

IMIĘ I NAZWISKO AUTORA PRACY: Justyna Paszkot

TYTUŁ PRACY: Projektowanie piw ciemnych o wysokim potencjale antyoksydacyjnym

DZIEDZINA NAUKI: 4E Inne nauki rolnicze

DYSCYPLINA: 01 Technologia żywności i żywienia

DATA SPORZĄDZENIA STRESZCZENIA: 5 września 2023

SŁOWA KLUCZOWE: słody ciemne, piwa ciemne, fermentacja etanolowa, aktywność przeciwutleniająca, związki fenolowe

STRESZCZENIE

Wzbogacenie żywności o związki bioaktywne i ograniczenie ich strat w procesie obróbki stanowią wyzwania dla nowoczesnej technologii żywności. Jednym z podstawowych surowców wykorzystywanych w przemyśle spożywczym są zboża, które są źródłem składników odżywczych i związków bioaktywnych w diecie człowieka. W technologii produkcji piwa głównym surowcem są słody wytwarzane w wyniku moczenia, kiełkowania i suszenia ziaren zbóż. Są one źródłem 80% związków fenolowych zawartych w piwie oraz melanoidyn – związków reakcji Maillarda wykazujących działanie przeciwutleniające, w które szczególnie bogate są słody ciemne. Na kompozycje związków bioaktywnych piwa wpływa głównie dobór słodów, jak również chmieli, technologii wytwarzania brzeczki, szczepów drożdży i parametrów procesu fermentacji. Z tego względu zasadnym jest zbadanie wpływu zastosowania słodów ciemnych w technologii piwowarstwa na właściwości antyoksydacyjne piw oraz przebieg procesu technologicznego.

Celem badań była ocena potencjału wykorzystania słodów ciemnych i prażonych ziaren zbóż, dobór technologii produkcji oraz szczepów drożdży w kształtowaniu jakości piw ciemnych o zwiększonej zawartości związków fenolowych i aktywności antyoksydacyjnej. Materiał badawczy stanowiły ciemne słody (czekoladowy jasny, czekoladowy ciemny, pszeniczny czekoladowy), prażone ziarna zbóż (jęczmień prażony i jęczmień brown), chmiele (Marynka, Lubelski, Amarillo, Cascade, Centennial, Galaxy) oraz drożdże piwowarskie dolnej fermentacji *Saccharomyces pastorianus* S23, górnej fermentacji *Saccharomyces cerevisiae* S04, jak również niekonwencjonalne drożdże górnej fermentacji *S. cerevisiae* var. *diastaticus* oraz *S. cerevisiae* typu kveik. Wyniki badań zostały zaprezentowane w formie spójnego tematycznie cyklu publikacji naukowych, na który składają się cztery prace badawcze. W badaniach szczególną uwagę poświęcono kluczowym dla kształtowania właściwości

przeciwutleniających piwa etapom procesu technologicznego: opracowaniu składu zasypu słodowego, procesowi chmielenia z uwzględnieniem chmielenia techniką na zimno, jak również procesowi fermentacji z udziałem szczepów drożdży piwowskich o zróżnicowanej charakterystyce. W efekcie przeprowadzonych badań oceniono przydatność ciemnych słodów i prażonych ziaren zbóż w produkcji brzeczek o podwyższonej aktywności przeciwutleniającej oraz opracowano recepturę i technologię produkcji piw ciemnych chmielonych na zimno o wysokiej zawartości ksantohumolu. W cyklu badawczym uwzględniono również analizę wpływu stosowania słodów ciemnych na przebieg i efekty fermentacji etanolowej prowadzonej z udziałem różnych szczepów drożdży, w tym niekonwencjonalnych.

