

MIODRAG L. LAZIĆ
SUZANA RAŠKOVIĆ
MIHAJLO STANKOVIĆ
VLADA B. VELJKOVIĆ

Tehnološki fakultet, Leskovac,
Srbija i Crna Gora

NAUČNI RAD

66.094.941+664.22+663.142/
.143:547.262

ENZIMSKA HIDROLIZA SKROBA KROMPIRA I DOBIJANJE ETANOLA

U radu su proučavane hidroliza skroba krtole krompira, koje su prethodno pripremljene u obliku kaše ili brašna, pomoću jednog (Termamyl ili Fungamyl) i kombinacije dva (Termamyl i Supersan) enzimska preparata i alkoholna fermentacija hidrolizata skroba pomoću kvasca *Saccharomyces cerevisiae*. Pažnja je fokusirana na uticaj hidromodula, početne koncentracije skroba, veličine čestica krompirovog brašna i vrste i koncentracije enzima na kinetiku enzimske hidrolize skroba krompira. Najveći dekstrozni ekvivalent (79,3%) je ostvaren dvoenzimskom (kombinacija preparata Termamyl i Supersan) hidrolizom krompirovog brašna, čija su čestice u opsegu 0,1–0,2 mm, pri početnoj koncentraciji skroba 75 g/dm³. Fermentacijom ovog hidrolizata postiže se najveća koncentracija etanola (5,0% vol.).

Novije tendencije u primeni skrobnih sirovina, uglavnom žitarica, vezane su za globalnu energetska krizu i usmerene na proizvodnju etanola kao alternativnog energenta. Prednost ovako dobijenog etanola u odnosu na druga tečna goriva je u tome što se dobija iz obnovljive sirovine [1]. Početna faza u postupku dobijanja etanola je hidroliza skrobne sirovine, koja se izvodi rastvorima kiselina ili specifičnim enzimima. Osnovne prednosti enzimske hidrolize skroba u odnosu na kiselinu ogledaju se u potpunijoj razgradnji skroba i manjoj zastupljenosti neglukoznih nečistoća [2], čime se u velikoj meri pojednostavljaju kasnije faze procesa i poboljšava randman dobijenih proizvoda.

Etanol se može dobiti fermentacijom iz velikog broja sirovina, koje se mogu prethodno pripremiti na pogodan način. Pored žitarica (pšenica i kukuruz), koje su do sada najčešće korišćene kao skrobne sirovine, značajno mesto, s obzirom na svoju rasprostranjenost i prinos, zauzima krompir [3,4]. Upotreba krompira (*Solanum tuberosum* L.) za dobijanje etanola je opravdana u slučaju postojanja značajnih količina otpadnog materijala pri preradi krompira ili u oblastima sa velikim tržišnim viškovima krompira, zbog relativno visoke cene, neekonomičnog transporta i sezonskog rada postrojenja [5]. Upotreba krompira kao izvora skroba je rezultat i lakog izdvajanja skroba iz krtola [6].

U radu je izvršeno ispitivanje enzimske hidrolize skroba krtole krompira komercijalnim enzimskim preparatima i alkoholna fermentacija dobijenih hidrolizata. Posebna pažnja je poklonjena uticaju načina pripreme sirovine (krompirovo brašno ili kaša), hidromodula, početne koncentracije skroba, veličine čestica krompirovog brašna, kao i vrste i koncentracije enzima na enzimsku hidrolizu skroba krtole krompira i alkoholnu fermentaciju

dobijenih hidrolizata. Sprovedena ispitivanja izvršena su u cilju definisanja uslova hidrolize u kojima se dobija hidrolizat koji daje najveći prinos etanola u odnosu na polaznu sirovinu.

