

Paweł Hanus^{1,*}, Łukasz Kogut², Grzegorz Zaguła³

NOWE HORYZONTY W PRODUKCJI WIN: ZASTOSOWANIE CHMIELENIA W TWORZENIU WIN Z OWOCÓW TROPIKALNYCH

Streszczenie: W pracy omówiono innowacyjne zastosowanie chmielenia na zimno w produkcji win z owoców tropikalnych: banana, mandarynki, pomarańczy i limonki. Zwiększenie w nich zawartości polifenoli i podniesienie właściwości przeciwutleniających uzyskano poprzez dodatek chmielu Magnum i Enigma w dwóch dawkach. Badania wykazały, że chmielenie – szczególnie odmianą Enigma – poprawiało właściwości antyoksydacyjne i sensoryczne win mandarynkowych i pomarańczowo-limonkowych, natomiast pogarszało wygląd i klarowność win bananowych. Efekty zależały od rodzaju owocu, dawki i odmiany chmielu. Wyniki wskazują, że chmielenie może być skutecznym sposobem wzbogacania win owocowych w związki bioaktywne i poprawy ich właściwości sensorycznych, co czyni je obiecującą propozycją na rynku napojów funkcjonalnych.

Wprowadzenie

Obecnie prowadzone badania nad produkcją win owocowych oprócz skupiania się na poprawie walorów smakowych koncentrują się również w dużej mierze na zawartości różnych substancji bioaktywnych. Substancje te mogą znacząco wpływać na właściwości prozdrowotne i wartość odżywczą. Oprócz enologii również browarnictwo i jego produkty są sektorem innowacyjnych badań nad różnymi związkami bioaktywnymi i ich właściwościami.

W produkcji piwa kluczową rolę odgrywa proces chmielenia. Chmiel zawiera liczne związki z grupy flawonoidów (ksantohumol, izoksantohumol), w tym flawonów i flawonoli (kemferol), olejki eteryczne (monoterpeny, seskwiterpeny), żywice (α i β -kwasy) oraz garbniki, które wpływają na właściwości smakowo-zapachowe piwa. Dodatkowo związki zawarte w chmielu posiadają silne działanie antyoksydacyjne, przeciwzapalne, przeciwwirusowe, przeciwbakteryjne oraz potencjalne działanie przeciwnowotworowe [Jiang i in. 2018, Agacka i Skomra 2012].

¹ Katedra Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Studenckie Koło Naukowe Technologów Żywności FERMENT, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski.

³ Katedra Bioenergetyki, Analizy Żywności i Mikrobiologii, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* phanus@ur.edu.pl

Interesującym zabiegiem poruszonym w tej pracy jest implementacja procesu chmielenia, a dokładniej chmielenia metodą na zimno, w produkcji win owocowych. Powstały w ten sposób produkt, czyli chmielone wino owocowe, może okazać się interesującą alternatywą dla innych podobnych produktów dostępnych na rynku.

Banan (*Musa paradisiaca* L) jest owocem rośliny tropikalnej powstałej ze skrzyżowania dwóch odmian dzikich: *Musa acuminata* i *Musa balbisiana*. To roślina należąca do rodziny bananowatych i rzędu imbirowatych, a jej owoce rosnące na jednoliściennych wysokich palmach uznawane są w botanice za jagody [Singh i in. 2016]. Przeprowadzone badania tego owocu udowodniły jego silne działanie antyoksydacyjne [Singh i in. 2016], kardioprotekcyjne [Singh i in. 2016], przeciwzapalne [Vijayakumar i in. 2008], hipocholesterolemiczne [Lassoudière 2007], przeciwhiperglikemiczne [Aларcon-Aguilara i in. 1998], przeciwnowotworowe [Dahham i in. 2015] oraz uspokajające i antystresowe [www1].

Mandarynka (*Citrus reticulata* Blanco) roślina należąca do rodziny rutowatych. Owoc wzrasta na kolczastym wiecznie zielonym krzewie osiagającym od 2 do 8 metrów wysokości, posiadającym bardzo gęsty system gałęziowy i ciemnozielone liście o lancetowatym kształcie. Owoce powstają z białego kwiatostanu, mają owalny lub spłaszczony kształt, a skórka dojrzałego owocu jest łatwo obieralna i ma kolor od pomarańczowego do złocistego. Miąższ jest słodki, a cząstki owocu łatwo się od siebie oddzielają [Musara i in. 2020]. Owoc ten posiada szerokie zastosowanie medyczne, wykazuje działanie przeciwzapalne, neuroprotekcyjne, ma właściwości kardioprotekcyjne oraz znaczący wpływ na metabolizm i gospodarkę glukozową [Saini i in. 2022].

Pomarańcza słodka (*Citrus sinensis* L.) to owoc cytrusowy należący do rodziny rutowatych [Ogo i in. 2024]. Drzewo pomarańczowe dorasta do wysokości od 7,5 do 15 m [Morton 1987]. Jest to roślina szeroko uprawiana ze względu na swoje właściwości i zdolności do owocowania niemal w każdym regionie świata, co podyktowane jest zarówno aspektem ekonomicznym, jak i zdrowotnym [Hamdan i in. 2024]. Związki zawarte w tych owocach wykazują silne działanie przeciwzapalne [Lim 2012], przeciwbakteryjne i przeciwgrzybicze [Caccioni i in. 1998, O'Bryan i in. 2008, Osarumwense i in. 2011], przeciwnowotworowe [Kandaswami i in. 1991, Camarda i in. 2007] i przeciwosteoporotyczne [Deyhim i in. 2006, Murakami i in. 2007]. Dodatkowo wykazano pozytywny wpływ ekstraktów z pomarańczy na proces wchłaniania żelaza [Balay i in. 2010] oraz w działaniu protekcyjnym tarczycy [Parmar i Kar 2008].

Limonka (*Citrus aurantifolia*) roślina należąca do rodziny rutowatych. Posiada bardzo wyrazisty kwaśny smak i zapach miąższu. Skórka owocu jest gładka i cienka o kolorze zielonożółtym. Owoc dojrzewa od koloru zielonego do żółtego i w trakcie tego procesu miąższ staje się coraz miękniejszy [Lin i in. 2019]. W przemyśle używana głównie jako dodatek do żywności dzięki swoim właściwościom aromatycznym [Indriyani i in. 2023, Galovičová i in. 2022]. Limonka ze względu na swoje składniki może być stosowana w profilaktyce i leczeniu wielu schorzeń, ponieważ wykazuje m.in. działanie przeciwgruźlicze [Sandoval-Montemayor i in. 2012], przeciwnowotworowe [Narang i Jiraungkoorskul 2016] oraz przeciwgrzybicze [Jain i in. 2020].

Materiał i metody badań

Materiałem badawczym były wina owocowe wyprodukowane z bananów (*Musa paradisiaca*), mandarynek (*Citrus reticulata*), pomarańczy (*Citrus sinensis*) oraz limonki (*Citrus aurantiifolia*). Produkcję prowadzono w wariantach z dodatkiem chmielu odmian Magnum i Enigma w ilościach 0,5 g/l oraz 1,5 g/l.

Technologia produkcji wina

Owoce (banany, mandarynki, pomarańcze oraz limonki) wykorzystane do produkcji win umyto i przeprowadzono obróbkę wstępną zakończoną rozdrobnieniem surowca. Następnie umieszczano je w zdezynfekowanych fermentorach, dodawano wodę, cukier i drożdże, po czym prowadzono fermentację burzliwą (14 dni) w temp. 18–25°C. Po oddzieleniu osadu wina leżakowały przez 4 miesiące w ciemnym pomieszczeniu o stałej temperaturze 18°C. Następnie przeprowadzano chmielenie na zimno (odmiany Magnum, Enigma w dawkach 0,5 g/l i 1,5 g/l) przez 14 dni. Po filtracji wina butelkowano i przygotowano próbki do analiz.

