

Wpływ obróbki plazmowej z użyciem reaktora ze ślizgającym się łukiem na wino bez dodatku siarczynów

Streszczenie. W pracy przedstawiono wpływ obróbki plazmowej pod ciśnieniem atmosferycznym na wino bez dodatków siarczynów z użyciem powietrza i azotu jako gazu roboczego. Użycie miniatury reaktora ze ślizgającym się łukiem elektrycznym pozwoliło na znaczne ograniczenie tlenowych mikroorganizmów mezofilnych, bez zmniejszenia pożądanej ilości antocyjanów.

Abstract. The paper presents the effect of plasma treatment at atmospheric pressure on wine without sulphite additions using air and nitrogen as the working gas. The use of a miniature sliding arc reactor allowed for a significant reduction in aerobic mesophilic microorganisms, without reducing the desired amount of anthocyanins. (*Effect of plasma treatment with a gliding arc reactor on sulfite-free wine*)

Słowa kluczowe: plazma niskotemperaturowa, reaktor ze ślizgającym się łukiem, wino, stabilność mikrobiologiczna.

Keywords: low temperature plasma, gliding arc reactor, wine, microbiological stability.

Wstęp

Wśród zastosowań atmosferycznej plazmy niskotemperaturowej (ang. *Cold Atmospheric Plasma – CAP*) coraz więcej uwagi poświęca się zastosowaniu obróbki plazmowej w technologii żywności. Poprzez inicjowanie reakcji fizykochemicznych z udziałem reaktywnych form tlenu i azotu oraz naładowanych cząstek [1–3], plazma może być wykorzystywana m.in. do poprawy germinacji roślin [4–6] czy poprawienia wartości odżywczych oraz przedłużenia przydatności do spożycia surowych i przetworzonych wyrobów [7–10]. Ze względu na różnorodność biologiczną poszczególnych produktów żywnościowych, odmienne właściwości reaktorów plazmowych oraz możliwość zastosowania obróbki na różnych etapach produkcji, wiele mechanizmów i potencjalnych możliwości zastosowania plazmy w technologii żywności pozostaje niezbadanych. Jednym z produktów, na temat którego wciąż jest niewiele publikacji naukowych dotyczących wykorzystania obróbki plazmowej, jest wino. Zalicza się ono do najczęściej spożywanych napojów alkoholowych na świecie. Konsumowane w umiarkowanych ilościach może być korzystne dla zdrowia, głównie ze względu na obecność związków polifenolowych mających właściwości przeciwutleniające [11,12]. Związki siarki dodawane do wina w celu przedłużenia jego przydatności mogą jednak powodować niepożądane reakcje alergiczne, przez co dużą popularność zyskują wina oznaczone jako ekologiczne, bez dodatku siarczynów [13]. Alternatywą do siarkowania może być obróbka plazmowa, pozwalająca na eliminację wielu szkodliwych bakterii i grzybów. Równocześnie, pozwala ona na zachowanie lub zwiększenie ilości korzystnych substancji, chociaż efekt ten w dużej mierze zależy od użytego układu plazmowego [12,14,15]. W pracy przedstawiono wpływ obróbki CAP na wino, do której wykorzystano miniatury reaktora ze ślizgającym się łukiem. Ze względu na kompaktowe wymiary i możliwość pracy pod ciśnieniem atmosferycznym bez użycia gazów szlachetnych, wykorzystany układ może mieć największe znaczenie praktyczne w wykorzystaniu plazmy do obróbki wina.

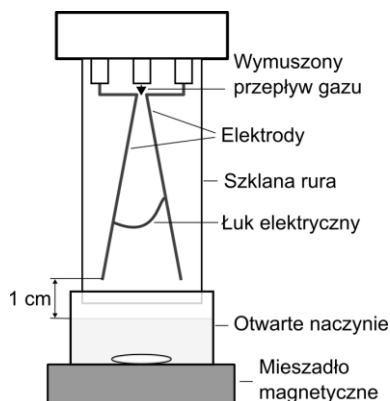
Metodologia

Materiał badawczy stanowiły wina przygotowane z owoców borówek *Vaccinium corymbosum* 'Chandler' i winogron winorośli właściwej '*Vitis vinifera*' pochodzących

z upraw z województwa lubelskiego. Owoce zostały obrane z szypulek, zważone oraz dokładnie zmiężdżone. Tak przygotowany moszcz poddano procesowi fermentacji zgodnie z procedurami stosowanymi w przemyśle winiarskim. Zastosowano suszone drożdże *Saccharomyces cerevisiae* (ConFerm Uni V, Eaton z serii Product Line), które hamują rozwój dzikich drożdży i niepożądanych bakterii, ponadto nie wytwarzają produktów ubocznych fermentacji, szczególnie SO₂. Fermentację prowadzono w temperaturze 20±2°C, przez okres 8 tygodni w szklanych naczyniach zamkniętych korkiem wyposażonym w rurkę fermentacyjną (zawór wodny umożliwiający odprowadzanie nadmiaru dwutlenku węgla).