MATERIJAL I METODE

Skrobna sirovina

Ispitivanja su vršena sa krompirom sotre Jerla (berba: 1998. godina; poreklo: selo Priboj kod Leskovca), sa sadržajem skroba 14,1%. Krtole krompira su oprane vodom, oljuštene i iseckane na rezance, koji su dalje prerađeni u brašno ili kašu. Da bi se dobilo krompirovo brašno, rezanci su sušeni toplim vazduhom (40°C), mleveni i sejani kroz standardna sita sa otvorima 0,1, 0,2 i 0,4 mm. Sadržaj skroba u krompirovom brašnu iznosio je 68%. Za pripremu kaše, rezanci su mleveni pomoću mašine za mlevenje mesa, kaša držana oko jedan sat na –18°C i zamrznuta kaša još jednom mlevena.

Enzimi

Enzimska hidroliza izvođena je sa komercijalnim enzimskim preparatima (Novo Nordisk A/S, Danska):

1) Tečni preparat Termamyl 120L bakterijske, termostabilne, α -amilaze dobijene pomoću genetski modifikovanog soja *Bacillus licheniformis*, aktivnosti 120 KNU/g; optimalna temperatura i pH: 95°C i 5,6.

2) Čvrsti preparat Fungamyl 1600S gljivične α -amilaze dobijene pomoću *Aspergillus oryzae*, aktivnosti 1600 FAU/g; optimalna temperatura i pH: 55°C i 5,5.

3) Tečni preparat Supersan 240L glukoamilaze dobijene pomoću *Aspergillus niger*, aktivnosti 240 AGU/g; optimalna temperatura i pH: 55°C i 4,5.

Enzimska hidroliza

Efikasnost enzimske hidrolize skroba je izražavana pomoću stepena hidrolize skroba, odnosno dekstroznog ekvivalenta (DE).

Adresa autora: Tehnološki fakultet, Bulevar oslobođenja 124,
Leskovac, Srbija i Crna Gora
E-mail: lmiodrag@yahoo.com
Rad primljen: Jun 16, 2004
Rad prihvaćen: Avgust 31, 2004

Enzimska hidroliza skroba krompirovog brašna

Hidroliza pomoću preparata Termamyl: U zagrejanu smešu acetatnog pufera (pH 5,6; 650 cm³), rastvora kalcijum-nitrata (0,0043 mol/dm³, 120 cm³) i preparata Termamyl (razblaženje 1000, 120 cm³) doda se krompirovo brašno (110 g) i smeša drži u termostatiranom vodenom kupatilu na 95°C. Ukupna zapremina reakcione smeše je 1000 cm³.

Dvoenzimska hidroliza: Posle 150 minuta hidrolize na 95°C pomoću preparata Termamyl, reakciona smeša se brzo ohladi do 55°C, podese pH na 4,5 i doda preparat Supersan (razblaženje 100, 12 cm³).

Hidroliza pomoću preparata Fungamyl: U smešu acetatnog pufera (78 cm³) i preparata Fungamyl (razblaženje 1000, 12 cm³) doda se krompirovo brašno (10 g), a zatim se reakciona smeša drži u termostatiranom vodenom kupatilu na 55°C. Ukupna zapremina reakcione smeše je 100 cm³.

Enzimska hidroliza skroba krompirove kaše

Hidroliza pomoću preparata Termamyl: U smešu acetatnog pufera (pH 5,6, 760 cm³), rastvora kalcijum-nitrata (0,0043 mol/dm³, 120 cm³) i preparata Termamyl (razblaženje 500, 120 cm³), doda se krompirova kaša (1000 g); ukupna zapremina reakcione smeše je 2000 cm³, a hidromodul 1:1. Smeša se zagreva nekoliko minuta uz mešanje, a zatim prebaci u vodeno kupatilo na 95°C. Hidroliza pri hidromodulu 1:0,5 vršena je pri istoj koncentraciji enzima i kalcijum(II)-nitrata, ali je ukupna zapremina reakcione smeše 1500 cm³.

Dvoenzimska hidroliza: Izvođena je na isti način kao i u slučaju krompirovog brašna.