Całkowita zawartość związków polifenolowych

W celu określenia ogólnej liczby polifenoli w badanych winach zastosowano metodę Folina-Ciocalteu, w której związki fenolowe możliwe są do wykrycia podczas reakcji z chemicznym odczynnikiem na drodze badania kolorymetrycznego i pomiaru absorbancji przy długości fali $\lambda=765\text{nm}$. Zawartość związków polifenolowych wyrażono w mg ekwiwalentu kwasu galusowego na 100 g wina (mg GAE/100 g) na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów standardowych kwasu galusowego [Singleton i in. 1999].

Pomiar redukcji jonów żelaza – metoda FRAP

Metoda bazuje na zdolności do redukcji kompleksu TPTZ- Fe^{3+} do TPTZ- Fe^{2+} i mierzona jest absorbancja przy długości fali $\lambda = 593\text{ nm}$. Uzyskane wyniki obliczono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i wyrażono w mmol ekwiwalentu Fe^{2+} na 100 g wina (mmol Fe^{2+} /100 g) [Benzie i Strain 1996].

Oznaczenie zdolności antyoksydacyjnej – metoda ABTS

Całkowitą zdolność antyoksydacyjną oznaczono metodą ABTS polegającą na pomiarze zdolności związków przeciwutleniających do neutralizacji rodników ABTS^{*+} , co objawia się spadkiem absorbancji przy długości fali $\lambda = 734\text{ nm}$. Wyniki obliczono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów troloksu i wyrażono w mmol ekwiwalentu troloksu na 100 g wina (mmol TE/100 g) [Re i in. 1999].

Oznaczenie aktywności antyoksydacyjnej – metoda DPPH*

Aktywność antyoksydacyjną oznaczono również metodą DPPH* opartą na pomiarze zdolności antyoksydantów do redukcji rodnika DPPH*, co powoduje zmniejszenie intensywności jego barwy mierzonej przy $\lambda = 517$ nm. Wyniki obliczono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów troloksu i wyrażono w mmol ekwiwalentu troloksu na 100 g wina (mmol TE/100 g) [Yen i Chen 1995].

Oznaczenie mętności win owocowych

Mętność win oznaczono przy użyciu turbidymetru (model 2100Q IS), który umożliwia ocenę przejrzystości poprzez pomiar rozproszenia światła przez zawieszone w cieczy cząsteczki, takie jak drożdże, cząstki owoców czy białka. Wynik mętności wyrażany jest w jednostkach NTU (nefelometryczne jednostki mętności) [Jorge i in. 2021, Schneider i in. 2016].

Oznaczanie ekstraktu win owocowych

Metoda wykorzystuje zjawisko złamania światła przechodzącego przez refraktometr, co umożliwia odczyt stężenia substancji rozpuszczonych, głównie cukrów, w winie owocowym. Wynik zawartości ekstraktu podano w jednostce % Brix [Zylstra 2005].

Analiza kolorymetryczna

Analiza kolorymetryczna została przeprowadzona na urządzeniu UltraScan VIS HunterLAB zgodnie z normami CIE 15: 2004 i ISO 7724/1 z zastosowaniem skali CIE L^*a^*b .

Analiza składu chemicznego i właściwości fizycznych win metodą spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIR)

Badanie analizy składu chemicznego i właściwości fizycznych przeprowadzono za pomocą aparatu OenoFoss. Urządzenie do analizy próbek wykorzystuje technologię spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIR).

W ramach badań za pomocą aparatury pomiarowej OenoFoss zmierzono: zawartość alkoholu (% obj.), gęstość (g/cm^3), kwasowość ogólną (g/l /kw. winowy), kwasowość lotną (g/l /kw. octowy), pH, kwas jabłkowy (g/l), kwas mlekowy (g/l) i glukozę + fruktozę (g/l).

Analiza sensoryczna

Analiza sensoryczna została przeprowadzona 4 czerwca 2024 r. w grupie 10 doświadczonych penetelistów o sprawdzonej wrażliwości sensorycznej. Ocena prze-

przewodzona została w laboratorium analiz sensorycznych Uniwersytetu Rzeszowskiego. Przed przystąpieniem do badania uczestnikom wyjaśniono sposób wypełniania ankiet i przedstawiono zasady poprawnej oceny (tabela 1, rysunek 1).

Tabela 1. Tabela cech organoleptycznych z wyjaśnieniami

Cecha jakościowa	5 pkt	4 pkt	3 pkt	2 pkt	1 pkt
Wygląd	Doskonałe wrażenie wizualne	Bardzo dobre wrażenie	Przeciętne wrażenie	Słabe wrażenie	Bardzo słabe wrażenie
Kolor	Doskonały, intensywny kolor bez żadnych wad	Dobry, minimalne wady koloru	Przeciętny, widoczne wady koloru	Słaby, wyraźne wady koloru	Bardzo słaby, nieakceptowalny kolor
Klarowność	Kryształowo czyste, bez osadów lub mętności	Lekko mętne, akceptowalne	Wyraźnie mętne, nieakceptowalne	Silnie mętne, nie do zaakceptowania	Bardzo mętne, nienadające się do spożycia
Zapach	Intensywny, przyjemny, bez wad	Dobry, lekko wyczuwalne wady zapachu	Przeciętny, wyraźne wady zapachu	Słaby, nieprzyjemny zapach	Bardzo słaby, nie do zniesienia
Smak	Doskonały, zbalansowany, bez wad	Dobry, minimalne wady smaku	Przeciętny, wyraźne wady smaku	Słaby, nieprzyjemny smak	Bardzo słaby, nie do spożycia
Wrażenia ogólne	Doskonałe wrażenia, bez wad	Dobre wrażenia, posiada cechy głównie pozytywne	Przeciętne wrażenia, może posiadać wady, brak wyrazistych cech	Słabe wrażenia, posiada wady, nie spełnia oczekiwań	Bardzo słabe wrażenia, nieakceptowalne, wywołuje negatywne odczucia

Wygląd wina: Wygląd to pierwsze wrażenie, które oceniający odbiera. Obejmuje barwę, przejrzystość i ogólny wygląd wina w szkle.

Kolor: Kolor wina jest pierwszym wrażeniem, które odbiera oceniający, dlatego jest istotny przy degustacji. Obejmuje odcień wina, który może być różny w zależności od rodzaju wina i surowca użytego do produkcji.

Klarowność: Klarowność wina odnosi się do jego przejrzystości. Im bardziej wino jest czyste, bez osadów lub mętności, tym wyżej jest oceniane.

Zapach: Wszystkie wrażenia zapachowe, które docierają podczas oceny wina. Zapach wina to mieszanka wszystkich aromatów występujących w winie. Ostatecznie to indywidualne preferencje zapachowe decydują, czy zapach jest dla nas satysfakcjonujący.

Smak: Smak wina jest subiektywny, a różne związki w nim zawarte wpływają na jego odbiór. Ostatecznie to indywidualne preferencje smakowe decydują, czy dane wino jest dla nas satysfakcjonujące.

Wrażenia ogólne: Oceniający ocenia ogólną jakość wina, uwzględniając wszystkie cechy. Wrażenia ogólne mogą być pozytywne (np. eleganckie, złożone) lub negatywne (np. niedojrzałe, niezrównoważone).

Wiek:					
Płeć:					
Kierunek studiów:					
Numer próbki:					
Badana cecha	5 pkt	4 pkt	3 pkt	2 pkt	1 pkt
Nr próbki					
Wygląd					
Kolor					
Klarowność					
Zapach					
Smak					
Wrażenia ogólne					

Rysunek 1. Karta oceny organoleptycznej

Źródło: opracowanie własne

Statystyka

Otrzymane w pracy wyniki przedstawiono w postaci średnich arytmetycznych $\pm$ odchylenie standardowe. Otrzymane dane poddano analizie statystycznej przeprowadzonej w programie Statistica 13.3. W celu oceny istotności różnic między badanymi wariantami wina zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) oraz test post-hoc NIR (najmniejsza istotna różnica) Fischera. Analizy zawartości związków polifenolowych oraz aktywności antyoksydacyjnej (metody Folina-Ciocalteu, FRAP, ABTS, DPPH) wykonano na wszystkich próbkach wina. Każda została przebadana w trzech niezależnych powtórzeniach.

