

10

Jakość i bezpieczeństwo wybranych kiszonych produktów tradycyjnych z regionu Małopolski

MAGDALENA RZEPKA, KRZYSZTOF SURÓWKA¹

¹ Katedra Biotechnologii i Ogólnej Technologii Żywności, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków

k.surowka@urk.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-3760-1873>

Streszczenie: Tematyka pracy koncentruje się na charakterystyce wybranych produktów kiszonych pochodzenia roślinnego wytwarzanych w regionie Małopolski. Omówiono zagadnienia związane z technologią, jakością i bezpieczeństwem, a także problemami legislacyjnymi dotyczącymi żywności regionalnej, tradycyjnej oraz wytwarzanej lokalnie. Wskazano na potencjalne zagrożenia mogące wynikać ze spożywania tego typu produktów, kładąc szczególny nacisk na te wywołane obecnością w nich amin biogennych. Posługując się analizą składowych głównych (PCA), podjęto też próbę zidentyfikowania najważniejszych cech typowych dla kiszonej kapusty, ogórków, barszczu i żurku – produktów tradycyjnie wytwarzanych w regionie – oraz wskazania na zależności pomiędzy tymi cechami. Ponadto wyodrębniono grupy obiektów wykazujących największe podobieństwa i różnice.

W efekcie przeprowadzonych badań wykazano, że jakkolwiek pochodzące z Małopolski produkty kiszone charakteryzują się zwykle dobrą jakością sensoryczną, to ich cechy smakowo-zapachowe oceniane są na ogół niżej od pozostałych właściwości, takich jak barwa czy tekstura, co ma związek m.in. z odbiegającymi niekiedy od oczekiwanych wartościami pH, kwasowością i zawartością soli. Stwierdzono ponadto, że średnio najwięcej amin biogennych zawiera kapusta kiszona, a następnie ogórki, żurek i barszcz, zaś poziom najbardziej z nich niebezpiecznych, tj. histaminy i tyraminy, nie przekracza górnej granicy koncentracji uznanej przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) za bezpieczną dla zdrowych konsumentów. Badane produkty wolne były również od zagrożeń mikrobiologicznych.

Słowa kluczowe: żywność tradycyjna i regionalna, jakość i bezpieczeństwo żywności, aminy biogenne, fermentacja mlekowa, kiszonki

1. Wstęp

Problematyka żywności regionalnej i tradycyjnej jest częstym tematem rozważań w różnych środowiskach. Skupiają się one jednak głównie na kwestiach identyfikacji, oznaczeń, rejestracji, promocji czy też na spodziewanych korzyściach finansowych dla gospodarki regionu. Znacznie mniejszy nacisk kładzie się na zagadnienia związane z bezpieczeństwem, jakością, trwałością i technologicznymi aspektami procesów wytwarzania takiej żywności. W warunkach lokalnych często trudniejsze niż przy zastosowaniu nowoczesnych technologii jest spełnienie reżimów higienicznych i osiągnięcie oraz utrzymanie wymaganych parametrów technologicznych, co może mieć wpływ na jakość i bezpieczeństwo produktów. Z tego względu podkreśla się znaczenie urzędowego nadzoru nad podmiotami produkującymi żywność lokalną, tradycyjną oraz regionalną dla zapewnienia jej bezpieczeństwa (Kołożyn-Krajewska, 2008). Z drugiej strony pojawiają się opinie, że dostosowanie produkcji do wszystkich wymagań prawa żywnościowego może mieć ujemny wpływ na regionalny charakter takich wyrobów. Dlatego też zaleca się rozważę przy wprowadzaniu modyfikacji technologicznych, tak aby umożliwić zachowanie cech tradycyjności (Jordana, 2000).

Ważną grupę żywności wytwarzanej lokalnie stanowią produkty fermentacji mlekowej pochodzenia roślinnego, do których zalicza się m.in. kapustę i ogórki kiszane, barszcz i żurek. Spożywanie tych wyrobów może przyczynić się do obniżenia ryzyka zachorowań na niektóre choroby cywilizacyjne, gdyż zawierają one składniki o działaniu m.in. antyoksydacyjnym, chemoprewencyjnym i przeciwzapalnym (Rybarczyk Pathak i in., 2021; Nicolau i Gostin, 2015; Zieliński i in., 2017; Major i in., 2022; Siddeeg i in., 2022). Produkty kiszane stanowią również źródło typowych dla polskiej kuchni, wyjątkowych doznań smakowych. Często jednak różnią się cechami sensorycznymi i parametrami fizykochemicznymi, a także potencjalnie mogą stanowić źródło zagrożeń mikrobiologicznych lub związanych z obecnością w nich amin biogennych, które stwarzają ryzyko niebezpiecznych zatruć oraz występowania reakcji alergicznych.

Aminy biogenne są związkami niskocząsteczkowymi powszechnie występującymi w naturze. Można je podzielić na alifatyczne (putrescyna, kadaweryna, spermina, spermidyna, agmatyna), aromatyczne (fenyloetylamina, tyramina) oraz heterocykliczne (histamina, tryptamina). Powstają głównie w wyniku dekarboksylacji bakteryjnej lub enzymatycznej wolnych aminokwasów oraz reakcji aminacji aldehydów i ketonów. Możliwe są także reakcje, w których następuje przekształcanie putrescyny, sperminy i spermidyny między sobą. Związki te (szczególnie histamina i tyramina) nie tylko działają toksycznie, ale mogą również powodować efekty psychoaktywne i działać rozszerzająco na naczynia krwionośne. W żywności niekiedy przyczyniają się do kształtowania cech smakowo-zapachowych, ale ich obecność w dużych stężeniach jest wskaźnikiem zepsucia produktów spożywczych (Qin i in., 2023).

Ziarna zbóż oraz świeże warzywa na ogół zawierają niewiele amin biogenych, a najczęściej w nich występującymi są poliaminy: putrescyna, spermina i spermidyna oraz tryptamina i tyramina, których sumaryczna zawartość jest z reguły znacznie niższa od 100 mg kg^{-1} (Eliassen i in., 2002; Ali i in., 2011; Moret i in., 2005; Kalač i Křížek, 1997; Saaid i in., 2009). W produktach przetworzonych natomiast, szczególnie w kiszonych, poziom tych związków zwykle jest wyższy. Aby go obniżyć, stosuje się m.in. zoptymalizowane dodatki soli czy kwasu cytrynowego (Yücel i Üren, 2008), zamiast fermentacji spontanicznej szczepi się surowiec kulturami kwasu mlekowego, np. *L. plantarum* (Rabie i in., 2011; Špička i in., 2002; Kalač i in., 2000b), oraz wykorzystuje się różne przyprawy, takie jak np. czosnek czy kminek (Majcherczyk i Surówka, 2019). Znamienne jest to, że krajowi producenci fermentowanych produktów pochodzenia roślinnego do ich wytwarzania stosują powyższe modyfikacje w różnym zakresie, co skutkuje dużą zmiennością dostępnych w handlu wyrobów, zależną także od parametrów procesu wytwarzania, różnorodności zastosowanego surowca oraz zmian, jakie zachodzą w gotowych produktach podczas przechowywania. W związku z tym za cel pracy przyjęto przeanalizowanie i zidentyfikowanie za pomocą analizy składowych głównych (PCA) najważniejszych cech typowych dla pochodzących z regionu Małopolski kiszonych kapusty, ogórków, żurku i barszczu czerwonego oraz wskazanie na zależności między nimi i wyodrębnienie grup obiektów wykazujących największe podobieństwa i różnice. Przyjęto założenie, że miejsce pochodzenia (w tym przypadku Małopolska) nie jest czynnikiem gwarantującym jednorodność właściwości tych wyrobów.

2. Materiały i metody

Poddane badaniom kapusta i ogórki kiszone oraz żurki i barszcze czerwone pochodziły z regionu Małopolski i zostały zakupione na rynku lokalnym bezpośrednio po dostawie w liczbie po 22 artykuły z każdego asortymentu. Kapustę i ogórki homogenizowano przez 3 min z wodą destylowaną w stosunku 1:2 (homogenizator Diax 900, Heidolph Instruments, Niemcy) i do większości badań przeznaczano w postaci homogenatu, natomiast w żurkach i barszczach pomiary wykonywano bezpośrednio po ich wymieszaniu.

Podczas **oceny sensorycznej** zastosowano skalę pięciopunktową, w której 5 odpowiada ocenie najwyższej, a 1 najniższej. Badania przeprowadzono w sześcioposobowym zespole przeszkolonych asesorów spełniających wymogi normy PN-I-SO 8586-1:1996. Poszczególne produkty oceniano z wykorzystaniem przygotowanych wcześniej tabel do oceny sensorycznej uwzględniających ich cechy oraz przypisane im współczynniki ważkości. W przypadku kapusty kiszonej sprawdzano jej barwę (wsp. ważkości 0,2), wygląd soku (0,1), zapach (0,3), smak (0,3)

i konsystencję (0,1). Ogórki kiszone badano pod względem barwy (0,1), wyglądu przekroju (0,1), zapachu (0,3), smaku (0,3) i jędrności (0,2). Z kolei tabela do oceny sensorycznej barszczu uwzględniała barwę (0,3), zapach (0,3), smak (0,3) oraz konsystencję (0,1), a żurku barwę (0,2), zapach (0,3), smak (0,4) i konsystencję (0,1). Dla każdej cechy wyliczono wynik średni, a ocenę ogólną uzyskiwano, mnożąc średnią dla danej cechy przez przypisany jej współczynnik ważkości, a następnie sumując iloczyny.

Badania tekstury przeprowadzono na analizatorze tekstury TA-XT2 (Stable Micro Systems, Anglia) współpracującym z programem XTRA Dimension v. 3.7. **Test profilowej analizy tekstury (TPA)** wykonywano w sposób niestandardowy, stosując dwukrotne wciskanie próbnika kulistego (P/0,5 S) o średnicy 12 mm w bok umieszczonego na platformie (HDP) całego kiszzonego ogórka w połowie jego długości. Prędkość posuwu próbnika na głębokość 5 mm wynosiła 2 mm s^{-1} , a czas między suwami ustalono na 5 s. W teście tym, podobnie jak w standardowym badaniu TPA, wyznaczano twardość, sprężystość, spójność, żujność i dodatkowo naprężenie początkowe (Bourne, 1978; Michalczyk i Surówka, 2009). **Test penetracji** trzpieniem walcowym o średnicy 6 mm (P/6) przeprowadzano na całych ogórkach kiszonych położonych na platformie (HDP) w 1/3 ich długości. Prędkość posuwu na głębokość 8 mm wynosiła 2 mm s^{-1} . Na podstawie tego badania wyznaczono maksymalną siłę i pracę wciskania trzpienia. **Test przecinania** wykonywano na warstwie kapusty kiszzonej o grubości 1 cm ułożonej na całej szerokości podstawy noża Warnera-Bratzlera (HDP/WBV), prostopadle do jego ostrza poruszającego się z prędkością 2 mm s^{-1} . Przy pomocy tego badania wyznaczano maksymalną siłę i pracę przecinania kapusty. Wszystkie testy teksturometryczne wykonywano w 7 powtórzeniach.