Hidroliza pomoću preparata Fungamyl: U krompirovu kašu (1000 g) dodaju se acetatni pufera (pH 5,5, 400 cm³) i preparat Fungamyl (razblaženje 1000, 600 cm³). Zatim se reakciona smeša prenese u vodeno kupatilo na 55°C. Ukupna zapremina reakcione smeše je 2000 cm³ (hidromodul 1:1).

Alkoholna fermentacija hidrolizata skroba krompira

Kao hranljiva podloga korišćeni su hidrolizati dobijeni jednoenzimskom (Termamyl: 14,4 KNU/dm³) i dvoenzimskom (Termamyl: 14,4 KNU/dm³ i Supersan: 28,8 AGU/dm³) hidrolizom skroba krompirovog brašna (veličina čestica: 0,1–0,2 mm; početna koncentracija skroba: 75 g/dm³) ili krompirove kaše (početna koncentracija skroba: 70 g/dm³). Hidrolizatu skorba, koji je ohlađen na 30°C, dodaju se NH₄H₂PO₄ (4 g/dm³) i (NH₄)₂SO₄ (2,5 g/dm³). Zatim se pH podloge podese na 4,0 dodatkom rastvora HCl. Podloga se zasejava hlebnim kvascem *S. cerevisiae* (2 g/1000 cm³). Fermentacija se izvodi na 30°C, bez mešanja.

Analitičke metode

Vlaga

Sadržaj vlage je određivan sušenjem rezanaca krtola krompira na 105°C do konstantne mase.

Skrob i redukujući šećeri (glukoza)

Sadržaj skroba je određivan modifikovanom metodom po Grossfeldu [7] posle potpune hidrolize skroba hlorovodoničnom kiselinom (2 mol/dm³). Koncentracija nastale glukoze je određivana spektrofotometrijski, posle bojene reakcije sa pikrinskom kiselinom [8]. Između koncentracije redukujućih šećera (glukoze) u hidrolizatu (C_g, g/dm³) i koncentracije "čistog" skroba (C_s, g/dm³) utvrđena je sledeća zavisnost:

$$C_g = 1,09C \quad (1)$$

Konstanta proporcionalnosti u jednačini (1) je manja od teorijske vrednosti 1,11 a veća od ranije objavljene vrednosti 1,07 [9].

Etanol

Koncentracija etanola je određivana na osnovu gustine alkoholnog redestilata na 20°C.

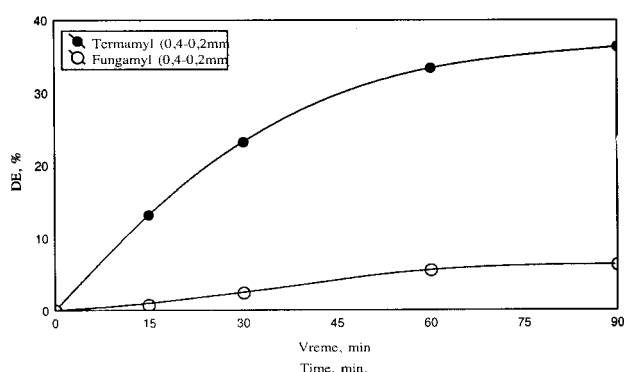
REZULTATI I DISKUSIJA

Enzimska hidroliza skroba krompirovog brašna

Stepen hidrolize skroba krompirovog brašna, odnosno DE zavisi od vrste i koncentracije enzima, veličine čestica i početne koncentracije skroba.

U cilju izbora enzimskog preparata, hidroliza skroba krompirovog brašna je izvođena pomoću dva preparata: Termamyl (koncentracija enzima: 14,4 KNU/dm³) i Fungamyl (koncentracija enzima: 160 FAU/dm³). Na slici 1 prikazane su promene DE u toku hidrolize skroba krompirovog brašna pomoću Termamyla i Fungamyla. Hidrolizom skroba pomoću bakterijske α-amilaze ostvaruje se skoro šest puta veći DE nego gljivičnom α-amilazom. Zbog veće hidrolitičke efikasnosti bakterijske α-amilaze, preparat Termamyl je korišćen u daljim istraživanjima.