Do obróbki plazmowej wykorzystano miniatury, dwuelektrodowy reaktor ze ślizgającym się łukiem, pracujący pod ciśnieniem atmosferycznym. Obudowa urządzenia została wykonana z materiałów obojętnych chemicznie (teflon, szkło), a elektrody z drutu miedzianego o średnicy 2 mm i długości 80 mm. Elektrody rozchylone pod kątem 12° umieszczono w szklanej rurze o średnicy 50 mm, by zapobiec rozchodzeniu się gazu roboczego na zewnątrz strumienia (rys. 1). Reaktor zasilany był z przetwornicy wytwarzającej serię impulsów wysokiego napięcia o częstotliwości 20 kHz, nałożonych na częstotliwość główną wynoszącą 50 Hz, która odpowiadała częstotliwości pojawiania się wyładowań między elektrodami [16]. Parametry elektryczne reaktora wyznaczono za pomocą oscyloskopu Rohde&Schwarz RTB2004, sondy napięciowej Tektronix P6015A oraz miernika mocy GW Instek GPM-8310.

Podczas obróbki 20 ml badanej cieczy umieszczano w szklanym naczyniu o średnicy 60 mm i wysokości 40 mm. Na jego dnie znajdowało się owalne, teflonowe mieszadło w kształcie walca, w celu mieszania cieczy i jej lepszego kontaktu z aktywnymi cząstkami wytworzonymi w plazmie. Podczas obróbki odległość między końcami elektrod i powierzchnią cieczy wynosiła 1 cm. Jako gaz roboczy zastosowano sprężone powietrze oraz azot (czystość 4.0, Linde Gaz Polska). Badania wykonano dla przepływu 440 l/h regulowanego przez szklane rotometry tablicowe (Zakłady Automatyki "ROTAMETR"). Bazując na poprzednich badaniach z użyciem materiałów biologicznych, ustalono czasy obróbki na 1, 5 i 10 minut. Produktem kontrolnym była ciecz nie traktowana CAP.



Rys. 1. Schemat układu do obróbki plazmowej

Wybrane związki azotu i tlenu przedostające się do fazy ciekłej zbadano wykorzystując wodę destylowaną o tej samej objętości. Do ich pomiaru wykorzystano zestaw tritacyjny Hach HYP-1 (H₂O₂) oraz zestaw kolometryczny Quantofix 913 13 (NO₂⁻, NO₃⁻).

Sześć godzin po obróbce każdą próbkę analizowano potencjometrycznie za pomocą pH-metru Hanna HI 221 (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA). Końcówkę elektrody każdorazowo przed i po pomiarze dokładnie przepłukiwano wodą destylowaną.

Monomeryczną zawartość antocyjanów oznaczono zgodnie z Granato i in. [17]. Porcję 0,5 cm³ czerwonego wina dodano do 4,5 cm³ buforu o pH 1,0 (KCl, 0,025 mol/l). Kolejne 0,5 cm³ dodano do 4,5 cm³ buforu o pH 4,5 (CH₃CO₂Na, 0,40 mol/l). Absorbancję zmierzono spektrofotometrem (Helios Omega, Waltham, Massachusetts, USA) przy λ=510 nm i λ=700 nm dla każdej długości fali.

Dla każdej próbki wykonano analizę czystości mikrobiologicznej. Pomiarzy tlenowych mikroorganizmów mezofilnych przeprowadzono według normy PN-EN ISO 4833-2. Po dodaniu próbek wina do podłoża Plate Count Agar, płytki inkubowano w temperaturze 30°C przez 72 godziny. Liczbę drożdży i pleśni (PN-ISO 21527-2) oznaczono dodając próbkę produktu do dektrozy Sabourauda z agarem z chloramfenikolem i inkubując płytki w temperaturze 25°C przez 5 dni. Wyniki analizy mikrobiologicznej przedstawiono w jednostkach tworzących kolonie na mililitr wina (jtk/ml).

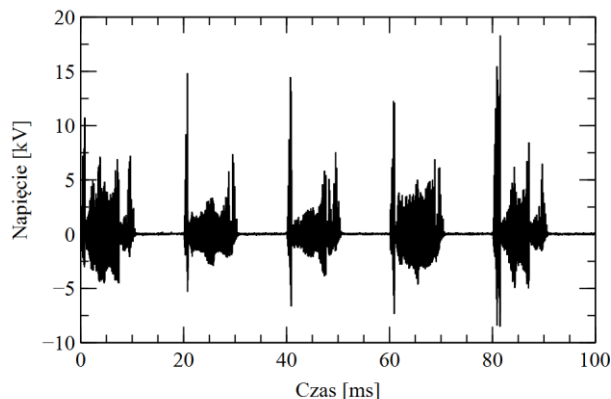
Analizy prowadzono po jednym dniu od momentu otwarcia win (oraz traktowania próbek zimną plazmą), a także po 15 i 30 dniach przechowywania w temperaturze pokojowej. Wyniki testów fizykochemicznych uzyskano z trzech powtórzeń, zaś z badań mikrobiologicznych z czterech.

