

Elżbieta Kondratowicz-Pietruszka

Katedra Chemii Ogólnej

Dynamika wzrostu kwasowości fermentowanych soków warzywnych

1. Wprowadzenie

Warzywa są źródłem głównie związków mineralnych i witamin, a także związków terpenowych, flawonowych, garbników, chitonów i fitoncydów. Dlatego też powinny być, obok składników budulcowych i energetycznych, stałym składnikiem diety.

Burak ćwikłowy obok marchwi jest przykładem popularnego warzywa korzeniowego. Nad Morzem Śródziemnym, burak znany był, od co najmniej 4000 lat jako burak dziki. Lecznice walory liści cenili również medycy ze starożytnego Babilonu; za ich przykładem poszli Grecy i Rzymianie. Zawiera on wiele mikroelementów, witamin oraz związków o właściwościach leczniczych. Jego sok jest środkiem krwiotwórczym, od dawna znanym i stosowanym przez medycynę naturalną. Zapobiega anemii, wspomaga leczenie ciężkich chorób, np. białaczki. Właściwości lecznicze zawdzięcza również antocyjanom, czyli tym samym barwnikom, które występują w czerwonym winie. Antocyjany zawarte w burakach czterokrotnie zwiększają przyswajanie tlenu przez komórki. Wspomagają także układ krwionośny i posiadają silne działanie antynowotworowe. Barwniki te neutralizują wolne rodniki, chroniąc w ten sposób komórki przed rakiem i starzeniem się. Oprócz tego barwnik buraków (betanina) ma zdolność wnikania do wnętrza bakterii, co powoduje zahamowanie ich rozwoju i rozmnażania. Sok z buraka wzmacnia odporność organizmu na choroby, zwłaszcza wirusowe, przywraca równowagę kwasowo-zasadową w żołądku, zmniejsza ryzyko zachorowania na osteoporozę, łagodzi dolegliwości związane z przekwitaniem, dotlenia serce, wyrównuje jego pracę, obniża także ciśnienie krwi i łagodzi dokuczliwe uderzenia gorąca i uciążliwe migreny. Wykazano, że ekstrakt z buraka ćwikłowego może hamować rozwój raka płuc, wątroby i skóry. Prewencyjne działanie uzyskuje się

już przy bardzo niskiej dawce. Może spowalniać proces starzenia, podwyższać odporność immunologiczną, działać antystresowo. Sok z buraków jest skutecznym środkiem na nadkwasotę, jest też polecany osobom z nadciśnieniem. Pomaga w leczeniu anginy i przeziębień. Sok buraka znosi szkodliwość napromieniowania promieniami Roentgena oraz promieniami wydzielanymi przez substancje radioaktywne [15, 23, 24]. Przyjemny smak nadają burakom kwasy organiczne: jabłkowy, cytrynowy, winowy i szczawiowy [14]. Na liście odmian COBORU znajduje się 18 odmian buraka ćwikłowego. Najwięcej walorów smakowych i zdrowotnych mają odmiany o nazwach: Czerwona Kula, Glob F1 i Burak Opolski [11, 13, 15].

Celem badań było określenie dynamiki wzrostu kwasowości, przechowywanych prób soków z buraka ćwikłowego, z dodatkami cukru i soli, poddanych samorzutnemu procesowi fermentacji w temperaturze 4°C i 24°C.

2. Skład chemiczny i wartości żywieniowe

Burak ćwikłowy ma wysoką wartość żywieniową i prozdrowotną, co wynika z jego składu chemicznego. Wykorzystywany jest do produkcji żywności funkcjonalnej. Składnikiem występującym w warzywach w największej ilości jest woda 82,9–91,7%/100g. Z tego względu warzywa należą do pokarmów niskokalorycznych (25–60 kcal/100g; 105–250 kJ/100g). Ma to szczególne znaczenie w diecie niskoenergetycznej [22, 23, 24].

Buraki zawierają stosunkowo dużo węglowodanów 6,8–9,0%/100g, wśród których przeważa sacharoza. Dzięki jej obecności buraki są słodkie. Polisacharydy występują głównie w ścianach komórkowych, a glukoza i fruktoza w soku komórkowym. W stanie dojrzałym większość sacharydów występuje w postaci cukrów prostych. Buraki ćwikłowe zawierają 8–18% sacharydów i stosunkowo dużo monosacharydów. Przeważnie zawartość monosacharydów jest większa niż zawartość sacharozy, ale w burakach ćwikłowych sacharozy jest więcej. Zawartość cukrów w korzeniach buraków jest silnie zróżnicowana i zależna od odmiany. Najniższa jest w odmianach Regala, Wodan F, Pablo F i Banel (8,5–9,1%), najwyższa natomiast w odmianach Nochowski, Okrągły C, Chrobry i Crosby (11,2–11,6%) [18, 21].

