

## 쌀보리 알콜발효 증류폐액으로부터 균체 단백질 생산을 위한 내열성 효모, *Candida rugosa*의 이용

김영근\* · 이기영<sup>1</sup> · 이철호<sup>2</sup> · 이용익 · 이관호 · 김만근  
(주)진로 종합연구소, <sup>1</sup>호서대학교 식품영양학과, <sup>2</sup>고려대학교 식품공학과

## Application of Thermotolerant Yeast, *Candida rugosa* for the Production of Yeast Protein from Rye Stillages

Kim, Yeong-Keun\*, Ki-Young Lee<sup>1</sup>, Cherl-Ho Lee<sup>2</sup>,  
Yong-Ick Lee, Kwan-Ho Lee and Man-Keun Kim

Jinro Central Research Institute, Seoul 137-070, Korea

<sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Hoseo university, Chungnam-Do 337-850, Korea

<sup>2</sup>Department of Food Technology, Korea University, Seoul 135-070, Korea

**Abstract** — Rye stillage was adopted as a substrate for the production of yeast biomass by a thermotolerant yeast *Candida rugosa* isolated from East Africa. In the batch fermentation, the yield of biomass and crude protein reached 4.9~8.4 g/l and 2.2~3.5 g/l, respectively, the rate of COD reduction was about 20%. Over 90% amount of main components such as glycerol and lactic acid were assimilated, but protein assimilation reached only to 38~45% of the initial content. Crude protein content of the dry yeast biomass produced was 42~47% and sulfur-containing amino acid was revealed as limiting essential amino acid.

쌀보리를 원료로 한 알콜주정 생산시 생성되는 증류폐액은 색깔이 진하고 온도가 매우 높으며(80°C 이상), pH가 낮고, 높은 유기오염도를 나타낼 뿐 아니라 생성량도 알콜생산량의 10~15배에 이른다(1).

증류폐액 처리에는 다양한 방법이 응용될 수 있으며 대표적인 방법으로, 증류폐액의 재순환 이용(2, 3), 증발농축 혹은 연소에 의한 비료생산(4), 균체와 생화학물질생산을 위한 기질로의 이용(5) 및 사료보조제로의 사용(6) 등과 같이 증류폐액을 이용하는 방법과, 활성오니 처리 및 혐기적 분해(7, 8) 등의 생물학적 처리법 및 기타 물리, 화학적 처리방법이 알려져 있다. 이들 중에서 오늘날 실제 사용되는 방법으로 증류폐액을 증발, 농축시키거나 건조시켜 값싼 사료나 비료를 생산하기도 하나, 상당량의 증류폐액은 폐수로 방출되어 환경오염의 원인이 되고 있다. 최근 유기폐수 처리법으로 혐기적 메탄발효가 부산물인 메탄

가스를 얻을 수 있다는 잇점으로 인하여 관심의 대상이 되고 일부 산업화되었으나 메탄발효과정이 수많은 종류의 박테리아 공생에 의한 평형이 요구되기 때문에 증류폐액의 pH나 공급속도, 조성 등의 외부 조건 변화에 따라 크게 불안정하다는 단점이 있다(9).

특히 알콜발효시 부산물로 생성되는 젖산은 메탄발효시 세균에 의한 분해과정을 거치면서 초산으로 전환되어 세균 공생의 균형을 파괴하기 때문에 매우 치명적인 악 영향을 미친다. 근래에 발표된 논문들에 의하면 혐기적 메탄발효의 전처리로서 호기적 효모발효가 공정의 안정화에 크게 기여했을 뿐 아니라 혐기발효기간을 단축시키며 동시에 화학적 산소 요구량(COD) 감소율도 증가시켜 주었는데 이것은 특히 증류폐액내의 주요 유기산인 젖산이 효모자화에 의해 제거되었기 때문이다(10, 11).

이처럼 효모에 의한 증류폐액 처리가 관심의 대상이 되고 있으나 현재까지 주로 균주로서 이용되었던 *Candida utilis*가 공정과정의 경제성을 좌우하는 내열성,

**Key words:** *Candida rugosa*, yeast protein production, rye stillage

\*Corresponding author

내산성 및 수율(12)에 있어서 문제점을 갖고 있어 실제 공업적인 응용에서는 비효율적인 측면이 아직도 남아 있다.

본 연구는 사탕무우 당밀 증류폐액을 기질로써 균체단백 생산시, 내열성, 내산성 및 응집특성 등과 일반적으로 사용되는 다른 균주들에 비해 30% 이상의 높은 수율을 보여주었던 *Candida rugosa*(13-15)를 종균으로 쌀보리 알콜발효 증류폐액에서, 고단백 균체생산을 목표로 하고 부수적 효과로 유기오염도 지수인 COD(Chemical Oxygen Demand)값도 효율적으로 감소시키고자 하는데 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 균주

동아프리카에서 기분리, 확보한 *Candida rugosa*를 이용하였다(15).

