

## 작물의 성분 함량이 바이오에탄올 생산에 미치는 영향

이경은 · 이재연 · 김 근<sup>†</sup>

수원대학교 생명공학과

### Effect of Content of Crop Component on the Bioethanol Production

Kyung Eun Lee, Jae Yeon Lee, and Keun Kim<sup>†</sup>

*Dept. of Bioscience and Biotechnology, The University of Suwon, Gyeonggi-do 445-743, Korea*

**ABSTRACT** The contents of starch, moisture, crude protein, crude fat, crude fiber, and ash of different varieties of various crops such as brown rice, barley, corn, sweet potato were analyzed. The average starch contents of brown rice, barley, corn, and sweet potato were  $70.1 \pm 0.4 \sim 72.2 \pm 2.1$ ,  $68.7 \pm 0.2 \sim 71.4 \pm 1.2$ ,  $67.6 \pm 0.8 \sim 69.4 \pm 1.8$ , and  $21.7 \pm 0.9 \sim 28.3 \pm 0.5\%$ , respectively. The ground powder of each starchy substrate was suspended in distilled water, and then liquefied, saccharified, and fermented by dried active yeast at  $32^\circ\text{C}$  for 4 days. By statistical analysis, the effectiveness of the contents of the different components such as starch, moisture, crude protein, crude fat, crude fiber, and ash of the crops on the ethanol production were examined. The results showed that the starch content positively affected the ethanol production in all the tested cereals and sweet potato. In brown rice, ash content affected negatively the ethanol production. In barley, protein content affected negatively the ethanol production, while fiber content affected positively the ethanol production. The sweet potato containing higher content of moisture produced less amount of ethanol.

**Keywords** : cereals, sweet potato, components, bioethanol, statistical analysis

**현재** 전 세계적으로 국제유가가 계속해서 최고가를 갱신하며 치솟고 있다. 또한 급격히 변해가는 기후변화와 지구 온난화에 따라 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위해 석유를 대체할 재생이 가능한 바이오 에너지 생산이 전 세계적인 화두가 되고 있다. 국내에서도 농촌진흥청을 중심으로 농촌을 활력화 시키기 위하여 친환경바이오에너지 생산기

술개발에 박차를 가하고 있다(김광수 등, 2007).

지금까지 가장 대표적인 바이오에너지는 바이오에탄올을 들 수 있다(World Watch Institute, 2006). 바이오에탄올은 현재 세계적으로 사탕수수, 옥수수, 카사바 등의 당질계와 전분질계 원료로부터 생산한다. 벳짚, 옥수수대, 목재 등의 목질계 원료로부터 에탄올 생산을 시도하고 있으나, 아직 상용화되지 않고 있다. 미국의 경우, 바이오에탄올 생산의 90% 이상을 옥수수에 의존하여 생산하고 있으며(Energy Policy Act, 2005), EU의 경우도 프랑스, 스페인, 러시아 등을 중심으로 밀, 보리 사탕무 등의 전분질계 또는 당질계로부터 에탄올을 생산하고 있다(수송용 바이오 분야 전문위원회, 2007). 브라질은 사탕수수를 이용하여 바이오 에탄올을 생산한다. 중국의 경우는, 바이오에탄올 생산은 동북지방의 옥수수, 남부지방의 카사바, 중남부 지방의 사탕수수를 원료로 이루어지고 있으며 아직은 옥수수의 비중이 가장 높다(수송용 바이오 분야 전문위원회, 2007).

지금까지는 작물의 품종개발이나 생산량 증가 등의 목적이 식량자원으로서의 기능에 초점을 맞추어 연구가 진행되어 왔지만, 앞으로의 연구방향은 바이오에너지 원료로서의 작물에 초점을 맞춘 품질이나 생산량 등에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다(김광수 등, 2007). 한편, 현재까지 바이오에탄올 공업적 생산 연구는 적은 양의 바이오매스를 이용하여 최대한의 바이오에너지를 생산하기 위한 발효 균주와 공정 개발 연구에 주로 집중되어 왔다. 그러나 아직까지 각 바이오매스의 일반성분 중 어떠한 성분이 에탄올 생산량에 영향을 주는지에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 일반적으로 널리 알려진 전분 함량 외에 작물의 일반성분인 수분, 단백질, 조지방, 조섬유, 회분 등의 함량을 분석하고 이러한 일반성분들의 함량이 바이오에탄올 생산에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하였다. 이

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-31-220-2344  
(E-mail) kkim@suwon.ac.kr <Received August 4, 2008>

러한 연구결과는 바이오 에탄올을 생산하기 위한 에너지 작물들의 육종 방향을 제시해 주는데 유용할 것이다.