Wyniki i dyskusja

Ze względu na znaczący wpływ sił gazodynamicznych wywołanych ruchem gazu roboczego, łuku elektrycznego jak i powierzchni cieczy odbijającej strumień, powstające wyładowania mają chaotyczny charakter, co odzwierciedla również sygnał napięcia między elektrodami (rys. 2). Ze względu na podobną charakterystykę przebiegu obu gazów roboczych, podczas obróbki parametry elektryczne tylko nieznacznie różniły się od siebie, co zostało przedstawione w tabeli 1. Wartość przedstawionej mocy uzyskano po uśrednieniu wyników dla najdłuższego czasu obróbki (10 minut).

Dla badanych układów zaobserwowano stosunkowo duże stężenia NO₃⁻ (do 500 mg/L) oraz NO₂⁻ (do 80 mg/L) w fazie ciekłej, których wartości rosły wraz z czasem obróbki (tab. 2). Nawet w przypadku użycia czystego azotu

jako gazu roboczego, możliwe było uzyskanie związków zawierających tlen z uwagi na obecność tego pierwiastka w otoczeniu przestrzeni wyładowczej (powietrze atmosferyczne) oraz w samej cieczy poddawanej obróbce. Początkowy skład gazu miał jednak wpływ na wyniki, gdzie większe ilości azotynów i azotanów uzyskano stosując powietrze jako gaz roboczy. Dla wszystkich badanych warunków stężenie H₂O₂ wynosiło ponad 10 mg/L, przekraczając zakres pomiarowy metody.



Rys. 2. Przebieg napięcia między elektrodami (gaz roboczy: azot)

Tabela 1. Parametry elektryczne reaktora podczas obróbki

Gaz roboczy	Moc czynna [W]	Napięcie skuteczne [kV]	Napięcie maksymalne [kV]
Powietrze	40,6	1,465	17,675
Azot	39,9	1,465	18,3

Tabela 2. Stężenia azotynów i azotanów bezpośrednio po obróbce plazmowej

Gaz roboczy	Czas obróbki [min]	NO ₂ ⁻ [mg/L]	NO ₃ ⁻ [mg/L]
Powietrze	0	0	0
	1	10	75
	5	60	500
	10	60	500
Azot	0	0	0
	1	10	75
	5	40	250
	10	60	375

Pomiar pH próbek win, niezależnie od zastosowanego gazu roboczego, nie wykazał zmiany tego parametru pod wpływem działania CAP (tab. 3 i 4). W całym okresie badań pH borówkowych win kontrolnych zwierało się w przedziale od 3,49 do 3,60, zaś dla produktów poddanych obróbce od 3,40 do 3,57. Z kolei próbki kontrolne win winogronowych analizowane w 1, 15 i 30 dniu wykazywały pH na poziomie 3,37 - 3,54, natomiast te poddane działaniu CAP 3,33 - 3,55. Wyniki otrzymane przez Sainz- García i in. [14] dotyczące zmiany pH winogronowych win tylko nieznacznie zależały od czasu i mocy reaktora wykorzystującego argon. Jedynie po procesie obróbki trwającym od 1 do 5 minut przy mocy urządzenia wynoszącego 60 W, pH znacząco wzrosło, osiągając około 4 jednostek, co mogło spowodować mikrobiologiczne zepsucie wina. Niedźwiedz i in. [15] traktując czerwone wino gronowe zimną plazmą generowaną w reaktorze z wyładowaniem z barierą dielektryczną z mieszaninami He/N₂ lub He/O₂ również nie zaobserwowali większych zmian w wartościach pH, które po działaniu plazmy zawierały się w przedziale od 3,48 do 3,55. Wartości te były zbliżone do pH próbki kontrolnej (3,54) i nie zmieniły się w czasie 3 miesięcznego przechowywania.

Tabele 3., 4., 5. i 6. przedstawiają zmiany ilości antocyjanów w próbkach w zależności od zastosowanego gazu roboczego i czasu działania zimnej plazmy na wino przygotowane z borówek (tab. 5) i z winogron (tab. 6).