Analizy mętności i ekstraktu wina wykonano na wszystkich próbkach. Każdą przebadano w trzech niezależnych powtórzeniach.

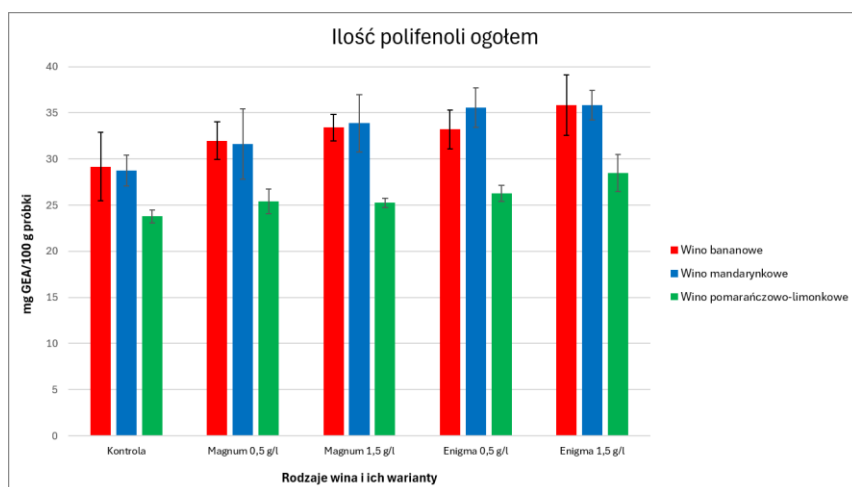
Analiza barwy została wykonana na wszystkich próbkach wina. Każdą przebadano w czterech niezależnych powtórzeniach.

Analizę składu chemicznego i właściwości fizycznych win wykonano we wszystkich próbkach, a każdą przebadano w czterech niezależnych powtórzeniach.

Wyniki i dyskusja

Wyniki oznaczenia zawartości polifenoli ogółem w winach owocowych

Najwyższą zawartość polifenoli stwierdzono w winie bananowym z dodatkiem chmielu Magnum w dawce 1,5 g/l oraz w winie mandarynkowym z dodatkiem Enigma w tej samej dawce. Oba wina zawierały około 36 mg GEA/100 g. Wino pomarańczowo-limonkowe zawierało nieco mniej polifenoli ogółem – 28,5 mg GEA/100 g. Otrzymane wartości mieszczą się w zakresie podawanym w literaturze

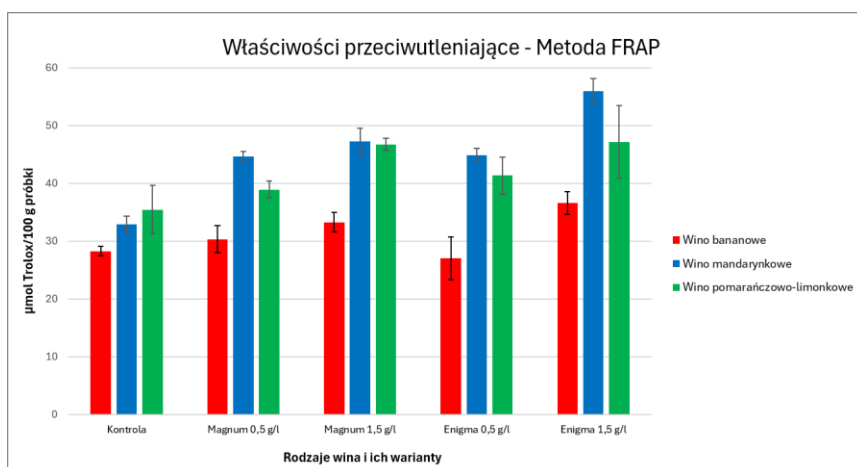


Rysunek 2. Zawartość polifenoli ogółem w badanych wariantach winach

Źródło: opracowanie własne

dla podobnych produktów, jednak w części badań odnotowano zarówno niższe, jak i wyższe zawartości polifenoli. Dla porównania, w winie bananowym bez dodatku skórek stwierdzono jedynie 16 mg/100 ml, a z dodatkiem skórek aż 113,6 mg/100 ml [Panchal i in. 2025]. Dla wina mandarynkowego zakres wartości wynosił od 13,7 do 42,1 mg/100 ml, natomiast wino pomarańczowe zawierało około 15 mg/100 ml [Athira i Sinija 2021].

Wyniki oznaczenia właściwości przeciwutleniających metodą FRAP

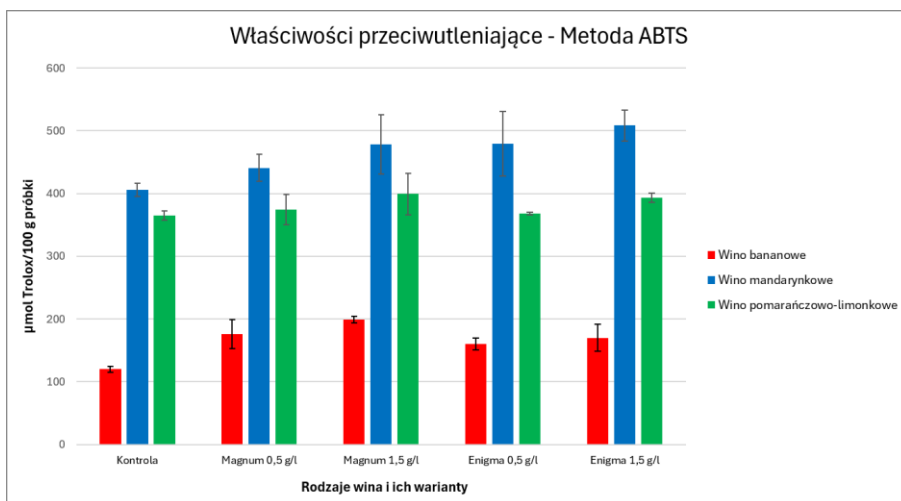


Rysunek 3. Właściwości przeciwutleniające badanych wariantów win

Źródło: opracowanie własne

Zdolność do redukcji jonów żelaza wykazywało w największym stopniu wino mandarynkowe z dodatkiem chmielu Enigma w dawce 1,5 g/l, które osiągnęło aktywność na poziomie 55,9 μmol troloksu/100 g. Wino pomarańczowo-limonkowe w tej samej dawce wykazało aktywność na poziomie 47,1 μmol troloksu/100 g, natomiast najniższą aktywność odnotowano w winie bananowym – 36,6 μmol troloksu/100 g. Uzyskane wartości były niższe niż dla świeżych soków cytrusowych, w których aktywność FRAP może osiągać poziom do 91 μmol /100 ml, jak w przypadku soku pomarańczowego [Odrizola-Serrano i in. 2022]. Sok bananowy wykazywał aktywność na poziomie ok. 139,6 μmol /100 ml [Bratovcic i in. 2021], natomiast w innych badaniach sok mandarynkowy osiągał poziom ok. 1130 μmol /100 ml [Kumar i in. 2019].

