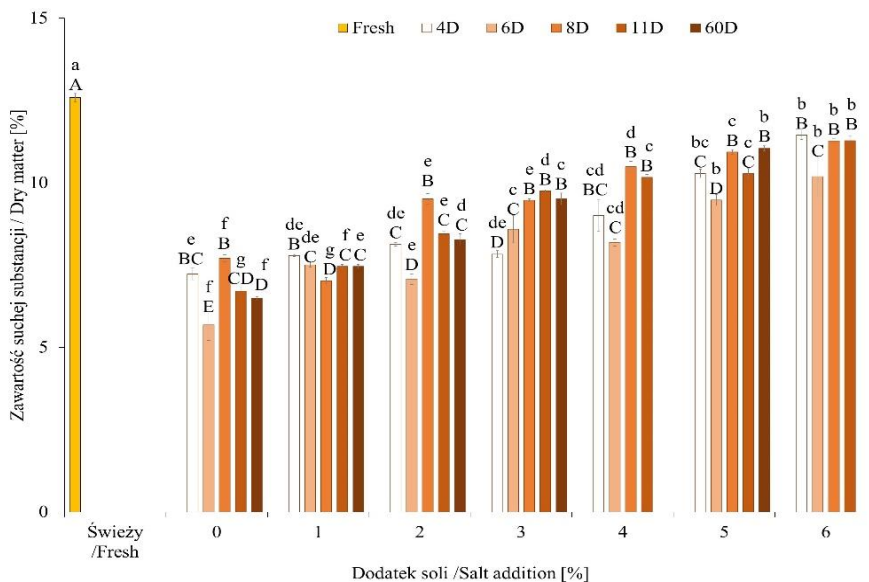
żenia soli w zalewie i czasu fermentacji. Wyznaczono grupy homogeniczne testem Tukey'a przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Ze względu na rozwój pleśni w każdym z powtórzeń nie przeprowadzono badań prób z dodatkiem 4- i 6-procentowej solanki po przechowywaniu. Podczas prowadzenia procesu fermentacji badano zarówno pH próbek, jak i ilość bakterii fermentacji mlekowej (dane zawarte w innym artykule). Wykazano, iż po 4 dniach trwania procesu wartości pH spadły z 6,3 do poziomu $3,4 \div 3,7$, co świadczy o prawidłowym przebiegu procesu fermentacji. Według danych literaturowych [19] zakres pH na poziomie $3,5 \div 4,0$ w połączeniu z informacjami na temat ilości bakterii świadczy o poprawnie prowadzonym procesie fermentacji mlekowej z udziałem bakterii kwasu mlekowego i skutecznym zakwaszeniu produktu. Początkowo wszystkie próbki miały liczbę bakterii kwasu mlekowego wynoszącą $5,81 \pm 0,3 \log \text{ jtk/cm}^3$, po 11 dniach trwania procesu fermentacji osiągnięto wartości rzędu $7,4 \div 8,5 \log \text{ jtk/cm}^3$. Fazę stacjonarną obserwowano w dniach od 8 do 11, co potwierdza zakończenie fazy rozwojowej bakterii kwasu mlekowego oraz zakończenie procesu fermentacji. Po przechowywaniu widoczny był spadek liczby bakterii do poziomu $4,5 \div 5,2 \log \text{ jtk/cm}^3$, co jest związane z wejściem w fazę obumierania [32].

Zawartość suchej substancji

Największą zawartością suchej substancji wyróżniał się burak żółty świeży (12,6 %) (Ryc. 1). W trakcie procesu fermentacji zawartość suchej substancji uległa obniżeniu. Mogło to być spowodowane zjawiskiem osmozy związanym z migracją rozpuszczalnych substancji do zalewy oraz zużyciem cukrów przez mikroorganizmy podczas ich rozwoju [9, 16, 19].



Rycina 1. Zmiany zawartości suchej substancji w buraku żółtym podczas fermentacji i przechowywania; wartości na wykresie są wartościami średnimi, słupki błędów oznaczają odchylenia standardowe

Figure 1. Changes in dry matter content for yellow beetroot during fermentation and storage; values in the graph are mean values, error bars denote standard deviations

Objaśnienia / Explanatory notes:

a, b, c (A, B, C) – różnice statystycznie istotne, $p < 0,05$, dla dnia procesu (dla stężenia solanki) / a, b, c (A, B, C) – statistically significant differences, $p < 0,05$, for the process day (for brine concentration).

Najmniejsze zmiany obserwowano w próbkach buraka fermentowanego w 1-procentowej zalewie solankowej. Natomiast najwyższe, w fermentowanych próbkach z solanki 6-procentowej (11,5 %). Wykazano wpływ zarówno dnia, jak i stężenia soli w solance na zawartość suchej substancji w próbkach. Największe obniżenie zawartości suchej substancji w trakcie procesu fermentacji obserwowano w próbkach bez dodatku soli w zalewie, co może być związane z jednostronną migracją składników rozpuszczalnych do zalewy (brak wnikania soli do tkanki) oraz obniżeniem zawartości cukrów prostych następującym w wyniku rozwoju mikroorganizmów [12].

W badaniach Wrzodak i Szwejdy-Grzybowskiej [32] sucha substancja świeżego buraka przed procesem fermentacji wyniosła $15,4 \pm 0,9$ % i $16,5 \pm 0,7$ % w zależności od badanej odmiany, a po trwającej miesiąc fermentacji zmalała do około 10 %. Wyniki te są istotnie wyższe niż w przypadku omawianego buraka żółtego, jednakże wpływ na ten parametr może mieć różnica w odmianie buraka ćwikłowego, czas prowadzenia procesu fermentacji oraz zastosowana wielkość dodatku soli w zalewie.

Analiza tekstury

Ocena tekstury żywności poprzez analizę TPA (Texture Profile Analysis) obejmuje pomiar parametrów takich jak twardość, sprężystość, kohezyjność i żujność. Twardość definiowana jest jako siła potrzebna do przełamania próbki w jamie ustnej. Sprężystość odnosi się do szybkości, z jaką próbka powraca do swojego pierwotnego stanu po nacisku. Kohezyjność opisuje wewnętrzne wiązania wpływające na spójność materiału i dostarcza informacji o sile, która utrzymuje spójność próbki. Żujność natomiast określa siłę potrzebną do rozdrobnienia stałej żywności w celu jej połknięcia [10, 11, 24].

