

VÝZKUM VYUŽITÍ AMARANTU V ZEMĚDĚLSKÝCH LIHOVARECH PŘI POUŽITÍ TECHNOLOGIE BEZTLAKÉHO UVOLNĚNÍ ŠKROBU

STUDIES OF APPLICATION OF AMARANTHUS GRAIN IN AGRICULTURAL DISTILLERIES USING PRESSURELESS LIBERATION OF STARCH (PLS) TECHNOLOGY

GRZEGORZ KŁOSOWSKI, BOGUSŁAW CZUPRYŃSKI, KATARZYNA KOTARSKA, MAŁGORZATA WOLSKA,
Institute of Biotechnology of the Agricultural and Food Industry,
str. Powstańców Wielkopolskich 17, 85-090 Bydgoszcz, Poland

Klíčová slova: alkoholové kvašení, tvorba vedlejších produktů, fermentace amarantu

Key words: alcoholic fermentation, by-products formation, fermentation of amaranthus grain

1 ÚVOD

Amarant (laskavec) patří do skupiny rostlin pěstovaných před 4000 lety na území dnešního Mexika a dalších jihoamerických zemí. Tento kříženec kukuřice a bobů byl hlavní pěstovanou plodinou říše Inků a Aztéků za dob objevení Ameriky. Jeho obilky byly používány k výrobě mouky pro přípravu pečiva a tortill. Mladé listy a výhonky byly konzumovány jako zelenina a koření [1].

První komplexní studie fyziologie pěstování, aklimatizace a využití amarantu, vydaná v Polsku Varšavskou zemědělskou univerzitou (katedra fyziologie rostlin) v roce 1983, prokázala, že amarant může být pěstován v různých půdních a klimatických regionech Polska. Amarant je schopen snadno se přizpůsobit podmínkám prostředí, kde je pěstován. Jako nejvhodnější se jevílo pěstování na lehkých a středně těžkých půdách, o něco horší na půdách těžkých. Amarant vyžaduje hodně světla, proto je vysoký výnos získán za podmínek dostatečně slunného počasí.

V polských podmínkách je možné dosáhnout výnosu okolo 3,5 t/ha. Navíc zelená masa amarantu může být použita jako krmení pro zvířata [2].

V USA a zemích EU je pěstování amarantu považováno za užitečný nástroj proti větrné erozi půdy a k pročištění země kontaminované nadměrným množstvím dusičnanů a těžkých kovů. Předpokládá se také, že amarant – díky jeho schopnosti velmi intenzivně vázat atmosférický CO_2 – může hrát významnou roli ve zmírnění skleníkového efektu, který ohrožuje svět na počátku 21. stol. [3, 4]. Předběžné laboratorní studie účinku přidavku amarantu na fermentaci lihovarských zápar byly v Polsku provedeny na Fakultě potravinářské technologie Varšavské zemědělské univerzity [5].

Z pohledu technologie zemědělského lihovarnictví (zejména výtěžku ethylalkoholu) je obsah zkrasitelných sacharidů, zejména škrobu, velmi podstatný. Jeho obsah dosahuje 48–69 % v závislosti na odrůdě amarantu. Zrna amarantového škrobu jsou velmi malá. Jejich průměr je 1–3 μm . Tak malé velikosti zrn škrobu dovolují využití v potravinářství, farmaceutickém a kosmetickém průmyslu apod. jako plnidlo, kosmetické a potravinářské pudry a prášky, škrob, biodegradovatelné plasty [6].

Velmi zajímavé výsledky přinesly studie účinku přidavku mouky z amarantu na vybrané znaky různých druhů pečiva a těst vyrobených ze žita a pšenice [7]. Byl zjištěn pozitivní vliv přidavku amarantové mouky na kynutí těsta (stupeň uvolnění CO_2). Přidání amarantu v množství 5 a 10 % urychlilo fermentaci (měřeno v množství uvolněného CO_2) glukosy, maltosy a sacharosy.

Základním a zajímavým problémem byla otázka, zda dojde k podobnému zvýšení intenzity kvašení při přidavku amarantu v průběhu fermentace škrobu s participací enzymatických preparátů mikrobiologického původu a droždí užívaného v zemědělských lihovarech.

Cílem naší studie bylo vyhodnocení technologické použitelnosti amarantu pro produkci lihu v zemědělských lihovarech a vyhodnocení kvality získaného lihu s ohledem na obsah vedlejších produktů alkoholového kvašení.

1 INTRODUCTION

Amaranthus belongs to the group of plants grown four thousands years ago on the territory of today's Mexico and other South American countries. Amaranthus – besides maize and bean – was the main grown plant in Inka's and Azteck's Empires in the times of America discoveries. Its grain was used for production of flour applied for baking the rolls and tortillas. The young leaves and shoots were consumed as vegetables or seasonings [1].

The first complex studies of the physiology of growing, acclimatisation and application of amaranthus carried out in Poland in 1983 by Warsaw Agricultural University (Chair of Physiology of Plants) proved that amaranthus could be grown in various soil and climatic regions of Poland. Amaranthus is able to readjust easily its character of growth to the environmental conditions. However, the most favourable growth was observed on the light and medium firm soils but considerably worse on heavy and packed ones. Amaranthus requires much light, thus high crops are obtained in conditions of a very good insolation.

It is possible to obtain crops amounting to about of 3.5 tons/ha of grain in Polish conditions. Additionally, the green mass of all the amaranthus forms can be used as a feed for animals [2].

In USA and EWG countries, the amaranthus growing is expected to be helpful against the weather erosion of soil and in purifying the soils contaminated by the excessive amounts of nitrates and heavy metals. Moreover, it is expected that amaranthus – because of its ability to bind atmospheric CO_2 very intensively – can play a significant role in mitigating the greenhouse effect that endangers the world in the beginning of XXI century [3,4]. The preliminary laboratory studies on the effect of Amaranthus addition on fermentation of distillery mash were carried out in Poland in Department of Food Biotechnology of Warsaw Agricultural University [5].

From the point of view of agricultural distillery technology (especially with respect to the yield of ethanol), the content of fermentable carbohydrates including mainly starch is a very substantial matter. Its content amounts from 48 % to 69 % depending on the amaranthus species. Grains of the amaranthus starch are very small, their diameters reach from 1 μm to 3 μm . So small sizes of starch grains allow to apply them in food, pharmaceutical and cosmetic industries e.g. as food thickeners, cosmetic and food powders, starch, biodegradable plastics [6].