Pomiarów pH dokonywano przy zastosowaniu pH-metru HI 9321 (Hanna Instruments, USA) wyposażonego w elektrodę kombinowaną typu HI 9321 (Hanna Instruments, USA), bezpośrednio w barszczach i żurkach oraz w homogenatach kapusty i ogórków z wodą destylowaną. **Kwasowość ogólną** oznaczano metodą miareczkowania potencjometrycznego homogennych produktów zgodnie z normą PN-71/A-75101 i wyrażano ją jako kwas mlekowy w g kg^{-1} produktu. W celu **oznaczenia chlorków** posłużono się metodą Mohra opisaną w normie PN-71/A-75101. Wyniki przeliczano na zawartość NaCl (g) w 1 kg produktu. **Azot aminowy** (N-NH_2) oznaczano metodą Pope'a i Stevensa zmodyfikowaną przez Fika i Surówkę (1984), a rezultaty wyrażano w $\text{mg N-NH}_2 \text{ kg}^{-1}$ produktu. **Sumaryczne stężenia barwników czerwonych (betacyjanin) i żółtych (wulgaksantyn)** w barszczach oznaczano spektrofotometryczną metodą opisaną przez Nilssona (1970). W tym celu rozcieńczano je 50-krotnie buforem McIlvaine'a ($\text{pH} = 4,6$). Następnie rejestrowano widma w zakresie światła widzialnego na spektrofotometrze Lambda Bio+ (Perkin-Elmer, Anglia). Z uzyskanych widm odczytywano absorbancje przy $\lambda = 476, 537$ i 600 nm , po czym wyznaczano skorygowane wartości absorbancji dla betacyjanin (X_{bet}) i wulgaksantyn (Y_{wulg}), korzystając z poniższych wzorów:

$$X_{\text{bet}} = 1,095 \times (A_{537} - A_{600})$$

$$Y_{\text{wulg}} = A_{476} - 0,259 \times A_{537} - 0,742 \times A_{600}$$

Posłużyły one do obliczenia stężenia betacyjanin (C_{bet}) i wulgaksantyn (C_{wulg}) w badanych barszczach (mg kg^{-1}) w oparciu o wzory:

$$C_{\text{bet}} = (X_{\text{bet}} \div 1120) \times 50 \times 1000 = 446 \times X_{\text{bet}}$$

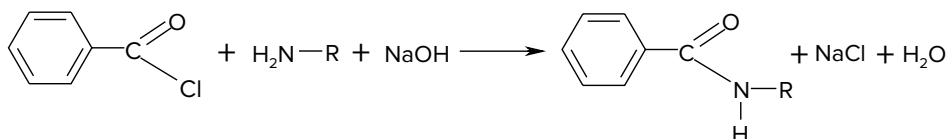
$$C_{\text{wulg}} = (Y_{\text{wulg}} \div 750) \times 50 \times 1000 = 667 \times Y_{\text{wulg}}$$

Wyznaczone wartości C_{bet} i C_{wulg} zastosowano następnie, po uwzględnieniu wyników rozdziałów chromatograficznych, do wyliczenia indywidualnych stężeń poszczególnych barwników zawartych w barszczach.

Badania chromatograficzne wykonano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) na urządzeniu LaChrom (Merck-Hitachi, Japonia). Korzystano z zestawu wyposażonego w pompę gradientową (L-7100), autosampler (L-7250), detektor DAD (L-7450), termostat (L-7350) oraz interfejs (D-7000) współpracujący z programem HSM. Do **rozdziálu barwników czerwonych** (betacyjanin) i **żółtych** (wulgaksantyn) w barszczu posłużono się procedurą opisaną przez Purrata i innych (1988). W tym celu próbkę rozcieńczano w stosunku 1 : 1,5 eluentem o składzie metanol: woda: kwas trifluorooctowy (180 : 820 : 0,4) i przesączało przez filtr strzykawkowy 0,45 μm (Millipore, USA). Na kolumnę Hypersil BDS 3 C18, 150 \times 4,6 mm, którą termostatowano w temperaturze 30°C, nastrzykiwano 20 μL filtratu. Rozdział izokratyczny odbywał się w zakresie długości fal od 350 do 650 nm przy przepływie 0,7 mL min^{-1} trwającym 20 min. Z powierzchni pod pikami przy $\lambda = 476$ i $\lambda = 537$ nm, reprezentującymi odpowiednio poszczególne barwniki żółte i czerwone, wyliczano ich względny udział, a następnie, korzystając z wyznaczonych metodą spektrofotometryczną całkowitych stężeń barwników (C_{bet} i C_{wulg}), obliczano koncentracje wulgaksantyny I i wulgaksantyny II oraz betaniny, izobetaniny, betanidyny i izobetanidyny. Żeby oznaczyć **kwasy mlekowy i octowy**, próbki rozcieńczone 10-krotnie wodą do HPLC odwirowywano i filtrowano przez filtr strzykawkowy 0,45 μm (Millipore, USA). Na kolumnę Hypersil BDS 3 C18, 150 \times 4,6 mm, którą termostatowano w 30°C, nastrzykiwano 10 μL filtratu, a rozdział prowadzono z wykorzystaniem elucji izokratycznej przy przepływie 1 mL min^{-1} 0,1% (v/v) wodnego roztworu kwasu mrówkowego. Rejestrowano chromatogramy przy długości fali 210 nm, a następnie z powierzchni pod pikami odpowiadającymi kwasowi octowemu i mlekowemu wyznaczano względny ich stosunek, który po pomnożeniu przez kwasowość ogólną wyznaczoną metodą acydymetryczną (PN-71/A-75101) posłużył do wyliczenia stężeń poszczególnych kwasów.

Przy oznaczaniu **amin biogennych**: histaminy (HIS), putrescyny (PUT), kadaweryny (CD), tyraminy (TYR), spermidyny (SPD), tryptaminy (TRP), fenyloetyloaminy (PHE), sperminy (SP) oraz agmatyny (AGM), opierano się na metodyce opi-

sanej przez Ōzoęula i innych (2002) oraz Surówkę i innych (2021). Próbki żurków i barszczy o objętości 10 mL mieszano z 15 mL 6% (v/v) kwasu trichlorooctowego (TCA), natomiast ogórki i kapustę w ilości 10 g homogenizowano w homogenizatorze Diax 900 (Heidolph Instruments, Niemcy) przez 3 min z tym samym roztworem w ilości odpowiednio 15 i 30 mL. Po 10 min całość wirowano ($3000 \times g$, 10 min) i 2 mL porcje supernatantów z dodatkiem 1 mL NaOH (1 mol L^{-1}) derywatyzowano przez 30 min w temp. $25 \pm 1^\circ\text{C}$ przy pomocy 20 μL 99% chlorku benzoilu (Sigma-Aldrich, USA) w celu otrzymania odpowiednich N-benzamidów zgodnie z reakcją Schotten-Baumanna:



Następnie dodawano 2 mL nasyconego NaCl i całość dwukrotnie ekstrahowano 2-mililitrowymi porcjami eteru etylowego. Warstwy eterowe łączono i przepuszczano przez nie azot w celu usunięcia rozpuszczalnika. Pozostałość rozpuszczano w 1 mL acetonitrylu, filtrowano przez filtr strzykawkowy 0,45 μm (Millipore, USA) i nastrzykiwano w ilości 10 μL na kolumnę chromatograficzną (ACE 3 C-18, $150 \times 4,6 \text{ mm}$). Rozdziały prowadzono w 30°C w następującym gradiencie acetonitrylu (eluent A) i wody (eluent B): 40 \rightarrow 75% eluentu B ($v = 1 \text{ mL min}^{-1}$) przez 13 min, 75 \rightarrow 100% B ($v = 1 \rightarrow 1,5 \text{ mL min}^{-1}$) przez 4 min oraz 100 \rightarrow 40% B ($v = 1 \text{ mL min}^{-1}$) przez 5 min. Rejestrowano chromatogramy przy 254 nm, a następnie identyfikowano aminy biogenne i obliczano ich stężenie, korzystając z krzywych kalibracyjnych wykreślonych dla zakresu stężeń poszczególnych amin od 0 do 10 mg mL^{-1} . Sumaryczną koncentrację amin wyznaczano poprzez dodanie ich stężeń, a indeks amin biogennych (BAI) obliczano, sumując stężenia histaminy, putrescyny, kadaweryny i tyraminy.

Ogólną liczbę drobnoustrojów tlenowych mezofilnych (OLB) oznaczano po 72-godzinnej inkubacji w temp. $30 \pm 1^\circ\text{C}$ z wykorzystaniem podłoża PCA (Plate Count Agar) firmy Biocorp (PN-A-75052-05 : 1990). Liczebność **mezofilnych bakterii fermentacji mlekowej (LAB)** określano w 72-godzinnej hodowli prowadzonej w $30 \pm 1^\circ\text{C}$ na podłożu MRS (de Man, Rogosa i Sharpe) firmy Biocorp (PN-ISO 15214 : 2002). Liczbę **drobnoustrojów psychrotrofowych** oznaczano poprzez posiew na podłożu PCA oraz inkubację przez 10 dni w 7°C (PN-ISO 17410 : 2004). Posiewy w kierunku określenia liczebności bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* wykonywano na podłożu VRBG (Violet Red Bile with Glucose) firmy Biocorp, stosując metodę posiewu powierzchniowego i 24-godzinną inkubację w temperaturze $37 \pm 1^\circ\text{C}$ (PN-A-04023 : 2001). W celu oznaczenia **drożdży i pleśni** hodowle inkubowano na podłożu z chloramfenikolem przez 5 dni w temperaturze 25°C (PN-90/A-75052.08). Wszystkie analizy mikrobiologiczne wykonano metodą płytkową.