Oceniając wartość odżywczą buraków, należy zwrócić uwagę na zawarte w nich składniki mineralne. Skład mineralny sprawia, że buraki wpływają na organizm odkwaszająco. Buraki zawierają takie pierwiastki mineralne, jak: potas 321–350 mg, sód 73–100 mg, wapń 27–33 mg, fosfor 30–66 mg, magnez 1,4 mg, żelazo 0,7–1,0 mg, mangan 0,5–1,4 mg, kobalt 0,5–0,9 mg, cynk 0,28–0,9 mg, miedź 0,19 mg, śladowe ilości fluoru, chloru.

Warzywo to dostarcza również obok białka 1,12–2,0%/100g i tłuszczu 0,1–0,2%/100g, niewielkich ilości witamin. Buraki zawierają niewielkie ilości

witamina C 8–13 mg/100g, więcej ma fermentowany sok z buraków, bo w trakcie fermentacji powstaje także kwas askorbinowy. Jeśli chodzi o pozostałe witaminy, buraki zawierają witaminy B1, B2, B6 i kwas nikotynowy. Podczas obróbki termicznej może dochodzić do strat witamin i innych substancji, które działają przeciwutleniająco [7, 10, 12]. W literaturze występuje tu również kwas szczawiowy w ilości 30–40 mg. Składniki te są rozpuszczalne w wodzie, dlatego szczególnie polecany do picia powinien być fermentowany sok z buraków jako propozycja żywności funkcjonalnej [1, 12, 26].

Wśród barwników warzyw wyróżnia się chlorofile, karotenoidy i antocyjany. W burakach występują głównie antocyjany. Jest to grupa naturalnych, czerwonych, niebieskich i purpurowych substancji. Podczas produkcji konserw warzywnych antocyjany działają jak depolaryzatory i mogą przyspieszać korozję opakowań metalowych, stąd puszki zabezpiecza się specjalnymi lakierami. Ze względu na dużą zawartość flawonoidów buraki ćwikłowe mogą hamować proces utleniania tłuszczów zawartych w mięsie, zachodzący podczas sporządzania potraw i ich przechowywania. Zawarte w burakach związki (pochodne antocyjanów – betacyjany i betaksantyny) mogą hamować utlenianie metmioglobiny.

Barwnik nadający burakom ćwikłowym specyficzny czerwono-fioletowy kolor to betanina - związek zaliczany do flawonoidów. Betanina jest silnym przeciwutleniaczem – może obniżać ilość wolnych rodników w organizmie. Wolne rodniki natomiast są odpowiedzialne za występowanie wielu chorób, w tym nowotworowych. Zawartość betaniny w korzeniach buraków waha się w zależności od odmiany i wynosi od 0,1% do 0,25%. Wyhodowano już odmiany buraków o podwyższonej zawartości betaniny, np. Chrobry (ok. 0,3%) lub Patryk (0,25%) [8, 11, 18].

W surowych burakach ćwikłowych występuje znaczna ilość folianów (90–95 $\mu\text{g}/100\text{ g}$). Po 3 miesiącach przechowywania poziom folianów obniża się o ok. 10%, zaś po 15 miesiącach o ok. 20%. Pod wpływem obróbki kulinarnej buraków następują większe straty folianów, wynoszące 50–60%. W ugotowanych burakach zawartość folianów zmniejsza się o 30%, a pikle buraczane lub ćwikła zachowują 40–50% folianów. Do strat folianów przyczyniają się: temperatura, obecność wody (foliany rozpuszczają się w wodzie), utlenianie i kwaśne środowisko.

Podczas procesów metabolicznych zachodzących w tkankach roślin powstaje wiele kwasów organicznych. Zawartość kwasów jest zróżnicowana. W większości warzyw dominują kwasy cytrynowy i jabłkowy. W burakach najwięcej jest kwasu cytrynowego [5, 25]. Większość warzyw ma niską zawartość kwasów i w związku z tym naturalne soki z marchwi, buraków czy kapusty są mało atrakcyjne pod względem sensorycznym. Dlatego też zainteresowanie konsumentów tymi produktami jest niewielkie. Z tego powodu obniża się pH soków warzywnych do poziomu umożliwiającego ich pasteryzację, a także poprawiającego walory smakowe. Do zakwaszania soków stosuje się koncentraty owoców cytrusowych i jabłkowy lub