The very interesting observations were made during the studies on the effect of amaranthus flour addition on the selected features of bakery products and dough made from rye and wheat [7]. The positive influence of amaranthus flour addition on dough fermentation (rate of CO_2 liberation) was observed. The addition of amaranthus in amount of 5 % and 10 % enhanced fermentation rate (measured as a quantity of CO_2 liberated) of glucose, maltose and saccharose.

An essential and interesting problem is the question whether the similar increase of the fermentation intensity will be observed during fermentation of starch with amaranthus addition as well as with participation of enzymatic preparations of microbiological origin and yeast applied in agricultural distilleries.

2 CHARAKTERISTIKA SUROVIN

K experimentu bylo použito zrno amarantu (*Amaranthus cruentus* L) a žito (*Dańkowskie złote*, Polsko). Obsah škrobu byl u amarantu 52,8 % v suš. a u žita 50,3 % v suš. Pro mletí zrna byl použit laboratorní diskový mlýn vyrobený Výzkumným závodem pečivářského průmyslu v Bydgoszczi. Poloměr zrn byl v rozsahu od 0,3 mm do 1,0 mm (síťová analýza).

Pro zakvašení byly použity sušené lihovarské kvasnice druhu D-2, vyšlechtěné na Institutu biotechnologie zemědělského a potravinářského průmyslu v Bydgoszczi a vyprodukované Kašubianskou droždárnou v Maszevo Lęborskie. Kmen kvasnic D-2 je tetraploidní kmen získaný použitím „alkoholického šoku“ [8]. Ke ztekucení škrobu byl použit enzym Thermamyl 120 L (termostabilní bakteriální α -amylasa aktivity 120 KNU¹/g), pro zcukření byl použit enzym SAN super 240 L (glukoamylasa, aktivita 240 AGU²/g, výrobce Novo-Nordisk, Dánsko).

¹) KNU – Kilo-*Novo*-alfa-amylase Unit je množství enzymu, které rozloží 5,26 g škrobu za hodinu, standardní metodou pro určení α -amylasy (Novozymes)

²) AGU – zkratka pro amyloglukosidasovou jednotku – množství enzymu, který katalyzuje konverzi 1 mmol maltosy za minutu za daných podmínek

3 METODY

3.1 Příprava zapárek pro fermentační testy

Pokusy byly provedeny v laboratorním měřítku (0,5 l lahve) technologií beztlakého uvolnění škrobu (PLS – Pressureless Liberation of Starch). Základní suroviny byly smíchány s vodou. Po zahřátí na 90 °C byl za nepřetržitého míchání přidán enzym ztekucující škrob – Thermamyl 120 L – v množství 0,14 l na 1 t škrobu. Zapárka byla udržována na této teplotě po 20 min (pH= 6,1–6,2). Poté byla ochlazena na 55 °C, hodnota pH byla snížena kyselinou sírovou na 5,4 a byl přidán zcukřující enzym SAN Super 120 L v množství 1 l na 1 t škrobu.

S cílem zredukování viskozity a dobrého využití neškrobových cukrů, jako β -glukanů, pentosanů a celulosy, byl přidán přípravek Viscozyme 120 L (aktivita: 100 FBG³/g Novo-Nordisk, Dánsko) v množství 0,2 l/t škrobu, a to společně se SAN Super 120 L.

Pro vzájemné porovnání byly připraveny tři různé varianty zapárky (tab. 1). První byla připravena výhradně z žitného zrna, druhá výhradně ze zrn amarantu a třetí žitná s přídavkem amarantového škrobu v množství 10 %. Váhové podíly

The aim of our studies was evaluation of the technological usability of amaranthus grains for the spirit production in agricultural distilleries as well as the evaluation of quality of the spirit obtained with respect to contaminations caused by by-products of alcoholic fermentation.

2 CHARACTERISTICS OF RAW MATERIALS

The amaranth (*Amaranthus cruentus* L) and the rye (*Dańkowskie Złote*, Polish) grains were applied for experiments. The amaranth and rye grains contained 52.8 % and 50.3 % (dry mass) of starch, respectively. The laboratory disk mill manufactured by Research Plants of Bakery Industry in Bydgoszcz was used for grinding the grains. The diameters of the ground grains were within the range from 0.3 mm to 1.0 mm (sieve analysis).

The dry distillery yeasts of D-2 race selected in Institute of Biotechnology for Agricultural and Food Industry in Bydgoszcz and produced by Kashubian Factory of Yeasts in Maszewo Lęborskie were applied for investigations. The strain of D-2 yeasts is a tetraploid strain obtained after application of „alcoholic shock“ [8].

The Thermamyl 120L enzyme (thermostable bacterial α -amylase, activity: 120 KNU¹/g) was used for liquefaction of starch and SAN Super 240L enzyme (glucoamylase, activity: 240 AGU²/g produced by Novo-Nordisk, Denmark) was applied for saccharification.

¹) KNU – One Kilo *Novo* alpha-amylase Unit is the amount of enzyme, which breaks down 5.26 g starch per hour at Novozymes standard method for determination of alpha-amylase.

²) AGU – is abbreviation for AmyloGlucosidase Units – 1 amyloglucosidase unit is the amount of enzyme which catalyses the conversion of 1 mmole of maltose per minute under the given conditions.

3 METHODS

3.1 Preparation of mashes for fermentation tests

The fermentation tests were carried out in a laboratory scale (0.5 L flasks) according to technology of pressureless liberation of starch (PLS). The ground raw materials were mixed with water. After heating to 90 °C, the enzyme liquefying the starch – Thermamyl 120L was added at continuous stirring in amount of 0.14 L per 1 ton of starch. The mash was kept at that temperature for about 20 min (pH = 6.1 – 6.2). Then the mash was cooled to temperature of 55 °C, pH value was reduced with sulphuric acid to 5.4 and saccharifying enzyme (SAN Super 120L) was added in amount of 1 L per 1 ton of starch.