균주는 YM Agar(41 g/l) slant에 접종하여 35°C, 48시간 배양한 후 4°C에 냉장보관하여 사용하였고 매 2개월마다 계대배양하여 균주의 활력을 유지하였다.

### 배지

(주)진로식품에서 쌀보리 주정을 생산할 때 생성되는 증류폐액의 고형분 함량에 따라 평균치를 갖는 기질(Stillage B)과 이보다 높은 기질(Stillage A), 낮은 기질(Stillage C)의 3가지를 선별하여 원심분리한 후, 상등액을 취하여 냉동보관하여 배지로 사용하였다. 각 증류폐액 시료의 주요 화학적 조성은 균체기질로서의 적합성을 평가하기 위하여 정밀 분석되었다.

### 배양

2l 용량의 발효조(KF-2.5l, 한국 발효기)에 배지 1.5l를 넣고 멸균한 후, 2일간 shaking incubator에서 전배양한 starter 150 ml를 접종하여 40°C, 교반속도 800 rpm, 공기 주입속도 2.5 vvm에서 12시간 배양하였다.

### 건조균체 생산량, 고형분 및 회분함량 측정

배양시간이 경과함에 따라 일정시간 간격으로 배양액 10 ml씩을 취하여 원심분리시키고 상등액을 제거한 뒤 증류수를 가하여 같은 방법으로 2회 수세하고 105°C에서 24시간 동안 균체를 건조하여 건조균체중량을 측정하였다(16). 증류폐액기질의 경우는 주정공장에서 취해 냉동보관한 시료를 해동시키고 시료를

다시 충분히 흔들어 균일하게 만든 뒤 5 ml의 시료를 취해, 1000 g에서 원심분리시켜 분산고형분과 상액을 분리한 뒤 시료로 사용하였고 상액은 수용성 건조중량 측정에 이용되었다. 회분량은 건조시료를 충분히 가열하여 탄화시킨 다음 회화로에 넣고 550°C에서 회백색이 되도록 충분히 회화시킨 후 무게를 측정하여 계산하였다.

### 화학적 산소 요구량(COD) 측정

일정한 시간별로 회수된 발효액중 5 ml를 취하여 원심분리한 후 상등액에 대하여 COD Cell test(Merck Spectroquant D-6100) 방법으로 585 nm에서 흡광도를 측정하여 COD값을 구하였다.

### 기타 성분분석

COD 측정에서와 같은 방법으로 만든 상등액에 대하여 기타 성분분석을 실시하였다.

글리세롤은 효소적 정량법인 UV-test method(Boehringer Mannheim사, 1991)에 의하여 340 nm에서 흡광도를 측정하여 함량을 구하였다. 총산은 Krueger와 Bielig(1975)의 방법(17)에 따라 시료 10 ml를 취한 후 0.1 N-NaOH로써 pH 7까지 중화적정하여 계산하였다. 뷰렛 단백질은 Herbert들에 의해 개발된 방법을 변형하여 cuvette에서 직접 측정하는 방법을 사용하였다(18, 19). 총탄수화물은 Weinert(1978)에 의한 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Anthrone-method를 이용하여 측정하였고(20), 당 농도는 sugar-pak column을 이용하여 HPLC(Waters사)로 분석하였다. 총질소량은 A.O.A.C의 Official Methods of Analysis(15th Edition, 1990)에 준하여 측정하였다. 인은 Dr. Lange사(Duesseldorf)의 LCK 349 cuvette test로 측정하였는데, 반응결과 phosphomolybdenum blue가 생성되며 이것의 흡광도를 800 nm에서 측정하여 standard curve와 비교하여 농도를 계산하였다. Sulfite는 Dr. Lange사(Duesseldorf)의 LCK 054 pipette test로 측정하였으며 sulfite와 반응결과 노란색의 착색물질이 형성되며 이것의 흡광도를 435 nm에서 측정하여 standard curve와 비교하여 농도를 계산하였다. 미네랄 함량은 Atomic Absorption Spectrophotometer(Perkin Elmer사, Model 1100B)에 의하여 분석하였다. 유기산 함량은 Aminex HPX-87H column을 이용하여 HPLC(Waters사)로 분석하였으며 아미노산 함량은 HPLC를 이용하여 PTIC 방법으로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 주정증류폐액의 조성 및 특징