Kao što se očekivalo, sa povećanjem početne koncentracije enzima (Termamyl) povećava se početna brzina



Slika 1. Kinetika hidrolize skroba krompirovog brašna, pomoću enzimskih preparata: Termamyl (14,4 KNU/dm³) i Fungamyl (160 FAU/dm³)

Figure 1. Kinetics of the hydrolysis of starch from potato flour using commercial enzyme preparations: Termamyl (14,4 KNU/dm³) and Fungamyl (160 FAU/dm³)

Tabela 1. Početna brzina hidrolize skroba pri različitim početnim koncentracijama enzima: preparat Termamyl

Table 1. Initial starch hydrolysis rate at different initial enzyme concentrations: Termamyl

Početna koncentracija enzima Initial enzyme concentration KNU/dm ³	Početna brzina hidrolize Initial starch hydrolysis rate g/dm ³ h
7,2	21,0
14,4	48,2
28,8	100,0

na hidrolize skroba krompirovog brašna (tabela 1). Konstanta proporcionalnosti između početne brzine hidrolize skroba krompirovog brašna i početne koncentracije enzima iznosi 3,42 g/kNU/h (koeficijent linearne korelacije: 1,000).

Kao što se može videti iz tabele 2, uticaj veličina čestice krompirovog brašna na maksimalnu vrednost DE zavisi od vrste enzima. Ovaj uticaj je izraženiji kada se hidroliza izvodi pomoću preparata Fungamyl. U slučaju preparata Termamyl, uticaj veličine čestica krompirovog brašna je utoliko manji, ukoliko je početna koncentracija enzima veća. Tako, ako se veličina čestica krompirovog brašna smanji od 0,2–0,4 mm na ispod 0,1 mm, a koncentracija enzima poveća od 7,2 na 28,8 KNU/dm³, DE se povećava za manje od 10%. Uticaj veličine čestica krompirovog brašna na maksimalnu vrednost DE ukazuje da su difuziona ograničenja značajnija od veličine kontaktne površine između čestica brašna i rastvora enzima.

Kada se početna koncentracija skroba poveća od 5 na 10%, početna brzina hidrolize skroba se, takođe, poveća, dok se maksimalni DE smanji od 81,9 na 54,4%, kao što se može videti u tabeli 3. Početna koncentracija skroba više utiče na smanjenje maksimalne vrednosti DE nego na povećanje početne brzine hidrolize skroba. Ovakva promena je očekivana, jer enzimi potpunije razgrađuju skrob u rastvorima sa manjom koncentracijom [10].

Sličan efekat povećanja početne koncentracije skroba na stepen hidrolize skroba primećuje se i kod hidrolize izvedene pomoću dva enzima (Termamyl – 14,4

Tabela 2. Uticaj veličine čestica krompirovog brašna i vrste i koncentracije enzima na maksimalni DE

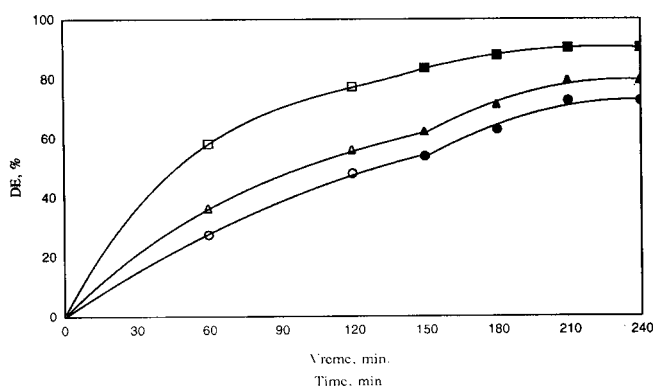
Table 2. The effect of the particle size of potato flour and the type and concentration of enzyme on the maximal DE