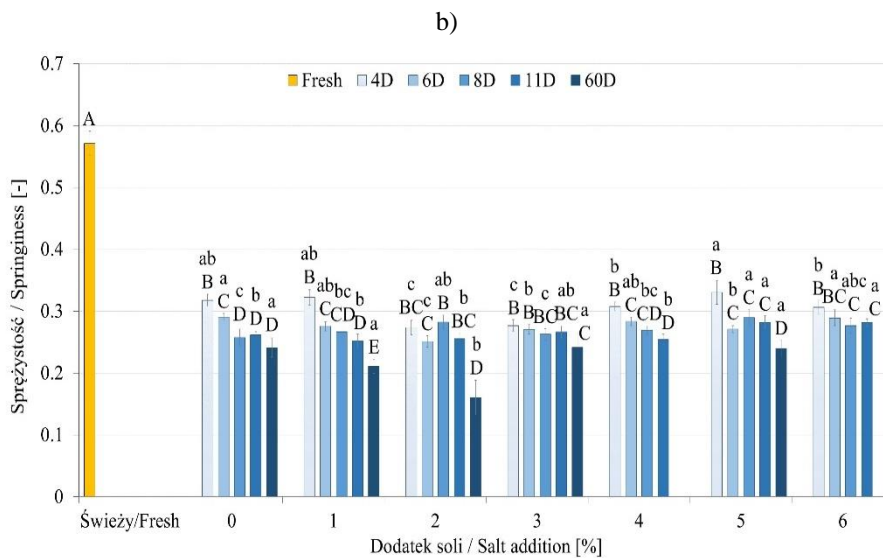
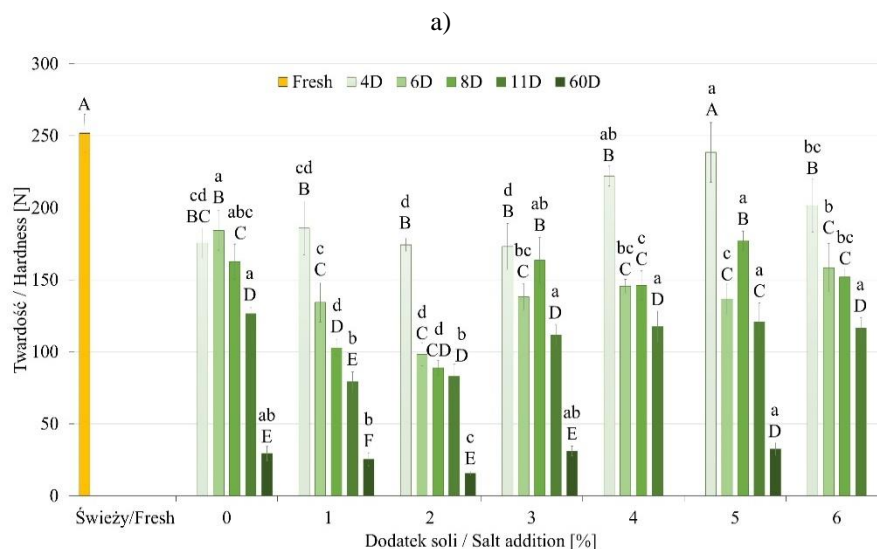
Najniższa twardość została zaobserwowana w próbce z jedenastego dnia fermentacji z dodatkiem 1-procentowej solanki (79,3 N). Natomiast najwyższe wartości odnotowano dla buraka świeżego (251,7 N) oraz buraka fermentowanego w solance 5 procentowej z dnia czwartego (238,5 N). Analiza twardości buraków wykazała, że wraz z postępem fermentacji twardość, w porównaniu z twardością świeżego buraka, ulegała obniżeniu, niezależnie od zastosowanego stężenia soli w solance (Ryc. 2a). Największe zmiany obserwowano na początku fermentacji, szczególnie buraków fermentowanych w solance o stężeniu soli od 0 do 3 %. Proces fermentacji spowodował obniżenie twardości, a różnice te były wyraźniejsze na początku procesu, głównie dla buraków z niższym dodatkiem soli. Wniknięcie soli mogło powodować wczesny etap plazmolizy komórek, następujący wraz z uwolnieniem płynów z komórek, co częściowo wyjaśnia obniżenie wartości siły użytej przy określaniu twardości obserwowane podczas fermentacji.

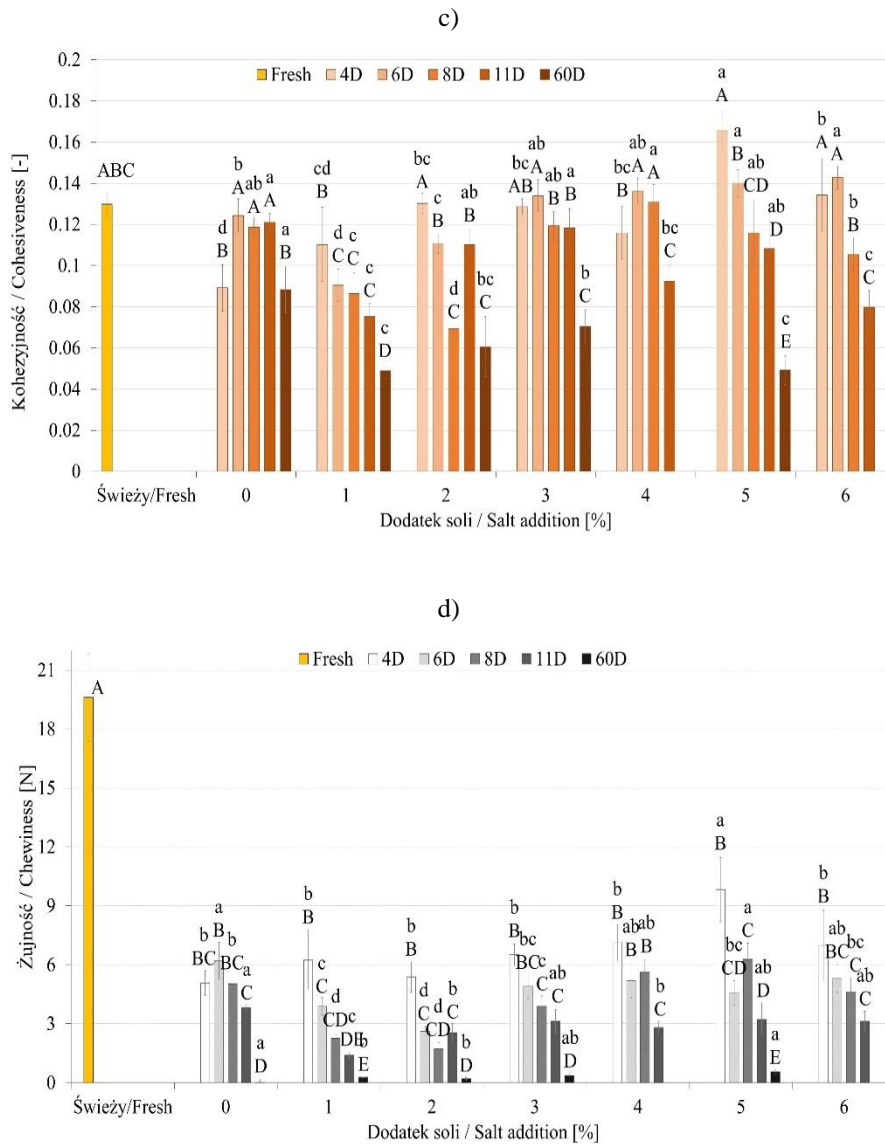
Badania Wrzodak i Szwejdę-Grzybowskię [32] nad twardością buraka ćwikłowego na dwóch odmianach wykazały, że dla surowych próbek twardość wynosiła $70,2 \pm 6,4$ oraz $89,3 \pm 8,03$ N. Są to znacznie niższe wartości w porównaniu z odmianą żółtą, w przypadku której zaobserwowano twardość na poziomie 251,7 N. Po miesiącu fermentacji badacze odnotowali wartości twardości na poziomie $22,8 \pm 4,7$ oraz $26,6 \pm 7,9$ N, co było zbliżone z wynikami uzyskanymi dla żółtej odmiany buraka ćwikłowego.

Sprężystość buraka ćwikłowego w różnych dniach fermentacji była istotnie niższa niż sprężystość dla warzywa świeżego (0,57) (Ryc. 2b). Stabilizacja wartości tego parametru w próbkach z solanki 1-procentowej oraz bez dodatku soli następowała po 8 dniach fermentacji, przy wyższych stężeniach soli w solance stabilizacja przebiegała szybciej. Nie obserwowano istotnego statystycznie wpływu stężenia soli na zmiany w sprężystości buraka ćwikłowego żółtego.