(주)진로식품에서 쌀보리주정을 생산할 때 유출되는 증류폐액중 Brix가 높은시료, 평균값을 갖는 중간시료 및 낮은 값을 갖는 3가지의 서로 다른 시료를 선택하여 원심분리시켜 불용성 분산고형분을 측정하고 상등액을 시료로 증류폐액의 조성 및 성질을 분석하였고 분석결과는 Table 1과 2에 나타내었다. 3가지 시료의 COD값은 모두 25000 ppm 정도이었고 고형분함량 순서에 따라 높게 나타났으나 비례하지는 않았다. pH는 세 시료 모두 3.0 정도로 상당히 높은 수소이온농도를 보였으며 이같은 산성조건하에서는 내산성이 결여된 효모의 성장은 다소 저해를 받을 것으로 생각된다. 당당류는 알콜발효시 효모에 의해 거의 대부분이 알콜로 발효전환되었거나 자화되었고 미량의 잔류 당류조차도 증류과정을 거치는 동안 마이알반응 혹은 카라멜화반응 등의 갈색화반응을 거쳐 멜라노이딘 등의 고분자 착색화합물로 전환되었거나 일부 오염된 유산균에 의해 젖산으로 전환되었는지 잔류량이 거의 없는 것으로 나타났다. 총탄수화물

함량은 세 시료 각각 9 g/l 정도로 유사한 값을 보여주었으나 총 적정 가능한 산(젖산기준)의 경우 시료 A는 10 g/l로 시료 C의 두배에 달하였고 시료 B는 7 g/l를 나타내었다. 이는 HPLC로 측정된 젖산함량과 비교하여 볼 때 대부분의 유기산이 젖산으로 구성되어 있다는 사실을 보여준다. 증류폐액에서 주요 탄소원 중의 하나인 글리세롤은 시료 A가 8 g/l로 가장 높았으며 시료 C가 6 g/l이었고 시료 B는 4 g/l로 가장 낮았다. 또한 주요 질소원인 뷰렛 단백질함량은 시료 A가 11.5 g/l인데 비해 시료 B, C는 각각 8.5 g/l 수준이었다. 아미노산들 중에서는 glutamic acid, proline, alanine, histidine 등의 함량이 상대적으로 높았고 특히 glutamic acid는 세포내 아미노산의 상호 전환에 있어서 기초 아미노산으로 여러 종류의 아미노산으로 전환이 가능하다. 킬달법으로 측정된 총질소량은 세 시료들이 모두 비슷한 수치를 나타내었고, 인, sulfite, 회분들도 서로 유사하였다. 또한 측정된 미네랄 중에서는 K<sup>+</sup> 함량이 가장 높았고 Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 함량도 모두 비교적 높게 나타났다. 특히 효모의 생육에 저해효과를 나타내는 sulfite는 상대적으로 적게 함유되어 발효에 지장을 주지 않을 것으로 판단되었다.

Table 1. Chemical compositions and characteristics of various rye stillages

	Stillage A	Stillage B	Stillage C
COD (ppm)	26,000	25,800	25,500
Brix	3.6	3.4	3.0
pH	2.8	3.2	3.1
Monosaccharide (g/l)	0.0	0.0	0.0
Total carbohydrate (g/l)	8.9	8.4	8.7
Total titrable acids as lactate (g/l)	10.0	4.8	5.0
Glycerol (g/l)	7.0	3.6	3.8
Biuret protein (g/l)	11.1	8.4	8.3
Total nitrogen (mg/l)	147	141	123
Phosphorus (mg/l)	33	34	33
Sulfite (mg/l)	14	23	14
Ash (g/l)	5.1	5.1	5.1
Dry matter (%), soluble	2.7	2.4	2.2
suspended	3.3	3.2	3.4
Organic acids(%), Lactate	0.63	0.38	0.48
Acetate	0.05	0.09	0.03
Minerals(ppm), K <sup>+</sup>	1,290	990	990
Na <sup>+</sup>	94	125	144
Mg <sup>2+</sup>	382	374	354
Ca <sup>2+</sup>	44	58	56
Fe <sup>2+</sup>	8	8	5