Veličina čestica Particle size mm	Maksimalni DE, % Maximal DE, %			
	Termamyl		Fungamyl	
	7,2 KNU/dm ³	14,4 KNU/dm ³	28,8 KNU/dm ³	192 FAU/dm ³
0,2–0,4	–	36,4	63,2	6,3
0,1–0,2	24,3	42,2	67,2	9,5
< 0,1	–	44,9	68,9	10,0

Tabela 3. Uticaj početne koncentracije skroba na brzinu hidrolize i maksimalni DE (Termamyl, 14,4 KNU/kg)

Table 3. Effect of the initial starch concentration on the initial hydrolysis rate and maximal DE (Termamyl, 14.4 KNU/kg)

Početna koncentracija skroba, % Initial starch concentration, %	Početna brzina hidrolize skroba, g/h/dm ³ Initial starch hydrolysis rate, g/h/dm ³	Maksimalni DE, % Maximal DE, %
5,0	35,1	81,9
7,5	37,4	61,3
10,0	42,6	54,4



Slika 2. Kinetika hidrolize skroba krompirovog brašna veličine čestica 0,1–0,2 mm, pomoću dva enzimska preparata: Termamyl (prazni simboli, 14,4 KNU/dm³) i Supersan (puni simboli, 28,8 AGU/dm³), pri različitim početnim koncentracijama skroba (5% – □, 7,5% – Δ, 10% – ○)

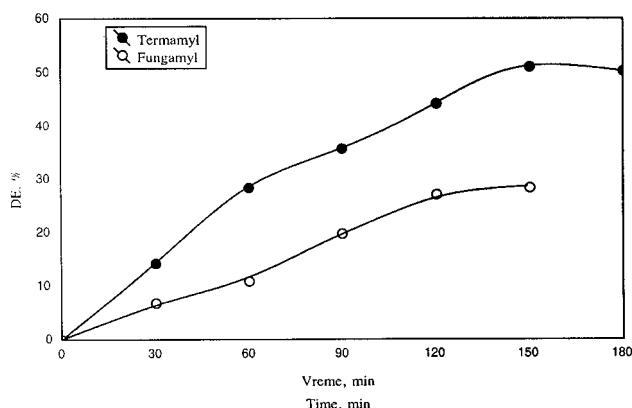
Figure 2. Kinetics of the hydrolysis of starch from potato flour (particle size: 0.1–0.2 mm) using commercial enzyme preparations: Termamyl (open symbols; 14.4 KNU/dm³) and Supersan (black symbols; 28.8 AGU/dm³) at different initial starch concentrations (5% – □, 7.5% – Δ, 10% – ○)

KNU/dm³ i Supersan – 28,8 AGU/dm³), kao što je prikazano na slici 2. Dvoenzimskom hidrolizom skroba krompirovog brašna ostvaruje se veći stepen hidrolize (79,3%) nego hidrolizom sa jednim enzimom (61,3%) pri istoj veličini čestice (0,1–0,2 mm) i istoj početnoj koncentraciji skroba (7,5%).

Enzimska hidroliza skroba krompirove kaše

Efikasnost enzimske hidrolize skroba krompirove kaše zavisi od vrste i koncentracije enzima i hidromodula.

I kod hidrolize krompirove kaše veći DE se postiže preparatom Termamyl (51,2%) nego preparatom Fungamyl (28,6%) pri istim reakcionim uslovima (slika 3). Nezavisno od vrste enzima, hidroliza skroba je efikasnija pri nižim koncentracijama skroba. Kada se hidromodul poveća od 1:0,5 na 1:1, maksimalni DE se poveća sa 40,9 na 51,2%. Kao i u slučaju krompirove kaše, veći DE se postiže dvoenzimskom (61%) nego jednoenzimskom (50%) hidrolizom.