W większości przypadków kohezyjność fermentowanych buraków żółtych była zbliżona do próbki surowej (Ryc. 2c). Wartość tego parametru wynosiła 0,13 dla świeżego buraka. Nie zaobserwowano wyraźnych tendencji związanych z dodatkiem soli. Proces fermentacji spowodował spadek wartości parametru kohezyjności w obrębie

każdego stężenia, jednakże ze względu na duże odchylenia standardowe związane ze zmiennością próby spadek wartości nie był statystycznie istotny w porównaniu ze świeżym burakiem.





Rycina 2. Wyniki tekstury fermentowanego buraka żółtego a) twardość [N], b) sprężystość [-], c) kohezjyjność [-], d) żujność [N]

Figure 2. Texture results of fermented yellow beetroots (a) hardness [N], (b) springiness [-], (c) cohesion [-], (d) chewiness [N]

Objaśnienia / Explanatory notes:

wartości na wykresie są wartościami średnimi, słupki błędów oznaczają odchylenia standardowe, a, b, c (A, B, C) - różnice statystycznie istotne, $p < 0,05$, dla dnia procesu (dla stężenia solanki) / values in the graph are mean values, error bars indicate standard deviations, a, b, c (A, B, C) - statistically significant differences, $p < 0.05$, for the process day (for brine concentration).

Definicja kohezyności budzi wiele kontrowersji, jednak według Rosenthala i Thompsona [27] definicja podana przez Szcześniak [28] w odniesieniu do analizy TPA jest bardzo dobrze dobrana. Według niej kohezynność świadczy o „sile wewnętrznych więzi tworzących korpus produktu”, co w przypadku analizowanego buraka żółtego po procesie fermentacji może świadczyć o braku zmian wewnętrznych wiązań.

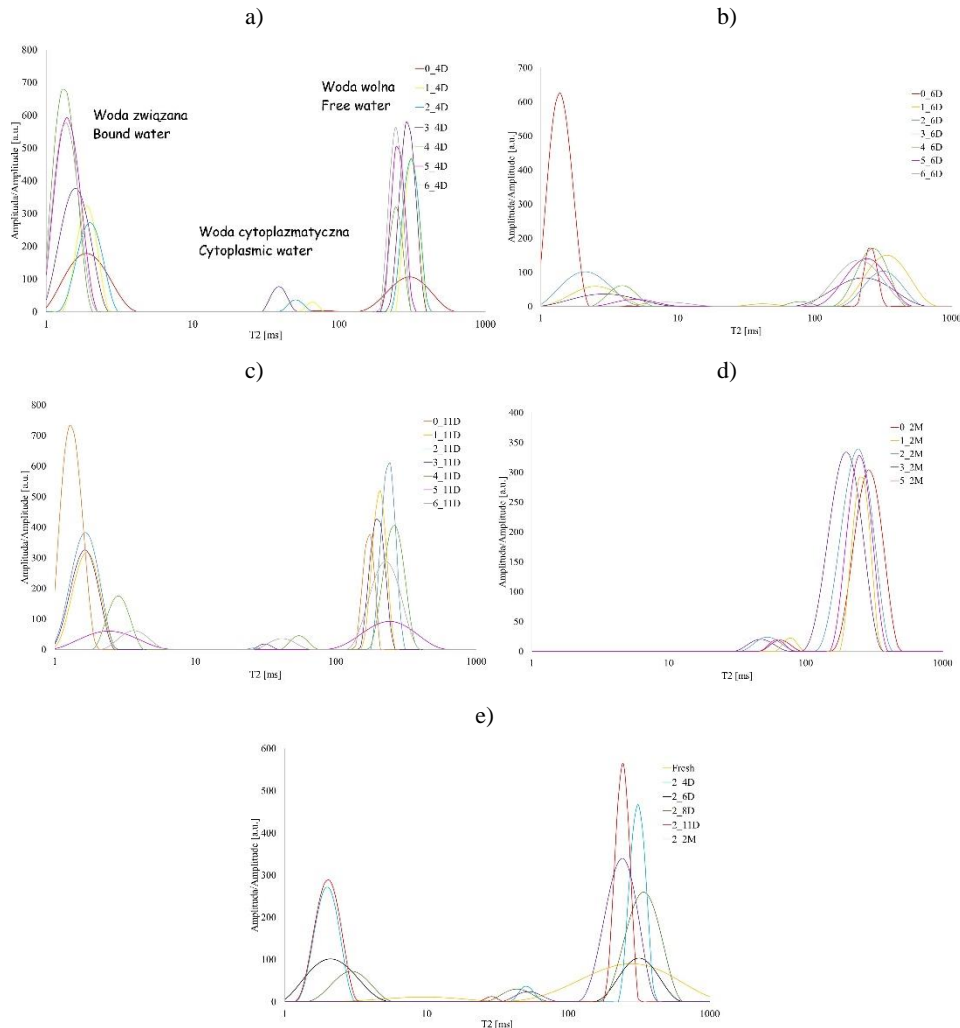
Żujność buraka obniżyła się znacząco po procesie fermentacji w porównaniu z świeżym surowcem (Rys. 2d). Obniżenie było około 4-krotne w porównaniu z próbką świeżego buraka. Największy spadek wartości obserwowano w próbce fermentowanej w 1-procentowej solance, szczególnie po 11. dniu procesu (1,40 N). Nie wykazano wpływu stężenia soli w solankach na żujność próbek w ocenianym dniu fermentacji. Po procesie żujność obniżyła się do wartości rzędu $0,2 \div 0,5$ N. Podczas badań było to związane z użyciem do rozbicia próbki niewielkich sił, powodujących jej szybką destrukcję. Parametr ten jest powiązany z twardością próbki, której wartości także pod koniec procesu fermentacji oraz po przechowywaniu uległy obniżeniu (Ryc. 2 a i d).

Podobne obserwacje dotyczące obniżenia twardości, sprężystości i żujności w wyniku zastosowania różnego stężenia soli (3, 6 i 9 %) podczas procesu fermentacji kimchi odnotowali Yang i wsp. [33]. Autorzy sugerują, że większy dodatek soli może powodować retencję wody w tkankach, co prowadzi do ich pęcznienia i rozrywania ścian komórkowych, a w rezultacie do mięknięcia. Ta obserwacja może potwierdzić wymienione przyczyny mięknięcia zachodzące podczas fermentacji buraka żółtego.

Analiza stopnia związania wody w próbkach (TD-NMR)

Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR) mierzy czas relaksacji poprzecznej (T_2) i może być wykorzystywany do monitorowania ruchu wody w tkankach [8]. Badania dotyczące kiwi, jabłek oraz innych owoców wykazały, że dodatek soli kuchennej czy witamin w trakcie przetwarzania może wpływać na sposób, w jaki woda jest rozprowadzana w strukturze komórkowej. Obserwacje sugerują, że zmiany w ilości wody i substancji stałych w owocach podczas procesów osmotycznych korelują z redukcją ruchu cząsteczek wody wewnątrz komórek roślinnych, co może być wskaźnikiem utraty wody i zwiększenia stężenia rozpuszczonych w wodzie substancji [20, 26].

W czwartym dniu procesu fermentacji (Ryc. 3a) można zidentyfikować trzy odrębne piki, reprezentujące różne stopnie związania wody obecnej w próbkach, w tym znaczną ilość wody związanej oraz wody wolnej. Jednakże wykryto obecność wody w cytoplazmie jedynie w przypadku trzech stężeń NaCl w solance: 1-, 2- i 3-procentowej. Minimalne ilości zarówno wody wolnej, jak i związanej, zaobserwowano w próbce buraka traktowanego zalewą bez dodatku soli. W próbkach z szóstego i jedenastego dnia fermentacji (Ryc. 3 b i c) dominuje obecność wody wolnej, a w mniejszym stopniu wody związanej.