Tabela 3. Wartość pH w winie borówkowym

Gaz roboczy	Czas obróbki [min]	pH		
		Dzień 1	Dzień 15	Dzień 30
Powietrze	0	3,54 ± 0,02	3,51 ± 0,01	3,49 ± 0,01
	1	3,53 ± 0,01	3,54 ± 0,01	3,53 ± 0,02
	5	3,45 ± 0,01	3,46 ± 0,02	3,53 ± 0,03
	10	3,42 ± 0,01	3,44 ± 0,02	3,43 ± 0,03
Azot	0	3,54 ± 0,02	3,60 ± 0,02	3,55 ± 0,01
	1	3,40 ± 0,18	3,49 ± 0,02	3,50 ± 0,01
	5	3,52 ± 0,03	3,51 ± 0,01	3,49 ± 0,01
	10	3,57 ± 0,01	3,53 ± 0,01	3,56 ± 0,02

Tabela 4. Wartość pH w winie gronowym

Gaz roboczy	Czas obróbki [min]	pH		
		Dzień 1	Dzień 15	Dzień 30
Powietrze	0	3,46 ± 0,06	3,41 ± 0,01	3,37 ± 0,02
	1	3,42 ± 0,02	3,43 ± 0,03	3,33 ± 0,02
	5	3,45 ± 0,01	3,43 ± 0,01	3,43 ± 0,03
	10	3,41 ± 0,01	3,44 ± 0,02	3,42 ± 0,01
Azot	0	3,54 ± 0,02	3,41 ± 0,01	3,37 ± 0,02
	1	3,50 ± 0,01	3,48 ± 0,01	3,49 ± 0,01
	5	3,52 ± 0,03	3,52 ± 0,01	3,54 ± 0,04
	10	3,46 ± 0,01	3,45 ± 0,03	3,55 ± 0,01

Tabela 5. Zawartość antocyjanów w winie borówkowym

Gaz roboczy	Czas obróbki [min]	Zawartość antocyjanów [mg/L]		
		Dzień 1	Dzień 15	Dzień 30
Powietrze	0	16,67 ± 0,07	13,90 ± 0,05	13,68 ± 0,14
	1	15,05 ± 0,06	14,61 ± 0,02	16,84 ± 0,03
	5	14,42 ± 0,19	15,29 ± 0,08	16,61 ± 0,04
	10	16,43 ± 0,06	16,92 ± 0,06	16,72 ± 0,03
Azot	0	16,67 ± 0,07	13,90 ± 0,05	13,68 ± 0,14
	1	16,41 ± 0,08	16,21 ± 0,35	16,95 ± 0,06
	5	17,68 ± 0,16	17,83 ± 0,03	17,52 ± 0,50
	10	18,37 ± 0,13	18,58 ± 0,10	18,14 ± 0,05

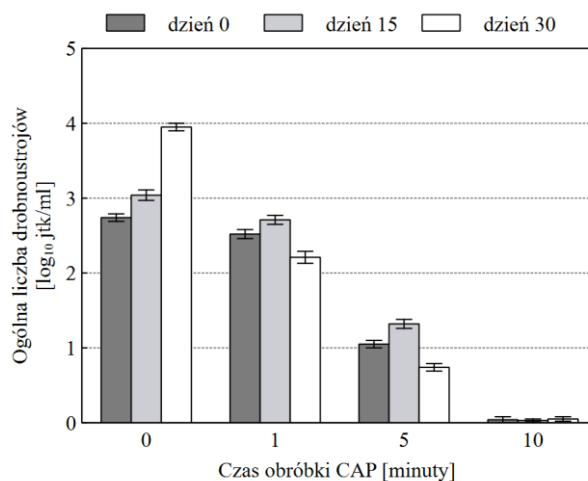
Tabela 6. Zawartość antocyjanów w winie gronowym

Gaz roboczy	Czas obróbki [min]	Zawartość antocyjanów [mg/L]		
		Dzień 1	Dzień 15	Dzień 30
Powietrze	0	14,67 ± 0,07	11,83 ± 0,10	13,68 ± 0,14
	1	15,12 ± 0,11	11,46 ± 0,23	13,73 ± 0,18
	5	14,49 ± 0,06	11,47 ± 0,37	13,55 ± 0,14
	10	16,43 ± 0,06	10,69 ± 0,35	13,61 ± 0,22
Azot	0	14,67 ± 0,07	11,83 ± 0,10	13,73 ± 0,14
	1	15,25 ± 0,08	16,54 ± 0,23	16,92 ± 0,06
	5	16,58 ± 0,16	17,14 ± 0,03	17,60 ± 0,09
	10	16,21 ± 0,13	18,20 ± 0,01	17,87 ± 0,05

Generalnie wino borówkowe charakteryzowało się wyższą zawartością antocyjanów ogółem niż wino winogronowe. W porównaniu do próbek kontrolnych każdego z nich (z 1, 15 i 30 dnia badań) po zastosowaniu CAP nastąpił widoczny wzrost zawartości antocyjanów. Jednak efekt ten był bardziej widoczny w przypadku użycia azotu jako gazu roboczego. Największą różnicę pomiędzy wyrobem kontrolnym, a traktowanym plazmą przez 10 minut wynoszącą 25% zaobserwowano dla wina borówkowego w 15 dniu analiz. Zazwyczaj dłuższy czas obróbki skutkowało zwiększeniem wartości tych dobroczynnych związków.