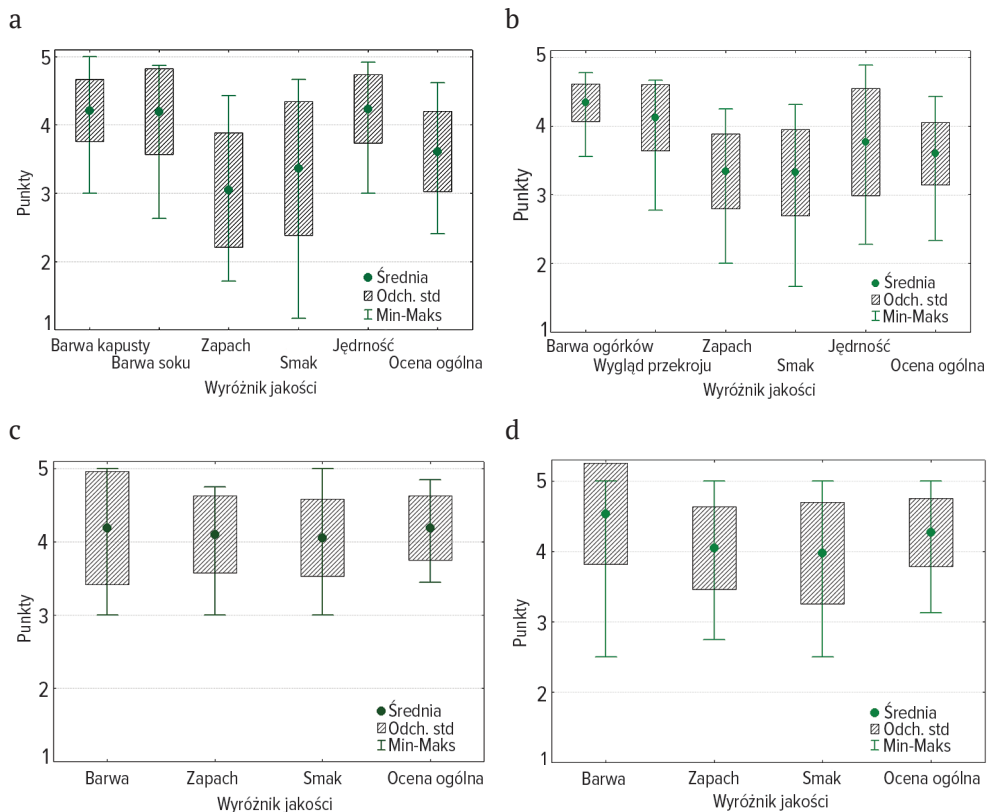
Podane wyniki badań, o ile nie odnotowano inaczej, stanowią średnią z trzech równoległych oznaczeń. **Opracowywanie statystyczne** przeprowadzono przy zastosowaniu pakietu CSS.Statistica v. 9.2 (StatSoft, Polska). Wyliczano średnie arytmetyczne, odchylenia standardowe i współczynniki zmienności. Do wyznaczania istotności różnic pomiędzy średnimi zastosowano analizę wariancji (moduł Anova) na poziomie ufności $p < 0,05$. W celu ustalenia relacji pomiędzy wybranymi zmiennymi przeprowadzono analizę składowych głównych (PCA).

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Sensoryczna ocena cech jakościowych uzupełniona badaniami instrumentalnymi

Fermentacja mlekowa, która leży u podstaw otrzymywania kiszonek, istotnie zmienia charakterystykę organoleptyczną surowców, w efekcie czego powstają produkty znacząco się od nich różniące. Spośród ocenianych fermentowanych produktów zakupionych na rynku lokalnym wyższą średnią ogólną oceną sensoryczną charakteryzowały się barszcze ($4,3 \pm 0,4$) i żurki ($4,1 \pm 0,8$) niż ogórki ($3,6 \pm 0,4$) i kapusta kiszona ($3,6 \pm 0,6$) (ryc. 1). Znamienne jest, że w przypadku wszystkich tych wyrobów średnio nieco niżej oceniano smak i zapach, a przecież przede wszystkim te cechy uważane są przez konsumentów za najważniejsze. Najczęściej spotykanymi wadami kapusty były zbyt duża słoność i kwaśność oraz jej obcy zapach, natomiast jędrność stanowiła najlepiej oceniany wyróżnik jakości ($4,3$). Ten parametr tekstury badano także instrumentalnie w teście przecinania, wyznaczając średnie siłę i pracę potrzebne do przecięcia standardowych próbek kapusty. Ich wartości wynosiły odpowiednio $199,0 \pm 78,5$ N oraz $1,26 \pm 0,22$ mJ, a obliczone współczynniki zmienności ($V_s = 39\%$ i 17%) świadczą o umiarkowanym zróżnicowaniu wyników.

Z kolei jędrność ogórków została oceniona przez panel średnio trochę niżej ($3,7$) niż w przypadku kapusty. Wytworzenie i przechowywanie ogórków kiszonych o atrakcyjnej teksturze, bez mięknięcia i powstawania pustych komór, jest pożądaną umiejętnością związaną m.in. z właściwym doбором surowca, stężenia soli oraz dodatku przypraw i ewentualnych konserwantów. Czynniki te poprzez wpływ na przebieg procesu fermentacji i aktywność poligalakturonaz grzybowych i enzymów endogennych ogórków istotnie oddziałują na końcowe cechy produktów (Zieliński i in., 2017; Scharf i in., 2022). Badane obiekty nie zawsze jednak odznaczały się oczekiwanymi właściwościami. Świadczą o tym uzyskane w pracy wyniki dla poszczególnych ogórków, wskazujące na większe zróżnicowanie jędrności w porównaniu z kapustą kiszoną. W celu pełniejszego scharakteryzowania tekstury ogórków wykonano analizę jej profilu (TPA) uzupełnioną o badanie penetrometryczne dla 22 obiektów. Na ryc. 2 pokazano profil uśredniony oraz profile dwóch próbek

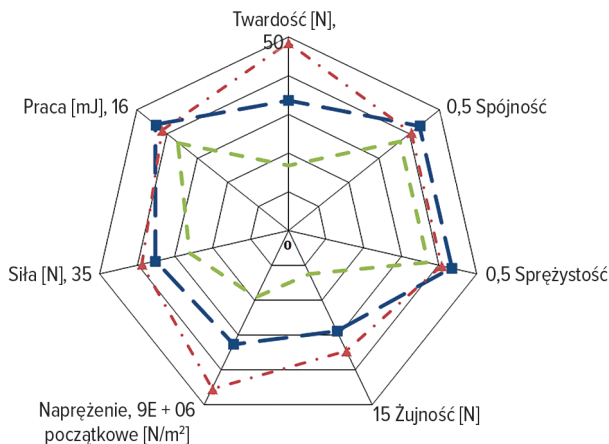


Ryc. 1. Wyniki oceny sensorycznej produktów pochodzących z regionu Małopolski: a.) kapusty kiszzonej (n = 22), b.) ogórków kiszonych (n = 22), c.) żurku (n = 22) oraz d.) barszczu czerwonego (n = 22)

o najmniejszej i największej twardości. Największe różnice pomiędzy wartościami skrajnymi wystąpiły dla naprężenia początkowego, pracy wciskania trzpienia i twardości, natomiast najmniejsze dla spójności i sprężystości. Rezultaty te dowodzą, że utrzymanie w ogórkach stałości dwóch ostatnich parametrów w porównaniu z twardością stanowi mniejszy problem technologiczny.

W przeprowadzonych badaniach uzyskano podobne średnie wyniki oceny sensorycznej żurków i barszczu (ryc. 1c i 1d). Oba rodzaje produktów wykazały się dobrymi cechami jakościowymi, aczkolwiek oceny smaku i zapachu oraz wartości minimalne wszystkich parametrów jakościowych były niższe w przypadku barszczu czerwonego. Dla produktu tego szczególnie ważna z perspektywy oceny konsumenckiej jest barwa, którą oceniano na ogół wysoko, o czym świadczy wysoka średnia liczba przydzielonych punktów (4,5).

Burak ćwikłowy zawiera barwniki betalainowe, które podzielić można na czerwone (betacyjaniny) i żółte (betaksantyny) zwane też wulgaksantynami. Z technologicznego punktu widzenia pożądane jest, aby surowiec zawierał dużo betacyjanin



Ryc. 2. Profil tekstury ogórków kiszonych. Kolor zielony – profil ogórka najbardziej miękkiego, kolor niebieski – profil uśredniony dla n = 22, kolor czerwony – profil ogórka najtwardszego

oraz aby ich stosunek do barwników żółtych był odpowiednio wysoki. Za bardzo dobry materiał do przetwórstwa uznaje się taki, w którym stężenie betacyjanin jest na poziomie 150–200 mg (100 g)⁻¹, a ich stosunek do wulgaksantyn wynosi od 2,0 do 3,0 (Sobkowska, 1979). Na barwę półproduktów wytwarzanych z buraków ćwikłowych, np. barszczy czerwonych, wpływ ma oczywiście zastosowany surowiec, ale oprócz niego ważne są również aspekty technologiczne, takie jak warunki i sposób prowadzenia fermentacji, a szczególnie osiągnięte pH, gdyż betalainy najbardziej stabilne są w zakresie pH 4–5, poniżej pH 3 przyjmują zabarwienie fioletowe, zaś w środowisku zasadowym ulegają rozkładowi (Walkowiak-Tomczak i Zielińska, 2006; Chhikara i in., 2019). Do istotnych zmian barwy dochodzi także w trakcie przechowywania. Analizowane w badaniach własnych barszcze czerwone pochodziły od różnych producentów, którzy zapewne przy ich wytwarzaniu korzystali z opracowanych przez siebie receptur i technologii. Nie dziwi zatem fakt, że odnotowano znaczne zróżnicowanie wyników stężeń poszczególnych izomerów barwników betalainowych w barszczach z różnych wytwórni. W tabeli 1 zestawiono w sposób syntetyczny wyniki tych badań. Widać z nich, że średnia zawartość barwników czerwonych (betacyjanin) była znacznie większa niż żółtych (betaksantyn) i przeciętnie stanowiła aż 92% ogółu wszystkich barwników betalainowych. W jednym tylko przypadku poziom barwników żółtych przewyższał ilość czerwonych, co było przyczyną brązowego zabarwienia barszczu. W dostępnych na małopolskim rynku barszczach największe stężenie wśród izomerów betacyjanin miała betanidyna, a około 4-krotnie mniejsze betanina oraz izobetanina. Obserwacje te potwierdzają badania z 2006 r., w których wykazano istotny wpływ czynników surowcowych i technologicznych, ustalając, że w barszczach niezaszczepionych bakteriami kwasu mlekowego przeważały betaniny, natomiast w zaszczepionych uzależnione to było

od użytej odmiany buraka (Czyżowska i in., 2006). Wśród oznaczanych betaksantyn średnio nieznacznie przeważała wulgaksantyna I, co jest zgodne z wynikami Czyżowskiej i innych (2006) dla soków buraczanych. Ogólnie koncentracja poszczególnych izomerów barwników w badanych barszczach była bardzo zróżnicowana, co potwierdzają wysokie współczynniki zmienności.

Tabela 1. Zawartość barwników betalainowych i ich izomerów (mg kg⁻¹) w barszczu czerwonym (n = 22)

Barwniki betalainowe	Średnia	STD	V _s (%)	Min	Max
Betacyjaniny:	130,23	54,50	41,8	12,95	249,06
betanina	20,77	20,33	97,9	nw	65,92
izobetanina	24,99	31,33	125,4	nw	127,34
betanidyna	80,20	55,73	69,5	nw	167,40
izobetanidyna	4,27	4,87	114,1	nw	12,38
Betaksantyny:	10,48	10,98	102,8	nw	39,10
wulgaksantyna I	5,75	6,11	106,3	nw	19,56
wulgaksantyna II	4,73	5,42	114,6	nw	19,03

nw – nie wykryto, STD – odchylenie standardowe, V_s – współczynnik zmienności, Min / Max – wartość minimalna / maksymalna

3.2. Podstawowa charakterystyka chemiczna

Zarówno kapusta i ogórki kiszane, jak też żurek i barszcz czerwony charakteryzują się wyraźnie kwaśnym odczynem (tab. 2). Najmniejsze średnie pH miał żurek, a największe ogórki kiszane. Wskaźnik ten w indywidualnych przypadkach, we wszystkich grupach poza ogórkami, wykraczał nieco poza granice 3,2–4,0 zalecane przez Polskie Normy dla tego typu produktów (PN-A-77700:2006P, PN-A-77701:1997P). Pomimo tego badane wyroby odznaczały się stosunkowo małym zróżnicowaniem pH, co potwierdzają niskie współczynniki zmienności wynoszące odpowiednio 6,5, 2,4, 6,2 i 7,6% dla grup kapusty i ogórków kiszonych oraz żurku i barszczu czerwonego. Stwierdzone wartości pH są zbliżone do zarejestrowanych przez innych autorów, tak w tradycyjnych wschodnioeuropejskich produktach kiszonych (Kalač i in., 1999; Nicolau i Gostin, 2015), jak i dla bardziej egzotycznych produktów fermentowanych, jak np. *kimchi* (potrawa koreańska składająca się z fermentowanych lub kiszonych warzyw) (Tsai i in., 2005), *gherkins* (fermentowane ogórki w zalewie solnej) (Gracelin i in., 2012) oraz *shalgam* (fermentowany sok z czarnej marchwi – *Daucus carota*) (Özdestan i Üren, 2010).