**Table 2. Amino acid composition of various rye stillages (ppm)**

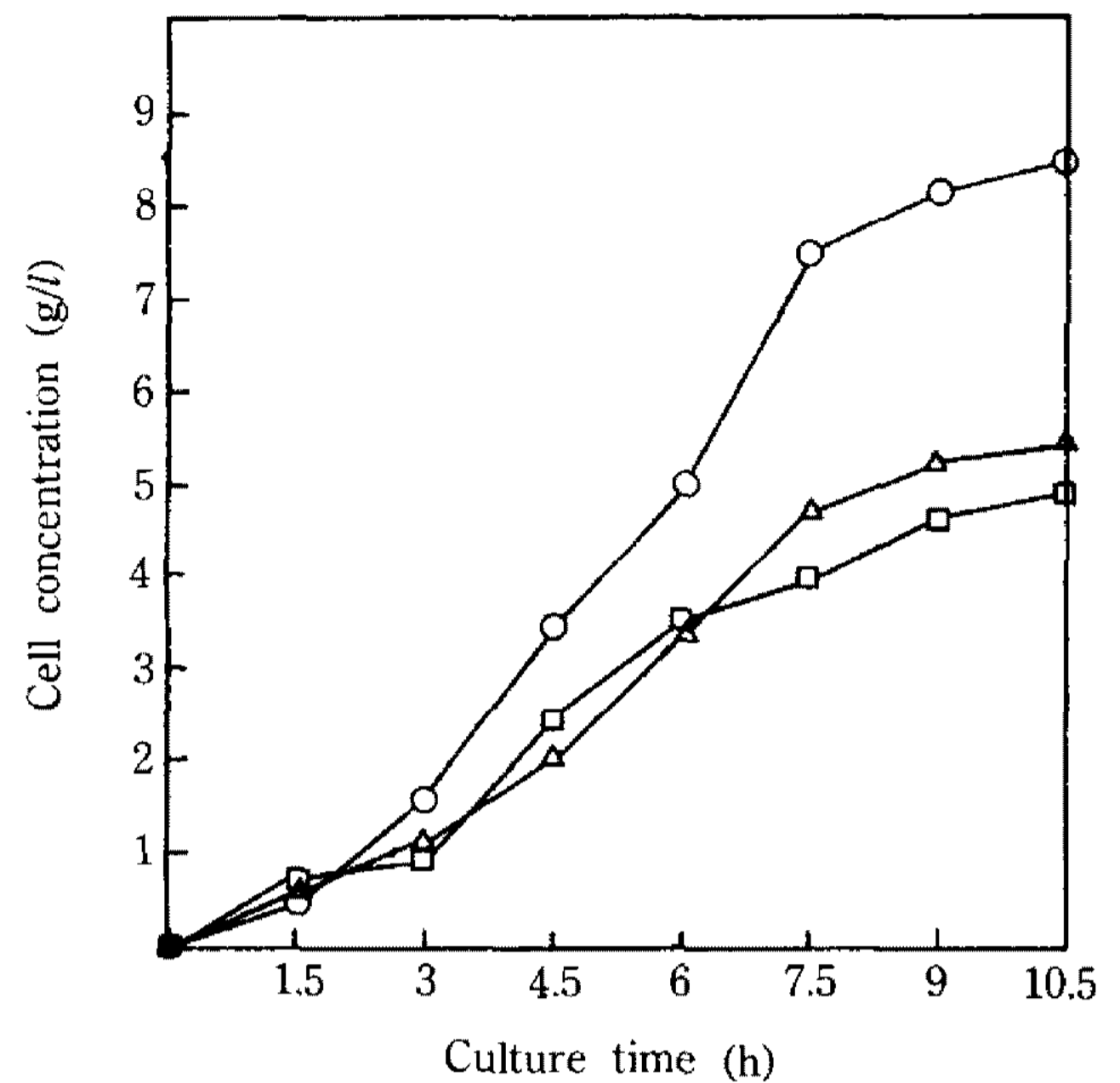
	Stillage A	Stillage B	Stillage C
Aspartic acid	39	47	26
Glutamic acid	245	257	156
Serine	57	41	25
Glycine	35	20	20
Histidine	88	104	87
Arginine	14	24	not detected
Threonine	59	71	82
Alanine	104	112	88
Proline	293	231	200
Tyrosine	27	17	19
Valine	33	26	19
Methionine	8	9	8
Isoleucine	27	34	4
Leucine	64	11	19
Phenylalanine	35	28	26
Lysine	2	3	4

이와 같은 증류폐액 분석결과를 볼 때 세 시료 모두 효모균체단백 생산기질로서의 가치가 있고 시료 A는 B나 C보다 다소 우위를 나타내었으며 B와 C는 서로 유사하였다.

### 효모균체 생산

호기적 효모생산시 기질에 대한 내산성 및 내열성, 그리고 응집특성은 경제적인 측면에서의 공정특성을 결정짓는 매우 중요한 요소들이다(14). 이러한 요소들을 고려하여 쌀보리 주정 발효 증류폐액을 시험기질로 여러 효모들을 대상으로 screening 과정을 거쳐 선발된 균주인 *Candida rugosa*를 종균으로 증식특성과 주요기질의 자화과정 및 자화율을 시험하기 위해 발효조를 이용한 회분배양을 실시하였다.