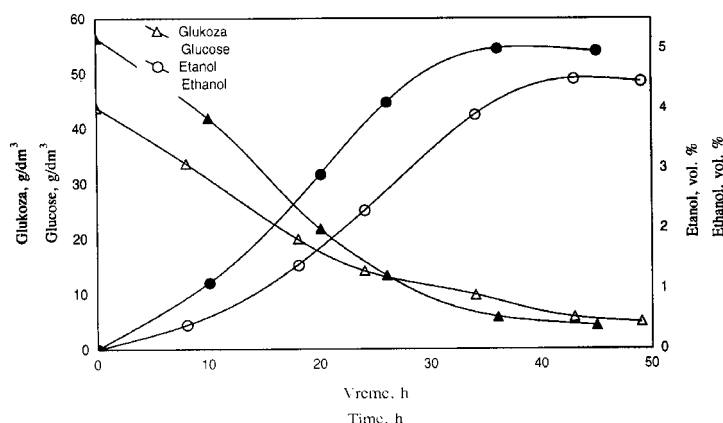
Slika 3. Kinetike hidrolize skroba krompira pri hidromodulu 1:1, pomoću enzimskih preparata: Termamyl (14,4 KNU/dm³) i Fungamyl (480 FAU/dm³)

Figure 3. Kinetics of starch hydrolysis at a hydromodulus of 1:1 using enzyme preparations: Termamyl (14.4 KNU/dm³) and Fungamyl (480 FAU/dm³)

Alkoholna fermentacija hidrolizata skroba krompira

Vrednosti krajnje koncentracije i prinosa (u odnosu na teorijski prinos) etanola, kao i trajanja alkoholne fermentacije hidrolizata skroba date su u tabeli 4. Analizom podataka datih u tabeli 4 mogu se izvući dva zaključka. Prvo, fermentacijom hidrolizata krompirovog brašna dobija se veća koncentracija i prinos etanola, uz kraće trajanje fermentacije, nego fermentacijom hidrolizata krompirove kaše. Drugo, nezavisno od vrste supstrata, tj. načina pripreme biljne sirovine, dvoenzimska hidroliza je povoljnija od jednoenzimske u pogledu prinosa etanola, iskorišćenja skroba i vremena trajanja.

Promene koncentracije glukoze i etanola u toku alkoholne fermentacije hidrolizata dobijenih jednoenzimskom (preparat Termamyl) i dvoenzimskom (preparati Termamyl i Supersan) hidrolizom skroba krompirovog brašna su prikazane na slici 4. Fermentacijom hidrolizata dobijenog dvoenzimskom hidrolizom krompirovog brašna dobija se veći prinos etanola (5,0% vol.), i to za kraće vreme (za oko 7 sati), nego fermentacijom hidrolizata dobijenog jednoenzimskom hidrolizom (4,5% vol.). Vreme za koje se postiže maksimalna koncentracija etanola



Slika 4. Alkoholna fermentacija skroba krompirovog brašna (veličina čestica 0,1–0,2 mm, koncentracija skroba 75 g/dm³) pomoću jednog (Termamyl: 14,4 KNU/dm³, prazni simboli) i dva enzimska (Termamyl: 14,4 KNU/dm³, i Supersan: 28,8 AGU/dm³, puni simboli) preparata

Figure 4. Alcoholic fermentation of starch from potato flour (particle size: 0.1–0.2 mm; initial starch concentration: 75 g/dm³) using one (Termamyl: 14.4 KNU/dm³, open symbols) and two (Termamyl: 14.4 KNU/dm³ and Supersan: 28.8 AGU/dm³, black symbols) enzyme preparations

je za 7 sati kraće kada se kao supstrat koristi hidrolizat dobijen dvoenzimskom hidrolizom.