Tabela 2. Podstawowa charakterystyka chemiczna wybranych kiszonych produktów tradycyjnych

Wyróżnik	Średnia	STD	V _s (%)	Min	Max
Kapusta kiszona (n = 22)					
pH	3,67	0,24	6,5	3,21	4,24
Kwasowość (g kg ⁻¹)	11,49	2,72	23,7	4,05	15,62
Kwas mlekowy (g kg ⁻¹)	10,56	2,56	24,2	3,89	14,84
Kwas octowy (g kg ⁻¹)	0,62	0,27	43,5	0,11	1,05
Azot aminowy (mg kg ⁻¹)	488,6	145,1	29,7	245,4	779,1
NaCl (g kg ⁻¹)	15,85	5,34	33,7	5,03	26,07
Ogórki kiszone (n = 22)					
pH	3,80	0,09	2,4	3,62	3,98
Kwasowość (g kg ⁻¹)	6,61	1,60	24,2	3,95	9,82
Kwas mlekowy (g kg ⁻¹)	6,61	1,60	24,2	3,95	9,82
Kwas octowy (g kg ⁻¹)	nw	–	–	–	–
Azot aminowy (mg kg ⁻¹)	230,8	55,3	24,0	105,7	349,5
NaCl (g kg ⁻¹)	25,63	4,57	17,8	15,94	37,73
Żurek (n = 22)					
pH	3,40	0,21	6,2	3,10	4,01
Kwasowość (g L ⁻¹)	11,26	3,57	31,7	6,17	19,26
Kwas mlekowy (g L ⁻¹)	9,72	3,41	35,1	3,57	17,44
Kwas octowy (g L ⁻¹)	1,03	0,99	96,1	nw	4,46
Azot aminowy (mg L ⁻¹)	315,2	136,3	43,2	146,6	579,6
NaCl (g L ⁻¹)	3,39	5,55	163,7	nw	18,62
Barszcz czerwony (n = 22)					
pH	3,69	0,28	7,6	3,17	4,24
Kwasowość (g L ⁻¹)	6,35	1,78	28,0	2,43	9,77
Kwas mlekowy (g L ⁻¹)	5,31	1,57	29,6	1,71	7,79
Kwas octowy (g L ⁻¹)	0,69	0,48	69,6	nw	2,25
NaCl (g L ⁻¹)	3,82	2,86	74,9	0,18	10,20

nw – nie wykryto, STD – odchylenie standardowe, V_s – współczynnik zmienności, Min / Max – wartość minimalna / maksymalna

Cechą charakterystyczną produktów uzyskiwanych na drodze fermentacji mlekowej jest zwiększona kwasowość. Była ona prawie 2-krotnie większa dla żurków i kapusty kiszanej niż w przypadku barszczy czerwonych i ogórków. Spośród 22 badanych prób ogórków tylko 8 spełniało normę (PN-A-77701:1997P), która wymaga, aby produkty te miały powyżej 7 g kg^{-1} kwasów w przeliczeniu na kwas mlekowy. Znacznie lepiej pod tym względem wyglądało spełnienie wymogów Polskiej Normy PN-A-77700:2006P w przypadku kapusty, której kwasowość powinna wynosić od 10 do 15 g kg^{-1} . Większą kwasowość ($18,9 \text{ g kg}^{-1}$) stwierdzono w kapuście kiszanej wyprodukowanej w Indiach (Ghosh, 2021). Porównanie omawianego wyróżnika dla żurków i barszczy czerwonych z wymaganiami normatywnymi jest niemożliwe ze względu na brak norm w tym zakresie. Jednak jego wartości nie odbiegają znacząco od $11\text{--}12 \text{ g kg}^{-1}$ i około 5 g kg^{-1} , jakie Nicolau i Gostin (2015) podają jako typowe dla żurków i barszczy pochodzących z krajów Europy Środkowo-Wschodniej. W dostępnej literaturze przedmiotu kwasowości podobne do barszczy oznaczano w tureckim *shalgamie* ($5,3\text{--}10,3 \text{ g}$ kwasu mlekowego kg^{-1}), produkcie przypominającym cechami organoleptycznymi barszcz czerwony (Özdestan i Üren, 2010). W barszczach uwagę zwraca jednak dość duży względny udział kwasu octowego w kwasowości ogólnej, który stwierdzono w około 30% badanych obiektów. Może to świadczyć o podejmowaniu przez producentów prób zafałszowania barszczy mających na celu przedłużenie ich trwałości.

Na poziom azotu aminowego w produktach spożywczych mają wpływ skład surowcowy i zachodzące w nich procesy proteolityczne pochodzenia egzo- i endogenego. Uwalniane z białek peptydy i aminokwasy mogą być prekursorami szeregu związków istotnych dla cech smakowo-zapachowych oraz ważnych ze względu na bezpieczeństwo wyrobów. Najmniejsze średnie stężenie azotu aminowego stwierdzono w ogórkach, natomiast w żurku było ono 1,5 raza, a w kapuście około 2 razy większe. W badanych produktach zmienność stężenia N-NH_2 była średnio na poziomie 32%. Oznaczeń tej formy azotu nie wykonano w przypadku barszczy czerwonych, gdyż ich barwa uniemożliwiła prawidłową detekcję sygnału w zastosowanej metodzie kolorymetrycznej.

Sól dodana w odpowiedniej ilości do produktu kwaszonego hamuje rozwój niepożądanych drobnoustrojów i pozytywnie wpływa na liczebność bakterii fermentacji mlekowej. W przeprowadzonych badaniach największe średnie stężenie NaCl odnotowano w ogórkach i kapuście kiszanej. W czterech z analizowanych prób ogórków przekroczony został dopuszczalny przez Polską Normę (PN-A-77701:1997P) poziom soli (3%). Z kolei w czterech próbach kapusty stężenie NaCl było niższe od wymagań normy PN-A-77700:2006P, według której powinno ono wynosić od 1,2 do 2,5%. Znacznie większe zróżnicowanie stężenia chlorku sodu wystąpiło w żurkach ($V_s = 163\%$) oraz w barszczach czerwonych ($V_s = 75\%$), co bez wątpienia jest związane z tradycyjnym sposobem ich wytwarzania oraz indywidualnym podejściem producentów do stosowania soli w żywności.

3.3. Zawartość amin biogennych

Informacje o zawartości amin biogennych zamieszczono w tabeli 3. Spośród dziewięciu oznaczanych amin we wszystkich próbach kapusty ($n = 22$) wykryto 5: PUT, CD, HIS, TYR i AGM. W pozostałych produktach we wszystkich próbach znaleziono po 3. W ogórkach ($n = 22$) były to: PUT, CD i TYR, w żurku ($n = 22$): PUT, HIS i TYR, a w barszczu czerwonym ($n = 22$): PUT, TRP i TYR. Także tureccy autorzy (Özdestan i Üren, 2010) we wszystkich próbkach *shalgamów* zakupionych na tamtejszym rynku stwierdzili obecność histaminy, putrescyny, kadaweryny i tyraminy, podczas gdy w grupie 121 kiszonych kapust jedyną aminą obecną w każdej próbce była putrescyna (Kalač i in., 1999).

Tabela 3. Zawartość amin biogennych (mg kg^{-1}) w wybranych kiszonych produktach tradycyjnych

Amina	Średnia	STD	Min	Max
Kapusta kiszona ($n = 22$)				
Histamina	44,21	29,96	7,6	98,5
Putrescyna	371,86	196,57	25,1	718,1
Kadaweryna	43,13	37,48	4,4	124,09
Tyramina	75,83	37,74	15,6	140,1
Spermidyna	7,90	4,64	nw	16,22
Tryptamina	13,54	8,74	nw	38,32
Fenyletyloamina	7,22	4,45	nw	17,6
Agmatyna	108,77	48,31	44,0	220,4
Suma amin	672,45	294,36	164,4	1162,6
Ogórki kiszone ($n = 22$)				
Histamina	18,83	15,99	nw	42,5
Putrescyna	204,34	126,04	8,6	562,5
Kadaweryna	35,49	28,87	1,5	118,7
Tyramina	50,83	21,72	5,7	86,8
Spermidyna	8,05	3,34	nw	13,7
Tryptamina	7,13	4,75	nw	17,5
Fenyletyloamina	2,81	1,58	nw	6,2
Agmatyna	5,77	7,01	nw	30,0
Suma amin	333,25	148,71	71,3	628,9

Tabela 3. cd.

Amina	Średnia	STD	Min	Max
Żurek (n = 22)				
Histamina	25,78	19,86	3,3	78,7
Putrescyna	107,50	86,34	5,8	385,1
Kadaweryna	21,78	27,43	nw	113,7
Tyramina	42,60	33,63	6,2	145,0
Spermidyna	10,52	28,51	nw	137,5
Tryptamina	16,55	14,24	nw	51,2
Fenyletyloamina	6,54	16,22	nw	77,5
Spermina	2,60	3,79	nw	12,5
Agmatyna	0,16	0,39	nw	1,2
Suma amin	234,03	163,66	39,0	807,3
Barszcz czerwony (n = 22)				
Histamina	2,91	1,86	nw	7,2
Putrescyna	54,96	40,74	5,1	156,8
Kadaweryna	1,95	1,85	nw	7,12
Tyramina	8,83	6,89	1,1	29,2
Spermidyna	2,02	1,50	nw	7,5
Tryptamina	4,68	2,95	0,8	11,2
Fenyletyloamina	1,15	1,99	nw	8,04
Spermina	2,01	3,47	nw	15,1
Agmatyna	32,08	52,22	nw	182,2
Suma amin	110,60	66,07	34,7	293,6

nw – nie wykryto, STD – odchylenie standardowe, Min / Max – wartość minimalna / maksymalna

W badaniach własnych wykazano, że średnia zawartość histaminy w kapuście, ogórkach i żurku nie przekroczyła poziomu 50 mg kg^{-1} , a jej średnie stężenie w barszczu było jeszcze o rząd wielkości mniejsze. Zaledwie 13% prób kapusty kiszzonej i żurku zawierało więcej niż 50 mg kg^{-1} tej aminy. Zakładając typową konsumpcję analizowanych produktów w racjach pokarmowych, można stwierdzić, że nie ma niebezpieczeństwa przekroczenia spożycia wraz z nimi histaminy w ilości większej niż $50 \text{ mg/osobę/posiłek}$, która uznawana jest przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności EFSA (2011) za niemającą szkodliwego wpływu na zdrowych ludzi. Jednakże u osób z nietolerancją histaminy nawet małe jej ilości mogą

wywołać poważne problemy zdrowotne i tylko kształtujący się poniżej wykrywalnego uznanymi metodami poziom tej aminy w spożywanej przez nich żywności może być uważany za bezpieczny (EFSA, 2011).