Wyniki oznaczenia właściwości przeciwutleniających metodą ABTS

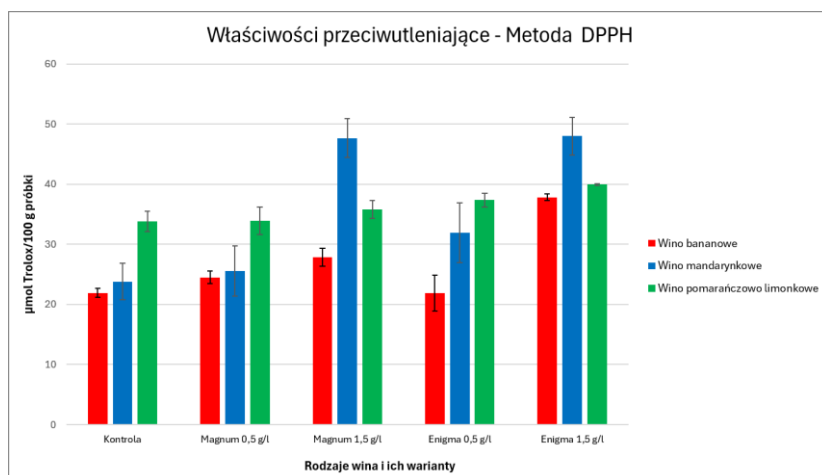


Rysunek 4. Właściwości przeciwutleniające badanych wariantów win

Źródło: opracowanie własne

Najsilniejszą zdolność neutralizacji wolnych rodników wykazało wino mandarynkowe z dodatkiem Enigmy w dawce 1,5 g/l – 508,5 μmol troloksu/100g. Wino pomarańczowo-limonkowe osiągnęło 399,3 μmol , a bananowe 199,1 μmol troloksu/100g. W porównaniu do danych literaturowych świeży sok pomarańczowy osiąga aktywność rzędu 707 μmol /100ml [Odrizola-Serrano i in. 2022], podczas gdy wino mandarynkowe zwykle osiąga około 200 μmol /100 ml [Kelebek i Selli 2011]. W badaniu dla owoców banana uzyskano wartość aktywności ABTS na poziomie 118 μmol troloksu/100 g świeżej masy [Thaipong i in. 2006], co jest zbliżone, lecz nieco niższe od wyniku wina bananowego z niniejszego badania (199,09 μmol troloksu/100 g).

Wyniki oznaczenia właściwości przeciwutleniających metodą DPPH



Rysunek 5. Właściwości przeciwutleniające badanych wariantów win – Metoda DPPH

Źródło: opracowanie własne

Największą zdolność wygaszania rodnika DPPH odnotowano w winie mandarynkowym z dodatkiem chmielu Magnum w dawce 1,5 g/l – 48,0 μmol troloksu/100 g. Wino pomarańczowo-limonkowe osiągnęło wartość 39,9 μmol , a bananowe 37,8 μmol troloksu/100g. Te wartości są niższe niż dla świeżych soków, dla których zdolność do wygaszenia rodnika DPPH może wynosić nawet 300 μmol /100ml w przypadku soku pomarańczowego [Kelebek i Selli 2011], a dla wina mandarynkowego szacuje się 200–300 μmol /100 ml [Kelebek i Selli 2011]. Wino bananowe wykazało aktywność antyoksydacyjną na poziomie około 36,7 mg troloksu/100 g [Panchal i in. 2025].

Wyniki oznaczenia ekstraktu i mętności badanych win z owoców tropikalnych

Tabela 2. Zawartość ekstraktu (% Brix) i mętność (NTU) różnych wariantów win owocowych

WINO	ODMIANA	Ekstrakt (Brix)	Mętność (NTU)
1	2	3	4
Banan	kontrola	18,45 ^c ± 0,07	148 ^a ± 0,00
Banan	Magnum 5	18,4 ^c ± 0,00	150 ^a ± 1,41
Banan	Magnum 15	18,25 ^b ± 0,07	154 ^b ± 4,24
Banan	Enigma 5	17,95 ^a ± 0,07	155 ^b ± 0,00
Banan	Enigma 15	18,45 ^c ± 0,07	154,25 ^b ± 0,35
Mandarynka	kontrola	9,55 ^c ± 0,07	4,76 ^b ± 0,35
Mandarynka	Magnum 5	9,3 ^a ± 0,00	6,12 ^c ± 0,13
Mandarynka	Magnum 15	9,45 ^{bc} ± 0,07	7,17 ^d ± 0,06

1	2	3	4
Mandarynka	Enigma 5	9,2 ^a ± 0,00	3,15 ^a ± 0,17
Mandarynka	Enigma 15	9,25 ^{ab} ± 0,07	2,83 ^a ± 0,02
Pomarańcza-limonka	kontrola	7,5 ^a ± 0,00	65,2 ^a ± 1,13
Pomarańcza-limonka	Magnum 5	7,5 ^a ± 0,00	86,35 ^b ± 0,92
Pomarańcza-limonka	Magnum 15	7,6 ^a ± 0,00	129 ^c ± 0,00
Pomarańcza-limonka	Enigma 5	7,45 ^a ± 0,07	88,5 ^c ± 0,57
Pomarańcza-limonka	Enigma 15	7,5 ^a ± 0,00	119,5 ^d ± 0,71

Źródło: opracowanie własne

Najwyższą wartość ekstraktu (18,45°Brix) uzyskano w winie bananowym bez dodatku chmielu oraz w wariancie z dodatkiem odmiany Enigma w dawce 1,5 g/l, co było nieznacznie niższe niż wartości odnotowywane w sokach bananowych (20–29°Brix) [Kyamuhangire i in. 2002]. Najwyższą mętność (155 NTU) stwierdzono w winie z dodatkiem Enigmy 0,5 g/l, jednak wartość ta była niższa niż w przypadku świeżego soku bananowego (200–250 NTU) [Lee i in. 2007].

Najwyższą wartość ekstraktu (9,55°Brix) dla win mandarynkowych uzyskano w próbie bez dodatku chmielu i była ona wyraźnie niższa niż w świeżym soku mandarynkowym (12–13°Brix) [Kelebek i Selli 2011]. Największą mętność (7,17 NTU) stwierdzono w winie z dodatkiem Magnum 1,5 g/l, mimo to próbka ta cechowała się znacznie wyższą klarownością w porównaniu z typowym sokiem cytrusowym (>100 NTU) [Ilame i Singh 2018].

Najwyższą wartość ekstraktu (7,63°Brix) odnotowano w winie pomarańczowo-limonkowym z dodatkiem Magnum 1,5 g/l, była ona jednak niższa niż w sokach pomarańczowych (41,8°Brix) [Crandall i in. 1987] oraz limonkowych (10,5°Brix) [Olivia 2022]. Najwyższą mętność w grupie win cytrusowych stwierdzono w wariancie pomarańcza-limonka-Magnum 15 (129 NTU), jednak była ona istotnie niższa w porównaniu z wartościami charakterystycznymi dla soków cytrusowych (ok. 1000 NTU) [Sabanci i Icier 2022]. Dodatek chmielu w istotny sposób zwiększał mętność win, choć w przypadku poprzednich grup efekt ten był umiarkowany.

Analiza kolorymetryczna

Tabela 3. Porównanie parametrów barwy (L*, a*, b*) oraz różnicy barwy (ΔE*) dla różnych wariantów win owocowych

WINO	ODMIANA	L*	a*	b*	ΔE*
1	2	3	4	5	6
Banan	kontrola	31,21 ^b ± 0,05	0,01 ^b ± 0,06	2,35 ^a ± 0,01	
Banan	'Magnum' 0,5g/l	31,65 ^d ± 0,02	-0,08 ^a ± 0,04	2,64 ^b ± 0,03	0,14
Banan	'Magnum' 1,5g/l	31,50 ^c ± 0,04	-0,11 ^a ± 0,00	3,00 ^d ± 0,01	0,26