The preparation Viscozyme 120L (activity: 100 FBG³/g Novo-Nordisk, Denmark) was added (0.2 L per 1 ton of starch) to the

Tab. 1/ Table 1 Složení a příprava zápary PLS metodou pro jednotlivé varianty fermentace/Composition and preparation of mashes by PLS method for the individual variants of fermentation

Varianta fermentace/ Variant of fermentation	Obsah suroviny v zápaře/ Content of raw materials in mash				Celk. množství škrobu/ Total amount of starch	Přídavek vody/ Addition of water [l]	Přídavek enzymů/ Addition of enzymes			Celkový extrakt/ Total extract [°Bg]	pH
	Žito/Rye		Amaranth				Termamyl 120 L	San Super 240 L	Viscozyme 120 L		
	Celk. množství/ Total amount	Obsah škrobu/ Starch content	Celk. množství/ Total amount	Obsah škrobu/ Starch content							
	[g]						[ml]				
Var. I žito/rye mash (100%)	1900	955,7	–	–	955,7	7,0	0,14	0,96	0,20	16,5	5,4
Var. II amaranth mash (100%)	–	–	1820	995,5	955,5	7,0	0,14	0,96	0,20	16,5	5,4
Variant III směsná zápara/ mixed mash (90% of rye + 10% of amaranth)	1728	869,18	165	86,63	955,8	7,0	0,14	0,96	0,20	16,5	5,4

Pozn./Note: Obsah škrobu v žitu/Content of starch in rye grain – 50.3 % (v sušině/dry mass)
Obsah škrobu v amarantu/Content of starch in amaranth grain – 52.5 % (v sušině/dry mass)

jednotlivých druhů surovin byly vybrány tak, že souhrnné množství škrobu v každé fermentační variantě bylo shodné. Podrobné složení zapárek, užitých v jednotlivých zkušebních variantách, je uvedeno v tab. 1. Hotové zapárky po inokulaci kvasničnou kulturou kvasily 72 hodin. Souhrnný objem každé zapárky (7,4 l) byl rozdělen do fermentačních vzorků v púllitrových lahvích (objem vzorku 0,3 l). Lahve byly uzavřeny kvasnými zátkami a uloženy v termostatech při 38 °C. Pro každou variantu byly připraveny 4 dávky a každý test byl opakován 4x. Část zapárky kvasila ve skleněných fermentorech o objemu 10 l.

V průběhu kvasných zkoušek v 0,5 lahvích byla provedena měření množství vzniklého CO₂ a obsahu alkoholu po 17, 24, 41, 48, 65 a 72 h. Poté, co byla fermentace ukončena, byl analyzován obsah redukujících cukrů metodou Lane-Eynon [9] a byla zjištěna hodnota pH. Množství uvolněného CO₂ bylo zjišťováno měřením váhového úbytku lahví s kvasnicí vzorky v udaných hodinách fermentace a po ukončení fermentace. Celkové množství uvolněného CO₂, použité pro výpočet fermentační energie v uvedených fázích, je vyjádřeno jako suma CO₂ uvolněného v průběhu celého fermentačního procesu.

³⁾ FBG – Fungal Beta-Glucanase Units – množství enzymů, které za standardních podmínek, shora uvedených, uvolní glukosu nebo redukující cukry, s redukční kapacitou rovnou 1 μmol glukosy/min

3.2 Příprava kvasničné suspenze

Sušené kvasnice v množství 1 g byly rehydratovány a dekontaminovány v 50 ml kyseliny sírové (1,84 g/ml) a smíchány s vodou v poměru 1:200. Získaný zázvask (pH okolo 2,0) byl míchán magnetickým míchadlem po 10 minut a poté byl přidán do zápary. Zázvaskná dávka: pro každý litr zápary byly použity sušené kvasinky kmene D-2 v množství 0,15 g (92 % sušiny).

3.3 Analýza destilátu

Zkvašená zápara byla destilována ve skleněné destilační koloně vybavené 25 dny kloboučkového typu. V průběhu destilace byla v deflegmátorech udržována konstantní teplota odpařování (80–85 °C), což nám umožnilo získat destilát obsahující od 89,5 do 92 % obj. ethanolu po jednofázové destilaci. V získaném destilátu byly zjištěny následující nečistoty: – methanol, vyšší alkoholy, akrolein, karbonylové sloučeniny – kapilární plynovou chromatografickou metodou [10, 11, 12], – acidita, estery – titračně [13]

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

Alkoholové kvašení vedené jak ve skleněných fermentorech (10 l), tak v lahvích (0,5 l), umístěných v termostatech, proběhla bez závad. Mikroskopické testy prokázaly nepřítomnost cizí bakteriální mikroflóry, což bylo potvrzeno správnou konečnou hodnotou pH v prokvašené zápare. Za zmínku stojí fakt, že prokvašená zápara připravená z amarantu (varianta č. II) byla charakterizována vyšší finální hodnotou pH ve srovnání s žitnou (var. I) a smíšenou (var. III) záparou. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2 a 3. Vyšší hodnota pH zápary z amarantu je pravděpodobně zapříčiněna různou mírou pufovacích vlastností složek. Tyto složky stabilizují hodnotu pH a předcházejí jejímu poklesu v průběhu fermentace.

Zjištěná hodnota pH okolo 4,7 je o 0,2–0,5 jednotky vyšší než hodnota získaná běžně v případě žitné a bramborové zápary.

Hodnoty zdánlivého extraktu (tab. 2) ukazují, že zápara připravená výhradně z amarantu byla lépe prokvašena a průměrná hodnota byla 1,0 °Bg. Prokvašení žitné a smíšené (žitno s přidávkou amarantu) zápary bylo horší o 0,2–0,3 °Bg. Po-

mash in the aim to reduce the viscosity and to make good use of non-starchy carbohydrates i.e. β-glucanes, pentosanes and cellulose. It was added together with SAN Super 120 L.

Three various mashes were prepared for comparison (Table 1). The first mash was prepared from rye grains exclusively, the second one from amaranth grains exclusively and the third one from the rye mash with addition of amaranth starch in amount of 10 %. The weighed portions of the individual raw materials were selected in such a manner that the total amount of starch in each fermentation variant was equal. The detailed compositions of mashes applied in the individual experimental variants are presented in Table 1. The ready mashes, after inoculation with yeast cream, were subjected to fermentation for 72 h. The total volume of each mash (7.4 L) was divided into fermentation samples in 0.5 L flasks (the mash volume – 0.3 L). The flasks were closed with a stopper equipped with fermentation pipe and put into thermostats at temperature of 38 °C. For each variant of experiments, four pitches were prepared and each test was repeated four times. A part of mash was subjected to fermentation in glass fermenters of 10 L volume.

The measurements of CO₂ mass increment and alcohol content after 17, 24, 41, 48, 65 and 72 h were made during fermentation tests carried out in flasks of 0.5 L volume. After fermentation had been finished the content of reducing saccharides was analysed by Lane – Eynon method [9] and pH value was measured. Liberated CO₂ was determined by measurement of weight decrement of fermentation flasks with fermenting mash in successive hours (mentioned above) of fermentation and after fermentation. Total amount of liberated CO₂ applied for calculation of fermentation energy in successive phases is expressed as a sum of CO₂ liberated during entire fermentation process.

³⁾ FBG – Fungal Beta-Glucanase Units. 1 FBG is the amount of enzyme which, under the standard conditions outlined above, releases glucose or reducing carbohydrate with a reduction capacity equivalent to 1 mole of glucose per minute.