Stężenie histaminy w świeżych, nieprzetworzonych warzywach jest niewielkie lub wręcz poniżej progu wykrywalności metody. W badaniach świeżych ogórków, kapusty czy też buraków nie stwierdzono obecności tej aminy (Moret i in., 2005), jednak już w piklach jej stężenie wynosiło od 26,7 do 44,7 mg kg⁻¹ (Ekici i Coşkun, 2004). Również w fermentowanym soku z czarnej marchwi (*shalgam*) wykryto obecność histaminy (Özdestan i Üren, 2010).

Badania autorów czeskich (Kalač i in., 2000a; Kalač i in., 2000b; Špička i in., 2002) wykazały, że w przechowywanej kapuście kiszonej poddanej fermentacji spontanicznej stężenie histaminy jest na bezpiecznym poziomie dla zdrowych konsumentów, a nawet niekiedy leży ono poniżej progu wykrywalności. Z kolei Halász i in. (1999), analizując wpływ sposobu prowadzenia fermentacji na zawartość aminy, wykazali, że koncentracja HIS jest 10-krotnie mniejsza w kapuście przechowywanej 71 dni i zaszczerpionej *L. plantarum* DSM 20174 niż w poddawanej fermentacji spontanicznej. Podobnie Rabie i in. (2011) wykryli 239 mg kg⁻¹ histaminy po 45 dniach przechowywania w kapuście niezaszczerpionej, podczas gdy dodatek *Lactobacillus plantarum*, *curvatus* i *casei* zapobiegał powstawaniu tej aminy.

Obecność putrescyny i kadaweryny wzmacnia toksyczność histaminy poprzez hamowanie aktywności enzymów detoksykujących ją w organizmie (Chu i Bjeldanes, 1981), dlatego nawet niewielkie ich stężenia w produkcie mogą przy średnim poziomie histaminy przyczyniać się do problemów zdrowotnych. W przeprowadzonych badaniach w kapuście kiszonej z regionu Małopolski średnia zawartość putrescyny wynosiła około 372 mg kg⁻¹ i była odpowiednio 1,8, 3,5 i 6,8 razy większa niż w ogórkach, żurku i barszczu czerwonym. Natomiast średnie stężenie kadaweryny w przypadku kapusty, ogórków oraz żurku było znacznie niższe niż putrescyny. W barszczu zawartość tej aminy wynosiła średnio tylko około 2 mg kg⁻¹. Również wyniki uzyskane przez innych autorów wskazują na to, że putrescyna występuje w znacznej ilości w kapuście kwaszonej i *shalgamie* (Kalač i in., 2000b; Rabie i in., 2011; Özdestan i Üren, 2010), ale prowadzenie fermentacji z *L. plantarum* daje produkt o znacząco obniżonej zawartości tej aminy nawet w przechowywanej kapuście kwaszonej, nie wpływa natomiast na stężenie kadaweryny (Halász i in., 1999).

Średnie stężenie tyraminy w barszczu czerwonym było odpowiednio około 8,6-, 5,8- i 4,8-krotnie niższe niż w kapuście, ogórkach i żurku, które między sobą nie różniły się przeciętną jej zawartością o więcej niż 33 mg kg⁻¹. Podobnie w *shalgamie* wykryto niewielką średnią ilość tyraminy równą zaledwie 15,1 mg kg⁻¹ (Özdestan i Üren, 2010). Stężenie tej aminy w żadnym z badanych w niniejszej pracy produktów tradycyjnych nie było wyższe od 600 mg kg⁻¹, czyli poziomu, który można uznać za bezpieczny dla zdrowych konsumentów (EFSA, 2011). Jednak inne badania pokazują, że poziom ten był niekiedy przekraczany. Na przykład czescy autorzy w kapuście kiszonej stwierdzili stężenie TYR równe aż 951 mg kg⁻¹ (Kalač i in., 1999).

W ich badaniach przeprowadzonych na grupie 87 produktów fermentowanych aż w 35% przypadków stężenie ustalone przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) jako bezpieczne zostało przekroczone. Organizacja ta podaje, że u osób przyjmujących leki MAOI 3. generacji stężenie tyraminy wynoszące zaledwie 50 mg kg⁻¹ może wywierać szkodliwy efekt na zdrowie (EFSA, 2011).

Z badań własnych wynika, że udział pozostałych amin biogennych (SP, TRP, PHE i AGM) w sumarycznym stężeniu tej grupy związków w badanych produktach był niewielki i stanowił 20, 7 oraz 15% odpowiednio w kapuście, ogórkach oraz żurkach; nieco większy (37%) był w barszczach, które zawierały stosunkowo dużo agmatyny. Na uwagę zasługuje także znaczna jej zawartość w kapuście kiszzonej. Doniesienia literaturowe na temat stężeń powyższych amin biogennych w produktach powstających w wyniku fermentacji mlekowej nie zawsze są jednoznaczne. W 20 *shalgamach* z rynku tureckiego również stwierdzono niewielkie ilości SP, TRP, PHE, AGM (Özdestan i Üren, 2010). Kalač i inni (2000a i 2000b) w przechowywanej kapuście zarówno poddawanej fermentacji spontanicznej, jak i szczepionej bakteriami kwasu mlekowego wykryli niski udział sperminy, spermidyny i tryptaminy. Ale ci sami autorzy, badając 121 prób kapusty kiszzonej dostępnej na rynku czeskim, odnotowali średnie stężenie tryptaminy na poziomie 51, a spermidyny 82 mg kg⁻¹ (Kalač i in., 1999). Z kolei Halász i inni (1999), oznaczając aminy biogenne w kapuście kiszzonej otrzymanej przy wykorzystaniu fermentacji spontanicznej po 71 dniach przechowywania, wykryli spermidynę w ilości około 150 mg kg⁻¹. W badaniach Peñas i innych (2010) poziom SPD w kapuście zaszczerpionej *Lactobacillus plantarum* oraz *Leuconostoc mesenteroides* był wysoki, co więcej, amina ta miała najwyższe stężenie ze wszystkich oznaczanych.

Wśród badanych małopolskich produktów fermentowanych największą sumaryczną zawartość amin stwierdzono w kapuście kiszzonej, podczas gdy 2-, 3- i 6-krotnie mniej było ich w ogórkach, żurku i barszczu czerwonym. Poszczególne produkty charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem sumarycznej zawartości amin biogennych, czego wyrazem są współczynniki zmienności $V_s = 44, 44, 60$ i 70% odpowiednio dla kapusty, ogórków, żurków oraz barszczy. Najniższa średnia sumaryczna zawartość amin biogennych stwierdzona została w barszczu czerwonym. Była ona i tak wyższa od ilości 70,2 mg L⁻¹ otrzymanej przez Özdestana i Ürena (2010) dla *shalgamów*. Na rezultaty uzyskane w tej części badań bez wątpienia, oprócz rodzaju surowca, miał również wpływ rodzaj mikroflory biorącej udział w fermentacji. Badania kapusty kiszzonej przeprowadzone przez Rabie i innych (2011) wykazały, że w produkcie fermentowanym metodą spontaniczną suma zawartości amin po 45 dniach przechowywania była około 10 razy większa niż w kapuście zaszczerpionej *L. curvatus* czy *L. casei*. Stwierdzono też, że przy wykorzystaniu do fermentacji szczepu *L. plantarum* sumaryczne stężenie amin w kapuście kiszzonej było większe niż w obecności szczepu *Leuconostoc mesenteroides* (Peñas i in., 2010).

3.4. Mikroflora produktów fermentowanych

Powstawanie produktów kiszonych ze swej natury związane jest z aktywnością drobnoustrojów. Jednak oprócz bakterii kwasu mlekowego na jakość i bezpieczeństwo takich wyrobów istotny wpływ wywierają najczęściej jeszcze inne rodzaje mikroflory. Analizowane grupy produktów z regionu Małopolski poddano więc podstawowym badaniom mikrobiologicznym (tab. 4), które potwierdziły, że w ogólnej liczbie bakterii (OLB) w nich zawartych ważny udział mają bakterie kwasu mlekowego (LAB). Najwięcej średnio było ich w barszczach czerwonych i żurkach, a najmniej w kapuście i ogórkach kiszonych. W tych ostatnich znaleziono także mniej drożdży niż w pozostałych produktach. Z kolei pleśnie wykryto w ponad 50% żurków i barszczy, a tylko w nielicznych próbach kapusty i ogórków kiszonych. W żadnej nie stwierdzono obecności bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae*. Charakterystyczne jest też to, że w przypadku każdego produktu istnieją bardzo duże różnicowania wśród indywidualnych obiektów pod względem liczby drobnoustrojów. Świadczą o tym wysokie wartości rozstępów między wartościami maksymalnymi a minimalnymi.

Wyniki uzyskane w tej pracy dla bakterii kwasu mlekowego są na ogół zgodne lub nieco niższe niż obserwacje innych autorów. Peñas i inni (2010) wykryli bakterie kwasu mlekowego w kapuście kiszonej na poziomie około $8 \log \text{ jtk g}^{-1}$. Z kolei w badanych przez Fleminga i innych (1995) ogórkach kiszonych liczebność tych drobnoustrojów wynosiła około $7 \log \text{ jtk g}^{-1}$, zaś według Walkowiak-Tomczak i Zielińskiej (2006) w barszczu czerwonym jest ich około $9 \log \text{ jtk g}^{-1}$. Jedynie Kozlinskis i inni (2008) wykazali, że w otrzymanym po 72-godzinnej fermentacji zakwasie do produkcji chleba żytniego bakterie kwasu mlekowego występują w ilości około $6 \log \text{ jtk g}^{-1}$, a więc mniejszej niż w żurku. Średnia liczebność drożdży w kapuście była większa od wyników dokumentowanych przez Peñas i innych (2010) oraz Viander i innych (2003). Można przypuszczać, że ich rozwój w poszczególnych obiektach mógł mieć związek z zahamowaniem wzrostu bakterii kwasu mlekowego (Elkner, 2003). Drożdże były także obecne w ogórkach kiszonych (ok. $2 \log \text{ jtk g}^{-1}$), w żytnim zakwasie do wytwarzania chleba (ok. $5 \log \text{ jtk g}^{-1}$) oraz barszczach czerwonych ($1,0\text{--}1,4 \log \text{ jtk g}^{-1}$), co wskazali odpowiednio badacze amerykańscy (Fleming i in., 1995), łotewscy (Kozlinskis i in., 2008) oraz polscy (Walkowiak-Tomczak i Zielińska, 2006).

Zaobserwowane w niniejszej pracy niskie liczebności drobnoustrojów wyrażone jako wartości minimalne w tabeli 4 mogą być spowodowane stosowaniem przez niektórych producentów operacji pasteryzacji lub dodawaniem konserwantów chemicznych do wytwarzanych przez nich kiszonek. Nie bez znaczenia może być również duży dodatek soli.