1	2	3	4	5	6
Banan	'Enigma' 0,5g/l	31,10 ^a ± 0,05	-0,13 ^a ± 0,02	2,77 ^c ± 0,04	0,10
Banan	'Enigma' 1,5g/l	31,04 ^a ± 0,01	-0,12 ^a ± 0,01	3,06 ^d ± 0,02	0,27
Mandarynka	kontrola	34,54 ^{ab} ± 0,01	-1,17 ^b ± 0,01	4,93 ^b ± 0,01	
Mandarynka	Magnum 0,5g/l	34,41 ^a ± 0,12	-1,20 ^a ± 0,01	4,82 ^a ± 0,03	0,01
Mandarynka	Magnum 1,5g/l	34,57 ^b ± 0,03	-1,25 ^c ± 0,03	5,01 ^c ± 0,01	0,01
Mandarynka	Enigma 0,5g/l	34,76 ^c ± 0,04	-1,28 ^c ± 0,01	4,99 ^c ± 0,01	0,03
Mandarynka	Enigma 1,5g/l	34,45 ^{ab} ± 0,02	-1,22 ^d ± 0,01	5,06 ^d ± 0,02	0,01
Pomarańcza-limonka	kontrola	33,06 ^c ± 0,03	-2,00 ^d ± 0,03	7,75 ^d ± 0,02	
Pomarańcza-limonka	Magnum 0,5g/l	32,59 ^d ± 0,04	-1,51 ^c ± 0,03	6,40 ^c ± 0,01	1,14
Pomarańcza-limonka	Magnum 1,5g/l	32,07 ^b ± 0,01	-1,03 ^a ± 0,00	5,26 ^a ± 0,03	4,06
Pomarańcza-limonka	Enigma 0,5g/l	32,40 ^c ± 0,11	-1,53 ^c ± 0,01	6,32 ^c ± 0,07	1,35
Pomarańcza-limonka	Enigma 1,5g/l	31,88 ^a ± 0,01	-1,17 ^b ± 0,04	5,53 ^b ± 0,02	3,50

Źródło: opracowanie własne

W winach bananowych wartości ΔE^* dla wszystkich wariantów wynosiły od 0,10 do 0,27, czyli były znacząco poniżej progu 1,0. Oznacza to, że różnice barwy pomiędzy próbkami były bardzo małe i niewidoczne gołym okiem. Podobny efekt odnotowano w badaniu, w którym fermentowany napój bananowy wykazywał $\Delta E^* < 0,8$, co potwierdza wysoką stabilność barwy [Cornelia i in. 2023].

W winach mandarynkowych wartości ΔE^* mieściły się w przedziale 0,01–0,03, również znacznie poniżej progu 1,0. Świadczy to o bardzo wysokiej stabilności barwy i braku zmian zauważalnych wizualnie. Podobny wynik uzyskano w badaniu soków mandarynkowych naturalnych i zagęszczonych, gdzie ΔE^* nie przekraczało 0,5 [Maharramov 2021].

W winach pomarańczowo-limonkowych wartości ΔE^* były zróżnicowane. Wariant kontrolny wykazywał $\Delta E^* = 0,00$, co oznacza brak zmian barwy względem siebie, natomiast w wariantach z dodatkiem chmielu wartości ΔE^* przekraczały próg 1,0 (od 1,14 do 4,06) i w przypadku Magnum 1,5 g/l osiągały 4,06, co oznacza zmiany barwy dostrzegalne gołym okiem, a w wariantcie Enigma 1,5 g/l – bardzo wyraźne różnice ($\Delta E^* = 3,50$). Podobne zakresy ($\Delta E^* = 3–5$) dla soków pomarańczowych po obróbce UV i termicznej odnotowano w badaniu Cortes i współpracowników [2008].

Analiza składu chemicznego i właściwości fizycznych win

Tabela 4. Porównanie parametrów fizykochemicznych dla różnych wariantów win owocowych

WINO	ODMIANA	Alkohol % obj.	Gęstość g/cm ³	Kwasowość ogólna g/l (kw. winowy)	Kwasowość lotna g/l (kw. octowy)	pH	Kwas jabłkowy (g/l)	Kwas mlekowy (g/l)	Glukoza + Fruktoza (g/l)
Banan	kontrola	11,57 ^c ± 0,01	1,038 ^a ± 0,00	4,15 ^a ± 0,00	0,99 ^{ab} ± 0,00	4,69 ^{ab} ± 0,01	0,80 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	127,45 ^c ± 0,00
Banan	Magnum 0,5g/l	11,66 ^d ± 0,04	1,037 ^a ± 0,00	4,13 ^a ± 0,01	0,97 ^{ab} ± 0,00	4,69 ^{ab} ± 0,01	0,80 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	125,75 ^c ± 0,00
Banan	Magnum 1,5g/l	11,45 ^b ± 0,00	1,038 ^a ± 0,00	4,07 ^a ± 0,02	0,97 ^{ab} ± 0,02	4,73 ^{bc} ± 0,02	0,85 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	124,19 ^b ± 0,00
Banan	Enigma 0,5g/l	11,39 ^a ± 0,02	1,037 ^a ± 0,00	4,05 ^a ± 0,00	0,96 ^a ± 0,01	4,68 ^a ± 0,01	0,75 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	122,10 ^a ± 0,00
Banan	Enigma 1,5g/l	11,55 ^c ± 0,03	1,037 ^a ± 0,00	4,27 ^a ± 0,19	1,03 ^b ± 0,05	4,75 ^c ± 0,02	0,85 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	126,76 ^d ± 0,00
Mandarynka	kontrola	14,80 ^b ± 0,06	0,994 ^b ± 0,00	13,36 ^d ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,71 ^b ± 0,01	3,85 ^b ± 0,07	0,50 ^b ± 0,00	0,35 ^a ± 0,21
Mandarynka	Magnum 0,5g/l	14,92 ^{ab} ± 0,01	0,993 ^a ± 0,00	11,77 ^c ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,86 ^a ± 0,00	3,40 ^a ± 0,00	0,30 ^a ± 0,14	0,75 ^b ± 0,07
Mandarynka	Magnum 1,5g/l	14,99 ^b ± 0,07	0,993 ^{ab} ± 0,00	10,99 ^b ± 0,01	0,00 ± 0,00	2,88 ^a ± 0,01	3,35 ^a ± 0,07	0,25 ^a ± 0,07	1,00 ^{bc} ± 0,00
Mandarynka	Enigma 0,5g/l	14,98 ^b ± 0,04	0,993 ^a ± 0,00	10,69 ^a ± 0,03	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,01	3,30 ^a ± 0,00	0,20 ^a ± 0,00	1,10 ^c ± 0,00
Mandarynka	Enigma 1,5g/l	14,92 ^{ab} ± 0,10	0,993 ^a ± 0,00	10,62 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	2,92 ^a ± 0,01	3,35 ^a ± 0,07	0,25 ^a ± 0,07	1,25 ^c ± 0,07
Pomarańcza- -limonka	kontrola	11,86 ^a ± 0,19	0,994 ^a ± 0,00	12,24 ^b ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,01	3,00 ^a ± 0,00	0,40 ^a ± 0,14	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Magnum 0,5g/l	11,96 ^a ± 0,02	0,994 ^{ab} ± 0,00	12,24 ^b ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,01	3,05 ^a ± 0,07	0,40 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Magnum 1,5g/l	11,97 ^a ± 0,04	0,994 ^b ± 0,00	12,08 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,02	3,10 ^a ± 0,14	0,40 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Enigma 0,5g/l	11,85 ^a ± 0,04	0,994 ^a ± 0,00	12,08 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,91 ^a ± 0,01	3,00 ^a ± 0,00	0,40 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Enigma 1,5g/l	11,92 ^a ± 0,01	0,994 ^{ab} ± 0,00	12,08 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,91 ^a ± 0,01	3,05 ^a ± 0,07	0,35 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00

Źródło: opracowanie własne

Najwyższą zawartość etanolu odnotowano w winie mandarynkowym w wariancie Magnum 1,5 g/l (ok. 15%), co wskazuje na intensywny przebieg fermentacji i jest zgodne z niską zawartością cukrów reszkowych (ok. 1,25 g/l w wariancie Enigma 1,5 g/l) oraz niską gęstością (ok. 0,994 g/cm³), typową dla win całkowicie przefermentowanych [Habimana i in. 2017, Lv i in. 2024, Idise 2011]. W winie bananowym, mimo znacznie wyższej zawartości cukrów reszkowych (ok. 127 g/l) i dużej gęstości (ok. 1,038 g/cm³), poziom alkoholu wynosił jedynie ok. 11,5%, co wskazuje na wcześniejsze zatrzymanie fermentacji [Idise 2011, Lv i in. 2024].