기질 A의 경우, 배양 시작후 6시간이 경과할 때까지 거의 직선적으로 증가하여 5 g/l 생산량을 나타내었으며 이후부터 1.5시간 동안 대수증식기를 지나면서 건조균체 생산량 7.5 g/l을 나타내었다. 그리고 7.5시간 이후에는 증식속도가 점차 감소하는 전형적인 회분배양 생육곡선을 나타내었으며 최종적인 건조균체 생산량은 8.4 g/l이었다. 기질 B, C에서는 A와 달리 유도기, 대수증식기 등의 전형적인 회분배양 생육곡선이 완만하게 나타났으며, 최종 생산량도 각각 4.9, 5.4 g/l으로 기질 A 보다 적은 생산량을 나타내었다.



**Fig. 1. Batch fermentation kinetics of *C. rugosa* in various rye stillages at 40°C.**

○-○ Stillage A, □-□ Stillage B, △-△ Stillage C.

이같은 건조균체 생산량 차이는 글리세롤, 젖산, 뷰렛 단백질 함량 등의 기질조성 차이에 기인된 것으로 판단된다. *C. rugosa*의 overall growth rate는 기질 A, B, C 각각 0.11, 0.10, 0.10 h<sup>-1</sup>이었으며, 대수증식기의 maximum specific growth rate는 3기질 모두 0.13 h<sup>-1</sup>이었다(Fig. 1).

### 기질내 화학적 산소요구량(COD) 변화

발효가 진행되어 균체가 증식하면서 증류폐액내의 유기물들은 소모되고 COD값이 감소하게 된다. 기질 A는 초기 COD 함량이 26,000 ppm으로, 배양초기에는 거의 감소하지 않았지만 4.5시간이 경과하면서부터 감소하기 시작하여 7.5시간이 경과되었을 때 23,000 ppm으로 가장 높은 감소속도를 나타내었으며 배양 완료시 22,100 ppm으로 감소하였다. 기질 B는 초기 COD 함량이 25,800 ppm으로, 기질 A와 유사하였지만 배양 시작후 1.5시간이 경과하면서부터 서서히 감소하기 시작하여 기질 A와 유사하게 7.5시간이 경과되었을 때 21,000 ppm으로 가장 높은 감소속도를 나타내었으며 배양 완료시 19,400 ppm으로 감소하였다. 기질 C는 초기 COD 함량이 25,500 ppm으로 기질 A, B와 유사하게 7.5시간이 경과되었을 때 21,000 ppm으로 가장 높은 감소속도를 나타내었으며 배양 완료시 20,000 ppm으로 감소하였다. 기질 A, B, C에 있어서 전체 COD감소율은 각각 15, 25, 22%이었으며, 특히