Tabela 4. Liczebność drobnoustrojów (log jtk g⁻¹) w wybranych kiszonych produktach tradycyjnych z regionu Małopolski

Rodzaj drobnoustrojów	Średnia	STD	Min	Max
Kapusta kiszona (n = 22)				
OLB	6,4	1,9	2,7	8,1
LAB	5,9	2,0	2,0	7,5
Drożdże	4,5	1,8	2,0	7,3
Pleśnie	1,5	0,9	no	2,4
Ogórki kiszone (n = 22)				
OLB	6,7	1,5	2,5	7,2
LAB	6,1	1,4	2,7	6,5
Drożdże	2,8	1,6	1,0	5,5
Pleśnie	1,6	0,6	no	2,1
Żurek (n = 22)				
OLB	8,1	0,9	5,9	8,9
LAB	7,7	0,7	5,8	8,2
Drożdże	6,0	1,8	2,0	6,9
Pleśnie	2,0	0,5	no	2,7
Barszcz czerwony (n = 22)				
OLB	7,7	1,1	6,1	8,5
LAB	7,6	0,8	6,1	8,4
Drożdże	5,1	1,6	1,0	6,7
Pleśnie	2,2	0,6	no	3,1

no – nieobecne, STD – odchylenie standardowe, Min / Max – wartość minimalna / maksymalna

3.5. Charakterystyka małopolskich produktów fermentowanych przy wykorzystaniu analizy składowych głównych

Analiza składowych głównych (PCA) jest użyteczną metodą statystyczną do charakteryzowania produktów spożywczych (Stanisz, 2007). Jej graficzną prezentację stanowią wykresy współrzędnych czynnikowych dla przypadków i dla zmiennych. Istnieje prawidłowość, że obiekty usytuowane na wykresie współrzędnych czynnikowych przypadków w określonym kierunku względem początku układu współrzędnych mają wysokie wartości tych zmiennych obserwowalnych, które umiejscowione są w tym właśnie kierunku na wykresie współrzędnych czynnikowych zmiennych. Ponadto obiekty będące blisko siebie na wykresie współrzędnych

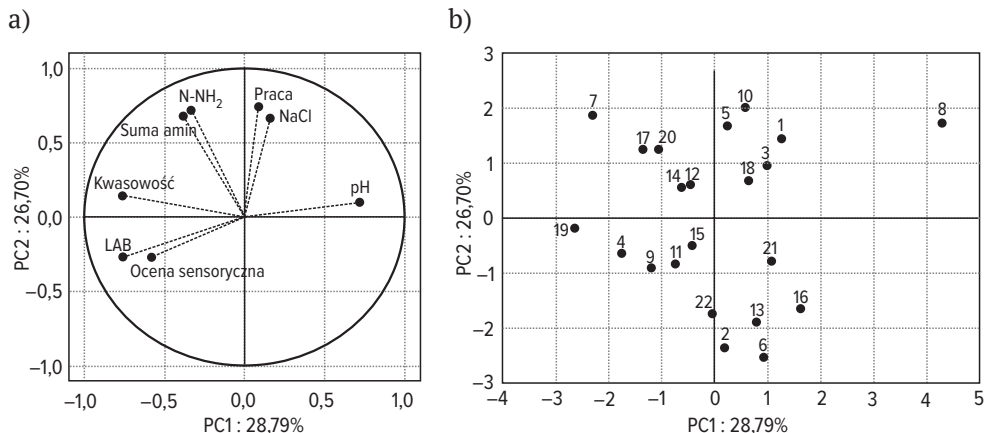
przypadków mają podobną charakterystykę, a zmienne obserwowalne usytuowane blisko siebie na wykresie współrzędnych czynnikowych zmiennych są skorelowane dodatnio, podczas gdy leżące po przeciwnych stronach względem środka układu współrzędnych wykazują korelację ujemną. Im bliżej zmienna leży koła jednostkowego, tym lepiej jest ona reprezentowana na wykresie.

3.5.1. PCA kapusta kiszona

Do przeprowadzenia analizy składowych głównych dla kapusty kiszonej posłużono się 8 zmiennymi obserwowalnymi. Były to pH, kwasowość, zawartość azotu aminowego ($N-NH_2$) oraz chlorku sodu (NaCl), ogólna ocena sensoryczna, liczba bakterii kwasu mlekowego (LAB), praca przecinania standardowej próbki kapusty (Praca) oraz sumaryczne stężenie amin biogennych (Suma amin). Przeprowadzona analiza wykazała, że pierwsze dwie składowe (PC1 i PC2) odpowiadające największym wartościom własnym wyjaśniają odpowiednio 28,8 i 26,7% ogółu wariancji, co razem stanowi 55,5%. Zmienne obserwowalne jak pH, kwasowość, wynik oceny sensorycznej i liczebność bakterii kwasu mlekowego (LAB) mają największe ładunki czynnikowe z pierwszą składową (PC1), co oznacza, że jest ona dobrą ich reprezentacją. Z kolei zawartość azotu aminowego, stężenie chlorku sodu (NaCl), suma amin oraz praca przecinania kapusty mają relatywnie wysokie ładunki ze składową drugą (PC2).

Na wykresie współrzędnych czynnikowych zmiennych PC1 i PC2 (ryc. 3a) widać, że wszystkie zmienne obserwowalne mają dość długie wektory, co oznacza, że ich udział w wartościach pierwszych dwóch składowych jest znaczący. Fakt, iż wektor pH leży po przeciwnej stronie układu niż wektory kwasowości, LAB i ogólnej oceny sensorycznej, świadczy o tym, że pH jest skorelowane ujemnie z tymi zmiennymi. Z kolei bliskie położenie par ocena sensoryczna i LAB, suma amin i azot aminowy oraz praca i NaCl dowodzi, że zmienne w tych parach są pozytywnie skorelowane. Na omawianym wykresie uwagę zwraca bliskie prostopadłemu położenie wektora sumy amin i $N-NH_2$ względem LAB i oceny sensorycznej oraz kwasowości względem pracy i stężenia NaCl, co jest odzwierciedleniem braku korelacji między tymi zmiennymi.

Z wykresu współrzędnych czynnikowych przypadków (ryc. 3b) na płaszczyźnie PC1 i PC2 wynika, że poszczególne obiekty mieszczą się we wszystkich ćwiartkach wokół środka układu współrzędnych i niektóre z nich są w znaczącym oddaleniu od siebie. Świadczy to o dużej różnorodności ich właściwości. Są jednak także produkty wykazujące bardzo duże podobieństwo, dotyczy to np. próbek 12 i 14. Porównanie położenia punktów na omawianym wykresie z umiejscowieniem zmiennych obserwowalnych na wykresie współrzędnych czynnikowych zmiennych (ryc. 3a) pozwala zorientować się, które cechy dominują w poszczególnych obiektach. I tak na przykład próby 1, 3, 5, 10 i 18 zawierają więcej chlorku sodu niż pozostałe i wymagają większej pracy do ich przecięcia.



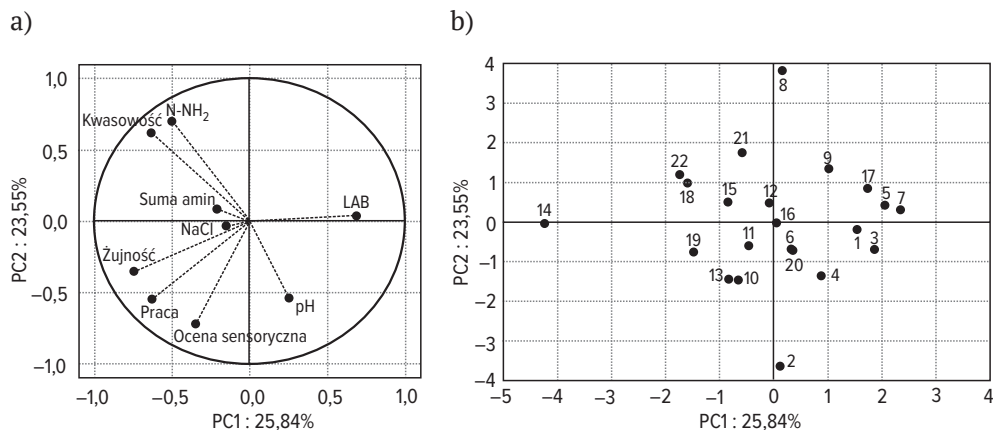
Ryc. 3. Wykresy na płaszczyźnie PC1 i PC2 współrzędnych czynnikowych zmiennych (a) i przypadków (b) dla kapusty kiszzonej

3.5.2. PCA ogórki kiszone

Charakteryzując ogórki kiszone do celów PCA, wybrano 9 reprezentatywnych zmiennych obserwowalnych, tj.: pH, kwasowość, zawartość azotu aminowego (N-NH₂) oraz chlorku sodu (NaCl), ogólną ocenę sensoryczną, liczbę bakterii kwasu mlekowego (LAB), pracę przecinania standardowej próbki (Praca) oraz sumaryczne stężenie amin biogennych (Suma amin), a także żużność. Spośród składowych głównych zgodnie z kryterium Kaisera wybrano trzy pierwsze PC, które pozwalają wyjaśnić sumarycznie 65,41% całkowitej zmienności próby. Ładunki czynnikowe dla tych trzech składowych wskazują, że PC1 koreluje z kwasowością, liczbą bakterii kwasu mlekowego oraz parametrami tekstury, żużnością i pracą przecinania. Zmienne pH, stężenie azotu aminowego oraz ocena sensoryczna mają najwyższe ładunki czynnikowe z drugą składową (PC2). Natomiast ostatnia wybrana do analizy składowa (PC3) najlepiej reprezentowała stężenie chlorku sodu i sumaryczną zawartość amin.

Wyznaczone ładunki czynnikowe zmiennych dla głównych składowych PC1 i PC2 zobrazowano na ryc. 4a. Bliskie położenie wektorów zmiennych N-NH₂ i kwasowości, a także pracy przecinania i żużności oraz oceny sensorycznej ma związek z dobrym skorelowaniem tych zmiennych. Prostopadłość wektorów N-NH₂ i pracy przecinania oraz kwasowości z oceną sensoryczną wskazuje na brak ich korelacji. Na wykresie zwraca również uwagę naprzeciwległe położenie wektora pH względem kwasowości i N-NH₂ świadczące o ujemnym skorelowaniu tych zmiennych.

Wykres współrzędnych czynnikowych przypadków na płaszczyźnie składowych głównych PC1 i PC2 obrazuje bardzo duże zróżnicowanie cech badanych produktów (ryc. 4b). Przypadki 1, 3, 5, 7 i 17 charakteryzowały się wysoką liczebnością LAB. Grupa o numerach 4, 6, 20 miała relatywnie wysokie pH oraz niską kwasowość.