3.2 Preparation of yeast cream

The dry yeasts in amount of 1 g were rehydrated and decontaminated in 50 mL of sulphuric acid (1.84 g/mL) and mixed with water in ratio 1 : 200. The obtained yeast cream (pH about 2.0) was stirred with a magnetic stirrer for 10 min and then it was added to mashes. Dry yeasts of D-2 race in the amount of 0.15 g (92 % dry substance) were used for each 1 L mash.

3.3 Analysis of distillate

The attenuated mashes were distilled in glass distillation assembly consisted of distillation glass column equipped with 25 overflow plates of bubble cap type. The constant temperature of vapours (from 80 °C to 85 °C) was kept in dephlegmator during distillation of mashes what allowed us to obtain distillate containing from 89.5 % to 92 % v/v of ethanol after one-pass distillation.

The following impurities were determined in the obtained alcoholic distillates:

- methanol, higher alcohols, acrolein, carbonyl compounds – by capillary gas chromatography method [10, 11, 12],
- acidity, esters – titrimetric method [13].

4 RESULTS AND DISCUSSION

The alcoholic fermentation carried out both in glass fermenters (10 L) and in flasks (0.5 L) placed in thermostats proceeded without disturbances. The microscopic testing showed no presence of foreign bacterial microflora what was confirmed by the right final pH value in attenuated mashes. It was worth noticing that attenuated mashes prepared from amaranth (variant II) were characterised by higher final pH in comparison with rye (variant I) and mixed (variant III) mashes. The

dobně skutečný extrakt v prokvašené zápaře amarantu byl o 0,2–0,4 °Bg nižší než v ostatních variantách a jeho průměrná hodnota byla 3,5 °Bg.

Obsah redukujících látek v prokvašené zápaře (fermentace v 0,5 l lahvích i fermentorech) byl na stejné úrovni pro všechny studované varianty, tj. v rozmezí od 0,21 do 0,24 % (tab. 2 a 3).

Nejvyšší koncentrace alkoholu v prokvašené zápaře byla získána pro variantu II (průměr od 8,57 do 8,58 % obj.), kde jedinou složkou byl amarant. Fermentační výtěžek ze 100 kg škrobu (měřeno jako množství abs. alkoholu – l ethanolu/100 kg škrobu) byl rovněž nejvyšší ve variantě II a pohyboval se v rozmezí od 66,38 do 66,44 l (tab. 2 a 3). Výsledky prokázaly, že škrob z amarantu byl při alkoholovém kvašení lépe využit než žitný škrob. Tyto rozdíly mohou být výsledkem rozdílné struktury škrobových řetězců a rozdílného procentuálního obsahu amylasy ve vztahu k amylopektinu. Tento rozdíl může vést k hlubší hydrolýze amarantového škrobu pod vlivem amylolytického působení, a tak ke vzniku menšího množství konečných produktů rozkladu škrobu, tj. limitovaných dextrinů.

Mírně nižšího (o 0,31 – 0,41 % obj.) fermentačního výnosu bylo dosaženo ve variantě III, tj. žitná zápara s 10% přídavkem amarantu. Přesto však množství 66,03–66,07 l ethanolu získaného v tomto případě bylo vyšší než ve variantě I (pouze žitný škrob). Přídavek amarantu (10 %) do žitné zápary zapříčinil lepší využití suroviny a zvýšení alkoholového výnosu ze 100 kg škrobu o 0,60–0,77 l. Pozorované zvýšení bylo prav-

Tab. 2/Table 2 Charakteristika pokusných zkvašených zápar (tři dny kvašení v 10 l fermentoru)/Characteristics of experimental attenuated mash (three days lasting fermentation in fermenters of 10 L) Sweet mash: 7,4 L 16,5-16,6 °Bg pH 5,4

Varianta fermentace/ Variant of fermentation	Zkvašená zápara/Fermented mash					
	pH	Zdánlivý extrakt/ Apparent extract [°Bg]	Skutečný extrakt/ Real extract [°Bg]	Redukující cukry/ Substances reducing directly [%]	Concentration of alcohol [% v/v]	Výtěžnost/ Yield of fermentation [L ethanol /100 kg of starch]
Var. I žitno/rye mash (100%)	4,1 4,3 4,2 4,2	1,4 1,3 1,2 1,3	4,0 3,9 3,8 3,9	0,29 0,28 0,27 0,28	8,43 8,45 8,46 8,45	65,29 65,45 65,53 65,45
průměr/average	4,2	1,3	3,9	0,28	8,45	65,43
Var. II amarant mash (100%)	4,8 4,6 4,7 4,8	1,1 1,0 1,0 0,9	3,6 3,3 3,4 3,6	0,24 0,23 0,24 0,24	8,57 8,58 8,58 8,58	66,38 66,46 66,46 66,46
průměr/average	4,7	1,0	3,5	0,24	8,58	66,44
Var. III směsná zápara/ mixed mash (90% of rye + 10% of amarant)	4,3 4,2 4,1 4,2	1,1 1,2 1,3 1,2	3,4 3,6 3,7 3,4	0,27 0,27 0,28 0,26	8,53 8,52 8,51 8,54	66,07 66,99 65,92 66,15
průměr/average	4,2	1,2	3,5	0,27	8,52	66,03

results are presented in Tables 2 and 3. The higher pH values of attenuated amaranth mash resulted probably from different buffer properties of components. These components have a stabilizing effect on pH value and prevent its drop during fermentation.

The observed pH value i.e. about 4.7 is higher by 0.2–0.5 of unit than those obtained usually in the case of rye and potato mashes.

The results obtained for apparent extract (Table 2) showed that the mashes prepared from amaranth

only were better attenuated and its mean value was 1.0 °Bg. The attenuation of rye and mixed (rye with amaranth addition) mashes was worse by about 0.2 – 0.3 °Bg. Similarly, the real extract in attenuated amaranth mash was by about 0.2–0.4 °Bg lower than in the other variants and its mean value was 3.5 °Bg.

The content of reducing substances in attenuated mashes (fermentation in flasks of 0.5 L and fermenters) was at the same level for all the variants studied i.e. within the range from 0.21 – 0.24 % (Table 2 and 3).