kwasu cytrynowego. Obecnie produkowany zagęszczony sok z buraków ćwikłowych jest otrzymywany ze świeżego soku przez usunięcie wody oraz dodanie kwasu cytrynowego lub kwasu cytrynowego i soli kuchennej. Jest termicznie utrwalony, hermetycznie zamknięty w opakowaniach. Ze względów zdrowotnych i ekonomicznych, najkorzystniejsze jest jednak zakwaszanie soków kwasem mlekowym powstającym w procesie fermentacji mlekowej surowców warzywnych. Przykładem jest chętnie spożywany kiszony sok z buraków. Kwaszenie jest bardzo starą metodą utrwalania żywności. Podstawowym związkami utrwalającymi jest kwas mlekowy wytwarzany przez paciorkowce i pałeczki. Bakterie te powodują rozpad cukru do kwasu mlekowego. Powstaje również niewielka ilość acetylocholin. Związek ten bierze udział w przekazywaniu impulsów nerwowych do mięśni, ma właściwości obniżania ciśnienia krwi i wpływania na trawienie. Dodatek soli kuchennej powoduje natomiast podniesienie ciśnienia osmotycznego i pobudzenie czynności bakterii mlekowych [9, 17, 19, 20].

3. Fermentacja

Fermentowane soki warzywne mają znane i cenione walory odżywcze i lecznicze: pobudzają apetyt i regulują przemianę materii, poprawiają pracę jelit, wątroby i nerek, pomagają w leczeniu niedokrwistości, podnoszą odporność organizmu na infekcje, wpływają korzystnie na układ gruczołowy i nerwowy, a nawet mają działanie antynowotworowe. Doskonalenie technologii soków fermentowanych, tzw. biosoków, było przedmiotem wielu badań. Badania dotyczą nie tylko rodzaju i ilości stosowanej szczepionki, ale również sposobu przygotowania surowca roślinnego do fermentacji [3, 6, 19–22].

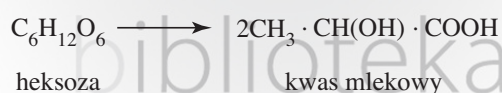
W praktyce przemysłowej mianem fermentacji określa się różne procesy mikrobiologiczne, w których związki organiczne podlegają przemianom chemicznym w wyniku aktywności metabolicznej drobnoustrojów, czyli w następstwie bardzo różnorodnych reakcji enzymatycznych. Technologie fermentacyjne mają duże znaczenie dla przemysłu spożywczego, ponieważ umożliwiają: utrwalanie produktów spożywczych, nadawanie produktom spożywczym korzystnych cech organoleptycznych, zwiększanie właściwości prozdrowotnych produktu dzięki obecności mikroorganizmów oraz składników odżywczych, otrzymywanie związków chemicznych spożywczych metodami biologicznymi.

Fermentacja mlekowa jest stosowana do przetwarzania surowców, które zawierają stosunkowo dużo wody, a skład ich soku umożliwia rozwój bakterii mlekowych. Produkt nabiera określonych korzystnych cech smakowo-zapachowych. Zawiera on zarówno produkty metabolizmu, jak i żywe bakterie mlekowe, które mają korzystny wpływ na zdrowie człowieka. W warunkach krajowych w niewielkiej skali poddaje się kiszeniu niektóre warzywa, np. buraki. Na skalę

przemysłową kiszeniu poddaje się soki warzywne, co nadaje im korzystne cechy organoleptyczne i ułatwia utrwalanie ze względu na wyższą kwasowość po zakwaszeniu [2, 3, 5, 9].

Fermentacja jest procesem metabolicznym służącym odtworzeniu ATP, w którym produkty rozkładów substratów organicznych pełnią równocześnie rolę donorów i akceptorów wodoru. Reakcje prowadzące do fosforyzacji ADP mają charakter utleniania. Poszczególne etapy utleniania polegają na odwodornieniu z równoczesnym przekazaniem wodoru do kofaktora typu NAD. Produkty pośrednie powstające na skutek degradacji substratu służą z kolei jako akceptory wodoru pochodzącego z NADH₂. Zredukowane produkty utworzone w wyniku regeneracji NAD są wydzielane. Fermentacja zachodzi tylko w temperaturze pokojowej lub też nieco podwyższonej. Fermentacji towarzyszy przeważnie wydzielanie się gazów, przede wszystkim CO₂. Jest to przemiana słabo egzotermiczna, choć towarzyszy jej zwykle słabe ogrzewanie się fermentującego substratu.

Produkty fermentacji są bardzo różnorodne. Ich skład zależy od fermentującego substratu oraz od rodzaju działającego fermentu. Podczas fermentacji węglowodanów i niektórych innych związków powstają, pojedynczo bądź w różnych układach, następujące produkty: etanol, mleczan, maślan, bursztynian, kaprońian, octan, *n*-butanol, 2,3-butanodiol, aceton, izopropanol, dwutlenek węgla i wodór cząsteczkowy. Poszczególne rodzaje fermentacji mają zazwyczaj nazwy pochodzące od dominującego, charakterystycznego produktu końcowego. Wyniki końcowe procesu fermentacji mlekowej przedstawia poniższe równanie:



Oprócz kwasu mlekowego powstają również liczne produkty uboczne. Właśnie dzięki powstawaniu produktów ubocznych i stosowaniu zmienionych warunków fermentacji zdołano ustalić obraz kolejnych przemian, którym ulega cząsteczka heksozy w procesie fermentacji mlekowej.