Otrzymane wyniki są zgodne z rezultatami prac innych autorów, którzy stosując plazmę atmosferyczną otrzymywali wina o większej zawartości antocyjanów, co sprzyjało poprawie ich jakości. Po obróbce z użyciem reaktora o częstotliwości radiowej o mocą 60 W, stwierdzono znaczny wzrost delfinidyny, petunidyny i malwidyny-3-glukozydów; podobnie traktowanie wina z mocą 90 W zwiększało delfinidynę i petunidynę-3-glukozydę. W obu przypadkach wzrost zawartości tych związków występował już od pierwszej minuty obróbki i pozostawał praktycznie stały [14]. W reaktorze z barierą dielektryczną o budowie dysy samo użycie plazmy z mieszankami gazów He/O₂ i He/N₂ skutkowało spadkiem zawartości antocyjanów. Wyjątek stanowiły wina uzupełnione piroarsyrczynem potasu i traktowane zimną plazmą, gdzie zaobserwowano wzrost tych flawonoidów [15].

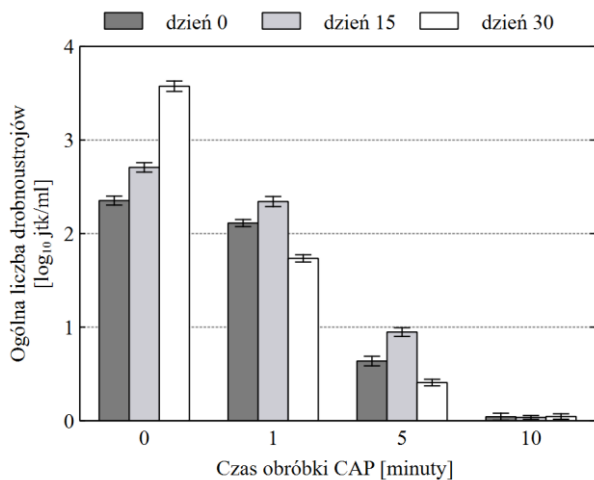
Traktowanie obydwu próbek wina plazmą przez 1 i 5 minut pozwoliło stopniowo zmniejszyć liczbę analizowanych bakterii, zaś czas obróbki wynoszący 10 minut zapewnił ich całkowitą eliminację. Ogólna liczba drobnoustrojów wina borówkowego była równa 2,74 log₁₀ jtk/ml, a po 15 i 30 dniach przechowywania wynosiła odpowiednio 3,04 i 3,95 log₁₀ jtk/ml (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ czasu działania zimnej plazmy wytworzonej przy użyciu powietrza na ogólną liczbę drobnoustrojów w winie borówkowym przechowywanym w temperaturze pokojowej

W przypadku wina gronowego wartości te były nieco niższe, kształtowały się na poziomie 2,35 log₁₀ jtk/ml dla próbki świeżej oraz 2,71 i 3,58 log₁₀ jtk/ml dla wina przechowywanego przez 15 i 30 dni (rys. 4). Analizując wyniki po działaniu zimną plazmą przez 1 minutę zaobserwowano redukcję badanych drobnoustrojów w winie borówkowym w stosunku do próby kontrolnej o 0,22 log₁₀ jtk/ml (próbka bez przechowywania) oraz 0,33 i 1,74 log₁₀ jtk/ml (próbka przechowywana przez 15 i 30 dni). W przypadku wina gronowego wartości te wynosiły odpowiednio 0,24 log₁₀ jtk/ml oraz 0,37 i 1,84 log₁₀ jtk/ml. Wydłużenie czasu obróbki do 5 minut jeszcze bardziej

zahamowało rozwój badanej hodowli w stosunku do prób kontrolnych. Liczba ogólna bakterii dla wina borówkowego kształtowała się na poziomie od 0,74 do 1,32 \log_{10} jtk/ml, zaś dla wina gronowego od 0,41 do 0,95 \log_{10} jtk/ml. W obydwu przypadkach wartości najniższe dotyczyły wina przechowywanego przez 30 dni, a najwyższe wina po 15 dniach przechowywania (rys. 3-4). Jeśli chodzi o najdłuższy czas działania zastosowanej obróbki, z badań wynika, że plazmowanie obydwu win przez 10 minut spowodowało zmniejszenie liczby analizowanych grup mikroorganizmów poniżej granicy wykrywalności, bez względu na czas przechowywania próbek. Podobną zależność donieśli w swojej pracy Niedźwiedz i in. [15], gdzie po 3 miesiącach przechowywania nastąpił wzrost liczby mikroorganizmów w każdej próbce, jednakże najmniejsza liczba mikroorganizmów wystąpiła w próbce poddanej obróbce przez 10 minut metodą kombinowaną z użyciem He/O₂ jako gazu roboczego.