The highest final concentration of alcohol in attenuated mashes was obtained for variant II (average from 8.57 % to 8.58 % v/v) where the only component was amaranth. The yield of ethanol obtained from 100 kg of starch (measured as a quantity of absolute alcohol (L ethanol /100 kg of starch) was also the highest one in variant II and it was ranging from 66.38 to 66.44 L (Table 2 and 3). The results proved that amaranth starch was better utilized during alcoholic fermentation as compared with rye starch. The differences can

Tab. 3/Table 3 Hodnoty biotechnologických faktorů alkoholového kvašení pro jednotlivé pokusné varianty (průměr ze 4 měření)/Biotechnological factors of alcoholic fermentation for the individual experimental variants (mean values from 4 repetitions)

Varianta fermentace/ Variant of fermentation	Doba fermentace/Fermentation time [h]																		
	17			24			41			48			65			72			
	Concentration of alcohol [% v/v]	Productivity of fermentation	Yield of fermentation	Concentration of alcohol [% v/v]	Productivity of fermentation	Yield of fermentation	Concentration of alcohol [% v/v]	Productivity of fermentation	Yield of fermentation	Concentration of alcohol [% v/v]	Productivity of fermentation	Yield of fermentation	Concentration of alcohol [% v/v]	Productivity of fermentation	Yield of fermentation	Concentration of alcohol [% v/v]	Productivity of fermentation	Yield of fermentation	Directly reducing substances [%]
Var. I žito/rye mash (100%)	6,13	3,61	47,48	7,17	2,98	55,53	7,85	1,91	60,80	8,32	1,73	64,44	8,40	1,29	65,06	8,43	1,17	65,30	0,27
Var. II amaranth mash (100%)	6,48	3,81	50,19	7,12	2,96	55,15	7,92	1,93	61,35	8,39	1,75	64,99	8,49	1,31	65,76	8,57	1,19	66,38	0,21
Var. III směsná zápara/ mixed mash (90% of rye + 10% of amaranthus)	6,72	3,95	52,05	7,34	3,06	56,85	7,99	1,95	61,89	8,43	1,76	65,30	8,49	1,31	65,76	8,53	1,18	66,07	0,24

Pozn./Note: Hodnota pH po 72 h fermentace ve var. I a III – 4,2, ve var. II – 4,7/pH values after 72 h of fermentation: in variant I and III – 4.2 in variant II – 4.7

Produktivita fermentace [ml ethanolu .l⁻¹ . h⁻¹]/Productivity of fermentation [mL ethanol .L⁻¹ . h⁻¹]

Výtěžek fermentace [l ethanolu.100 kg⁻¹ škrobu]/Yield of fermentation [L ethanol.100 kg⁻¹ of starch]

Tab. 4/Table 4 Uvolněný CO₂ a energie fermentace/Increment of CO₂ and energy of fermentation

Varianta fermentace/ Variant of fermentation	Doba fermentace/Fermentation time [h]											
	17		24		41		48		65		72	
	Increment of CO ₂ [g/ 100 mL]	Energy of fermentation [%]	Increment of CO ₂ [g/ 100 mL]	Energy of fermentation [%]	Increment of CO ₂ [g/ 100 mL]	Energy of fermentation [%]	Increment of CO ₂ [g/ 100 mL]	Energy of fermentation [%]	Increment of CO ₂ [g/ 100 mL]	Energy of fermentation [%]	Increment of CO ₂ [g/100 mL]	Energy of fermentation [%]
Var. I žito/rye mash (100%)	4,76	72,77	5,56	85,07	6,09	93,16	6,46	98,76	6,52	99,74	6,54	100
Var. II amaranth mash (100%)	5,06	75,66	5,56	83,00	6,19	92,46	6,56	97,96	6,63	98,03	6,69	100
Var. III směsná zápara/ mixed mash (90% of rye + 10% of amaranth)	5,24	79,09	5,71	86,15	6,21	93,78	6,57	99,12	6,60	99,63	6,63	100

Energie fermentace je poměr množství CO₂ [%] uvolněného v jednotlivých fázích procesu k celkovému množství uvolněného CO₂/Energy of fermentation is a ratio of CO₂ amount (expressed in %) liberated in the individual phase of process to the total amount of CO₂ liberated during entire fermentation process.

děpodobně dáno pozitivním vlivem neškrobových komponent amarantového zrna na fermentační aktivitu kvasnicové mikroflóry.

Ve všech případech byla nejvyšší intenzita fermentace na počátku kvašení zjištěna pro variantu III, tj. pro žitnou záparu s 10% přídatkem amarantu. V této etapě byla nejvyšší produktivita fermentace získána po 17 h procesu, a to 9,95 ml ethanolu/1 l zápary v průběhu 1 h. Predominance tohoto parametru pro variantu III byla pozorována téměř až do konce fermentace po 72 h (tab. 3), nebyla však tak významná, jako na počátku kvašení.

V této variantě byl také fermentační výnos a koncentrace alkoholu v periodě do 48 h rovněž vyšší než v ostatních variantách. Výsledky byly potvrzeny určením přírůstku CO₂ a snížením energie fermentace. Výsledky jsou uvedeny v tab. 4. Nejvyšší přírůstek CO₂ a energie fermentace byly získány ve variantě III do 48 h kvašení.

Biotechnologické faktory (tab. 4) fermentace žitné zápary s 10% amarantovým přídatkem byly lepší než ty, které byly získány z čistě žitné či amarantové zápary. To jednoznačně ukazuje, že malý přírůstek amarantu (10%) – a zejména jeho neškrobové komponenty – má pozitivní vliv na fermentaci žitné zápary. Tento efekt byl pozorován zejména v průběhu rozkvašování a na začátku hlavního kvašení. Použití této varianty je vhodné z důvodu vyššího (o cca 1 l) množství alkoholu, získaného ze stejného množství škrobu.

Fermentace amarantové zápary ve srovnání s žitnou záparou byla charakterizována vyšší produktivitou, energií a výnosem fermentace, hlavně na počátku kvašení, tj. do 24 h. Poté však hodnoty shora uvedených faktorů byly téměř shodné, u amarantu pouze mírně lepší. Tento trend se udržoval po celou dobu fermentace, a důsledkem je vyšší množství alkoholu získané ze stejného množství škrobu.

Analýza vedlejších produktů kvašení pro jednotlivé experimentální varianty

Obsah vedlejších produktů s ohledem na složení zápary je v tab. 5. Získané destiláty byly charakterizovány podobnou průměrnou koncentrací ethanolu v rozmezí od 89,99 do 91,51 % obj.

Acidita všech destilátů – nezávisle na složení zápary – byla shodná, a to 0,01 g kyseliny octové / l ethanolu.

Podobně obsah esterů se u jednotlivých variant lišil jen nevýznamně, a dosahoval hodnot od 0,21 do 0,23 g ethylacetátu / l ethanolu.

Rozdíly v obsahu karbonylových složek včetně akroleinu

result from various structures of starch chains and from various percentage content of amylase in relation to amylopectin. The difference can lead to deeper hydrolysis of amaranth starch under the influence of amylolytic preparations and thus to formation of smaller quantity of the final starch decomposition products i.e. limiting dextrines.