Ryc. 4. Wykresy na płaszczyźnie PC1 i PC2 współrzędnych czynnikowych zmiennych (a) i przypadków (b) dla ogórków kiszonych

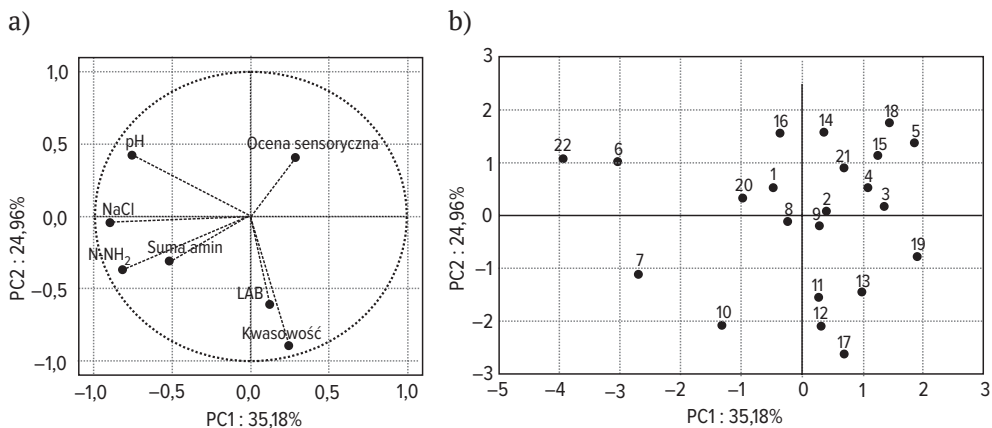
Natomiast dużą kwasowość i wysokie stężenie azotu aminowego stwierdzono dla przypadków 15, 18, 21 i 22. Grupa ogórków oznaczonych numerami 10, 11, 13 i 19 charakteryzowała się największą jędrnością (duża żujność i praca przecinania) oraz uzyskała wysoką ocenę sensoryczną.

3.5.3. PCA żurku

Do analizy składowych głównych w przypadku żurku wykorzystano siedem zmiennych obserwowalnych: pH, kwasowość, zawartość azotu aminowego (N-NH₂) i chlorku sodu (NaCl), ogólną ocenę sensoryczną, liczbę bakterii kwasu mlekowego (LAB) oraz sumaryczne stężenie amin biogennych (Suma amin). Z przeprowadzonej analizy wynika, że pierwsze dwie składowe (PC1 i PC2) wyjaśniają razem 60,15% ogółu wariacji. Pierwsza składowa główna PC1 obejmuje zmienne o największych dla niej ładunkach czynnikowych, czyli pH, zawartość chlorku sodu, stężenie azotu aminowego oraz sumaryczną zawartość amin biogennych. Natomiast relatywnie wysokie ładunki z drugą składową (PC2) mają kwasowość, wynik ogólnej oceny sensorycznej oraz liczebność bakterii kwasu mlekowego.

Na ryc. 5a przedstawiającej współrzędne czynnikowe zmiennych można zaobserwować bliskie wzajemne położenie par wektorów LAB i kwasowości oraz sumy amin i stężenia N-NH₂, świadczące o ich dobrej korelacji. Długości wektorów w tych parach wyraźnie się różnią, co dowodzi mniejszego udziału LAB i sumy amin w wartościach dwóch pierwszych składowych. Z faktu, że wektory odpowiadające dwóm omawianym parom zmiennych są bliskie kąta prostego, wynika, iż nie są one ze sobą skorelowane. Podobnie nie ma w PCA żurku związku pomiędzy ogólną oceną sensoryczną a pH, ale koreluje ona ujemnie z większością pozostałych zmiennych.

Podczas interpretacji wykresu współrzędnych czynnikowych przypadków (ryc. 5b) uwagę zwraca znaczne rozproszenie punktów odpowiadających poszczególnym obiektom, świadczące o ich zróżnicowaniu pod względem badanych cech. Pomimo tego można jednak wyróżnić grupę żurków o numerach 5, 14, 15, 18 i 21 charakteryzujących się wysoką jakością sensoryczną i zarazem niską sumaryczną zawartością amin biogennych i azotu aminowego. Z kolei grupa żurków oznaczonych numerami 11, 12, 13 i 17 cechowała się wysoką kwasowością oraz znaczną liczebnością bakterii kwasu mlekowego.



Ryc. 5. Wykresy na płaszczyźnie PC1 i PC2 współrzędnych czynnikowych zmiennych (a) i przypadków (b) dla żurku

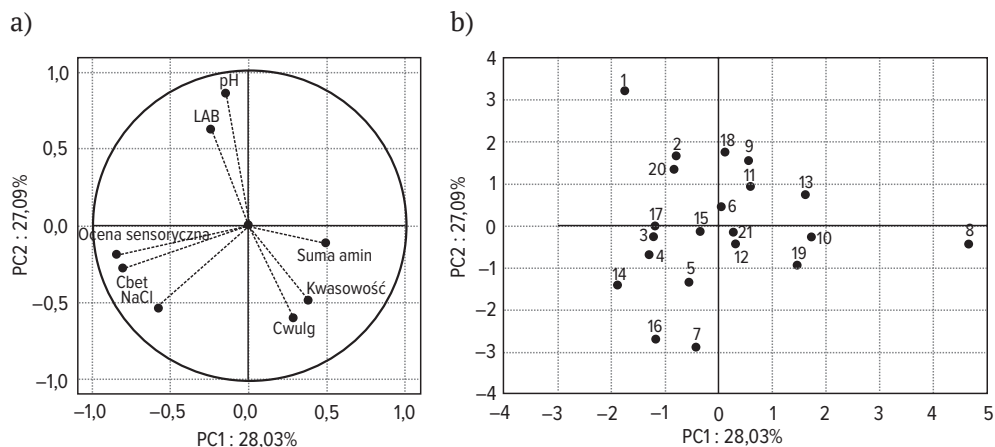
3.5.4. PCA barszcz czerwony

Do wykonania PCA w przypadku barszczy czerwonych wybrano 8 zmiennych obserwowalnych. Były to pH, kwasowość, stężenie NaCl, ogólna ocena sensoryczna, liczebność bakterii kwasu mlekowego (LAB), suma amin biogennych (Suma amin) oraz ogólne stężenia barwników czerwonych (C_{bet}) i żółtych (C_{wulg}). Analiza wykazała, że dwie pierwsze składowe spełniające kryterium Kaisera wyjaśniają 56,37% całkowitej zmienności. Składowa PC1 najwyższe ładunki czynnikowe wykazywała dla stężenia NaCl, oceny sensorycznej, sumarycznego stężenia amin oraz stężenia barwników betalainowych. Z kolei PC2 skorelowana była z pH, kwasowością, liczebnością LAB oraz stężeniem wulgaksantyn.

Na wykresie współrzędnych czynnikowych zmiennych PC1 i PC2 (ryc. 6a) blisko siebie położone są wektory ogólnej oceny sensorycznej, stężenia barwników betalainowych i zawartości NaCl, zatem zmienne te są pozytywnie skorelowane. Dobrze korelowały ze sobą także pary pH i LAB oraz kwasowość z C_{wulg} . Prostopadłość wektorów C_{wulg} z C_{bet} dowodzi braku związku pomiędzy zawartością barwników czerwonych i żółtych w badanych barszczach. Znamienny jest też brak korelacji pomiędzy

ogólną oceną sensoryczną oraz kwasowością. Zmienne składowe wykazujące najwyższe ładunki czynnikowe z PC2, a mianowicie pH oraz LAB, ujemnie korelowały z C_{wulg} i kwasowością.

Analizując wykres współrzędnych czynnikowych przypadków na płaszczyźnie PC1 i PC2 (ryc. 6b), można zauważyć, że poszczególne badane obiekty rozproszone są we wszystkich ćwiartkach układu współrzędnych. Różnorodność jakościowa barszczy jest zatem duża. Pomimo to wyróżnić można grupy produktów o podobnych cechach jakościowych, jak 3, 4, 17 czy 2, 20 lub 12, 21. Na przykład wysoką oceną sensoryczną i dużym stężeniem betalain charakteryzowały się barszcze 3, 4, 5 i 14. Z kolei przypadki 9, 11 i 13 zawierały najmniej chlorku sodu i miały słabą barwę.



Ryc. 6. Wykresy na płaszczyźnie PC1 i PC2 współrzędnych czynnikowych zmiennych (a) i przypadków (b) dla barszczy czerwonego

4. Wnioski

1. Istnieje duże zróżnicowanie jakości wśród dostępnych w handlu produktów kiszonych pochodzących z regionu Małopolski, takich jak kapusta, ogórki, żurek i barszcz czerwony. Pomimo iż charakteryzują się zwykle dobrą jakością sensoryczną, ich cechy smakowo-zapachowe oceniane były na ogół niżej od pozostałych właściwości, co ma związek m.in. z tym, że ich pH i kwasowość, a także zawartość soli odbiegają często od wartości standardowych.
2. Średnia całkowita zawartość amin biogennych w małopolskich kiszonych produktach roślinnych była największa w kapuście (ok. 670 mg kg⁻¹), a następnie ogórkach (ok. 330 mg kg⁻¹), żurku (ok. 230 mg kg⁻¹) i barszczy (ok. 110 mg kg⁻¹). Jednak średnie poziomy histaminy i tyraminy w tych produktach były znacznie niższe i nie przekraczały odpowiednio 44 i 76 mg kg⁻¹,

przy czym nieliczne największe, jednostkowo wykrywane stężenia tylko około 2-krotnie przewyższały wartości średnie. W związku z tym produkty te pod względem zawartości w nich amin biogennych mogą być uznane za bezpieczne dla zdrowych konsumentów. Wykazano również, iż nie zawierają one drobnoustrojów chorobotwórczych.

3. Metoda analizy składowych głównych (PCA) pozwala na scharakteryzowanie kiszonych produktów pochodzenia roślinnego, takich jak kapusta, ogórki, żurki i barszcze czerwone, przy pomocy dwóch lub trzech składowych głównych, umożliwiając jednocześnie wyodrębnienie grup obiektów o podobnych właściwościach.