Rycina 3. Spektrum T2 uzyskane dla kiszonek buracanych: a) w czwartym dniu, b) w szóstym dniu, c) w jedenastym dniu, d) po 2 miesiącach przechowywania, e) dla stężenia 2-procentowego przez cały okres fermentacji

Figure 3. T2 spectrum obtained for fermented beetroots on: (a) on day four; (b) on day six; (c) on day eleven; (d) after storage for two months; (e) for a concentration of 2 % throughout the fermentation period.

Charakterystyczne dla szóstego i jedenastego dnia fermentacji były piki wody związanej obecne w wariancie bez dodatku NaCl. Pozostałe wartości osiągnięte przez wysokość pików pozostają na zbliżonym poziomie, nie wykazując znaczących różnic. Na obu rysunkach nie zaobserwowano obecności wody w cytoplazmie (Ryc. 3 b i c). Pozwala to stwierdzić, że ilość wody związanej, wody cytoplazmatycznej i wody wol-

nej może być zależna od zawartości soli w kiszonce oraz od dnia fermentacji. Po okresie przechowywania (Ryc. 3 d) nie obserwowano obecności wody związanej. Zaobserwowano minimalne piki wskazujące na wodę cytoplazmatyczną. Szczególnie zauważalne było występowanie wody wolnej, będące na podobnym poziomie niezależnie od stężenia soli.

W trakcie fermentacji buraka żółtego w zalewie z 2-procentowym dodatkiem soli zawartość wody w jego tkance ulegała istotnym zmianom. Szczególnie duże fluktuacje zaobserwowano zarówno na początku procesu fermentacji, jak i po okresie przechowywania surowca. Mimo prób standaryzacji poprzez homogenizację całej partii pokrojonego buraka nie zaobserwowano klarownych trendów w zmianach ilości wody wolnej, związanej i cytoplazmatycznej w trakcie trwania fermentacji (od 4. do 11. dnia). Po okresie przechowywania wykryto tylko obecność wody wolnej oraz cytoplazmatycznej (poziom ten sam na przestrzeni procesu – drugi pik), nie wykryto drgań charakterystycznych dla wody związanej (Ryc. 3 e).

Podobne zależności widoczne były w obrębie każdego dodatku soli. Z tego względu autorzy zdecydowali się pokazać rysunek zmian wody w tkance podczas fermentacji dla wybranego stężenia soli w zalewie.

Obserwacja powierzchni za pomocą mikroskopu cyfrowego

Wykorzystanie mikroskopu cyfrowego umożliwiło śledzenie zmian zachodzących na powierzchni badanego surowca. Na uzyskanych obrazach zaobserwowano ewolucję zarówno koloru, jak i struktury powierzchni próbek w trakcie procesu fermentacji oraz po dodaniu NaCl. Wyraźnie zauważalna jest różnica pomiędzy próbką świeżego buraka żółtego a tymi, które przeszły proces fermentacji. Po pokrojeniu świeżego buraka jego barwa była wyraźnie żółta. W miarę upływu czasu fermentacji barwa stawała się jaśniejsza i mniej intensywna. Jednakże zauważono, że ta zmiana była zależna od stężenia NaCl w roztworze. W przypadku buraka fermentowanego w zalewie o stężeniu soli 4 i 6 %, barwa w większości przypadków nie odróżniała się od pierwotnej. W wariancie 1-procentowego NaCl w zalewie obserwowano pojawienie się szarych odcieni w tkance buraka żółtego (Tab. 1). Analiza próbek po okresie przechowywania wykazała zauważalne wyblaknięcie barwy surowca. Pozostałe próbki charakteryzowały się jaśniejszym odcieniem żółtego w porównaniu z próbkami świeżego buraka. Badanie potwierdziło, że różne stężenia NaCl w zalewie mogą mieć zauważalny wpływ na kolor buraków w kolejnych dniach procesu fermentacji.

Obserwując strukturę tkanek buraka żółtego, na zdjęciach pochodzących z mikroskopu cyfrowego Keyence zauważono obecność porów oraz dostrzeżono, iż struktura buraków poddanych procesowi fermentacji nie była całkowicie gładka. Warto jednak zaznaczyć, że nie zaobserwowano żadnych zniekształceń wynikających z obecności soli.


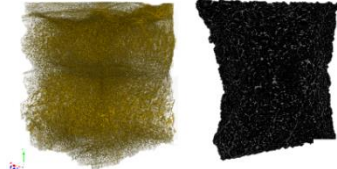
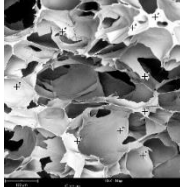
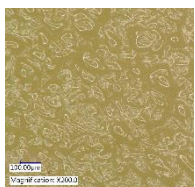

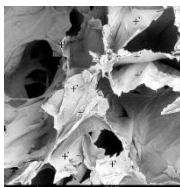
Analiza struktury wewnętrznej

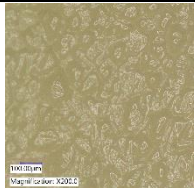
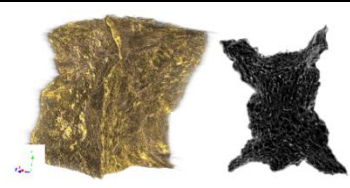
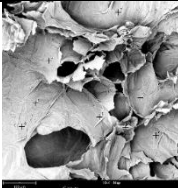
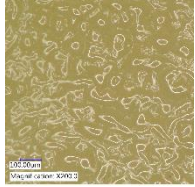
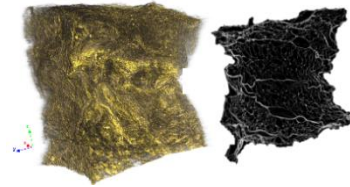



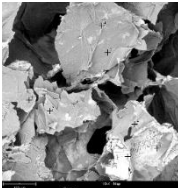

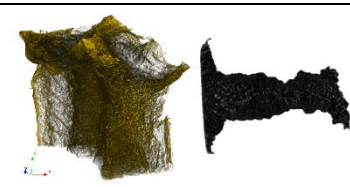
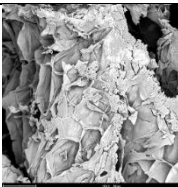
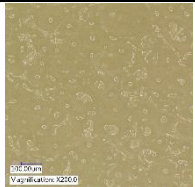
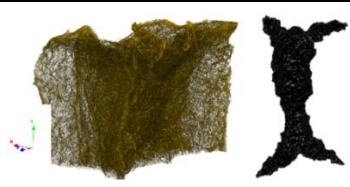
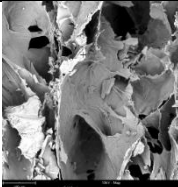
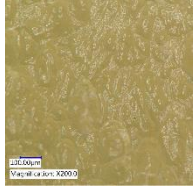
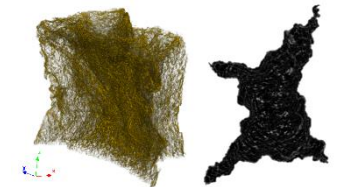
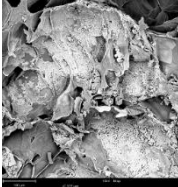

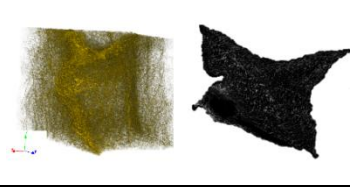
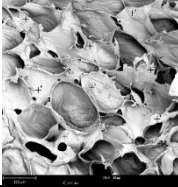
Obrazy ze skaningowej mikroskopii elektronicznej pokazały wewnętrzną tkankę roślinną z komórkami mięszszowymi i ich ścianami komórkowymi. Na zdjęciach z mikrotomografu widoczna jest cała kostka buraka i jej wewnętrzna struktura (Tab. 1).