## 재료 및 방법

### 실험작물

화성벼, 화선찰벼, 다산벼의 종자 현미 3품종과, 새쌀보리, 호반찰쌀보리, 청호쌀보리 등 쌀보리 3품종의 조곡, 그리고 청안옥, 강다옥, 광평옥, 장다옥 등 옥수수 4품종의 종실, 또한 증미, 바이오미, 건미 등 고구마 3품종의 괴근을 이용하였다. 이들은 모두 농촌진흥청 작물과학원소속의 연구원들로부터 제공받았다.

### 전분 함량 측정

원료를 1 mm 이하로 분쇄한 후 2 g을 500 ml 플라스크에 넣고 증류수 120 ml와 5%(v/v) HCl 100 ml를 가하여 100°C에서 2시간 30분간 가열시켰다. 냉각 후 28%(w/v) NaOH로 중화시켰다(Hsu, 1996). 중화된 시료를 적당 배율로 희석한 후 3, 5-dinitrosalicylic acid(Sigma, USA)로 환원당을 측정하여(Miller, 1959) 전분함량으로 환산하였다.

### 일반성분 함량 분석

수분 함량 분석을 위해 각 분쇄한 원료 2 g을 칭량하여 105°C에서 24시간 동안 건조하여 증발된 수분량을 측정하였다(AOAC, 1990).

조단백질 함량 분석을 위해 각 분쇄한 원료 2 g과 분해촉진제(CuSO<sub>4</sub> 0.1 g과 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.9 g의 혼합물) 1 g을 유산지에 싸서 케탈분해용 플라스크에 넣은 후 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 ml를 첨가한 후 가열하여 분해하였다. 4배 희석한 분해액 20 ml를 Semimicro Kjeldahl 증류장치로 증류하였다. 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>에 포집된 총질소량을 0.1 N NaOH로 적정하여 소비된 ml 수를 공시험액과의 차이로써 측정하였다(AOAC, 1990).

조지방 함량 분석을 위해 각 분쇄한 원료 2 g을 에테르로 추출하여 조지방을 포함하고 있는 용기를 건조하여 무게를 측정하였다(AOAC, 1990).

조섬유 함량 분석은 수회 탈지한 시료 2 g을 삼각플라스크에 옮긴 후 1.25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 1.25% NaOH를 이용하여 분해하고 남은 시료를 작열 회화한 후 잔류한 무게를 측정하여 조섬유 함량을 측정하였다(AOAC, 1990).

회분 함량 분석은 회화용기에 분쇄한 각 원료 2 g를 넣어 전기로 700°C에서 작열 회화한 후 잔류한 회분의 무게를 측정하였다(AOAC, 1990).

### 에탄올 발효

각 분쇄한 원료 29.1 g와 증류수 100 ml를 혼합하여 10% (v/v) Termanyl 120 L(Novozyme, Denmark) 액화효소를 200 µl 첨가하여 90°C에서 1시간 액화시키고, 다시 95°C에서 1시간 더 액화한 후, 60°C에서 *Aspergillus* sp. 유래의 복합 당화효소(4,500 SP) 0.194 g을 첨가하여 1시간 당화과정 처리 후, 32°C에서 활성건조효모 1.7 g(Saf-instant, S. I. Lesaffre, Marcq France)를 넣어 4일간 배양 후 에탄올 생산량을 증류법에 의하여 측정하였다(AOAC, 1990). 발효 후 생산된 에탄올량(% (v/v))으로부터 기질 1톤당 에탄올 생산량(리터, 99.5% 에탄올)의 에탄올 생산수율(l/Ton)을 계산하였다.

### 통계 분석

원료 작물의 각 성분분석 및 에탄올 발효 측정은 3반복하였으며, 각 결과를 종합하여 각 성분과 에탄올 생산량과의 관계를 SAS 프로그램을 통하여 회귀분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 현미의 일반성분 함량이 에탄올 생산에 미치는 영향