Na podstawie uzyskanych wyników określono, że zastosowanie 10% dodatku słołu czekoladowego ciemnego lub jęczmienia prażonego w kompozycji surowców zacieru prowadziło do ponad dwukrotnego wzrostu ogólnej zawartości związków fenolowych (TPC, ang. total phenolic content) skorelowanego ze wzrostem zdolności do redukcji jonów żelaza FRAP (ang. ferric reducing antioxidant power) i pojemności przeciwutleniającej ABTS^{•+} (ang. 2,2'-Azino-bis[3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid] diammonium salt) brzeczek. Ponadto zastosowanie znaczącego udziału słołu czekoladowego ciemnego (20 – 40%) w składzie zasypu słodowego powodowało obniżenie zawartości maltozy i maltotriozy w profilu węglowodanowym brzeczek, jak również wzrost wartości indeksu brązowienia, zawartości 5-hydroksymetylofurfuralu, TPC oraz aktywności przeciwutleniającej (FRAP i ABTS^{•+}). Wykazano, że wartość TPC w technologii produkcji piw rosła w wyniku procesu chmielenia (7,7 – 22,9%), fermentacji (30,8 – 86,0%) i dofermentowania (2,5 – 17,8%). Następnie, po leżakowaniu obniżała się (35,1 – 55,8%). Zaobserwowano, że fermentacja z zastosowaniem szczepu *S. cerevisiae* S04 powoduje całkowitą redukcję 5-hydroksymetylofurfuralu w piwach. Udowodniono również, że dobór surowców, zastosowana metoda zacierania oraz chmielenie na zimno prowadziło do wytworzenia piw o wysokiej zawartości ksantohumolu (1,77 – 3,83 mg/L) i izokszantohumolu (0,85 – 1,19 mg/L). Najwyższą wartością TPC (475,05 mg GAE/L, ang. gallic acid equivalents), jak również zawartością ksantohumolu (3,83 mg/L) i izokszantohumolu (1,19 mg/L) charakteryzowało się piwo ciemne chmielone odmianą Galaxy.

W kolejnym etapie badań potwierdzono, że spośród badanych szczepów drożdży *S. cerevisiae* var. *diastaticus* charakteryzował się zdolnością do wykorzystywania dekstryn, co pozwoliło na wytworzenie piwa o wysokim stopniu odfermentowania (78,56 – 80,36% w/w) i zawartości etanolu (5,6 – 5,79% v/v). Wykazano również, że zastosowanie słodów ciemnych powodowało obniżenie rzeczywistego i pozornego stopnia odfermentowania piw. Ponadto

badane piwa ciemne charakteryzowały się wyższą TPC (20,62 – 123,96%) oraz potencjałem przeciwutleniającym FRAP (60,19 – 69,07%) i ABTS⁺ (39,86 – 48,80%) niż piwa jasne. Wykazano, że piwo ciemne fermentowane z udziałem *S. cerevisiae* var. *diastaticus* SA charakteryzowało się najwyższą TPC (547,56 mg GAE/L), jak również najwyższą całkowitą zawartością związków lotnych (TV, ang. total volatiles; 134,33 – 143,08 mg/L) spośród analizowanych piw. Dodatek ciemnego słodu nie wpłynął na TV w piwach, jednak był przyczyną zmian w całkowitej zawartości estrów oraz terpenów i terpenoidów w części badanych piw. Kluczowe różnice w profilu związków lotnych piw fermentowanych z zastosowaniem różnych szczepów wynikały z zawartości estrów i alkoholi wyższych. Dominującą grupą związków we wszystkich analizowanych piwach były alkohole wyższe (56,41 – 72,17%), następnie estry (14,58 – 20,82%), aldehydy (8,35-20,52%), terpeny i terpenoidy (1,22 – 6,57%) oraz ketony (0,42 – 1,00%). Wśród alkoholi wyższych zidentyfikowano najwięcej 2-metylopropan-1-olu, 3-metylobutanolu i alkoholu fenyloetylowego, wśród aldehydów – furfuralu, dekanalu i nonanal, a wśród estrów – octanu etylu, octanu fenyloetylu i octan izoamylu.

Przedstawiony cykl prac badawczych pozwala na potwierdzenie potencjału wykorzystania słodów ciemnych w produkcji piw o podwyższonej zawartości związków fenolowych oraz aktywności przeciwutleniającej. Ponadto wyniki przeprowadzonych badań wykazały również potencjał fermentacji z udziałem różnych szczepów drożdży piwowarskich górnej i dolnej fermentacji, w tym szczepów niekonwencjonalnych, jako metody kształtującej zdolności antyoksydacyjne, jak również cechy sensoryczne piw przez wpływ na profil związków lotnych.

ABSTRACT

The enrichment of food with bioactive compounds and the prevention of their loss during processing are challenges for modern food technology. One of the main raw materials used in the food industry are cereals, which are a source of nutrients and bioactive compounds in the human diet. In beer production technology, the main raw materials are malts produced by soaking, germination and drying of cereal grains. They are the source of 80% of the phenolic compounds contained in beer, as well as melanoidins - Maillard reaction compounds that exhibit antioxidant activity, in which dark malts are particularly rich. The compositions of beer's bioactive compounds are mainly influenced by the selection of malts, as well as hops, wort production technology, yeast strains and parameters of the fermentation process. Therefore, it is reasonable to study the influence of the use of dark malts in brewing technology on the antioxidant properties of beers and the course of the technological process.