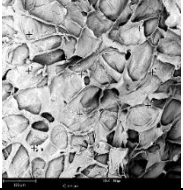
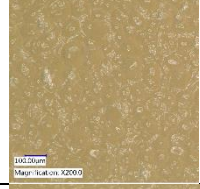
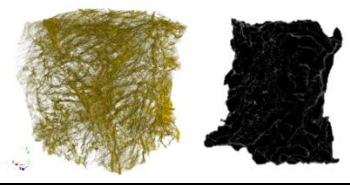
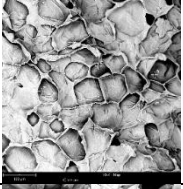
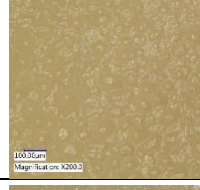
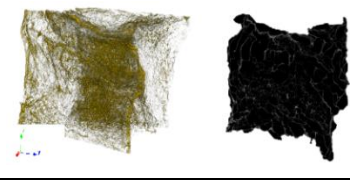


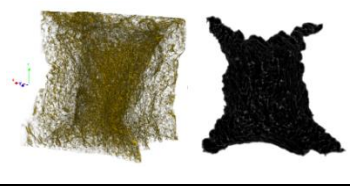
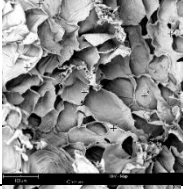
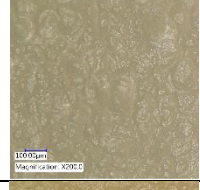
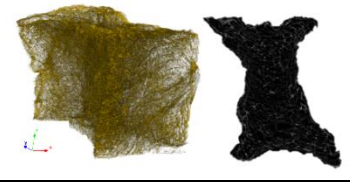
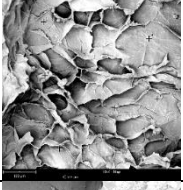
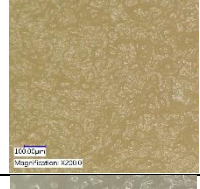
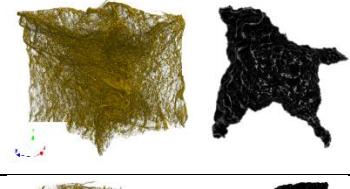
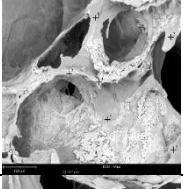
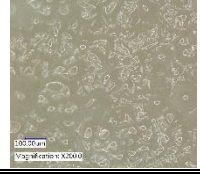
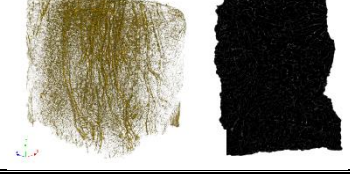
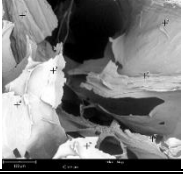
Analiza struktury buraka żółtego niezależnie od dodatku soli oraz dnia fermentacji wykazuje mniejsze i zapadnięte pory różnej wielkości. Zauważalne modyfikacje są związane z zapadaniem się dużych porów w tkankach, które mogły zawierać wodę przed procesem suszenia. Można przewidywać, iż proces zamrażania przed procesem liofilizacji może prowadzić do dezintegracji struktury, co jest widoczne na obrazach próbek. Dodatkowo warto wspomnieć, iż wszystkie próbki były zamrażane w ten sam sposób. Można więc zakładać, iż w takim samym stopniu zarówno zamrażanie jak i liofilizacja wpłynęła na zmiany w strukturze, dzięki czemu można pominąć wpływ tego procesu na strukturę buraka. Z drugiej strony różna zawartość wody w próbkach po procesie fermentacji mogła w różny sposób wpływać na proces zamrażania.

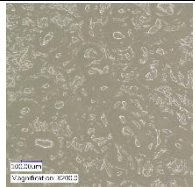

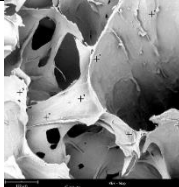

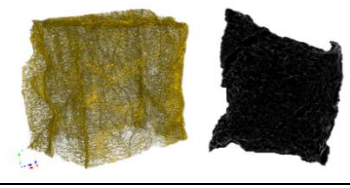
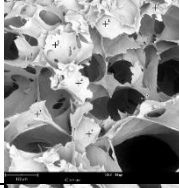

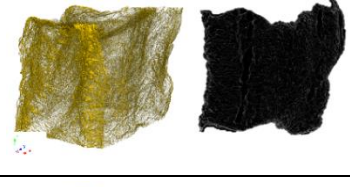
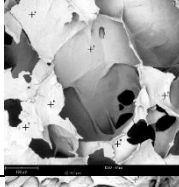
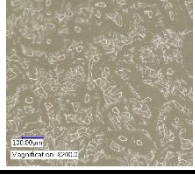
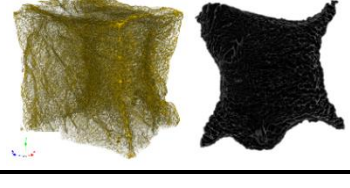

Tabela 1. Struktura suszy buraka żółtego, zdjęcia z mikroskopu cyfrowego Kayence 200x, zdjęcia z mikrotomografu, zdjęcia z mikroskopu elektronowego x500, analiza powierzchniowa pierwiastków (SEM-EDS)

Table 1. Drought structure of yellow beetroot, Kayence 200x digital, microtomography images, scanning electron microscope images x500, elemental mineral surface analysis (SEM-EDS)

Próbka / Sample	Mikroskop cyfrowy / Digital microscope	Mikrotomograf / Microtomography	Mikroskop skaningowy / SEM	Skład mineralny / EDS mineral analysis												
Świeży / Fresh				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oxygen</td> <td>48.44</td> <td>49.15</td> </tr> <tr> <td>Carbon</td> <td>44.81</td> <td>34.13</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>6.74</td> <td>16.72</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxygen	48.44	49.15	Carbon	44.81	34.13	Potassium	6.74	16.72
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.														
Oxygen	48.44	49.15														
Carbon	44.81	34.13														
Potassium	6.74	16.72														
0_4D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>61.96</td> <td>55.01</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>38.04</td> <td>44.99</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	61.96	55.01	Oxygen	38.04	44.99			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.														
Carbon	61.96	55.01														
Oxygen	38.04	44.99														