전분 함량에 차이가 있는 현미 3품종을 이용하여 일반성분 함량이 에탄올 생산에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 현미 3품종의 전분 함량은 화성벼가 72.2±2.1%, 화선찰벼가 71.3±0.4%, 그리고 다산벼가 70.1±0.4%로 측정되었다(Table 1). 현미의 전분 및 일반성분 함량분석을 토대로 SAS 프로그램을 통해 단순 회귀분석을 한 결과, 유의수준 10% 하에서 전분함량이 에탄올 생산에 영향을 주는 것으로 나타났고, 전분 외에도 회분이 에탄올 생산량에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 2). 표준화회귀계수(standardized estimate)의 크기에 의하면, 회분과 전분의 표준화회귀계수 값(절대값)이 0.66344와 0.59995로 다른 변수에 비해 큼을 알 수 있는데, 표준화회귀계수가 통계적으로 유의한 변수들 중에서 종속변수인 에탄올 생산량에 영향을 미치는 주요한 변수의 순서를 나타낸다고 할 때, 본 자료에서는 회분이 전분에 비하여 에탄올 생산량 변화에 있어서 조금 더 큰 영향을 주는 변수임을 알 수 있다. 또한 회분의 경우, 음의 값으로 표준화회귀계수가 큼을 알 수 있는데 이는 회분 함량이 많을수록 상대적으로 에탄올 생산량은 감소한다는 것을 의미한다.

### 쌀보리의 일반성분 함량이 에탄올 생산에 미치는 영향

쌀보리 3품종을 이용하여 일반성분 함량이 에탄올 생산

에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 쌀보리의 전분 함량은 새쌀보리가 69.5±0.7%, 호반찰쌀보리가 68.7±0.2%, 청호쌀보리가 71.4±1.2%로 전분함량의 차이를 나타내었다(Table

3). 에탄올 발효 결과, 전분 함량이 높은 청호쌀보리가 에탄올 생산량도 많은 것으로 나타났다. 이를 통하여 현미와 마찬가지로 쌀보리 경우도 에탄올 발효에 전분 함량이 영향을

**Table 1.** Effect of different components of brown rice on the ethanol production.

Brown rice	Component (%)						Ethanol (%, v/v)
	Starch	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash	
	73.3	14.1	6.7	1.4	1.3	1.9	10.5
Hwasung	67.4	12.6	6.7	2.2	1.3	1.6	10.1
	76.0	12.8	6.5	1.8	1.4	1.1	11.1
Average	72.2±2.1 <sup>†</sup>	13.2±0.4	6.6±0.0	1.8±0.2	1.3±0.0	1.6±0.2	10.6±0.2
	72.0	14.8	8.4	2.2	1.7	1.5	10.4
Hwasunchal	70.4	13.1	8.1	2.3	1.6	1.5	10.3
	71.6	13.7	8.1	2.0	1.5	1.4	10.3
Average	71.3±0.4	13.9±0.4	8.2±0.1	2.2±0.1	1.6±0.0	1.5±0.0	10.3±0.0
	69.7	15.2	7.7	2.5	1.2	1.6	10.1
Dasan	71.0	14.4	7.7	2.0	1.2	1.3	10.9
	69.7	14.3	7.5	2.2	1.2	1.3	10.9
Average	70.1±0.4	14.6±0.3	7.6±0.0	2.2±0.1	1.2±0.0	1.4±0.1	10.7±0.2

<sup>†</sup>Mean±SE.

**Table 2.** The simple regression analysis<sup>†</sup> for ethanol production from brown rice.

Components of brown rice	Standardized estimate	P-value
Starch	0.59995	0.0877
Moisture	-0.08895	0.8200
Crude protein	-0.27456	0.4746
Crude fat	-0.44453	0.2306
Crude fiber	-0.30248	0.4289
Ash	-0.66344	0.0514

<sup>†</sup>Level of significance  $\alpha=0.10$ .

**Table 3.** Effect of different components of barley on the ethanol production.

Barley	Component (%)						Ethanol (%, v/v)
	Starch	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash	
	69.3	14.9	11.9	1.6	2.5	2.3	8.4
Saesal	68.2	12.2	12.3	2.4	2.3	1.9	8.0
	71.0	10.9	11.7	3.8	2.4	1.8	8.6
Average	69.5±0.7 <sup>†</sup>	12.7±0.9	12.0±0.1	2.6±0.5	2.4±0.1	2.0±0.1	8.3±0.1
	68.4	13.6	14.4	2.0	2.1	1.2	7.4
Hobanchal	68.6	12.5	14.9	2.6	2.1	2.7	7.6
	69.2	11.1	14.4	4.2	2.1	2.1	7.9
Average	68.7±0.2	12.4±0.6	14.5±0.1	2.9±0.5	2.1±0.0	2.0±0.3	7.7±0.1
	73.6	13.0	11.6	3.7	2.5	1.9	8.7
Cheongho	68.5	11.0	10.9	3.1	2.3	1.9	8.0
	72.2	12.0	10.9	3.0	2.4	1.9	8.5
Average	71.4±1.2	12.0±0.5	11.1±0.2	3.3±0.2	2.4±0.0	1.9±0.0	8.4±0.1

<sup>†</sup>Mean±SE.