A slightly lower (by about 0.31 – 0.41 % v/v) fermentation yield was obtained in variant III i.e. for rye mash with addition of amaranth in amount of 10 %. However, the yield of 66.03 – 66.07 L ethanol obtained in this case was higher than that in variant I (rye starch only). Addition of amaranth (10 %) to the rye mash caused better utilization of a raw material and the increase of alcohol yield from 100 kg of starch by about 0.60 – 0.77 L. The observed increase was probably caused by the positive influence of non-starchy components of amaranth grain on the fermentative activity of yeast microflora.

During each process of alcoholic fermentation, the highest intensity of fermentation in the preliminary fermentation phase was found for variant III, i.e. for rye mash with amaranth addition (10 %). In this stage, the highest productivity of fermentation was obtained after 17 h of process, it was 9.95 mL of ethanol per 1 L of mash during 1 h. The predomination of this parameter for variant III was observed almost till the end of fermentation after 72 h (Table 3), however it was not as significant as in preliminary fermentation.

In this variant, the fermentation yield and alcohol concentration in the period till 48 h of fermentation was also higher than in the other variants. The results were confirmed by determination of CO₂ increment and decreased energy of fermentation. The results are given in Table 4. Both the highest CO₂ increment and the energy of fermentation were obtained in variant III up till 48 h of fermentation.

The biotechnological factors (Table 4) for fermentation of rye mash with amaranth addition (10 %) were better than those obtained for rye and amaranth mashes. It shows univocally that a small addition of amaranth grains (10 %) – mainly its non-starchy components – has a positive effect on fermentation of rye mash. This effect was observed particularly during preliminary fermentation phase and at the beginning of main fermentation. Application of this variant is recommended because of the higher (by about 1 L) yield of alcohol obtained from the same quantity of starch.

Fermentation of amaranth mash was characterized by the higher productivity, energy and yield of fermentation mainly at the beginning i.e. till 24 h in comparison with rye mash. Then, the values of the factors mentioned above became almost equal with the slight advantage towards amaranth mash. Such

Tab. 5/Table 5 Obsah vedlejších produktů alkoholového kvašení v destilátech pro jednotlivé pokusné varianty/Composition of by-products of alcoholic fermentation in distillates for individual experimental variants

Varianta (složení suroviny)/ Experimental variant (composition of raw material)	Koncentrace ethanolu/ Ethanol concentration [% v/v]	Kyselost/ Acidity jako/as acetic acid	Estery/ Esters jako/as ethylacetate	Karbonylové sloučeniny/ Carbonyl compounds	Akrolein/ Acrolein	Methanol/ Methanol	Vyšší alkoholy/Higher alcohol [g/L ethanol]				
							n-propanol	isobutanol	n-butanol	amyl alcohols	Σ
Var. I žitno/rye mash (100%)	90,42	0,01	0,22	0,096	8,510 ⁻⁴	0,06	0,522	1,683	0,0064	2,500	4,713
Var. II amaranth mash (100%)	90,58	0,01	0,21	0,090	9,210 ⁻⁴	0,52	0,841	1,416	0,0232	2,463	4,744
Var. III směsná zápara/ mixed mash (90% of rye + 10% of amaranth)	89,99	0,01	0,22	0,090	4,510 ⁻⁴	0,10	0,415	1,101	0,0047	1,950	3,472

byly v případě žitného a amarantového lihu rovněž nevýznamné (tab. 5). Průměrná konečná hodnota obsahu aldehydů a akroleinu v žitném lihu byla 0,096 g/l resp. 8,5.10⁻⁴ g/l ethanolu. Amarantový líh obsahoval 0,090 g/l aldehydů a 9,2.10⁻⁴ g/l akroleinu. Rovněž ve variantě II byl obsah karbonylových látek podobný, tj. 0,090 g/l, avšak obsah akroleinu byl více než dvakrát nižší než v ostatních experimentálních variantách. Dobrzańska, Haberova et al [14] získaly značně vyšší množství aldehydů v lihu připraveném z amarantové zápy – amarantový ethanol obsahoval 5x více aldehydů než žitný ethanol a 7x víc než pšeničný ethanol.

Obsah methanolu v lihu vyprodukovaném z amarantu byl 9x vyšší než v žitném lihu (tab. 5).

Obsah methanolu ve variantě III se zvýšil ve srovnání s žitným lihem o 100 %.

Získané výsledky nás opravňují k výroku, že v lihu vyrobeném z amarantového zrna může být očekávána mnohem vyšší koncentrace methanolu ve srovnání s žitným lihem. Měli bychom zdůraznit, že obsah methanolu v amarantovém lihu za podmínek naší studie (0,52 g/l) byl nejbližší k limitu povolenému polskou normou PN – 90 /A – 79523, tj. 0,8 g/l ethanolu.

Průměrný obsah vyšších alkoholů v lihu vyrobeném z amarantu byl téměř identický s jejich obsahem v žitné zápy (cca 4,7 g/l ethanolu). Významný pokles obsahu vyšších alkoholů se projevil v případě, kdy byl do zápy přidán amarant (obsah přibudlinového oleje – 3,472 g/l). Zastoupení jednotlivých vyšších alkoholů, kromě 1-butanolu, bylo přibližné a nezávislé na složení surovin.

Obsah 1-butanolu v amarantovém lihu byl 4x vyšší než v žitném a smíšeném lihu. Rozdíly jsou uvedeny v tab. 5.

5 ZÁVĚRY

1. Amarantový škrob může být v průběhu alkoholové fermentace ve srovnání s žitným škrobem lépe využit, důsledkem je vyšší výtěžnost ethanolu, a to o 1 l na 100 kg škrobu.
2. Přidání amarantových zrn do žitné zápy v množství 10 % zvýší fermentační výtěžnost o 0,6–0,7 l ethanolu ze 100 kg žitného škrobu. Současně se významně zvýší produktivita a energie fermentace – zejména v její počáteční fázi, tj. od 24 do 41 h – a to jako důsledek kladného vlivu amarantových neškrobnatých součástí.
3. Hodnota pH prokvašené zápy připravené z amarantového zrna je vyšší než v případě žitné zápy, a její střední hodnota je okolo 4,7.
4. Líh získaný z amarantového zrna je charakteristický 9x vyšším obsahem methanolu a zhruba 4x vyšším obsahem 1-butanolu ve srovnání s žitným lihem.
5. Amarantové zrno je vhodné ke zpracování na destilát v zemědělských lihovarech používajících metodu beztlakového uvolnění škrobu.

a trend was kept at a constant level till the fermentation was finished what resulted in higher yield of alcohol obtained from the same quantity of starch.