4. Charakterystyka materiału doświadczalnego

Do badań wybrano dwie odmiany buraków ćwikłowych – Czerwoną Kulę oraz Buraka Opolskiego. Czerwona Kula zawiera bardzo dużą ilość cukrów oraz średnią ilość betaniny. Poziom gromadzenia azotanów przekracza nieco przeciętny. Jest polecana zarówno do bezpośredniego spożycia, jak i do przetworzenia. Dobrze się przechowuje. Burak Opolski jest odmianą bardzo plenną. Nadaje się do bezpośredniego spożycia ze względu na korzystną smakowość. Trwałość barwników w przechowywanym i ogrzewanym w procesach technologicznych soku

sporządzonym z tej odmiany jest w porównaniu z wieloma innymi odmianami wyższa [18].



Rys. 1. Burak ćwikłowy odmiany Czerwona Kula

Źródło: www.torseed.pl/product_info.php?products_id=891).



Rys. 2. Burak ćwikłowy odmiany Opolski

Źródło: www.torseed.pl/product_info.php?products_id=258).

Przez odwirowanie umytych i obranych buraków z odmian tych uzyskano sok, który poddano samorzutnemu procesowi fermentacji w temperaturze 4°C i 24°C, z dostępem światła. W temperaturze 24°C przechowywano próbki soków z dwóch

odmian buraków o objętości 1 dm³, z dodatkiem 15 g cukru oraz 15 g cukru z 15 g soli. Postęp fermentowania soku mierzono za pomocą zmian jego kwasowości.

Zestawienie wyników przedstawiono w tabelach i na rys., stosując następujące symbole: I - Czerwona Kula, II – Opolski.

Warunki przechowywania dla wszystkich prób oznaczono następująco:

- A – 4°C,
- B – 24°C, + 15 g cukru,
- C – 24°C, + 15g cukru + 15 g soli.

5. Charakterystyka metod badawczych

5.1. Oznaczanie cukrów

Zawartość cukrów oznaczono metodą Lane-Eynona w oparciu o normę PN-90/A-75101/07. Metoda ta polega na bezpośrednim miareczkowaniu określonej ilości soli miedziowej badanym roztworem cukru wobec błękitu metylowego, który wskazuje koniec reakcji.

Obliczanie wyniku oznaczania

Zawartość cukrów bezpośrednio redukujących lub cukrów redukujących po inwersji w g/100cm³ soku, wyrażoną jako cukier inwertowany oblicza się według wzoru:

$$X = \frac{m_1 \cdot 10}{a \cdot b}$$

gdzie:

m_1 – masa cukru inwertowanego zredukowana przez 10 cm³ roztworu Fehlinga III (Fehling I + Fehling II) (5cm³+5cm³) przy użyciu V cm³ badanego roztworu cukru, odczytana z tablic,

a – objętość badanego roztworu cukru zużyta do miareczkowania, w cm³,

b – masa lub objętość badanego produktu zawartego w 100 cm³ roztworu użytego do miareczkowania.

5.2. Oznaczanie kwasowości

Metoda polega na miareczkowaniu określonej objętości soku roztworem wodorotlenku sodowego do pH = 8,1, ustalonego na podstawie wskazań pehametru.

Obliczanie wyniku oznaczania

Kwasowość ogólną $J(t)$ wyrażoną w gramach kwasu mlekowego na 1 l soku oblicza się według wzoru:

$$C_{H^+} = \frac{1000 \cdot V_1 \cdot c}{V_0}$$

w którym:

V_1 – objętość roztworu wodorotlenku sodu zużytego do oznaczenia, w cm^3 ,

V_0 – objętość soku pobranego do miareczkowania, w cm^3 ,

c – dokładne stężenie roztworu wodorotlenku sodu, w molach na liter,

$k = 0,09$ przy przeliczaniu kwasowości ogólnej na kwas mlekowy.

Przeliczenie na zawartość kwasu mlekowego: $J(t) = k \cdot C_{H^+}$.

6. Analiza wyników

6.1. Oznaczenie cukrów

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono wyższą zawartość cukru ogółem w burakach odmiany Opolski (92 g/dm^3) niż w soku z buraków Czerwona Kula (83 g/dm^3). Różnica ta wynosi 9 g/dm^3 . Cukrów bezpośrednio redukujących jest w odmianie buraków Opolski 89 g/dm^3 , a w odmianie Czerwona Kula 79 g/dm^3 ; różnica wynosi 10 g/dm^3 .