주는 것으로 판단된다(Table 4). 조단백질의 경우는 음의 값으로 표준화회귀계수가 크다는 것을 알 수 있는데 이는 조단백질 함량이 많을수록 상대적으로 에탄올 생산량은 감소하는 형태를 나타내는 것이다(Table 4). 또한 전분과 조단백질 외에도 조섬유가 에탄올 생산량에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 4). 표준화회귀계수의 크기에 의하면, 조섬유와 전분, 조단백질의 표준화회귀계수 값(절대값)이 각각 0.86164와 0.79850, 0.78811로 다른 변수에 비해 크음을 알 수 있는데, 여기에서 조섬유가 전분, 조단백질에 비하여 에탄올 생산량 증진에 조금 더 큰 영향을 주는 변수임을 알 수 있었다.

#### 옥수수의 일반성분 함량이 에탄올 생산에 미치는 영향

옥수수의 경우, 전분 함량 분석 결과 청안옥이 67.6±0.8%, 장다옥이 69.4±1.7%, 광평옥이 69.4±1.8%, 장다옥이 68.2±1.5%로 각 품종 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 5). 이 결과를 토대로 단순 회귀분석결과, 유의수준 10% 하에서, 옥수수의 경우 전분만이 에탄올 생산량에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 6). 표준화회귀계수의 크기에 의하면, 전분의 표준화회귀계수 값(절대값)이 0.52852로 다른 변수에 비해 크음을 알 수 있는데, 이로써 전분이 에탄올 양의 생산에 가장 중요한 역할을 하는 변수임을 알 수 있었다. Wu 등(2006)도 옥수수로부터 에탄올 생산연구를 통하여 전분 중 특히 amylose가 에탄올 생산량

**Table 4.** The simple regression analysis<sup>†</sup> for ethanol production from barley.

Components of barley	Standardized estimate	P-value
Starch	0.79850	0.0099
Moisture	-0.09142	0.8150
Crude protein	-0.78811	0.0116
Crude fat	0.38501	0.3062
Crude fiber	0.86164	0.0028
Ash	0.04080	0.9170

<sup>†</sup>Level of significance  $\alpha=0.10$ .

**Table 5.** Effect of different components of corn on the ethanol production.

Corn	Component (%)						Ethanol (% v/v)
	Starch	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash	
Cheonganok	66.4	11.2	12.6	3.0	2.8	1.4	8.6
	67.3	12.5	12.3	3.4	3.1	2.4	8.5
	69.2	10.9	12.3	4.5	3.2	2.5	9.1
Average	67.6±0.8 <sup>†</sup>	11.5±0.5	12.4±0.1	3.6±0.5	3.0±0.1	2.1±0.3	8.7±0.2
Gangdaok	66.0	10.6	12.6	1.5	2.4	1.2	8.7
	71.7	11.3	12.3	2.8	2.9	1.3	8.9
	70.5	11.4	12.1	4.7	2.7	1.3	8.7
Average	69.4±1.7	11.1±0.2	12.3±0.1	3.0±0.9	2.6±0.1	1.3±0.0	8.7±0.1
Gwangpyung ok	65.9	11.4	11.9	2.5	2.6	1.7	8.4
	71.5	11.7	11.6	3.4	2.8	1.3	8.7
	70.9	11.1	10.9	3.7	2.7	1.3	8.5
Average	69.4±1.8	11.4±0.2	11.4±0.3	3.2±0.4	2.7±0.1	1.4±0.1	8.5±0.1
Jangdaok	65.3	11.2	11.4	2.0	2.5	1.9	8.4
	69.1	12.1	11.8	0.9	3.3	1.4	8.6
	70.2	11.2	11.9	1.6	2.8	1.4	9.0
Average	68.2±1.5	11.5±0.3	11.7±0.2	1.5±0.3	2.9±0.2	1.6±0.1	8.6±0.2

<sup>†</sup>Mean±SE.

에 영향을 끼쳤으며, 조단백질과 조섬유는 에탄올 생산효율에 영향을 끼치지 않았다고 보고 하였다.