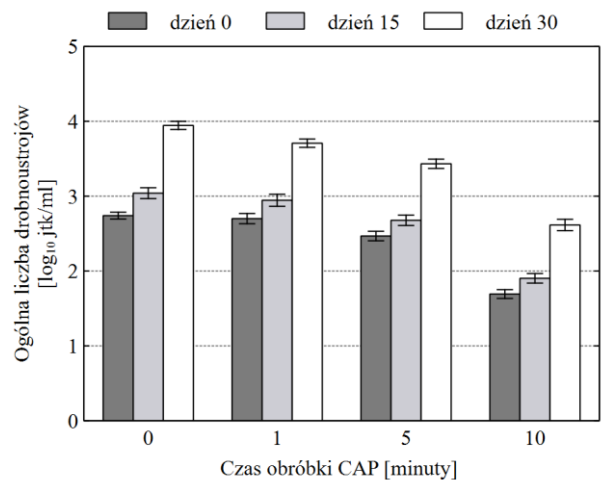
Rys. 4. Wpływ czasu działania zimnej plazmy wytworzonej przy użyciu powietrza na ogólną liczbę drobnoustrojów w winie gronowym przechowywanym w temperaturze pokojowej

Określając wpływ działania zimnej plazmy z wykorzystaniem azotu zauważono, że ten rodzaj obróbki również hamował wzrost hodowli badanych drobnoustrojów, przy czym skuteczność była znacznie mniejsza (rys. 5, 6). Ogólna liczba bakterii wina borówkowego poddanego obróbce, mieściła się w przedziale od 1,69 \log_{10} jtk/ml (próbka plazmowana przez 10 minut, bez przechowywania) do 3,71 \log_{10} jtk/ml (próbka plazmowana 1 minutę, po 30 dniach przechowywania) (rys. 5). W przypadku tego wina największą redukcję w stosunku do próby kontrolnej, o 1,33 \log_{10} jtk/ml, wykazała próbka plazmowana przez 10 minut po 30 dniach przechowywania.

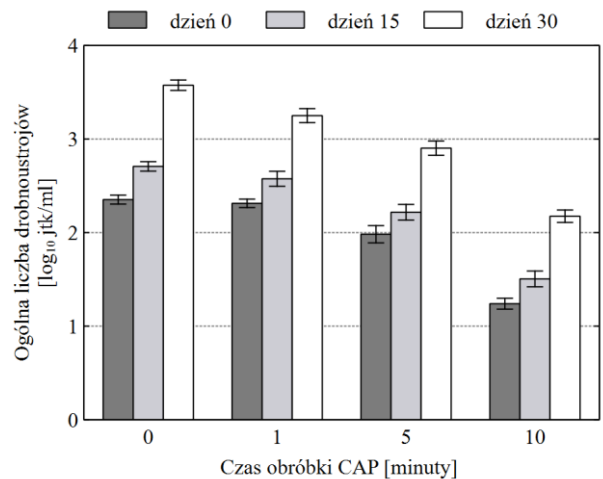
Analogicznie dla wina gronowego wartości te kształtowały się na poziomie od 1,24 do 3,25 \log_{10} jtk/ml (rys. 6).

Największą inaktywację drobnoustrojów (o 1,40 \log_{10} jtk/ml) względem próbki nieplazmowanej zaobserwowano dla wina poddanego obróbce przez 10 minut, po 30 dniach przechowywania. Procentowo redukcja ogólnej liczby drobnoustrojów wina borówkowego poddanego obróbce, względem próby kontrolnej, wahała się w przedziałach 1,45-6,08% (plazmowanie przez 1 minutę), 9,85-12,91% (plazmowanie przez 5 minut), 33,67-38,32% (plazmowanie przez 10 minut). Odpowiednio dla wina gronowego wartości te wynosiły 1,70-9,22%, 15,74-18,99% oraz 39,11-47,23%. W przypadku wina plazmowanego przez 1 i 5 minut, najlepszą skuteczność działania obróbki wykazały próbki przechowywane przez 30 dni, zaś przy 10 minutach próbki bez przechowywania. Z kolei najslabsze działanie zimnej

plazmy z wykorzystaniem azotu stwierdzono w przypadku próbek nieprzechowywanych (plazmowanie 1 i 5 minut) oraz przechowywanych przez 30 dni (plazmowanie 10 minut).