6.2. Oznaczenie kwasowości

Wyniki oznaczenia pH i kwasowości przedstawiono w tabelach 1–4 oraz na rys. 3 i 4. Temperatura przechowywania soku 4°C stanowiła warunki porównawcze w stosunku do dla warunków fermentacji soków w temperaturze 24°C z dodatkiem cukru oraz cukru i soli.

Tabela 1. Zmiany pH w soku z buraków odmiany Czerwona Kula

t (doby)	IA	IA (%)	IB	IB (%)	IC	IC (%)
0	6,74	100,0	6,25	100,0	5,86	100,0
1	6,74	100,0	5,25	84,0	5,55	94,7
2	6,70	99,4	5,10	81,6	4,80	81,9
3	6,64	98,5	5,00	80,0	4,69	80,0
5	6,42	95,3	4,94	79,0	4,44	75,8
7	5,92	87,8	4,82	77,1	4,26	72,7
8	5,73	85,0	4,79	76,6	4,14	70,7
ΔpH	1,01	15,0	1,46	23,4	1,72	29,3

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Zmiany pH w soku z buraków odmiany Opolski

t (doby)	IIA	IIA (%)	IIB	IIB (%)	IIC	IIC (%)
0	6,51	100,0	6,22	100,0	6,91	100,0
1	6,51	100,0	5,26	84,6	4,61	66,7
2	6,50	99,8	4,24	68,2	4,46	64,5
3	6,47	99,4	4,21	67,7	4,40	63,7
5	6,40	98,3	4,18	67,2	4,31	62,4
7	6,15	94,5	4,14	66,6	4,14	59,9
8	5,95	91,4	4,06	65,3	3,86	55,9
Δ pH	0,56	18,6	2,16	34,7	1,46	44,1

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Zmiany kwasowości $J(t)$ w soku z buraków odmiany Czerwona Kula

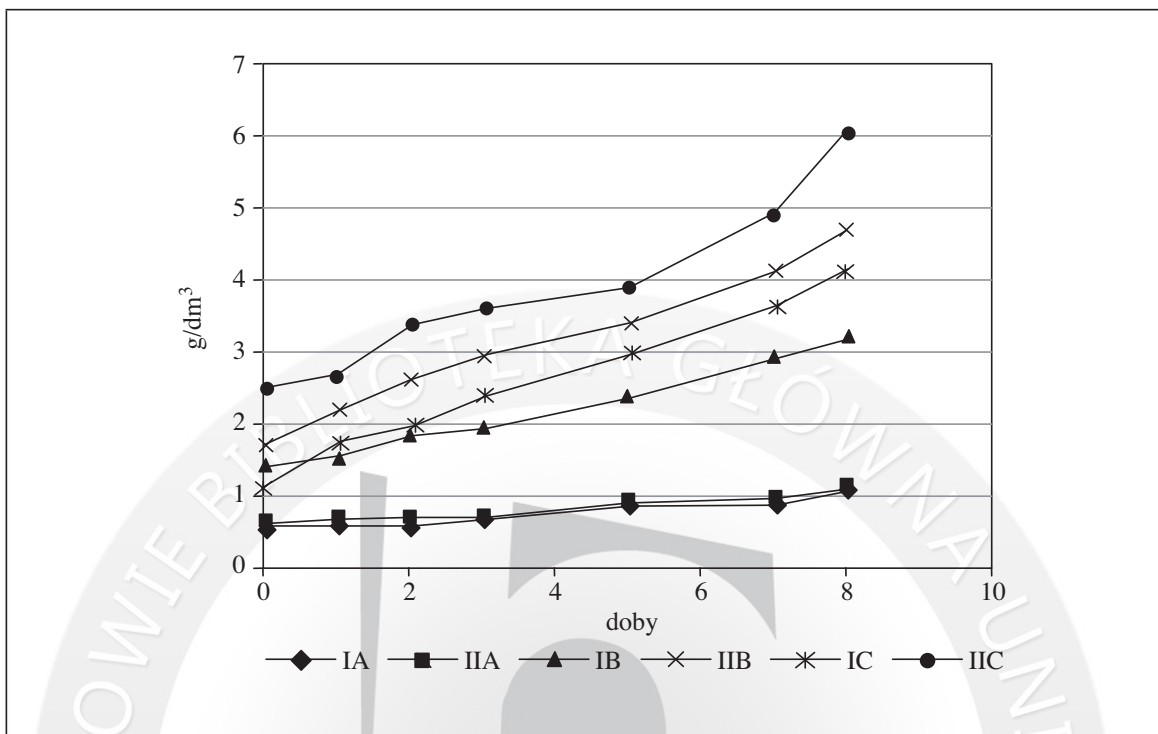
t (doby)	IA (g/dm ³)	IA (%)	IB (g/dm ³)	IB (%)	IC (g/dm ³)	IC (%)
0	0,612	100,0	1,440	100,0	1,152	100,0
1	0,612	100,0	1,584	110,0	1,728	150,0
2	0,614	100,3	1,872	130,0	1,944	168,8
3	0,700	130,0	1,980	137,5	2,412	209,4
5	0,864	141,2	2,376	165,0	2,988	259,4
7	0,900	160,0	2,916	202,5	3,636	315,6
8	1,044	170,6	3,168	220,0	4,140	359,4
ΔJ	0,432	60,0	2,268	120,0	2,988	259,4