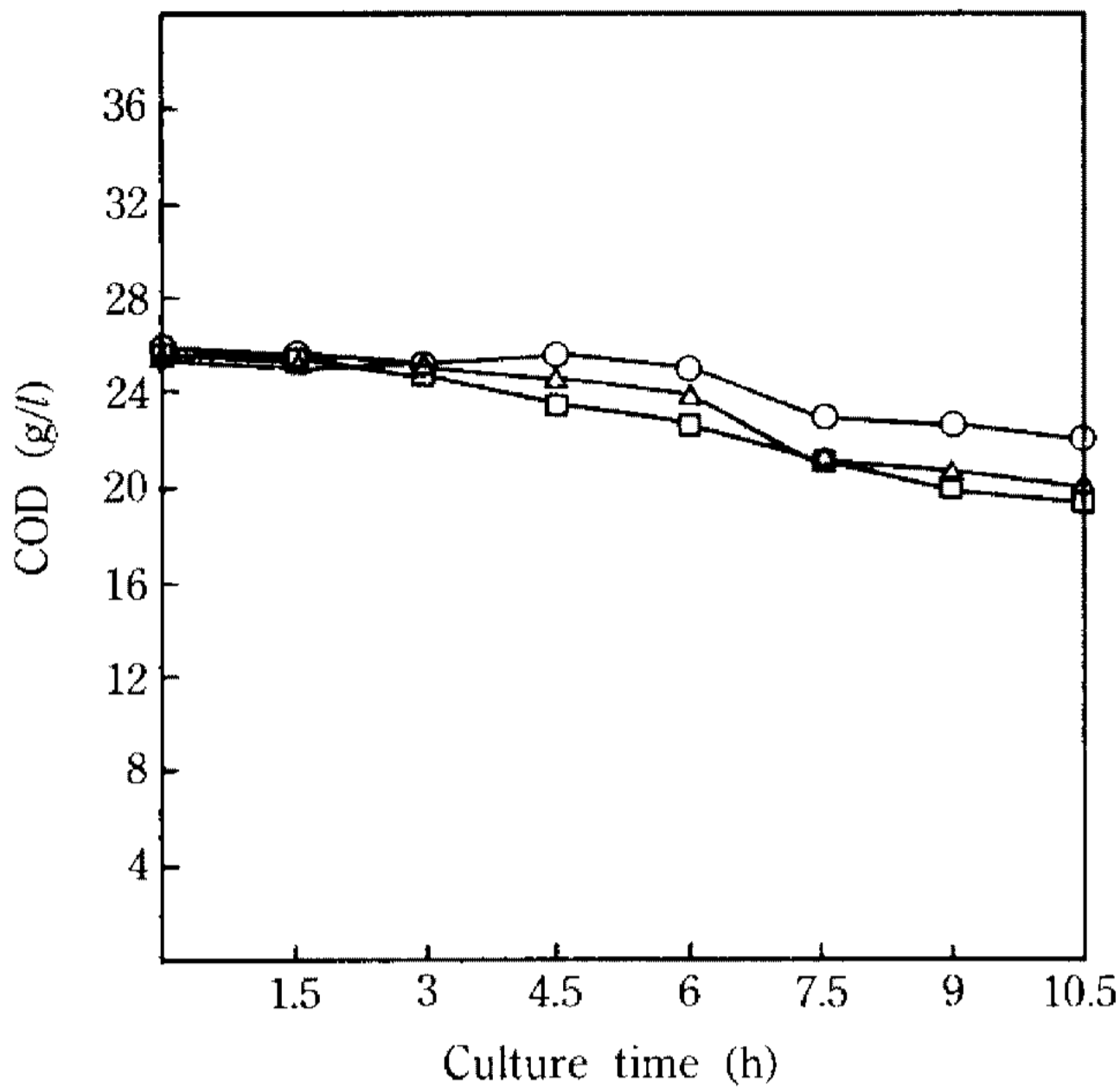


Fig. 2. COD reduction of rye stillages during the batch fermentation of *C. rugosa* at 40°C.

○—○ Stillage A, □—□ Stillage B, △—△ Stillage C.

배양 시작후 7.5시간이 경과되었을 때 가장 높은 감소율을 나타내었는데, 이 시기가 회분배양중 대수증식기에 해당되기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 2). 그러나 균체생산량과 COD 감소와의 사이에는 상관관계가 나타나지 않았다.

**기질내의 주요 자화 가능한 화합물들의 함량변화**

글리세롤은 알콜발효시 생성되는 부산물로서 증류폐액에 상당량이 존재한다. 기질 A의 경우, 배양 시작후 3시간이 경과할 때까지 기질 B, C에 비해 다소 급격히 감소하였을 뿐 아니라 이후부터 7.5시간이 될 때까지는 거의 직선적으로 감소하여 1.0 g/l을 나타내었으나 기질 B, C는 배양 시작후 3시간이 경과할 때까지 거의 감소하지 않다가 이후부터 다소 급격히 감소하였으며 7.5시간을 경과하면서 다시 완만하게 감소되었다. 기질 A, B, C는 배양 시작후 3시간을 경과하면서부터 7.5시간이 될 때까지 가장 높은 감소율을 나타내었는데 이는 *C. rugosa*가 증식하면서 기질내에 존재하는 글리세롤을 탄소원으로 초기에서 증기에 대부분 소모하는 것을 의미한다. 글리세롤의 초기농도, 최종농도 및 전체 감소율은 Table 3에 나타내었다.

알콜 증류폐액의 일반적인 처리법으로 사용되고 있는 메탄발효 과정에 있어서, 젖산은 메탄세균들의 공생과 발효의 균형에 악 영향을 미치는 요소중의

Table 3. The initial, final concentrations and reduction rates of major components of various rye stillages in the batch fermentation

	initial conc. (g/l)	final conc. (g/l)	reduction rate (%)
Glycerol			
stillage A	7.0	0.2	97
B	3.6	0.3	92
C	3.8	0.6	84
Total titrable acid			
stillage A	7.0	0.5	93
B	4.8	0.5	90
C	5.0	0.5	90
Biuret protein			
stillage A	1.1	0.6	45
B	0.8	0.5	38
C	0.8	0.5	38
Total carbohydrate			
stillage A	8.9	7.6	15
B	8.4	7.6	10
C	8.7	7.4	15

하나이므로 이경우 호기적 효모 발효 공정을 전처리 공정으로 이용하여 미리 제거하는 것이 고려될 수 있다(10, 11). 젖산으로 환산한 총산함량은 배양시간이 경과함에 따라 일정하게 감소되어 7.5시간이 경과되었을 때 대부분 소모되었으며 이후에는 거의 소모되지 않았다. 기질 A, B, C의 총산 초기농도, 최종농도 및 전체 감소율은 Table 3에 나타내었다.