Fermentacijom hidrolizata skroba krompirove kaše dobijenog pri hidromodulu 1:0,5 postiže se manja koncentracija etanola (za 20%), uz duže trajanje fermentacije, nego fermentacijom hidrolizata dobijenog pri hidromodulu 1:1. Poznato je da smanjenje količine tečnosti za ukomljavanje smanjuje prinos etanola [11]. Alkoholnom fermentacijom hidrolizata skroba krompirove kaše dobijenog dvoenzimskom hidrolizom dobija se veća koncentracija alkohola (4,3% vol.) nego fermentacijom hidrolizata dobijenog jednoenzimskom hidrolizom (3,7% vol.), uz približno jednako trajanje fermentacije (60 sati).

ZAKLJUČAK

Najveći stepen hidrolize skroba krompirovog brašna ili krompirove kaše postiže se Termamylom ili kom-

Tabela 4. Parametri alkoholne fermentacije hidrolizata skroba različitog načina pripreme

Table 4. Parameters of the alcoholic fermentation of starch hydrolyzates prepared by different procedures

Parametar Parameter	Krompirovo brašno Potato flour (75 g/dm ³)		Krompirova kaša Potato mash (70 g/dm ³)	
	Termamyl	Termamyl + Supersan	Termamyl	Termamyl + Supersan
Početna koncentracija redukujućih šećera, g/dm ³ Initial concentration of reducing sugars, g/dm ³	45,8	59,5	35,2	42,7
Krajnja koncentracija etanola, % vol. Final ethanol concentration, % vol.	4,5	5,0	3,7	4,3
Prinos etanola u odnosu na teorijski, % Ethanol yield (with respect to the theoretical yield), %	86	96	77	90
Vreme trajanja fermentacije, h Duration of fermentation, h	49	45	64	62

binacijom Termamyla i Fungamyla. U slučaju hidrolize skroba krompirovog brašna smanjenje veličine čestica i povećanje koncentracije enzima povećava efikasnost hidrolize. Povećanjem početne koncentracije skroba sa 5 na 10% smanjuje se stepen hidrolize skroba krompirovog brašna sa 80,1 na 54,2%. Najveći stepen hidrolize skroba osušenog krompira (79,3%) ostvaruje se kombinovanim delovanjem α -amilaze (14,4 KNU/dm³ reakcione smeše) i glukoamilaze (28,8 AGU/dm³ reakcione smeše). Dvoenzimskom hidrolizom krompirove kaše ostvaruje se manji DE (61%) nego u slučaju krompirovog brašna. Primenom enzimskog preparata Termamyl (14,4 KNU/dm³ reakcione smeše) za hidrolizu krompirove kaše postiže se veći DE (51,2%) pri hidromodulu 1:1 nego pri hidromodulu 1:0,5 (40,9%).

Veća koncentracija etanola (5,0% vol.) postiže se fermentacijom hidrolizata krompirovog brašna dobijenog pomoću dva (Termamyl i Supersan) nego pomoću jednog (4,5% vol.) enzima. Fermentacijom hidrolizata skroba krompirove kaše dobijenog dvoenzimskom hidrolizom dobija se veća koncentracija etanola (4,3% vol.) nego fermentacijom hidrolizata dobijenog jednoenzimskom hidrolizom (3,7% vol.) uz jednako trajanje fermentacije (60 sati).

Trajanje alkoholne fermentacije hidrolizata krompirovog brašna dobijenog pomoću jednog enzima (49 sati) i dva enzima (45 sati) je kraće nego trajanje fermentacije hidrolizata krompirove kaše dobijene pomoću jednog (64 sata) i dva (62 sata) enzima.