1_4D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>51.31</td> <td>38.02</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>35.75</td> <td>35.29</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>7.31</td> <td>15.99</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>2.91</td> <td>4.13</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>2.72</td> <td>6.57</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	51.31	38.02	Oxygen	35.75	35.29	Chlorine	7.31	15.99	Sodium	2.91	4.13	Potassium	2.72	6.57			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																							
Carbon	51.31	38.02																							
Oxygen	35.75	35.29																							
Chlorine	7.31	15.99																							
Sodium	2.91	4.13																							
Potassium	2.72	6.57																							
2_4D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>37.62</td> <td>27.76</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>27.40</td> <td>26.93</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen</td> <td>21.90</td> <td>18.85</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>10.44</td> <td>22.74</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>2.64</td> <td>3.73</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	37.62	27.76	Oxygen	27.40	26.93	Nitrogen	21.90	18.85	Chlorine	10.44	22.74	Sodium	2.64	3.73			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																							
Carbon	37.62	27.76																							
Oxygen	27.40	26.93																							
Nitrogen	21.90	18.85																							
Chlorine	10.44	22.74																							
Sodium	2.64	3.73																							
3_4D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>50.42</td> <td>34.23</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>18.94</td> <td>17.13</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>15.69</td> <td>31.45</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>8.31</td> <td>10.80</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen</td> <td>5.84</td> <td>4.63</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>0.79</td> <td>1.76</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	50.42	34.23	Oxygen	18.94	17.13	Chlorine	15.69	31.45	Sodium	8.31	10.80	Nitrogen	5.84	4.63	Potassium	0.79	1.76
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																							
Carbon	50.42	34.23																							
Oxygen	18.94	17.13																							
Chlorine	15.69	31.45																							
Sodium	8.31	10.80																							
Nitrogen	5.84	4.63																							
Potassium	0.79	1.76																							
4_4D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>54.20</td> <td>38.23</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>21.51</td> <td>20.21</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>12.34</td> <td>16.67</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>11.95</td> <td>24.89</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	54.20	38.23	Oxygen	21.51	20.21	Sodium	12.34	16.67	Chlorine	11.95	24.89						
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																							
Carbon	54.20	38.23																							
Oxygen	21.51	20.21																							
Sodium	12.34	16.67																							
Chlorine	11.95	24.89																							
5_4D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>53.38</td> <td>38.81</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>30.31</td> <td>29.35</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>8.18</td> <td>17.55</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>5.09</td> <td>7.08</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>3.04</td> <td>7.20</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	53.38	38.81	Oxygen	30.31	29.35	Chlorine	8.18	17.55	Sodium	5.09	7.08	Potassium	3.04	7.20			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																							
Carbon	53.38	38.81																							
Oxygen	30.31	29.35																							
Chlorine	8.18	17.55																							
Sodium	5.09	7.08																							
Potassium	3.04	7.20																							
6_4D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>36.49</td> <td>20.79</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>34.37</td> <td>37.49</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>21.23</td> <td>35.72</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>7.91</td> <td>6.00</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	36.49	20.79	Sodium	34.37	37.49	Chlorine	21.23	35.72	Oxygen	7.91	6.00						
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																							
Carbon	36.49	20.79																							
Sodium	34.37	37.49																							
Chlorine	21.23	35.72																							
Oxygen	7.91	6.00																							
0_11D				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>50.58</td> <td>39.39</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>43.18</td> <td>44.79</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>6.24</td> <td>15.82</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	50.58	39.39	Oxygen	43.18	44.79	Potassium	6.24	15.82									
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																							
Carbon	50.58	39.39																							
Oxygen	43.18	44.79																							
Potassium	6.24	15.82																							

1_1ID				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>58.43</td> <td>47.70</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>34.18</td> <td>37.17</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>4.23</td> <td>10.19</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>3.16</td> <td>4.93</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	58.43	47.70	Oxygen	34.18	37.17	Chlorine	4.23	10.19	Sodium	3.16	4.93			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	58.43	47.70																				
Oxygen	34.18	37.17																				
Chlorine	4.23	10.19																				
Sodium	3.16	4.93																				
2_1ID				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>38.55</td> <td>30.48</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>34.45</td> <td>36.29</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen</td> <td>19.66</td> <td>18.14</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>4.86</td> <td>11.35</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>2.47</td> <td>3.74</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	38.55	30.48	Oxygen	34.45	36.29	Nitrogen	19.66	18.14	Chlorine	4.86	11.35	Sodium	2.47	3.74
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	38.55	30.48																				
Oxygen	34.45	36.29																				
Nitrogen	19.66	18.14																				
Chlorine	4.86	11.35																				
Sodium	2.47	3.74																				
3_1ID				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>53.31</td> <td>39.26</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>30.78</td> <td>30.20</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>10.61</td> <td>23.06</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>5.31</td> <td>7.48</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	53.31	39.26	Oxygen	30.78	30.20	Chlorine	10.61	23.06	Sodium	5.31	7.48			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	53.31	39.26																				
Oxygen	30.78	30.20																				
Chlorine	10.61	23.06																				
Sodium	5.31	7.48																				
4_1ID				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>52.81</td> <td>37.40</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>27.79</td> <td>26.21</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>13.72</td> <td>28.68</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>5.68</td> <td>7.71</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	52.81	37.40	Oxygen	27.79	26.21	Chlorine	13.72	28.68	Sodium	5.68	7.71			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	52.81	37.40																				
Oxygen	27.79	26.21																				
Chlorine	13.72	28.68																				
Sodium	5.68	7.71																				
5_1ID				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>35.60</td> <td>27.12</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>31.98</td> <td>32.45</td> </tr> <tr> <td>Nitrogen</td> <td>21.09</td> <td>18.74</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>6.55</td> <td>14.74</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>4.77</td> <td>6.96</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	35.60	27.12	Oxygen	31.98	32.45	Nitrogen	21.09	18.74	Chlorine	6.55	14.74	Sodium	4.77	6.96
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	35.60	27.12																				
Oxygen	31.98	32.45																				
Nitrogen	21.09	18.74																				
Chlorine	6.55	14.74																				
Sodium	4.77	6.96																				
6_1ID				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>55.74</td> <td>39.09</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>17.12</td> <td>15.99</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>15.48</td> <td>20.78</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>11.66</td> <td>24.14</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	55.74	39.09	Oxygen	17.12	15.99	Sodium	15.48	20.78	Chlorine	11.66	24.14			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	55.74	39.09																				
Oxygen	17.12	15.99																				
Sodium	15.48	20.78																				
Chlorine	11.66	24.14																				
0_2M				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>54.08</td> <td>44.09</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>42.05</td> <td>45.66</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>3.86</td> <td>10.25</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	54.08	44.09	Oxygen	42.05	45.66	Potassium	3.86	10.25						
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	54.08	44.09																				
Oxygen	42.05	45.66																				
Potassium	3.86	10.25																				

1_2M				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>51.45</td> <td>38.86</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>37.91</td> <td>38.15</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>5.36</td> <td>11.95</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>3.38</td> <td>8.30</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>1.89</td> <td>2.74</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	51.45	38.86	Oxygen	37.91	38.15	Chlorine	5.36	11.95	Potassium	3.38	8.30	Sodium	1.89	2.74
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	51.45	38.86																				
Oxygen	37.91	38.15																				
Chlorine	5.36	11.95																				
Potassium	3.38	8.30																				
Sodium	1.89	2.74																				
2_2M				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>56.08</td> <td>42.31</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>27.88</td> <td>28.02</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>8.29</td> <td>18.46</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>7.76</td> <td>11.20</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	56.08	42.31	Oxygen	27.88	28.02	Chlorine	8.29	18.46	Sodium	7.76	11.20			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	56.08	42.31																				
Oxygen	27.88	28.02																				
Chlorine	8.29	18.46																				
Sodium	7.76	11.20																				
3_2M				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>55.56</td> <td>42.12</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>27.33</td> <td>27.60</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>10.20</td> <td>14.80</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>6.92</td> <td>15.48</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	55.56	42.12	Oxygen	27.33	27.60	Sodium	10.20	14.80	Chlorine	6.92	15.48			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	55.56	42.12																				
Oxygen	27.33	27.60																				
Sodium	10.20	14.80																				
Chlorine	6.92	15.48																				
5_2M				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Name</th> <th>Atomic Conc.</th> <th>Weight Conc.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon</td> <td>57.55</td> <td>42.20</td> </tr> <tr> <td>Oxygen</td> <td>22.85</td> <td>22.32</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>10.48</td> <td>22.68</td> </tr> <tr> <td>Sodium</td> <td>9.12</td> <td>12.80</td> </tr> </tbody> </table>	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.	Carbon	57.55	42.20	Oxygen	22.85	22.32	Chlorine	10.48	22.68	Sodium	9.12	12.80			
Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.																				
Carbon	57.55	42.20																				
Oxygen	22.85	22.32																				
Chlorine	10.48	22.68																				
Sodium	9.12	12.80																				