Literatura

- Ali, M. A., Poortvliet, E., Strömberg, R., Yngve, A. (2011). Polyamines in foods: development of a food database. *Food & Nutrition Research*, 55, 5572. <https://doi.org/10.3402/fnr.v55i0.5572>
- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62–72.
- Bover-Cid, S., Hugas, M., Izquierdo-Pulido, M., Vidal-Carou, M. C. (2001). Amino acid-decarboxylase activity of bacteria isolated from fermented pork sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 66(3), 185–189. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00526-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00526-2)
- Bover-Cid, S., Miguélez-Arrizado, M. J., Becker, B., Holzapfel, W. H., Vidal-Carou, M. C. (2008). Amino acid decarboxylation by *Lactobacillus curvatus* CTC273 affected by the pH and glucose availability. *Food Microbiology*, 25(2), 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.10.013>
- Bover-Cid, S., Torriani, S., Gatto, V., Tofalo, R., Suzzi, G., Belletti, N., Gardini, F. (2009). Relationships between microbial population dynamics and putrescine and cadaverine accumulation during dry fermented sausage ripening. *Journal of Applied Microbiology*, 106(4), 1397–1407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04108.x>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Chu, C. H., Bjeldanes, L. F. (1981). Effect of Diamines, Polyamines and Tuna Fish Extracts on the Binding of Histamine to Mucin In Vitro. *Journal of Food Science*, 47(1), 79–88. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb11031.x>
- Czyżowska, A., Klewicka, E., Libudzisz, Z. (2006). The influence of lactic acid fermentation process of red beet juice on the stability of biologically active colorants. *European Food Research and Technology*, 223, 110–116. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0159-y>
- EFSA (2011). EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). Scientific Opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods. *EFSA Journal*, 9(10), 2393. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2393>

- Ekici, K., Coşkun, H. (2004). Histamine Contents of Some Commercial Vegetable Pickles. *Pakistan Journal of Nutrition*, 3(3), 197–198. <https://doi.org/10.3923/pjn.2004.197.198>
- Eliassen, K. A., Reistad, R., Risøen, U., Rønning, H. F. (2002). Dietary polyamines. *Food Chemistry*, 78(3), 273–280. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00405-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00405-8)
- Elkner, K. (2003). Jakość kapusty kwaszonej. *Hasło Ogrodnicze*, 9, 80–81.
- Fik, M., Surówka, K. (1984). Adaptation of Pope and Stevens method for rapid determination of the amino nitrogen content in certain raw materials and animal products. *Die Nahrung*, 28(8), 883–887. <https://doi.org/10.1002/food.19840280829>
- Fleming, H. P., McDonald, L. C., McFeeters, R. F., Thompson, R. L., Humphries, E. G. (1995). Fermentation of Cucumbers Without Sodium Chloride. *Journal of Food Science*, 60(2), 312–315, 319. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05662.x>
- Ghosh, D. (2021). Studies on the changes of biochemical, microbiological and sensory parameters of sauerkraut and fermented mix vegetables. *Food Research*, 5(1), 78–83. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(1\).193](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(1).193)
- Gracelin, D. H. S., Samuel, A. S., Samraj, A. P. (2012). Gherkin (*Cucumis anguria* L.) – a potential crop for bioprocessing. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 2, 345–349.
- Halász, A., Baráth, Á., Holzapfel, W. (1999). The influence of starter culture selection on sauerkraut fermentation. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 208, 434–438. <https://doi.org/10.1007/s002170050443>
- Jordana, J. (2000). Traditional foods: challenges facing the European food industry. *Food Research International*, 33(3–4), 147–152. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00028-4)
- Kalač, P., Křížek, M. (1997). Formation of biogenic amines in four edible mushroom species stored under different conditions. *Food Chemistry*, 58(3), 233–236. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00170-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00170-7)
- Kalač, P., Špička, J., Křížek, M., Pelikánová, T. (2000a). Changes in biogenic amine concentrations during sauerkraut storage. *Food Chemistry*, 69(3), 309–314. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00273-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00273-3)
- Kalač, P., Špička, J., Křížek, M., Pelikánová, T. (2000b). The effects of lactic acid bacteria inoculants on biogenic amines formation in sauerkraut. *Food Chemistry*, 70(3), 355–359. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00103-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00103-5)
- Kalač, P., Špička, J., Křížek, M., Steidlová, S., Pelikánová, T. (1999). Concentrations of seven biogenic amines in sauerkraut. *Food Chemistry*, 67(3), 275–280. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00131-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00131-4)
- Kołożyn-Krajewska, D. (2008). Bezpieczeństwo zdrowotne produktów tradycyjnych, (w:) Tradycyjne i regionalne technologie oraz produkty w żywieniu człowieka, Z. J. Dolatowski, D. Kołożyn-Krajewska (red.). Kraków: Wydawnictwo Naukowe PTTŻ, 59–72.
- Kozlinskis, E., Skudra, L., Klava, D., Kunkulberga, D. (2008). Characterization of rye sourdough microflora. *Foodbalt 2008 Conference Proceedings*. Jelgava: Latvia University of Agriculture, Faculty of Food Technology, 89–93.
- Majcherczyk, J., Surówka, K. (2019). Effects of onion or caraway on the formation of biogenic amines during sauerkraut fermentation and refrigerated storage. *Food Chemistry*, 298, 125083, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125083>

- Major, N., Bažon, I., Išić, N., Kovačević, T. K., Ban, D., Radeka, S., Ban, S. G. (2022). Bioactive Properties, Volatile Compounds, and Sensory Profile of Sauerkraut Are Dependent on Cultivar Choice and Storage Conditions. *Foods*, 11(9), 1218. <https://doi.org/10.3390/foods11091218>
- Michalczyk, M., Surówka, K. (2009). Microstructure and instrumentally measured textural changes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gravads during production and storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(11), 1942–1949. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3678>
- Moret, S., Smela, D., Populin, T., Conte, L. S. (2005). A survey on free biogenic amine content of fresh and preserved vegetables. *Food Chemistry*, 89(3), 355–361. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.050>
- Nicolau, A. I., Gostin, A. I. (2015). Safety of Borsh, (w:) Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods, V. Prakash, O. Martín-Belloso, L. Keener, S. Astley, S. Braun, H. McMahon, H. Lelieveld (red.), Chapter 20. Cambridge: Academic Press, 381–394. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800605-4.00020-7>
- Nilsson, T. (1970). Studies into the pigments in beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *rubra* L.). *Lantbrukshögskolans Annaler*, 36, 179–197.
- Özdestan, O., Üren, A. (2010). Biogenic Amine Content of Shalgam (Şalgam): A Traditional Lactic Acid Fermented Turkish Beverage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(4), 2602–2608. <https://doi.org/10.1021/jf903775z>
- Özoğul, F., Taylor, K. D. A., Quantick, P., Özoğul, Y. (2002). Biogenic amines formation in Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored under modified atmosphere packaging using a rapid HPLC method. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(5), 515–522. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00608.x>
- Peñas, E., Frias, J., Sidro, B., Vidal-Valverde, C. (2010). Impact of fermentation conditions and refrigerated storage on microbial quality and biogenic amine content of sauerkraut. *Food Chemistry*, 123(1), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.021>
- PN-71/A-75101. Przetwory owocowe i warzywne. Przygotowanie próbek i metody badań fizykochemicznych.
- PN-A-75052-05:1990. Przetwory owocowe, warzywne i warzywno-mięsne. Metody badań mikrobiologicznych. Oznaczanie obecności i liczby drobnoustrojów tlenowych mezofilnych i psychrofilnych.
- PN-90/A-75052.08. Przetwory owocowe, warzywne i warzywno-mięsne. Metody badań mikrobiologicznych. Oznaczanie liczby drożdży i pleśni.
- PN-A-04023:2001. Mikrobiologia żywności. Wykrywanie i identyfikacja drobnoustrojów z rodziny *Enterobacteriaceae*.
- PN-A-77700:2006P. Przetwory warzywne. Kapusta kwaszona.
- PN-A-77701:1997P. Produkty warzywne. Ogórki kwaszone i przeciery z ogórków kwaszonych.
- PN-ISO 15214:2002. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby mezofilnych bakterii fermentacji mlekowej. Metoda płytkowa w temperaturze 30°C.
- PN-ISO 17410:2004. Mikrobiologia żywności i pasz. Horyzontalna metoda oznaczania liczby drobnoustrojów psychrotrofowych.
- PN-ISO 8586-1:1996. Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne wyboru, szkolenia i monitorowania oceniających. Wybrani oceniający.

- Pourrat, A., Lejeune, B., Grand, A., Pourrat, H. (1988). Betalains Assay of Fermented Red Beet Root Extract by High Performance Liquid Chromatography. *Journal of Food Science*, 53(1), 294–295. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb10237.x>
- Qin, Y., Ke, W., Faheem, A., Ye, Y., Hu, Y. (2023). A rapid and naked-eye on-site monitoring of biogenic amines in foods spoilage. *Food Chemistry*, 404(A), 134581. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134581>
- Rabie, M., Siliha, H., el-Saidy, S., el-Badawy, A. A., Malcata, F. X. (2011). Reduced biogenic amine contents in *sauerkraut* via addition of selected lactic acid bacteria. *Food Chemistry*, 129(4), 1778–1782. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.106>
- Rybaczyk Pathak, D., Stein, A. D., He, J.-P., Noel, M. M., Hembroff, L., Nelson, D. A., Vigneau, F., Shen, T., Scott, L. J., Charzewska, J., Wajszczyk, B., Clark, K., Rybaczyk, L. A., Pathak, B. A., Błaszczuk, D., Bankowski, A., Willett, W. C. (2021). Cabbage and Sauerkraut Consumption in Adolescence and Adulthood and Breast Cancer Risk among US-Resident Polish Migrant Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20), 10795. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010795>
- Saaid, M., Saad, B., Hashim, N. H., Ali, A. S. M., Saleh, M. I. (2009). Determination of biogenic amines in selected Malaysian food. *Food Chemistry*, 113(4), 1356–1362. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.070>
- Scharf, S., Kersten, A.-K., Lentzsch, P., Meurer, P. (2022). Analysis of pectolytic enzymes and *Alternaria spp.* in fresh dill, mustard seeds, onions, and vinegar, and their influence on the softening of pickled cucumbers. *Journal of Food Science*, 87(2), 808–818. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16041>
- Siddeeg, A., Afzaal, M., Saeed, F., Ali, R., Shah, Y. A., Shehzadi, U., Ateeq, H., Waris, N., Hussain, M., Raza, M. A., Al-Farga, A. (2022). Recent updates and perspectives of fermented healthy super food sauerkraut: a review. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 2320–2331. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2135531>
- Sobkowska, E. (1979). Burak ćwikłowy jako surowiec do produkcji soków. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 10, 25–28.
- Stanisz, A. (2007). *Przystępny kurs statystyki. Tom 3. Analizy wielowymiarowe*. Kraków: StatSoft Polska.
- Surówka, K., Rzepka, M., Özoğul, F., Özoğul, Y., Surówka, B., Ligaszewski, M. (2021). Nucleotide degradation, biogenic amine level and microbial contamination as quality indicators of cold-stored rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gravad. *Food Chemistry*, 346, 128904. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128904>
- Špička, J., Kalač, P., Bover-Cid, S., Křížek, M. (2002). Application of lactic acid bacteria starter cultures for decreasing the biogenic amine levels in sauerkraut. *European Food Research and Technology*, 215, 509–514. <https://doi.org/10.1007/s00217-002-0590-2>
- Tsai, Y.-H., Kung, H.-F., Lin, Q.-L., Hwang, J.-H., Cheng, S.-H., Wei, C.-I., Hwang, D.-F. (2005). Occurrence of histamine and histamine-forming bacteria in kimchi products in Taiwan. *Food Chemistry*, 90(4), 635–641. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.024>
- Viander, B., Mäki, M., Palva, A. (2003). Impact of low salt concentration, salt quality on natural large-scale sauerkraut fermentation. *Food Microbiology*, 20(4), 391–395. [https://doi.org/10.1016/S0740-0020\(02\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0740-0020(02)00150-8)

- Walkowiak-Tomczak, D., Zielińska, A. (2006). Effect of fermentation conditions on red-beet leaven quality. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 56(4), 437–444.
- Yücel, U., Üren, A. (2008). Biogenic amines in Turkish type pickled cabbage: Effects of salt and citric acid concentration. *Acta Alimentaria*, 37(1), 115–122. <https://doi.org/10.1556/AAlim.2007.0022>
- Zieliński, H., Surma, M., Zielińska, D. (2017). The Naturally Fermented Sour Pickled Cucumbers, (w:) *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*, J. Frias, C. Martinez-Villaluenga, E. Peñas (red.), Chapter 21. Cambridge: Academic Press, 503–516. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802309-9.00021-2>.