효모 증식에 있어서 질소원, 탄소원의 공급원이 되는 기질내 뷰렛 단백질 함량도 글리세롤, 총산처럼 배양시간이 경과함에 따라 효모에 의해 자화되는 양이 증가하게 되고 그 결과로 점차 기질내 농도가 감소하지만 특징적인 사항은 배양이 시작된 후 3시간까지는 거의 자화되지 않았다는 것이다. 이는 효모가 배양초기에는 탄소원으로 유기산 등을 이용하고, 단백질의 경우는 단백질분해효소를 분비해 펩타이드류나 아미노산으로 분해시킨 뒤 흡수하기 때문으로 사료된다. 증류폐액의 회분배양시 단백질 자화과정은 다른 보고 내용들과 같이(14) 배양 초기에 서서히 시작되어 글리세롤이나 유기산이 거의 다 소모된 뒤에도 발효 말기까지 지속적으로 이루어지는 현상을 나타내었으며 기질 A, B, C의 초기농도, 최종농도 및 전체 감소율은 Table 3과 같다.

기질 A, B, C의 총탄수화물 함량은 배양시간이



**Table 4. The content of crude protein, ash and amino acid of yeast biomass (dry base) produced from various rye stillages**

	Stillage A	Stillage B	Stillage C
Kjeldahl protein (%)*	42.2	44.3	47.3
Ash (%)	6.9	8.2	10.9
Amino acid (%)			
Aspartic acid	2.2	2.1	2.2
Glutamic acid	8.4	8.2	8.1
Serine	2.0	2.0	1.7
Glycine	2.1	2.1	1.9
Histidine	1.1	1.1	0.8
Arginine	1.0	1.0	0.9
Threonine	2.3	2.4	1.9
Alanine	1.7	1.6	1.5
Proline	4.0	4.1	4.2
Tyrosine	1.0	0.4	1.0
Valine	0.8	1.2	1.1
Methionine	0.3	0.3	0.3
Cysteine	—	—	—
Isoleucine	1.0	1.1	0.9
Leucine	1.5	1.3	1.4
Phenylalanine	1.4	1.6	1.5
Lycine	1.3	1.3	1.2
Total Amino acids	32.1	31.8	30.6

\*Conversion factor: 6.25, —: not detected

경과함에 따라 글리세롤, 총산, 단백질 등과는 달리 일정하게 감소하지 않고 소폭의 증가와 감소를 반복하는 특이한 현상을 나타내었는데, 이는 기질함유 탄수화물들이 효모에 의해 거의 이용 불가능하기 때문인 것으로 판단되며, 초기농도, 최종농도 및 전체 감소율은 Table 3과 같다.

이상과 같은 결과를 종합해 볼 때 세 가지 주정 증류폐액 기질 중에서, COD값은 서로 큰 차이가 없었지만 주요 자화원인 글리세롤 및 유기산이 stillage B, C보다 2배 정도 함유되어 있고 뷰렛 단백질 함량도 30% 이상 높게 나타난 stillage A에서의 균체 생산량이 가장 높게 나타났다.

#### 효모균체의 조성

각 쌀보리 증류폐액 시료로부터 배양생산된 효모균체의 영양평가를 위하여 발효완료후 발효액의 일부를 회수하여 원심분리한 다음 효모의 건조중량을 측정하고 이 건조효모에 대한 킬달 단백질, 회분 및

아미노산 조성등을 분석하였다(Table 4).

Kjeldahl protein의 함량은 시료 A, B, C 각각 42, 44, 47%로서 비교적 높은 숫치를 보여주었고 균체 생산량이 낮을수록 함량이 높아졌다. 또한 회분의 함량도 각 시료 같은 순서로 6.9, 8.2, 10.9%를 나타내었고 마찬가지로 균체 생산량이 낮을수록 회분함량도 높게 나타났다. 단백질의 아미노산 조성은 일반적인 효모 단백질 특성과 같이 함황 아미노산이 부족하여 methionine 함량이 낮았고 cysteine도 거의 검출되지 않았다. 기타 필수아미노산은 고르게 분포되어 있었고 특히 glutamic acid와 proline 등은 상대적으로 높은 함량을 나타내었다. 분석된 총 아미노산의 합계는 31~32%로 세 시료 모두 유사한 값을 나타내었다. 이상의 결과로 볼 때 쌀보리 증류폐액을 이용해서 생산된 균체단백질은 일부 결핍된 함황 아미노산을 보충해 줄 경우 매우 우수한 고단백원이 될 것으로 사료된다.