Fermentację w roztworach soli można porównać do odwodnienia osmotycznego, biorąc pod uwagę, że stężenie soli w solance będzie wystarczająco wysokie, aby wyrównać stężenia w tkance i solance. Odwadnianie osmotyczne poprzez ruch masy z i do przestrzeni międzykomórkowych i pozakomórkowych tkanki może prowadzić do mikroskopowych uszkodzeń strukturalnych komórek [21]. De Jesus Junqueira i wsp. [7] wykazali w swoich badaniach, że próbki poddane oddziaływaniu osmotycznemu charakteryzowały się komórkami o nieregularnym kształcie i umiarkowanym zapadnięciu, wykazując jednocześnie rozdarcie struktury tkanki. Podczas procesu obróbki osmotycznej dochodzi do degradacji ścian komórkowych, co prowadzi do zmniejszenia kontaktu międzykomórkowego, plazmolizy oraz zapadania się struktury komórkowej. Ponadto, jak wskazują de Jesus Junqueira i wsp. [7], możliwa jest utrata wody cytoplazmatycznej, co prowadzi do deformacji tkanki i zmian w jej strukturze.

W analizie mikroskopowej próbek buraka żółtego nie zaobserwowano komórek bakteryjnych odpowiedzialnych za proces fermentacji. Zastosowanie powiększeń powyżej 3000x na SEM nie skutkowało także obserwowaniem ich obecności. Z kolei

obecność bakterii kwasu mlekowego obserwowali w postaci biofilmu Barbu i wsp. [3] na próbkach fermentowanych warzyw z udziałem *L. plantarum*.

Analiza pierwiastkowa

Przeprowadzono analizę SEM-EDS wszystkich próbek, natomiast w artykule przedstawiono wyniki dla wybranych pomiarów (Tab. 1). Analizy pierwiastkowe przeprowadzono na wewnętrznej powierzchni każdej próbki. Wyniki z tej analizy potwierdziły przemieszczenie soli do wnętrza kostki fermentowanego buraka. W świeżej próbce buraka żółtego oraz w próbkach bez dodatku soli w zalewie (0 %) występowały węgiel, tlen i potas, lecz nie wykryto chloru ani sodu. W przypadku próbek po fermentacji potwierdzono obecność Na i Cl, co świadczy o migracji soli do tkanki. Na podstawie badań EDS nie można jednak określić procentowego udziału soli w próbce. Możliwe jest jedynie potwierdzenie występowania pierwiastków w obrębie badanego pola. Podobne zależności otrzymano przy fermentacji papryki, gdzie w próbkach bez dodatku soli nie obserwowano obecności jonów Na i Cl, natomiast w próbkach z dodatkiem soli w zalewie jony te były obecne [13].

Wnioski

1. Na zawartość suchej masy i teksturę żółtych buraków odmiany Golden w najmniejszym stopniu wpłynął proces fermentacji z wykorzystaniem solanki z 1-procentowym dodatkiem NaCl. Twardość badanych próbek zmniejszała się wraz z wydłużaniem czasu fermentacji, jednocześnie była ona determinowana zawartością NaCl w solance i była większa dla większych stężeń soli w zalewie fermentacyjnej.
2. Najmniejsze zmiany w teksturze fermentowanych żółtych buraków odmiany Golden, w porównaniu ze świeżym burakiem, zaobserwowano dla próbek z solanki 4- i 6-procentowej. Podczas fermentacji mlekowej stwierdzono obniżenie sprężystości, kohezji i żujności. W trakcie procesu przechowywania zaobserwowano dalsze obniżanie wartości badanych parametrów tekstury, jednak nie wykazano wpływu stężenia solanki na te zmiany.
3. Badania SEM-EDS potwierdziły, że roztwór NaCl podczas dwukierunkowej wymiany masy w czasie fermentacji wniknął do tkanek badanych buraków. Uzyskane wyniki oznaczenia analizy EDS potwierdzają znaczenie stężenia NaCl w zastosowanej solance podczas fermentacji buraka żółtego.
4. Stężenie NaCl w solance zastosowanej w czasie fermentacji żółtych buraków odmiany Golden regulowało stopień związania wody w tkankach surowca wpływając na stosunek wody związanej do uwolnionej z matrycy tkankowej warzyw.

Oświadczenie

W badaniach wykorzystano aparaturę zakupioną w ramach projektu „Centrum żywności i żywienia - modernizacja kampusu SGGW w celu stworzenia Centrum Badaawczo-Rozwojowego Żywności i Żywienia (CŻiŻ)” współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego na lata 2014-2020 (nr projektu RPMA.01.01.00-14-8276/17).

Literatura

- [1] Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Sachadyn-Król M., Varzakas T.: Lactic acid bacteria as antibacterial agents to extend the shelf life of fresh and minimally processed fruits and vegetables: Quality and safety aspects. *Microorganisms*, 2020, 8(6), #952.
- [2] Andrés-Bello A., Barreto-Palacios V., García-Segovia P., Mir-Bel J., Martínez-Monzó J.: Effect of pH on Color and Texture of Food Products. *Food Eng. Rev.* 2013, 5, 158-170.
- [3] Barbu V., Cotârlet M., Bolea C. A., Cantaragiu A., Andronoiu D. G., Bahrim G. E., Enachi E.: Three Types of Beetroot Products Enriched with Lactic Acid Bacteria. *Foods*, 9(6), 2020, #786.
- [4] Bautista-Gallego J., Medina E., Sánchez García B., Benítez-Cabello A., Arroyo López F.N.: Role of lactic acid bacteria in fermented vegetables. *Grasas Aceites*, 71, 2020, #358.
- [5] Bautista- Gallego J., Rantsiou K., Garrido- Fernández A., Cocolin L., Arroyo- López, F.N.: Salt reduction in vegetable fermentation: reality or desire?, *J. Food Sci.*, 78 (8), 2013, 1095-1100.
- [6] Casciano F., Mayr H., Nissen L., Putti A., Zoli F., Gianotti A., Conterno L.: Red Beetroot Fermentation with Different Microbial Consortia to Develop Foods with Improved Aromatic Features. *Foods*, 2022, 11(19), #3055.
- [7] de Jesus Junqueira J.R., Corrêa J.L.G. de Mendonça K.S., de Mello Júnior R.E., de Souza A.U.: Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration of Beetroot, Carrot and Eggplant Slices: Effect of Vacuum Pressure on the Quality Parameters. *Food Bioproc. Technol.*, 2018, 11(10), 1863-1875.
- [8] Dellarosa N., Ragni L., Laghi L., Tylewicz U., Rocculi P., Dalla Rosa M.: Time domain nuclear magnetic resonance to monitor mass transfer mechanisms in apple tissue promoted by osmotic dehydration combined with pulsed electric fields. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2016, 37, 345-351.
- [9] Dimakopoulou-Papazoglou D., Lazaridou A., Biliaderis C.G., Katsanidis E.: Effect of Process Temperature on the Physical State of Beef Meat Constituents – Implications on Diffusion Kinetics during Osmotic Dehydration. *Food Bioproc. Technol.*, 2022, 15(3), 706-716.
- [10] Guiné R.P.F., Barroca M.J.: Effect of Drying on the Textural Attributes of Bell Pepper and Pumpkin. *Drying Technol.*, 2011, 29(16), 1911-1919.
- [11] Guiné R.P.F., Barroca M.J.: Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). *Food Bioprod. Proces.*, 2012, 90(1), 58-63.
- [12] Ishii M., Matsumoto Y., Nishida S., Sekimizu K.: Decreased sugar concentration in vegetable and fruit juices by growth of functional lactic acid bacteria. *Drug Discoveries Therapeutics*, 2017, 11(1), 30-34.
- [13] Janiszewska-Turak E., Witrowa-Rajchert D., Rybak K., Rolof J., Pobiega K., Woźniak Ł., Gramza-Michałowska A.: The Influence of Lactic Acid Fermentation on Selected Properties of Pickled Red, Yellow, and Green Bell Peppers. *Molecules*, 2022, 27(23), #8637.