Rys. 5. Wpływ czasu działania zimnej plazmy wytworzonej przy użyciu azotu na ogólną liczbę drobnoustrojów w winie borówkowym przechowywanym w temperaturze pokojowej



Rys. 6. Wpływ czasu działania zimnej plazmy wytworzonej przy użyciu azotu na ogólną liczbę drobnoustrojów w winie gronowym przechowywanym w temperaturze pokojowej

Dezaktywujący wpływ zimnej plazmy na mikroorganizmy występujące w żywności został już dobrze udokumentowany przez wielu autorów. Niektórzy z nich wykazali bezpośrednie działanie tej obróbki na komórki drobnoustrojów [18,19], zaś inni jej wkład w bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktów spożywczych [7,9,20]. Dla przykładu, Niedźwiedz i in. [19] badali inaktywację bakterii *Lentilactobacillus hilgardii* po obróbce CAP generowaną w wyładowaniu z barierą dielektryczną z helem i tlenem jako gazami roboczymi przez 5, 10 i 15 minut. Wyniki wykazały całkowite zahamowanie wzrostu bakterii po 10 minutach ekspozycji na plazmę. Z kolei celem pracy Tappi i in. [9] była ocena wpływu obróbki plazmowej na stabilność mikrobiologiczną świeżo pokrojonego melona, który następnie zapakowano na tacki polipropylenowe, uszczelnione mikroperforowaną folią polipropylenową w celu utrzymania składu powietrza atmosferycznego. Na świeżo ściętym melonie przeprowadzono obróbkę plazmową trwającą 30 minut (15 minut na każdą stronę) i 60 minut (30 minut na każdą stronę). Zapakowane owoce przechowywano przez 4 dni

w temperaturze 10°C i oceniano pod kątem wskaźników jakościowych. Wyniki badań mikrobiologicznych wykazały, że po 30 minutach obróbki zimną plazmą uzyskano znaczące wydłużenie okresu przydatności do spożycia ze względu na opóźniony wzrost mezofilnej i psychrotroficznej mikroflory powodującej psucie się melona.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują na potencjał zimnej plazmy jako metody alternatywnej do wykorzystania w produkcji wina, cechującego się dobrą jakością mikrobiologiczną. Wina po obróbce plazmowej charakteryzowały się większą zawartością antocyanów oraz mniejszą liczbą drobnoustrojów, a najlepsze wyniki uzyskano stosując powietrze jako gaz roboczy. Otrzymane wyniki są zbliżone z publikacjami autorów stosujących inne źródła plazmy niskotemperaturowej, przy czym użyty w badaniu reaktor ze ślizgającym się łukiem cechuje się stosunkowo prostą konstrukcją i niskimi kosztami eksploatacyjnymi, co może w przyszłości przyczynić się do szerszego zastosowania tej metody w przemyśle alkoholowym.

Badanie zostało sfinansowane w całości przez Narodowe Centrum Nauki, nr grantu 2022/06/X/ST8/01346.

Autorzy: dr inż. Piotr Terebun, Politechnika Lubelska, Katedra Elektrotechniki i Technologii Inteligentnych, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: p.terebun@pollub.pl; dr hab. inż. Agnieszka Starek-Wójcicka, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, E-mail: agnieszka.starek@up.lublin.pl; dr Marta Krajewska, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, E-mail: marta.krajewska@up.lublin.pl; mgr inż. Michał Kwiatkowski, Politechnika Lubelska, Katedra Elektrotechniki i Technologii Inteligentnych, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: m.kwiatkowski@pollub.pl; dr inż. Dawid Zarzeczny, Politechnika Lubelska, Katedra Elektrotechniki i Technologii Inteligentnych, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: d.zarzeczny@pollub.pl; dr hab. inż. Joanna Pawłat, Politechnika Lubelska, Katedra Elektrotechniki i Technologii Inteligentnych, ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin, E-mail: j.pawlat@pollub.pl