Analysis of alcoholic fermentation by-products for individual experimental variants

The content of by-products with respect to the mash composition is presented in Table 5. The distillates obtained were characterized by the similar mean concentration of ethanol in distillate ranging from 89.99 to 91.51 % v/v.

The acidity of all the spirits – independently of the mash composition – was equal to 0.01 g acetic acid/L of ethanol.

Similarly, the ester contents was insignificantly different for each variant and its value was within the range from 0.21 to 0.23 g ethyl acetate/L of ethanol.

The differences in the contents of carbonyl compounds including acrolein were also insignificant in the case of rye and amaranth spirit (Table 5). The mean total contents of aldehydes and acrolein in rye spirit was 0.096 g/L and 8.510⁻⁴ g/L of ethanol, respectively. However, it was similar in amaranth spirit and was equal to 0.090 g/L of aldehydes and 9.210⁻⁴ g/L of acroleine. Also in variant II, the contents of carbonyl compounds was similar i.e. 0.090 g/L, however the content of acrolein was as much as two times lower than in other experimental variants. Dobrzańska, Haberowa et al [14] obtained considerably higher amounts of aldehydes in the spirit prepared from amaranth mashes i.e. amaranth ethanol contained 5 times more aldehydes than rye ethanol and 7 times more than wheat ethanol.

The content of methanol in the spirit produced from amaranth was nine times higher than in the rye spirit (Table 5).

The content of methanol increased by about 100 % in variant III in comparison to the rye spirit.

The results obtained allowed us to state that much higher concentration of methanol can be expected in spirit produced from amaranth grain as compared with rye spirit. It should be emphasized that the content of methanol in amaranth spirit (0,52 g/L) was the most close to the limit permissible by Polish Standard PN-90/A-79523, i.e. 0.8 g/L of ethanol, under the conditions of our studies.

The mean content of all higher alcohols in the spirit produced from amaranth was almost identical to their content in the rye mash (about 4.7 g/L of ethanol). The significant decrease of higher alcohols was observed in the case when amaranth was added to the mash (content of fusel oil – 3.472 g/L). The quantitative composition of the individual higher alcohols, except of 1-butanol, was approximate and independent of the raw material composition.

The content of 1-butanol in amaranth spirit was four times higher than that in rye and mixed spirits. The differences are presented in Table 5.

Literatura/References

- [1] Piesiewicz, H., Ambroziak, Z.: *Amaranthus – aspekty żywieniowe*. Dodatek do przemysłu piekarskiego i cukierniczego, Nr 6, 1995.
- [2] Roszewski, R.: *Technologia uprawy: Nowe rośliny uprawne – Amaranthus*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1995 (in Polish), p. 37–52.
- [3] Nalborczyk, E.: *Biologia amaranthusu oraz perspektywy jego uprawy i wykorzystania w Polsce*, in *Nowe rośliny uprawne – Amaranthus*. Wyd. SGGW, Warszawa 1995, p. 8–28.
- [4] Sala, M., Barardi, S., Bondioli, P.: *Amaranth seed: the potentialities*. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse* 1998, **75** (11), 503–506, 10 ref.
- [5] Dobrzeńska A., Haberowa H., Sobczak E.: *Effect of Amaranthus addition on fermentation of distillery mash* (English abstract). *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.* **40**, 1996, (2), p.12–13.
- [6] Singhal, R. S., Kulkarni, P. R.: *Studies on applicability of Amaranthus paniculatus (Rajgeera) starch for custard preparation*. *Starch/Stärke* **42**, 1990 (3), p.102–103.
- [7] Haber, T., Haberowa, H., Karpińska, J.: *Wpływ dodatku mąki z nasion amaranthusu na wybrane cechy ciasta i pieczywa pszennego i żytniego* (in Polish). *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*, 1995 (6), p. 6–7.
- [8] Czupryński, B., Kłosowski, G.: *Wpływ rasy drożdży i enzymów na jakość żytniego spirytusu surowego i wywaru*. *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.* **38**, 1994 (10), p. 16–20.
- [9] Dudzawski, J., Drabent, Z.: *Metody analizy żywności*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1972, p. 286.
- [10] Kłosowski, G., Czupryński, B.: *Oznaczanie 2-propenal w spirytusach przy zastosowaniu chromatografii gazowej z wykorzystaniem metody „pulsed-split”*. *Materiały XXIX Sesji Naukowej KTICH PAN*, Olsztyn, 1998, p. 496–497.
- [11] Kłosowski, G., Czupryński, B., Kotarska K.: *Monitoring of sugar substrates utilization by D-2 and As-4 yeast and kinetics of by-products formation during alcoholic fermentation of rye and corn mashes*. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **10/51**, 2001 (2), p. 19–24.
- [12] Kłosowski, G., Czupryński, B., Kotarska, K.: *Application of*

5 CONCLUSIONS

1. The amaranth starch can be better utilized during alcoholic fermentation in comparison with the rye starch what results in higher yield by about 1 L of ethanol obtained from 100 kg of starch.
2. Addition of amaranth grain to the rye mash in amount of 10% increased the fermentation yield by about 0.6 – 0.7 L from 100 kg of rye starch. Simultaneously, the significant increase of productivity and energy of fermentation – mainly in its initial phase i.e. from 24 till 41 h – was obtained as a result of advantageous influence of amaranth non-starchy components in this variant.
3. The pH value of attenuated mashes prepared from amaranth grain is higher than that of rye mashes and its mean value is about 4.7.
4. The spirit obtained from amaranth grain is characterized by 9 times higher content of methanol and about 4 times higher content of butanol as compared with the rye spirit.
5. The amaranth grain is suitable for production of distillate in agricultural distilleries applying method of pressureless liberation of starch.

capillary gas chromatography for the complex analysis of by-products in high vines. XLIV Zjazd Naukowy PTCh i SITPCh, Katowice, Czasopismo Zjazdowe, S-15, A-7, 2001.

- [13] Pluszyski E., Bagdach J.: *Metody badania żywności*, WPLiS, Warszawa, 1967, p.749–754.
- [14] Dobrzeńska A., Haberowa, H., Sobczak, E.: *Comparison of the quality of raw spirit from rye, triticale and Amaranthus* (English abstract). *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.* **40**, 1996 (3), p. 12–13.

Lektorował prof. Ing. Mojmír Rychtera, CSc.

Do redakcji došlo 15. 11. 2001

Kłosowski, G. – Czupryński, B. – Kotarska, K. – Wolska, M.: *Výzkum využití amarantu v zemědělských lihovarech při použití technologie beztlakého uvolnění škrobu*. *Kvasny Prum.* **48**, 2002, č. 11–12, s. 302–308.