SPISAK SIMBOLA

C_G – koncentracija redukujućih šećera (glukoze), g/dm³
 c_S – koncentracije skroba, g/dm³

SUMMARY

ENZYMATIC HYDROLYSIS OF POTATO STARCH AND ETHANOL PRODUCTION

(Scientific paper)

Miodrag L. Lazić, Suzana Rašković, Mihajlo Stanković, Vlada B. Veljković
 Faculty of Technology, Leskovac, Serbia and Montenegro

The hydrolysis of potato starch using one (Termamyl or Fungamyl) and two combined (Termamyl and Supersan) commercial enzyme preparations and ethanol production from the hydrolysates obtained using the yeast *Saccharomyces cerevisiae* were studied. Potato tubers were previously prepared as mash or flour. The study dealt with the effects of the hydromodulus (1:1 and 1:0.5), particle size (0.1, 0.2 and 0.4 mm) as well as the type and concentration of enzyme on the enzymatic hydrolysis of potato starch. The highest dextrose equivalent (79.3%, DE) was achieved during two-enzyme hydrolysis (combination of two enzyme preparations: Termamyl 14.4 KNU/dm³ and Supersan 28.8 AGU/dm³) of starch from potato flour (particle size: 0.1–0.2 mm) at an initial starch concentration of 75 g/dm³. During the two-enzyme hydrolysis, a lower DE (61%) was achieved when potato mash was used as a starch source. Using Termamyl (14.4 KNU/dm³) and potato mash a higher DE was achieved at the hydromodulus 1:1 (51.2%) than at the hydromodulus 1:0.5 (40.9%). The highest ethanol concentration (5.0 vol%) was obtained when the hydrolyzate of potato flour from the two-enzyme process was used as a substrate for alcoholic fermentation.

SKRAĆENICE

AGU – jedinica glukoamilazne aktivnosti,
 DE – dekstrozni ekvivalent, 1
 FAU – jedinica aktivnosti fungalne amilaze
 KNU – kilo Novo jedinica enzimske aktivnosti

LITERATURA

- [1] L.R. Lynd, J.H. Cushman, R.J. Nichols, C.E. Wyman, Fuel ethanol from cellulosis biomass, *Science*, **251** (1991) 1318–1322.
- [2] L. Slominska, W. Grajek, A. Grzeskowiak, M. Gocalek, Enzymatic starch saccharification in an ultrafiltration membrane reactor, *Starch/Stärke* **50** (1998) 390–396.
- [3] S. Ueda, Y. Koba, Alcoholic fermentation of raw starch without cooking by using black-koji amylase, *J. Ferment. Technol.* **58** (1980) 237–242.
- [4] E. Nebesny, J. Rosicka, L. Pierzgaliski, Enzymatic hydrolysis Starch/Stärke **50** (1998) 337–341.
- [5] J. Baras, J. Jakovljević, Stanje i mogućnosti razvoja proizvodnje i primene etanola u Jugoslaviji, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 1996, str. 25–32.
- [6] Ž. Boškov, Osnovi tehnologije skroba, Tehnološki fakultet i Jugoslovenski institut prehrambenog inženjerstva, Novi Sad, 1979, str. 102.
- [7] J. Trajković, M. Mirić, J. Baras, S. Šiler, Analize životnih namirnica, TMF, Beograd, 1983, str. 159.
- [8] V.B. Veljković, M.L. Lazić, D.J. Rutić, M.Z. Stanković, Further studies on inhibitory effects of Juniper berry oils on ethanol fermentation, *Enzyme Microb. Technol.* **12** (1990) 706–709.
- [9] K. Kim, M.K. Hamdy, Acid Hydrolysis of Sweet Potato for Ethanol Production, *Biotechnol. Bioeng.* **27** (1985) 316–320.
- [10] M.F. Chaplin, C. Bucke, *Enzyme Tehnology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, pp. 147–150.
- [11] D. Pejcin, R. Razmovski, Proizvodnja etanola iz skrobnih sirovina pomoću *Saccharomyces diastaticus*, u: Savremeni trendovi u prehrambenoj tehnologiji, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu i Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju, 1995, str. 131–139.

Key words: Enzyme hydrolysis • Starch • Potato • Alcoholic fermentation • Ethanol •
 Ključne reči: Enzimska hidroliza • Skrob • Krompir • Alkoholna fermentacija • Etanol •