The aim of the study was to evaluate the potential of using dark malts and roasted cereal grains, the selection of production technology and yeast strains in shaping the quality of dark beers with an increased content of phenolic compounds and antioxidant activity. The experimental material consisted of dark malts (pale chocolate malt, dark chocolate malt, wheat chocolate malt), roasted cereal grains (roasted barley and brown barley), hops (Marynka, Lubelski, Amarillo, Cascade, Centennial, Galaxy) and bottom-fermentation brewing yeast *Saccharomyces pastorianus* S23, top fermentation *Saccharomyces cerevisiae* S04, as well as unconventional top-fermentation yeast *S. cerevisiae* var. *diastaticus* and *S. cerevisiae* type kveik. The results of the research were presented in a thematically consistent series of scientific publications, comprising four research papers. In the research, special attention was paid to the key stages of the technological process for shaping the antioxidant properties of beer: the development of the malt composition, the hopping process including dry hopping technique, as well as the fermentation process with the participation of brewing yeast strains with different characteristics. As a result of the research, the usability of dark malts and roasted cereal grains in the production of worts with increased antioxidant activity was evaluated, and a recipe and technology for the production of dry hopped dark beers with high xanthohumol content was developed. The research cycle also included an analysis of the effect of using dark malts on the course and effects of ethanol fermentation carried out with different yeast strains, including unconventional.

Based on the results, it was determined that the use of a 10% addition of dark chocolate malt or roasted barley in the composition of mash raw materials led to a more than two-fold

increase in total phenolic content (TPC) correlated with an increase in the ferric reducing antioxidant power (FRAP) and antioxidant capacity ABTS^{·+} (2,2'-azino-bis[3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid] diammonium salt) of worts. In addition, applying a significant proportion of dark chocolate malt (20 – 40%) in the composition of the malt, a decrease in maltose and maltotriose content in the carbohydrate profile of the wort was observed, as well as an increase in the values of browning index, 5-hydroxymethylfurfural content, TPC and antioxidant capacity (FRAP and ABTS^{·+}). It was shown that the TPC value increased as a result of hopping (7.7 – 22.9%), fermentation (30.8 – 86.0%) and post fermentation (2.5 – 17.8%). Then, after aging, it decreased (35.1 – 55.8%). It was observed that fermentation with *S. cerevisiae* S04 results in a complete reduction of 5-hydroxymethylfurfural in beers. It was also proven that the selection of raw materials, the use of decoction mashing and dry hopping led to the production of beers with a high content of xanthohumol (1.77 – 3.83 mg/L) and isoxanthohumol (0.85 – 1.19 mg/L). Dark beers hopped with the Galaxy variety had the highest TPC value (475.05 mg GAE/L, gallic acid equivalents), as well as xanthohumol (3.83 mg/L) and isoxanthohumol (1.19 mg/L) contents.

In the next step of the study, it was confirmed that among the tested yeast strains *S. cerevisiae* var. *diastaticus* was characterized by its ability to utilize dextrans, which allowed to produce beers with a high degree of attenuation (78.56 – 80.36% w/w) and ethanol content (5.6 – 5.79% v/v). It was also shown that the use of dark malts reduced the real and apparent degree of attenuation of the beers. In addition, the dark beers tested had higher TPC (20.62 – 123.96%) and antioxidant potentials FRAP (60.19 - 69.07%) and ABTS^{·+} (39.86 – 48.80%) than pale beers. It was shown that dark beer fermented with *S. cerevisiae* var. *diastaticus* SA had the highest TPC (547.56 mg GAE/L), as well as the highest total volatiles (TV; 134.33 - 143.08 mg/L) among the beers analyzed. The addition of dark malt did not affect TV in the beers, but it was responsible for changes in the total ester content and terpenes and terpenoids in some of the beers studied. The key differences in the volatile compound profile of beers fermented with different strains were due to the content of esters and higher alcohols. Higher alcohols were the dominant group of compounds in all analyzed beers (56.41 – 72.17%), followed by esters (14.58 – 20.82%), aldehydes (8.35 – 20.52%), terpenes and terpenoids (1.22- 6.57%) and ketones (0.42 – 1.00%). Among higher alcohols, 2-methylpropan-1-ol, 3-methylbutanol and phenylethyl alcohol were identified the most, among aldehydes - furfural, decanal and nonanal, and among esters - ethyl acetate, phenylethyl acetate and isoamyl acetate.

The presented series of research allows to confirm the potential of using dark malts in the production of beers with increased phenolic compounds and antioxidant activity. In addition, the results of the research also showed the potential of fermentation with different strains of top and bottom-fermenting brewing yeasts, including unconventional strains, as a method for shaping antioxidant capacity, as well as sensory characteristics of beers by affecting the profile of volatile compounds.