Najwyższą kwasowość ogólną odnotowano w winie mandarynkowym bez dodatków (13,36 g/l) przy jednocześnie najniższym pH wśród badanych win cytrusowych (ok. 2,9) oraz wysokiej zawartości kwasu jabłkowego (3,85 g/l), co odpowiada naturalnej charakterystyce soków cytrusowych [Cancalon i Xu 2002, Habimana i in. 2017, Fu i in. 2022]. Obecność kwasu mlekowego (do 0,50 g/L) w winach cytrusowych sugeruje częściowy przebieg fermentacji małolaktycznej, co mogło dodatkowo wpływać na profil kwasowości [Lv i in. 2024].

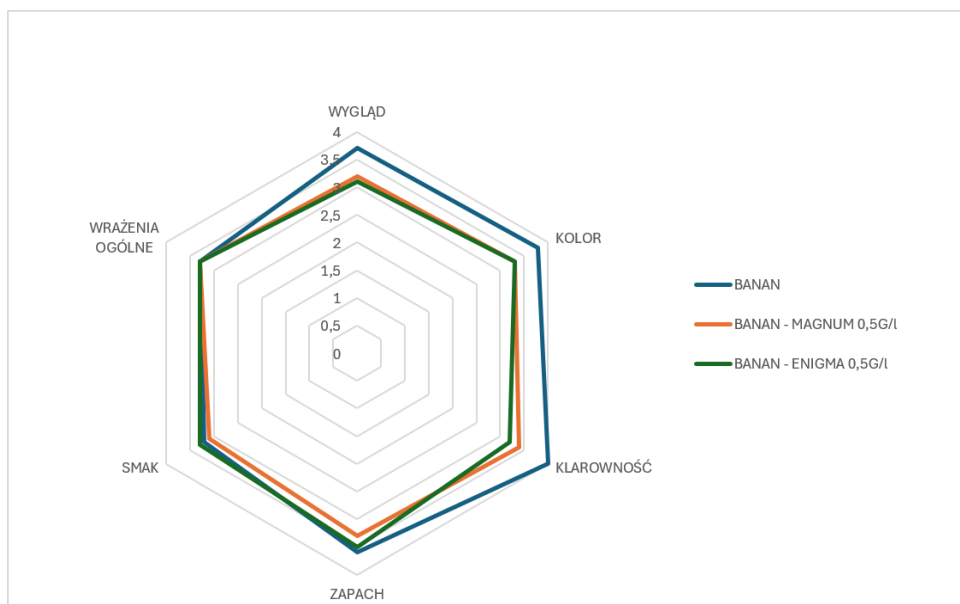
Wino pomarańczowo-limonkowe charakteryzowało się nieco niższą kwasowością ogólną (12,24 g/l bez dodatku), mniejszą ilością kwasu jabłkowego (3,1 g/l) oraz zawartością kwasu mlekowego ok. 0,40 g/l, co również sugeruje częściowy przebieg fermentacji małolaktycznej [Cancalon i Xu 2002, Habimana i in. 2017, Fu i in. 2022, Lv i in. 2024].

Wina bananowe wykazywały zdecydowanie niższą kwasowość ogólną (ok. 4,3 g/l) i wyższe pH (do 4,75 w wariancie Enigma 1,5 g/l), co jest zgodne z wartościami typowymi dla fermentowanych napojów z banana (4,0–4,7), nie wykryto w nich także kwasu mlekowego [Li i in. 2023; Habimana i in. 2017; Lv i in. 2024]. Jednocześnie w wariancie tym odnotowano podwyższoną kwasowość lotną (do 1,3 g/l) przekraczającą akceptowalny próg dla win owocowych (ok. 0,8 g/l), co może wskazywać na rozwój mikrobioty wytwarzającej kwas octowy [Lv i in. 2024].

Analiza sensoryczna

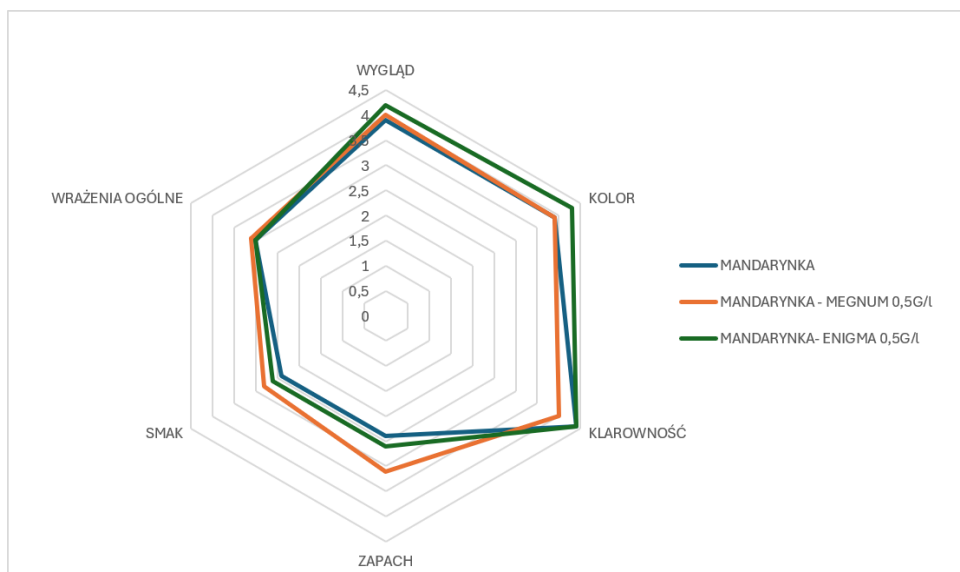
Dodatek obu odmian chmielu wpłynął negatywnie na wygląd i kolor wina bananowego, a ogólne wrażenia sensoryczne były nieco obniżone, szczególnie w wariancie z odmianą Enigma. Wino mandarynkowe uzyskało najwyższe oceny w kategoriach wygląd i klarowność przy minimalnym zróżnicowaniu pomiędzy wariantami z dodatkiem chmielu i bez dodatków, natomiast ogólne wrażenia sensoryczne utrzymywały się na wysokim poziomie niezależnie od wariantu.

W winie mandarynkowym dodatek chmielu, szczególnie odmiany Enigma (0,5 g/l), okazał się korzystny. Odnotowano poprawę niemal wszystkich ocenianych cech, co szczególnie widoczne jest w kategoriach wrażeń ogólnych i smaku. W przypadku odmiany Magnum (0,5 g/l) również stwierdzono wzrost ocen większości parametrów, w tym wyglądu, koloru i zapachu, jednak poprawa ta była mniej wyraźna niż dla odmiany Enigma.