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Zmiany kwasowości $J(t)$ w soku z buraków odmiany Opolski

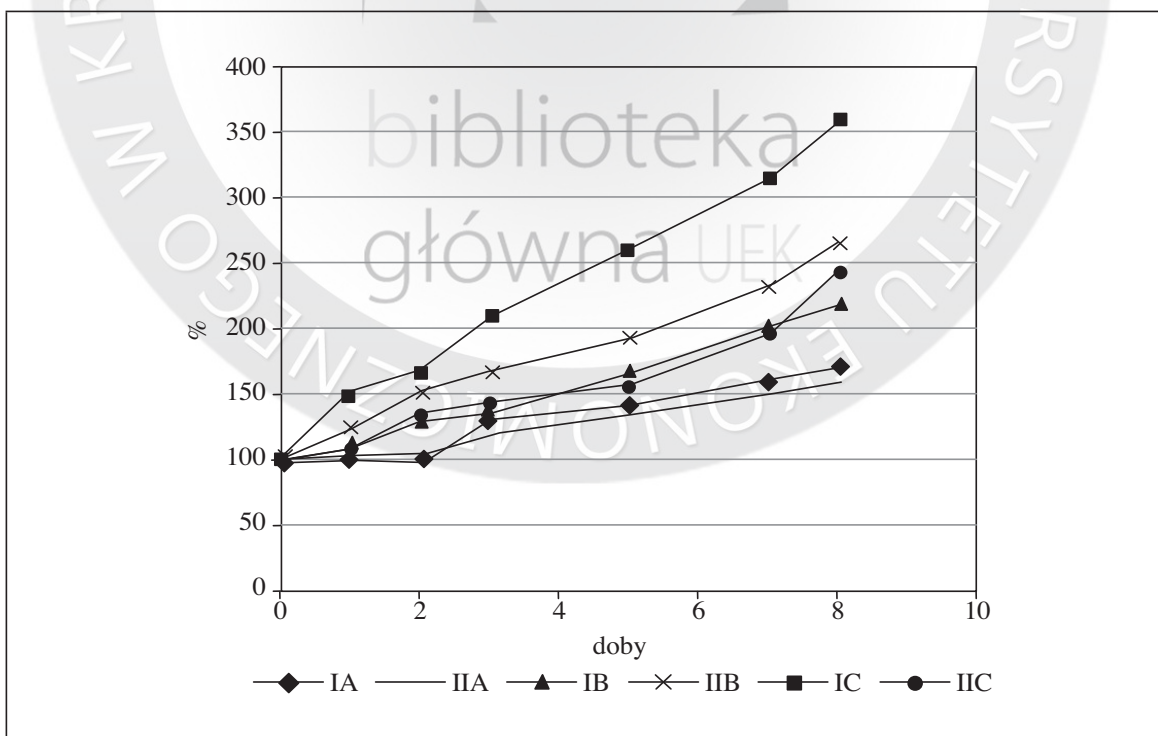
t (doby)	IIA (g/dm ³)	IIA (%)	IIB (g/dm ³)	IIB (%)	IIC (g/dm ³)	IIC (%)
0	0,720	100,0	1,764	100,0	2,500	100,0
1	0,730	100,0	2,196	124,5	2,700	108,0
2	0,756	105,0	2,664	151,0	3,384	135,4
3	0,765	120,0	2,952	167,4	3,600	144,0
5	0,972	134,7	3,420	193,9	3,905	156,2
7	1,000	150,0	4,104	232,7	4,932	197,3
8	1,152	160,0	4,680	265,3	6,048	241,9
ΔJ	0,432	60,0	2,916	165,3	3,548	141,9

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Zmiany kwasowości fermentowanych soków

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Zmiany kwasowości w badanych sokach (w %)

Źródło: opracowanie własne.

7. Kinetyczna analiza zmian jakości badanych parametrów

Uzyskane wyniki badań doświadczalnych poddano analizie kinetycznej, której celem było określenie dynamiki wzrostu kwasowości prób soków z buraków. Wszystkie analizowane postacie krzywych empirycznych mają charakter wzrostowy, akceleracyjny, typu aw . Wyznaczono podstawowe parametry kinetyczne takie jak: rząd procesu n , stałą szybkości w_n , szybkość chwilową $V(t)$ i przyspieszenie $A(t)$ badanych procesów [16].