- [14] Kazimierczak R., Hallmann E., Lipowski J., Drela N., Kowalik A., Pussa T., Rembalkowska E.: Beetroot (*Beta vulgaris* L.) and naturally fermented beetroot juices from organic and conventional production: metabolomics, antioxidant levels and anticancer activity. *J. Sci. Food Agric.*, 2014, 94(13), 2618-2629.
- [15] Komolka P., Górecka D.: Effect of heat treatment on structure of selected vegetables and fruit. *Inż. Żywności*, 2017, 2, 67-73.
- [16] Kuria M.W., Matofari J.W., Nduko J.M. Physicochemical, antioxidant, and sensory properties of functional mango (*Mangifera indica* L.) leather fermented by lactic acid bacteria. *J. Agric. Food Res.*, 6, 2021, #100206.
- [17] Lanza B., Di Marco S., Bacceli M., Di Serio M.G., Di Loreto G., Cellini M., Simone N.: Lactiplantibacillus plantarum Used as Single, Multiple, and Mixed Starter Combined with Candida Boidinii for Table Olive Fermentations: Chemical, Textural, and Sensorial Characterization of Final Products. *Fermentation*, 2021, 7(4), #239.
- [18] Lin X., Tang Y., Hu Y., Lu Y., Sun Q., Lv Y., Chi Y.: Sodium reduction in traditional fermented foods: challenges, strategies, and perspectives. *J. Agric. Food Chem.*, 2021, 69(29), 8065-8080.
- [19] Niakousari M., Razmjooei M., Nejadmansouri M., Barba F.J., Marszałek K., Koubaa M.: Current Developments in Industrial Fermentation Processes. In *Fermentation Processes: Emerging and Conventional Technologies*, Eds. M. Koubaa, F. J. Barba, S. Roohinejad, Wiley, 2021, pp. 23-96.
- [20] Nowacka M., Tylewicz U., Laghi L., Dalla Rosa M., Witrowa-Rajchert D.: Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration. *Food Chem.*, 2014, 144, 18-25.
- [21] Nowacka M., Wedzik M.: Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. *Applied Acoustics*, 2016, 103, 163-171.
- [22] Ogrodowczyk A. M., Drabińska N.: Crossroad of Tradition and Innovation – The Application of Lactic Acid Fermentation to Increase the Nutritional and Health-Promoting Potential of Plant-Based Food Products – a Review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2021, 71(2), 107-134.
- [23] Park S.-Y., Lee J.-H., Kim B.-M., Baik S.-J., Lee S.-H., Nam, J.-S.: Comparison of Nutritional Components of Beets from Three Different Beta vulgaris L. Cultivars in Korea. *J. Korean Society Food Sci. Nutr.*, 2020, 49(9), 969-976.
- [24] Parniakov O., Bals O., Lebovka N., Vorobiev, E.: Effects of pulsed electric fields assisted osmotic dehydration on freezing-thawing and texture of apple tissue. *J. Food Eng.*, 2016, 183, 32-38.
- [25] Péréz-Díaz I., Breidt F., Buescher R., Arroyo-López F., Jiménez-Díaz R., Garrido-Fernández A., Johanningsmeire S.: Fermented and Acidified Vegetables. *Compendium of methods for the microbiological examination of foods*, 4th ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2013, pp 521-532.
- [26] Rocculi P., Panarese V., Tylewicz U., Santagapita P., Cocci E., Gómez Galindo F., Romani S., Dalla Rosa M.: The potential role of isothermal calorimetry in studies of the stability of fresh-cut fruits. *LWT - Food Sci. Technol.*, 2012, 49(2), 320-323.
- [27] Rosenthal A.J., Thompson P.: What is cohesiveness?—A linguistic exploration of the food texture testing literature. *J. Texture Studies*, 52(3), 2021, 294-302.
- [28] Szczesniak, A.S.: Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.*, 1963, 28(4), 385-389.
- [29] Varzakas T., Zakyntinos G., Proestos C., Radwanska M.: Fermented vegetables. In: *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Food Engineering Series. Eds. Yıldız, F., Wiley, R., Springer, Boston, MA.. 2017. pp 537-584.
- [30] Wadamori Y., Vanhanen L., Savage G.P.: Effect of kimchi fermentation on oxalate levels in silver beet (*Beta vulgaris* var. *cicla*). *Foods*, 2014, 3(2), 269-278.
- [31] Wierzbicka A., Janiszewska-Turak E.: Influence of the salt addition during the fermentation process on the physical and chemical properties of dried yellow beetroot. *Applied Sci.*, 2024, 14(2), #524.

- [32] Wrzodak A., Szwejda-Grzybowska J.: Application of mineral water from geothermal source for fermentation of beetroot. *J. Hort Res.*, 2020, 28(1), 123-130.
- [33] Yang H.I., Min S.G., Lee S.Y., Yang J.H., Lee M.A., Park S.H., Eun J.B., Chung Y.B.: Influence of salt concentration on Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) mass transfer kinetics and textural and microstructural properties during osmotic dehydration. *J. Food Sci.*, 2023, 88(4), 1610-1622.

INFLUENCE OF NaCl CONCENTRATION IN BRINE ON THE STRUCTURE AND TEXTURE OF FERMENTED YELLOW BEETROOTS

Summary

Background. Vegetables undergoing fermentation through the activity of lactic bacteria and mass exchange change their texture and structure. This study aimed to investigate the effect of salt in brine on the dry matter content, texture, degree of water binding and structure of yellow beetroots fermented with a dedicated strain of *Lactiplantibacillus plantarum* ATCC4080. Diced beetroots were lacto-fermented in brine with salt concentrations of 0, 1, 2, 3, 4, 5 and 6 %. The fermentation was monitored on days 0, 4, 6, 8, 11 and 60. After 11 days of the process, the temperature was reduced from 30 to 25 °C, considering the 49 days to be a storage period at a temperature higher than the one traditionally used. The samples were evaluated for dry matter content, texture, internal structure and the degree of water binding in the beetroot cells.

Results and conclusions. An analysis of the results showed the influence of both the fermentation time and the addition of salt to the brine on the textural and structural parameters. The fermentation process decreased the dry matter content of the tissue, regardless of the salt concentration used in the brine. The samples fermented in 4 ÷ 6 % brine showed the smallest changes in texture compared to fresh beetroots. Moreover, tissue stiffening was observed for these samples. A decrease in springiness, elasticity, cohesion and chewiness was observed as the fermentation process progressed. A relationship was found between the amount of salt in the brine and the state of water binding in the tissue. An analysis of the internal structure also showed that beetroot cubes fermented in 2 and 3 % brine were not overcooked, which was seen for the beetroot with 0 and 1 % brine. The storage time reduced the hardness and chewiness of the samples considerably, regardless of the salt concentration in the brine.

Key words: yellow beetroot, structure, texture, salt ☒