Pokusy zkoumající vhodnost zrn amarantu pro výrobu lihu potvrdily, že se jedná o surovinu vhodnou pro zemědělské lihovary, obzvláště pro technologii beztlakého uvolňování škrobu. Zrna amarantu lze snadno rozemlít. Ukázalo se, že aplikací technologie beztlakého uvolňování škrobu (tj. bez působení tlaku a tepla na surovinu) lze dosáhnout zvýšení výtěžnosti kolem 2,7 l na 100 kg amarantového škrobu (1,4 l ethanolu ze 100 kg suroviny).

Přidavek 10 % amarantu do žitné záparý zvýšil výtěžnost ethanolu o cca 0,6–0,7 l ze 100 kg žitného škrobu. Zároveň vliv neškrobových komponent amarantu způsobuje vyšší růst produktivity a energie fermentace měřené množstvím uvolněného CO₂, zejména ve fázi zakvašení a na počátku hlavního kvašení.

pH zkvašených amarantových zápar bylo vyšší než u žitných, a pohybovalo se okolo 4,7.

Alkohol získaný z amarantu v průběhu pokusů byl v porovnání s žitným charakteristicky devětkrát vyšším obsahem methanolu a cca čtyřnásobně vyšším obsahem 1-butanolu, obsah dalších vedlejších produktů byl srovnatelný. Množství methanolu a 1-butanolu v získaném surovém destilátu nedosahovalo limitů povolených polskou normou.

Kłosowski, G. – Czupryński, B. – Kotarska, K. – Wolska, M.: *Studies on Application of Amaranthus Grain in Agricultural Distilleries Using Pressureless Liberation Of Starch (Pls) Technology*. *Kvasny Prum* **48**, 2002, No. 11–12, p. 302–308.

The studies on the usability of amaranth grains for the spirit production allow us to state that it is a suitable raw material for agricultural distilleries, especially for technology of pressureless liberation of starch. The amaranth grains can be easily ground on buhrstone mills. It was found that application of PLS method (i.e. without pressure and thermal treatment of raw material) resulted in higher yield by about 2.7 L per 100 kg of amaranth starch (1.4 L of ethanol from 100 kg of raw material).

Addition of amaranth (10%) to rye mashes resulted in higher yield of fermentation by about 0.6 to 0.7 L obtained from 100 kg of rye starch. Simultaneously, the influence of non-starchy components of amaranth caused higher increase of productivity and energy of fermentation measured as an amount of liberated CO₂, especially during preliminary fermentation phase and at the beginning of main fermentation.

It was found that pH of attenuated amaranth mashes was higher than that of rye mash it was around pH 4.7.

The spirit obtained from amaranth was characterized by nine times higher content of methanol and four times higher content of 1-butanol as compared with rye spirit; content of other by-products was at the same level. The amount of methanol and 1-butanol in the obtained distillate was below the limits permitted by Polish Standard.

Kłosowski, G. – Czupryński, B. – Kotarska, K. – Wolska, M.: *Versuche mit der Verarbeitung des Amarants in landwirtschaftlichen Spiritusbrennereien bei Applikation der Technologie der drucklosen Stärkfreisetzung*. *Kvasny Prum.*, **48**, 2002 Nr. 11–12, S. 302–308.

Die Versuche zur Ermittlung der Eignung des Amarantkorns zur Spiritusfabrikation bestätigten, dass es sich um einen für landwirtschaftliche Brennerien, insb. für die Technologie der drucklosen Stärkfreisetzung geeigneten Rohstoff handelt. Die Amarantkörner können problemlos verkleinert werden. Es zeigte sich, dass bei der Applikation der Technologie des drucklosen Stärkfreisetzens (ohne Einwirkung von Druck und Temperatur auf den Rohstoff) eine höhere Ausbeute cca 2,7 l pro 100 kg Amarantstärke (1,4 l Äthanol aus 100 kg Rohstoff) erzielt werden kann.

Durch Zugabe von 10 % Amarants in die Roggenmaische erhöhte sich die Äthanolausbeute um cca 0,6–0,7 l aus 100 kg Roggenstärke. Zugleich verursacht der Einfluss der nichtstärkehaltigen Komponenten des Amarants eine Erhöhung der Produktivität und Energie der Fermentation, gemessen durch die Menge des freigesetzten CO₂, vor allem in der Phase der Angärung und zu Beginn der Hauptgärung.

Das pH der vergärten Amarantmaischen lag höher als bei den Roggenmaisichen und bewegte sich um 4,7.

Der aus Amarant im Verlauf der Versuche gewonnene Alkohol war im Vergleich mit dem Roggenalkohol durch einen neunmal höheren Methanolgehalt und einen cca viermal höheren Gehalt an 1-Butylalkohol gekennzeichnet. Der Gehalt weiterer Nebenprodukte war vergleichbar. Die Menge des Methanols und des 1-Butylalkohols in dem gewonnenen Rohdestillat erreichte nicht die durch die polnische Norm genehmigte Limite.

Клосовски, Г. – Цзупрынски, Б. – Котарска, К. – Волска, М.: *Исследование возможности использования амаранта в сельскохозяйственных спиртовых заводах с использованием технологии безнапорного выделения крахмала*. *Kvasny Prum.* **48**, 2002, No. 11–12, стр. 302–308.

Исследования направленные на вопрос, подходит ли амарант (*Amaranthus sp.*) для производства спирта, подтвердили, что амарант является растением, подходящим для сельскохозяйственных спиртовых заводов, особенно для технологии безнапорного выделения крахмала. Зерна амаранта можно нетрудно измельчать. Было выявлено, что применением технологии безнапорного выделения крахмала (т.е. без влияния давления и температуры на сырьё) можно достичь повышения выхода крахмала около 2,7 л/100 кг амарантового крахмала (1,4 л этилового спирта/100 кг сырья).

Добавление 10 процентов амаранта в ржаной затвор повысил выход этилового спирта приблизительно на 0,6–0,7 л из 100 кг ржаного крахмала. Одновременно влияние некрахмалистых компонентов амаранта вызывает более высокий рост производительности и энергии ферментации, измеряемой количеством выделенного CO₂, особенно в течение заквашивания и в начале главного брожения.

pH сброженных амарантовых затворов было выше, чем у ржаных затворов, представляло приблизительно 4,7.

Спирт полученный из амаранта в течение исследований обладал по сравнению с ржаным в девять раз более высоким содержанием метилового спирта и приблизительно в четыре раза более высоким содержанием 1-бутанола. Содержание других посторонних продуктов было сравнимым. Количество метилового спирта и 1-бутанола в полученном погоне не достигло пределов допустимых польским стандартом.