LITERATURA

- [1] Tański M., Kocik M., Hrycak B., Czyłkowski D., Jasiński M., Kawasaki T., Kanazawa S., Measurement of OH radicals distribution in a microwave plasma sheet using LIF method, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 222 (2019), 117268
- [2] Pawłat J., Terebun P., Kwiatkowski M., Tarabová B., Kovařová Z., Kučerová K., Machala Z., Janda M., Hensel K., Evaluation of Oxidative Species in Gaseous and Liquid Phase Generated by Mini-Gliding Arc Discharge, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 39 (2019), nr. 3, 627–642
- [3] Mizeraczyk J., Hrycak B., Jasinski M., Dors M., Low-temperature microwave microplasma for bio-decontamination, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr. 9, 238–241
- [4] Škarpá P., Klofáč D., Krčma F., Šimečková J., Kozáková Z., Effect of Plasma Activated Water Foliar Application on Selected Growth Parameters of Maize (Zea mays L.), *Water*, 12, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (2020), nr. 12, 3545
- [5] Pawłat J., Starek-Wójcicka A., Kopacki M., Terebun P., Kwiatkowski M., Sujak A., Pascuzzi S., Santoro F., Andrejko D., Germination Energy, Germination Capacity and Microflora of *Allium cepa* L. Seeds after RF Plasma Conditioning, *Energies*, 15, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (2022), nr. 20, 7687
- [6] Czapka T., Kacprzyk R., Kordas L., Pusz W., The influence of the nonthermal plasma on the biological properties of the seed-grain, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr. 11 B, 222–225
- [7] Wang R.X., Nian W.F., Wu H.Y., Feng H.Q., Zhang K., Zhang J., Zhu W.D., Becker K.H., Fang J., Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physicochemical properties evaluation, *The European Physical Journal D*, 66 (2012), nr. 10, 276
- [8] Pohl P., Dzimitrowicz A., Cyganowski P., Jamroz P., Do we need cold plasma treated fruit and vegetable juices? A case study of positive and negative changes occurred in these daily beverages, *Food Chemistry*, 375 (2022), 131831
- [9] Tappi S., Gozzi G., Vannini L., Berardinelli A., Romani S., Ragni L., Rocculi P., Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33 (2016), 225–233
- [10] Molina-Hernandez J.B., Tappi S., Gherardi M., de Flaviis R., Laika J., Peralta-Ruiz Y.Y., Paparella A., Chaves-López C., Cold Atmospheric plasma treatments trigger changes in sun-dried tomatoes mycobiota by modifying the spore surface structure and hydrophobicity, *Food Control*, 145 (2023), 109453
- [11] Iriti M., Varoni E.M., Cardioprotective effects of moderate red wine consumption: Polyphenols vs. ethanol, *Journal of Applied Biomedicine*, 12, Journal of Applied Biomedicine (2014), nr. 4, 193–202
- [12] Lukić K., Vukušić T., Tomašević M., Čurko N., Gracin L., Kovačević Ganić K., The impact of high voltage electrical discharge plasma on the chromatic characteristics and phenolic composition of red and white wines, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *Securing the food production chain through cold plasma technologies*, 53 (2019), 70–77
- [13] Costanigro M., Appleby C., Menke S.D., The wine headache: Consumer perceptions of sulfites and willingness to pay for non-sulfited wines, *Food Quality and Preference*, 31 (2014), 81–89
- [14] Sainz-García E., López-Alfaro I., Múgica-Vidal R., López R., Escribano-Viana R., Portu J., Alba-Elías F., González-Arenzana L., Effect of the Atmospheric Pressure Cold Plasma Treatment on Tempranillo Red Wine Quality in Batch and Flow Systems, *Beverages*, 5, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (2019), nr. 3, 50
- [15] Niedźwiedz I., Płotka-Wasyłka J., Kapusta I., Simeonov V., Stój A., Waśko A., Pawłat J., Polak-Berecka M., The impact of cold plasma on the phenolic composition and biogenic amine content of red wine, *Food Chemistry*, 381 (2022), 132257
- [16] Terebun P., Kwiatkowski M., Krupski P., Pawłat J., Diatczyk J., Janda M., Hensel K., Machala Z., High speed camera imaging of mini glidarc discharge. W: *Proceedings of the SAPP 20th Symposium on Application of Plasma Processes, COST TD1208 Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids, Tatranská Lomnica, Slovakia*, 2015, 283–287
- [17] Granato D., Katayama F.C.U., de Castro I.A., Phenolic composition of South American red wines classified according to their antioxidant activity, retail price and sensory quality, *Food Chemistry*, 129 (2011), nr. 2, 366–373
- [18] Khan M.S.I., Lee E.-J., Kim Y.-J., A submerged dielectric barrier discharge plasma inactivation mechanism of biofilms produced by *Escherichia coli* O157:H7, *Cronobacter sakazakii*, and *Staphylococcus aureus*, *Scientific Reports*, 6, Nature Publishing Group (2016), nr. 1, 37072
- [19] Niedźwiedz I., Juzwa W., Skrzypiec K., Skrzypek T., Waśko A., Kwiatkowski M., Pawłat J., Polak-Berecka M., Morphological and physiological changes in *Lentilactobacillus hilgardii* cells after cold plasma treatment, *Scientific Reports*, 10, Nature Publishing Group (2020), nr. 1, 18882
- [20] Choi S., Puligundla P., Mok C., Corona discharge plasma jet for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on inoculated pork and its impact on meat quality attributes, *Annals of Microbiology*, 66 (2016), nr. 2, 685–694