Dla krzywych typu aw wyznacza się rząd procesu n , stałą szybkości w_n , teoretyczne wartości badanych parametrów oraz szybkość chwilową ze wzorów:

Dla $n > 1aw$:

$$w_n = \frac{1}{(n-1) \cdot t} [J^{1-n}(0) - J^{1-n}(t)], [J^{1-n} \cdot t^{-1}]$$

$$\hat{J}(t) = [J^{1-n}(0) - \bar{w}_n (n-1) \cdot t]^{1/n}.$$

Dla $n < 1aw$:

$$w_n = \frac{1}{(1-n) \cdot t} [J^{1-n}(t) - J^{1-n}(0)], [J^{1-n} \cdot t^{-1}]$$

$$\hat{J}(t) = [J^{1-n}(0) + \bar{w}_n (1-n) \cdot t]^{1/n}.$$

Szybkość chwilowa, zwana również szybkością rzeczywistą $V(t)$ jest to szybkość, z jaką ulega zmianie wartość danego parametru jakości w danej chwili czasu t . Szybkość chwilową analizowanych procesów wyznaczono z modelu:

$$V(t) = \frac{dJ}{dt} = w_n \cdot J^{-n}(t), [J \cdot t^{-1}]$$

gdzie:

$V(t)$ – szybkość chwilowa zmiany wartości miary w danym czasie t ,
 w_n – stała szybkości przemiany, $w_n > 0$.

Przyspieszenie $A(V)$ odnoszące się do agresywności czynników zewnętrznych działających na sok (cukier oraz cukier z solą) obliczano ze wzoru: $A(t) = w_n \cdot n \cdot J^{n-1}(t)$.

W tabelach 5 i 6 przedstawiono obliczone parametry kinetyczne dla badanych prób, tj. rząd procesu n , wartość stałej szybkości w_n , wartość parametru e_m , który określa średnie odchylenie wartości teoretycznej od wartości doświadczalnej, oraz postacie funkcji opisujących:

- zmiany kwasowości w czasie dla badanych prób $\hat{J}(t)$,
- szybkość chwilową $V(t)$,
- przyspieszenie $A(t)$.

Tabela 5. Parametry kinetyczne dla soku z buraków odmiany Czerwona Kula

Proces	IA	IB	IC
J(0)	0,612	1,440	1,152
n	2,85 aw	0,61 aw	0,08 aw
$[J]^{1+n}/doba$	0,1052	0,133	0,3474
$e_m\%$	4,1	1,3	4,7
g/dm^3	$(2,48 - 0,1946 \times t)^{-0,54054}$	$(1,1528 + 0,0519 \times t)^{2,5641}$	$(1,139 + 0,3196 \times t)^{1,087}$
$V(t) g/dm^3 \cdot doba$	$0,1052 \times 2,85$	$0,133 \times 0,61$	$0,3474 \times 0,08$
$A(t) g/dm^3 \cdot doba$	$0,3 \times 1,85$	$0,081 \times -0,39$	$0,0278 \times -0,92$

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Parametry kinetyczne dla soku z buraków odmiany Opolski

Proces	IIA	IIB	IIC
J(0)	0,720	1,764	2,500
n	1,83 aw	0,065 aw	1,38 aw
$[J]^{1+n}/doba$	0,0639	0,3387	0,0663
$e_m\%$	2,0	3,4	4,8
g/dm^3	$(1,3135 - 0,053 \times t)^{-1,2048}$	$(1,7 + 0,3167 \times t)^{1,06952}$	$(0,706 - 0,02518 \times t)^{-2,6316}$
$V(t) g/dm^3 \cdot doba$	$0,0639 \times 1,83$	$0,3387 \times 0,065$	$0,0663 \times 1,38$
$A(t) g/dm^3 \cdot doba$	$0,1169 \times 0,83$	$0,022 \times -0,935$	$0,0915 \times 0,38$

Źródło: opracowanie własne.

8. Wnioski

W wypadku wszystkich prób w czasie procesu fermentacji wartości pH obniżają się, co wskazuje na wzrost kwasowości. Porównując ze sobą wszystkie próby, można stwierdzić, że w zależności od rodzaju soku i dodatków procesy fermentacji przebiegały z różną dynamiką.