## 요 약

쌀보리 증류폐액을 기질로써 효모균체단백을 생산하기 위해 아프리카에서 분리동정한 내열성 효모인 *C. rugosa*가 이용되었다. 회분배양시 건조균체 생산량은 4.9~8.4 g/l 정도였고 조단백질 생산량은 2.2~3.5 g/l이었으며, COD감소율은 약 20% 정도를 나타내었다. 증류폐액 기질내 원소중 글리세롤과 젖산은 배양이 거의 완료되었을 때 90% 이상의 감소율을 보였으나 단백질은 38~45% 감소율을 나타내었다. 생산된 건조효모균체의 조단백함량은 42~47%이었고 함황아미노산이 결핍아미노산으로 나타났다.

## 참고문헌

1. Sheehan G.J. and P.F. Greenfield. 1980. Utilization, treatment and disposal of distillery wastewater. *Water Res.* **14**: 257-277.
2. Egg, R.P., J.M. Sweeten and C.G. Coble. 1985. Grain sorghum stillage recycling: effect on ethanol yield and stillage quality. *Biotechnol. Bioeng.* **27**: 1735-1738.
3. Jaleel, S.A., S. Srikanta, N.P. Ghildyal and B.K. Lonsane, 1987. Recycle of stillage in the production of ethanol from cassava fibrous waste. *Process Biochem.* **22**: 83-84.
4. Maiorella, B.L., H.W. Blanch and C.R. Wilke. 1983. Distillery effluent treatment and byproduct

- recovery. *Process Biochem.* **18**: 5-8.
5. Kumar, S. and L. Viswanathan. 1991. Production of biomass, carbon dioxide, volatile acids and their interrelationship with decrease in chemical oxygen demand, during distillery waste treatment by bacterial strains. *Enzym. Microb. Technol.* **13**: 179-187.
  6. Quinn, J.P. and R. Marchant. 1980. The treatment of malt whiskey distillery waste using the fungus *Geotrichum candidum*. *Water Res.* **14**: 545-551.
  7. Cail, R.G. and J.P. Barford. 1985. A comparison of upflow floc (tower) digester and UASB system treating cane juice stillage. *Agri. Wastes.* **14**: 291-299.
  8. Boopathy, R., V.F. Larsen and E. Senior. 1988. Performance of anaerobic baffled reactor (ABR) in treating distillery waste water from a Scotch whisky factory. *Biomass.* **16**: 133-143.
  9. Braun, R. and S. Huss. 1982. Anaerobic digestion of distillery effluents. *Process Biochem.* **17**: 25-27.
  10. Glanser, M., L. Dvoracek and S.L. Ban. 1985. Schnelle Fermentierung von Abwassern zu Methan. *Wissenschaft und Umwelt* **1**: 42-47.
  11. Nandan, R., H. Chandra, S.K. Bhargava and P.K. Ray. 1987. Microbial conversion of distillery waste to bioenergy: effects of media enrichment with low chain fatty acids and *Candida* sp. *J. Ferment. Technol.* **65**: 49-60.
  12. Meyrath, J. 1975. Production of feed yeast from liquid waste. *Process Biochem.* **10**: 20-22.
  13. Lee, K. Y. and G. Baerwald. 1991. Kinetic behaviour of *Candida rugosa* in the batch fermentation of sugar beet stillage; Temperature dependence of growth and flocculation characteristics. *Biotechnol. Letters.* **13**: 595-598.
  14. Lee, K.Y. 1991. The growth, effect of COD-reduction and flocculation characteristics of *Candida rugosa* in sugar beet stillages. *J. Microbiol. Biotechnol.* **3**: 1-5.
  15. Baerwald, G. and K.L. Lee. 1989. Ueber die Zusammensetzung von Riebenmelasseschlempe hinsichtlich ihrer Verwertung. *Die Branntweinwirtschaft.* **129**: 146-152.
  16. Cabib, G., H.I. Silva, A. Giulietti and R. Ertola. 1983. The use of sugar cane stillage for Single Cell Protein production. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* **33b**: 21-28.
  17. Kruger, E. und H.J. Bielig. 1975. *Betriebs- und Qualitätskontrolle in Brauerei und Alkoholfreier Getraenkeindustrie.* Pp. 306-308. Verlag Paul Parey Berlin, Hamburg.
  18. Herbert, D., P.J. Phipps and R.E. Strange. 1971. Chemical analysis of microbial cells, Pp. 209-344. In NORRIS, J.R. und D.W. RIBBONS (eds). *Methods in Microbiology*, Vol. 5B. Academic Press, London.
  19. Mehl, J.W., E. Pacovsk and R.J. Winzler. 1949. The amount of copper bound by protein in the Biuret reaction. *J. Biol. Chem.* **177**: 13-21.
  20. Weinert, I. 1978. Determination of total carbohydrate in beer. *J. Inst. Brew.* **84**: 220-223.

(Received April 26, 1993)