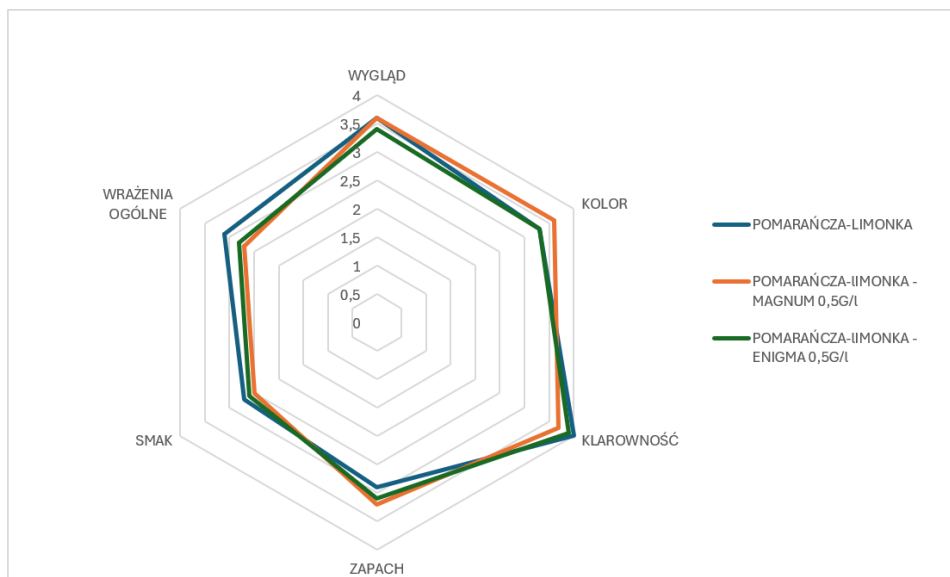
**Rysunek 6. Wyniki oceny organoleptycznej
wina bananowego oraz jego wariantów**

Źródło: opracowanie własne



**Rysunek 7. Wyniki oceny organoleptycznej
wina mandarynkowego oraz jego wariantów**

Źródło: opracowanie własne



**Rysunek 8. Wyniki oceny organoleptycznej
wina pomarańczowo-limonkowego oraz jego wariantów**

Źródło: opracowanie własne

Wino pomarańczowo-limonkowe charakteryzowało się dość stabilnymi wynikami we wszystkich wariantach. Dodatek chmielu wpłynął pozytywnie na jego cechy, lekko podnosząc oceny w kategoriach smaku i zapachu, bez negatywnych zmian w wyglądzie produktu. Wariant z dodatkiem odmiany Enigma (0,5 g/l) uzyskał nieco wyższe noty niż z dodatkiem Magnum (0,5 g/l), jednak w obu przypadkach różnice były niewielkie, a poprawa jakości organoleptycznej w stosunku do próbki kontrolnej była zbliżona.

Wnioski

Dodatek chmielu odmiany Magnum i Enigma w większości badanych wariantów win (mandarynkowe 0,5 g/l, 1,5 g/l; pomarańczowo-limonkowe 0,5 g/l, 1,5 g/l; bananowe 0,5 g/l, 1,5 g/l) zwiększał zawartość w nich polifenoli oraz wzmacniał ich właściwości przeciwutleniające, przy czym największy wzrost odnotowano w winie mandarynkowym z dodatkiem Enigmy 1,5 g/l oraz bananowym z dodatkiem Magnum 1,5 g/l.

Dodatek chmielu, szczególnie odmiany Enigma w dawce 0,5 g/l, poprawiał smak i aromat win mandarynkowych i pomarańczowo-limonkowych, podczas gdy w winach bananowych – niezależnie od odmiany i dawki chmielu – odnotowano pogorszenie wyglądu i klarowności.

Większe dawki chmielu (1,5 g/l) wpływały na zwiększenie stopnia zmętnienia oraz powodowały zauważalne zmiany barwy win, szczególnie w wariantach pomarańczowo-limonkowych.

Najlepsze rezultaty pod względem właściwości antyoksydacyjnych i sensorycznych uzyskano dla wina mandarynkowego z dodatkiem Enigmy w dawce 1,5 g/l. Efekty stosowania chmielu zależą zarówno od jego odmiany, jak i dawki, a także od rodzaju owocu użytego do produkcji wina.

Bibliografia

- Agacka M., Skomra U. (2012). Chmiel jako źródło bioaktywnych metabolitów wtórnych dla przemysłu piwowarskiego i farmaceutycznego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 31(5), 33–48.
- Alarcon-Aguilara F.J., Roman-Ramos R., Perez-Gutierrez S., Aguilar-Contreras A., Contreras-Weber C.C., Flores-Saenz J.L. (1998). Study of the antihyperglycemic drug effects of plants used as antidiabetic drugs. *Journal of Ethnopharmacology*, 61, 101–110.
- Atthira V.A., Sinija V.R. (2021). Comparative assessment of wines developed from different varieties of oranges. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(1), 3602–3611.
- Balay K.S., Hawthorne K.M., Hicks P.D., Griffin I.J., Chen Z., Westerman M., Abrams S.A. (2010). Orange but not apple juice enhances ferrous fumarate absorption in small children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 50(5), 545–550.
- Benzie I.F.F., Strain J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Bratovcic A., Djapo-Lavic M., Kazacic M., Mehic E. (2021). Evaluation of antioxidant capacities of orange, lemon, apple and banana peel extracts by FRAP and ABTS methods. *Revue Roumaine de Chimie*, 66(8–9), 713–717.
- Caccioni D.R., Guizzardi M., Biondi D.M., Renda A., Ruberto G. (1998). Relationship between volatile components of citrus fruit essential oils and antimicrobial action on *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *International Journal of Food Microbiology*, 43, 73–79.
- Camarda L., Stefano V.D., Bosco S.F.D., Schillaci D. (2007). Antiproliferative activity of citrus juices and HPLC evaluation of their flavonoid composition. *Fitoterapia*, 78(6), 426–429.
- Canclon P.F., Xu Y. (2002). Changes in organic acid composition of citrus juices during the 2000–2001 season. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 115, 37–41.
- Cornelia M., Vanessa V., Mastuti T.S., Kurniawan R. (2023). Characteristics of fruit wine from several types of banana with various types of yeast. [In:] W.Q.D. Utama (Ed.): *Proceedings of the 7th International Conference on Food, Agriculture, and Natural Resources (IC-FANRES 2022)*, *Advances in Biological Sciences Research*, 35, 39–47.
- Cortes C., Esteve M.J., Frigola A. (2008). Color of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control*, 19(2), 151–158.
- Crandall P.G., Chen C.S., Davis K.C. (1987). Preparation and storage of 72° Brix orange juice concentrate. *Journal of Food Science*, 52(2), 381–383.
- Dahham S.S., Agha M.T., Tabana Y.M., Majid A.M.S.A. (2015). Antioxidant activities and anti-cancer screening of extracts from banana fruit (*Musa sapientum*). *Academic Journal of Cancer Research*, 8(2), 28–34.
- Deyhim F., Garica K., Lopez E., Gonzalez J., Ino S., Garcia M., Patil B.S. (2006). Citrus juice modulates bone strength in male senescent rat model of osteoporosis. *Nutrition*, 22(5), 559–563.