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że temperatura przyspiesza wzrost kwasowości. W temperaturze 4°C sok z obydwu odmian nie wykazywał znacznych zmian kwasowości w czasie przechowywania. Dla obu prób ΔJ wynosi tylko 0,432. Wpływ na szybkość zachodzących zmian ma także zawartość początkowa cukru w soku. Dodatek cukru wpływa korzystnie na wzrost zawartości kwasów w próbach (IB, IIB, IC, IIC). Dodatek cukru oraz soli zapewnia jeszcze większy wzrost kwasowości prób (IC, IIC) w porównaniu z próbami zawierającymi tylko dodatek cukru. Stwierdzono, że odmiana Czerwona Kula jest lepszym surowcem do otrzymywania fermentowanych soków z buraków ćwikłowych niż odmiana Opolski. Otrzymane wyniki badań opracowano metodami kinetyki kwantymetrycznej. Obliczono rzędy procesów, stałe szybkości oraz wyznaczono funkcje opisowe. Dokładność opisów mieści się w przedziale 1,3–4,8%.

Literatura

- [1] Adamicki F., Czerko Z., *Przechowalnictwo warzyw i ziemniaków*, Poznań 2002.
- [2] Barnett J., *Yeasts Characteristics and Identification*, Cambridge University Press, Cambridge 2000.
- [3] Bednarski W., Repsa A., *Biotechnologia żywności*, WNT, Warszawa 2003.
- [4] Bryszewska E., *Uprawa buraka ćwikłowego*, Bratoszewice 2001.
- [5] Chmiel A., *Biotechnologia, Podstawy Mikrobiologiczne i Biochemiczne*, Warszawa 1991.
- [6] Czerwiecki L., Szymczyk K., *Próba zastosowania techniki HPLC do oznaczania kwasu mlekowego w produktach owocowo-warzywnych i płynach fermentacyjnych*, Dokumentacja IBPRS, temat 8.1.4., Warszawa 1991.
- [7] Diplock A., Charleux J., Crozier-Willi G., *Functional Food Science and Defense against Reactive Oxidative Species*, „British Journal of Nutrition” 1998, nr 80 (Supl. 1).
- [8] Dobrzyński A., Adamicki F., Nawrocka B., Robak J., *Integrowana uprawa buraka ćwikłowego*, Skierniewice 2003.
- [9] Drewniak E., Drewniak T., *Mikrobiologia żywności*, Warszawa 1997.
- [10] Goldberg I., *Functionality of Ingredients* [w:] *Functional Food*, red. I. Goldberg, London 1994.
- [11] Grudzień K., Sikora E., *Uprawa buraka ćwikłowego*, Skierniewice 1995.
- [12] Janicki A., *Wartość odżywcza żywności funkcjonalnej*, „Żywność. Nauka. Technologia. Jakość” 1999, nr 4 (21) (Supl.).
- [13] Jarczyk A., Berdowski B., *Przetwórstwo owoców i warzyw*, cz. II, Warszawa 1999.
- [14] Kawecki Z., Kryńska W., *Sadownictwo i warzywnictwo*, Warszawa 1999.
- [15] Kisiel S., *Lecznicze właściwości buraka czerwonego*, „Wiadomości Zielarskie” 1987, 11.
- [16] Kondratowicz-Piertuska E., *Kinetyczna analiza wybranych krzywych zmian jakości wyrobów*, Zeszyty Naukowe AE, Seria specjalna: Monografia nr 125, Kraków 1995.
- [17] Leśniak W., *Biotechnologia żywności – procesy fermentacji i biosyntezy*, Wydawnictwo AE we Wrocławiu, Wrocław 2002.

- [18] Litka M., *Burak ćwikłowy cz. II. Odmiany o kulistych, owalnych lub spłaszczonych korzeniach*, „Hasło Ogrodnicze” 2003, nr 7.
- [19] Nowakowska B., *Próby rozpoznawcze stosowania czystych kultur do zakiszania warzyw*, Dokumentacja IBPRS, temat IN-ZO-52/90, Warszawa 1990.
- [20] Nowakowska B., Lipowski J., *Otrzymywanie fermentowanych soków warzywnych metodą kierowanej fermentacji mlekowej*, „Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny” 1995, nr 2.
- [21] Płochowski W., *Surowce, technologia i dodatki a jakość żywności*, Warszawa 2002.
- [22] Salih H., Drilleau J., *Fermented Vegetables, a Potential Food for France*, „Industries alimentaires et agricoles” 1990, vol. 107, nr 5.
- [23] Sauthgate D.A.T, Walter R., Johnson I., *Food [w:] Human Nutrition and Dietetics*, ed. J.S. Garrow, W.P.T. James, Churchill Livingstone, Edinburgh–Londyn–Madryt–Melbourne–New Yourk–Tokio 1993.
- [24] Świderski F., Waszkiewicz-Robak B., *Składniki bioaktywne w żywności funkcjonalnej*, „Przemysł Spożywczy” 2005, nr 4.
- [25] Zadernowski R., *Prozdrowotne właściwości wtórnych metabolitów roślin, Wartości prozdrowotne wyrobów owocowych i warzywnych*, „Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny” 2004, nr 9.
- [26] *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, red. F. Świderski, Warszawa 1999.