- Galovičová L., Borotová P., Vukovic N.L., Vukic M., Kunová S., Hanus P., Kowalczewski P.Ł., Bakay L., Kačániová M. (2022). The potential use of *Citrus aurantifolia* L. essential oils for decay control, quality preservation of agricultural products, and anti-insect activity. *Agronomy*, 12(3), 735.
- Habimana J.D.D., Ituze Kubana M.C., Ineza C., Karangwa E. (2017). Comparative study of physicochemical and bacteriological characteristics of banana wines produced by conventional and modern techniques in Southern province of Rwanda. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(5), 192–198.
- Hamdan M., Jaradat N., Al-Maharik N., Ismail S., Qadi M. (2024). Chemical composition, cytotoxic effects and antimicrobial activity of combined essential oils from *Citrus meyeri*, *Citrus paradise*, and *Citrus sinensis* leaves. *Industrial Crops and Products*, 210, 118096.
- Idise E. (2011). Studies on wine production from orange (*Citrus sinensis*). *Nigerian Journal of Science and Environment*, 10(3), 91–95.
- Ilame S.A., Singh S.V. (2018). Physico-chemical properties of ultrafiltered kinnow (mandarin) fruit juice. *Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2189–2196.
- Indriyani N.N., Al Anshori J., Permadi N., Nurjanah S., Julaeha E. (2023). Bioactive components and their activities from different parts of *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle for food development. *Foods*, 12(10), 2036.
- Jain S., Arora P., Popli H. (2020). A comprehensive review on *Citrus aurantifolia* essential oil: its phytochemistry and pharmacological aspects. *Brazilian Journal of Natural Sciences*, 3(2), 354.
- Jiang C.-H., Sun T.-L., Xiang D.-X., Wei S.-S., & Li W.-Q. (2018). Anticancer activity and mechanism of xanthohumol: A prenylated flavonoid from hops (*Humulus lupulus* L.). *Frontiers in Pharmacology*, 9, Article 530.
- Jorge N., Teixeira A.R., Matos C.C., Lucas M.S., Peres J.A. (2021). Combination of coagulation–flocculation–decantation and ozonation processes for winery wastewater treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8882.
- Kandaswami C., Perkins E., Soloniuk D.S., Drzewiecki G., Middleton E. Jr (1991). Antiproliferative effects of citrus flavonoids on a human squamous cell carcinoma *in vitro*. *Cancer Letters*, 56(2), 147–152.
- Kelebek H., Selli S. (2014). Identification of phenolic compositions and the antioxidant capacity of mandarin juices and wines. *Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1094–1101.
- Kumar D., Ladaniya M.S., Gurjar M., Mendke S., Kumar S. (2019). Osmotic membrane distillation for retention of antioxidant potential in Nagpur mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit juice concentrate. *Journal of Food Process Engineering*, 42, e13096.
- Kyamuhangire W., Myhre H., Sørensen H.T., Pehrson R. (2002). Yield, characteristics and composition of banana juice extracted by the enzymatic and mechanical methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(4), 478–482.
- Lassoudière A. (2007). *Le bananier et sa culture*. Editions Quae, Versailles CEDEX, France, 1–383.
- Lee W.C., Yusof S., Hamid N., Baharin B.S. (2007). Effect of fining treatment and storage temperature on the quality of clarified banana juice. *LWT – Food Science and Technology*, 40(10), 1755–1764.
- Li Z., Qin C., He X., Chen B., Tang J., Liu G., Li L., Yang Y., Ye D., Li J., Ling D., Li C., Khoo H.E., & Sun J. (2023). Development of green banana fruit wines: Chemical compositions and *in vitro* antioxidative activities. *Antioxidants*, 12(1), 93.
- Lim T.K. (2012). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*. Volume 4: Fruits. Springer, Dordrecht.
- Lin L.-Y., Chuang C.-H., Chen H.-C., Yang K.-M. (2019). Lime (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) Essential Oils: Volatile Compounds, Antioxidant Capacity, and Hypolipidemic Effect. *Foods*, 8(9), 398.

- Lv Z., Liu H., Yang W., Zhang Q., Chen D., Jiao Z., Liu J. (2024). Comprehensive analysis of physicochemical properties and volatile compounds in different strawberry wines under various pre-treatments. *Molecules*, 29(9), 2045.
- Maharramov M. (2021). Investigation of thermal conductivity of orange and tangerine juices in non-stationary state. *E3S Web of Conferences*, 254, 07015.
- Morton J.F. (1987). Orange. In: *Fruits of Warm Climates*. Julia F. Morton, Miami, FL, 134–142.
- Murakami A., Song M., Katsumata S.-I., Uehara M., Suzuki K., Ohigashi H. (2007). Citrus nobilitin suppresses bone loss in ovariectomized ddY mice and collagen-induced arthritis in DBA/1J mice: possible involvement of receptor activator of NF- κ B ligand (RANKL)-induced osteoclastogenesis regulation. *BioFactors*, 30(3), 179–192.
- Musara C., Aladejana E.B., Mudyiyiwa S.M. (2020). Review of the nutritional composition, medicinal, phytochemical and pharmacological properties of *Citrus reticulata* Blanco (*Rutaceae*). *F1000Research*, 9(1387), 1–11.
- Narang N., Jiraunkoorskul W. (2016). Anticancer activity of key lime, *Citrus aurantifolia*. *Pharmacognosy Reviews*, 10(20), 123–130.
- O'Bryan C.A., Crandall P.G., Chalova V.I., Ricke S.C. (2008). Orange essential oils antimicrobial activities against *Salmonella* spp. *Journal of Food Science*, 73(6), 264–267.
- Odriozola-Serrano I., Bellí G., Puigpinós J., Herrero E., Martín-Belloso O. (2022). Screening the antioxidant activity of thermal or non-thermally treated fruit juices by *in vitro* and *in vivo* assays. *Beverages*, 8(2), 36.
- Ogo O., Hembafan N., Amokaha R., Jeremiah O., Inalegwu B. (2024). Characterization and antioxidant activity of peel extracts from three varieties of *Citrus sinensis*. *Heliyon*, 10(7), e14876.
- Olivia N. (2022). Analysis of the addition of soda and lime juice towards the antioxidant activity, pH, Brix, color, and sensorial property of sparkling butterfly pea beverage (Unpublished undergraduate internship thesis). Indonesia International Institute for Life Sciences.
- Osarumwense P.O., Okunrobo L.O., Imafidon K.E. (2011). Phytochemical composition of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck and its larvicidal and antimicrobial activities. *Continental Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5, 15–19.
- Panchal D., Ansari A., Pawar A., Patkar S., Rodrigues C., Patil S., Stewart M., Chakraborty A., Chakraborty P. (2025). In-vitro antioxidant and cytotoxic potential of banana wine. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, e10391.
- Parmar H.S., Kar A. (2008). Antiperoxidative, antithyroidal, antihyperglycemic and cardioprotective role of *Citrus sinensis* peel extract in male mice. *Phytotherapy Research*, 22(6), 791–795.
- Patharkar S.R., Shendge S.N., Khapre A.P. (2017). Study of physico-chemical parameters of orange (*Citrus reticulata* Blanco) for the development of orange wine. *Journal of Applied and Natural Science*, 9(4), 2305–2308.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9–10), 1231–1237.
- Sabancı S., Icier F. (2022). Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange juice pulp. *Food and Bioproducts Processing*, 131, 156–163.
- Saini R.K., Ranjit A., Sharma K., Prasad P., Shang X., Gowda K.G.M., Keum Y.-S. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11(2), 239.
- Sandoval-Montemayor N.E., García A., Elizondo-Treviño E., Garza-González E., Alvarez L., Rayo Camacho-Corona M. del (2012). Chemical composition of hexane extract of *Citrus aurantifolia* and anti-*Mycobacterium tuberculosis* activity of some of its constituents. *Molecules*, 17(9), 11173–11184.

- Schneider V., Müller J., Schmidt D. (2016). Oxygen consumption by postfermentation wine yeast lees: Factors affecting its rate and extent under oenological conditions. *Food Technology and Biotechnology*, 54(4), 395–402.
- Singh B., Singh J.P., Kaur A., Singh N. (2016). Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – a review. *Food Chemistry*, 206(2), 1–11.
- Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.
- Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K., Cisneros-Zevallos L., & Byrne, D.H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675.
- Verdum (n.d.). Banany – właściwości lecznicze i zdrowotne. Verdum. <https://verdum.pl/banany-wlasciwosci-lecznicze-zdrowotne/> (dostęp: 5.05.2025).
- Vijayakumar S., Presannakumar G., Vijayalakshmi N.R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79(4), 279–282.
- [www1] <https://www.medicalnewstoday.com/articles/322652> (dostęp: 25.06.2025).
- Yen G.-C., Chen H.-Y. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their anti-mutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(1), 27–32.
- Zylstra S. (2005). Assessments of seven refractometers for evaluating wildland fire retardants (Rep. No. TE52P13—WFCS Technical Services). USDA Forest Service, Technology and Development Program.

New horizons in winemaking: the use of hopping in the creation of tropical fruit wines

Abstract: The article discusses the innovative use of cold hopping in the production of wines made from tropical fruits: banana, tangerine, orange and lime. The goal was to increase polyphenol content and antioxidant properties by adding Magnum and Enigma hops in two doses. The study showed that hopping – especially with the Enigma variety – improved the antioxidant and sensory properties of tangerine and orange-lime wines, while it worsened the appearance and clarity in banana wines. The effects depended on the type of fruit, dosage and variety of hops. The results indicate that hopping can be an effective way to enrich fruit wines with bioactive compounds and improve their sensory properties, making it a promising proposition in the functional beverage market.