**고구마의 일반성분 함량이 에탄올 생산에 미치는 영향**

고구마는 본 실험에 사용된 다른 곡류와 달리 수분 함량이 많아 전분 함량과 일반성분 함량이 낮게 측정되었다 (Table 7). 고구마의 전분 함량은 증미가 28.3±0.5%, 바이오미가 21.7±0.9%, 건미가 25.1±0.6%이었고, 일반성분 함

량 중 수분 함량은 증미가 63.9±0.3%, 바이오미가 72.5±0.5%, 건미가 71.1±0.8%를 나타내었다(Table 7). 이 결과를 토대로 SAS 프로그램으로 단순 회귀분석을 한 결과, 유의수준 10% 하에서, 고구마의 경우 전분과 수분이 에탄올 생산량에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 8). 표준화 회귀계수의 크기에 의하면, 전분과 수분의 표준화회귀계수 값(절대값)이 각각 0.64547과 0.62408로 다른 변수에 비해 크다는 것을 알 수 있는데, 이로써 전분이 에탄올 생산량 증

**Table 6.** The simple regression analysis<sup>†</sup> for ethanol production from corn.

Components of corn	Standardized estimate	P-value
Starch	0.52852	0.0773
Moisture	-0.33700	0.2841
Crude protein	0.37182	0.2340
Crude fat	0.17937	0.5770
Crude fiber	0.33583	0.2859
Ash	0.05935	0.8546

<sup>†</sup>Level of significance α=0.10.

**Table 7.** Effect of different components of sweet potato on the ethanol production.

Sweet potato	Component (%)						Ethanol (%, v/v)
	Starch	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash	
Jeungmi	27.2	64.2	1.8	0.5	0.7	0.9	4.6
	28.5	64.4	1.9	0.5	0.9	0.9	4.4
	29.2	63.1	1.8	0.3	0.8	1.0	3.7
Average	28.3±0.5 <sup>†</sup>	63.9±0.3	1.8±0.0	0.4±0.0	0.8±0.1	1.0±0.0	4.3±0.2
Biomi	21.2	72.9	1.2	0.2	0.8	0.7	3.4
	20.1	73.4	1.4	0.3	0.9	0.9	3.1
	24.0	71.3	1.4	0.2	0.8	0.8	2.8
Average	21.7±0.9	72.5±0.5	1.3±0.0	0.3±0.0	0.8±0.0	0.8±0.0	3.1±0.1
Gunmi	26.4	71.7	1.1	0.3	0.9	0.8	3.6
	24.8	72.4	1.1	0.0	1.0	0.8	4.1
	24.0	69.3	1.1	0.0	0.9	0.9	3.3
Average	25.1±0.6	71.1±0.8	1.1±0.0	0.1±0.1	0.9±0.0	0.8±0.0	3.7±0.2

<sup>†</sup>Mean±SE.

**Table 8.** The simple regression analysis<sup>†</sup> for ethanol production from sweet potato.

Components of sweet potato	Standardized estimate	P-value
Starch	0.64547	0.0604
Moisture	-0.62408	0.0724
Crude protein	0.47336	0.1981
Crude fat	0.45284	0.2209
Crude fiber	-0.03159	0.9358
Ash	0.39370	0.2945

<sup>†</sup>Level of significance α=0.10.

진에 중요한 역할을 하는 변수임을 알 수 있었다. 또한 수분의 경우, 음의 값으로 표준화회귀계수가 크다는 것을 알 수 있는데 이는 수분 함량이 많을수록, 상대적으로 에탄올 생산량은 감소되는 형태를 나타내는 것이다. 고구마의 경우 수분함량이 높아 에탄올 생산 공장에서 장기 보존에 어려움이 예상되며 이를 해결하기위해 건조시킨 절간 고구마의 사용이 필요하리라 본다.

### 에탄올 생산에 영향을 미치는 곡물 성분

통계처리 결과 에탄올 생산에 유의적 영향을 미치는 각 작물의 성분을 종합적으로 Table 9에 나타내었다. 여기에서 보면 모든 원료에서 전분 함량이 에탄올 생산량에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났다. 전분 함량이 에탄올 생산에 미치는 영향은 현미, 쌀보리, 옥수수, 고구마의 모두의 경우 전분 함량이 높을수록 에탄올 생산량이 높아졌다. 또한 현미의 경우, 회분 함량이 높을수록 에탄올 생산량이 감소하는 것으로 분석되었다. 쌀보리의 경우 단백질 함량이 낮을수록 에탄올 생산이 많이 되는 것으로 나타났으며, 특이하게도 조섬유의 경우는 조단백질 함량과 반대로 조섬유 함량이 높을수록 에탄올 생산량이 많았다. 고구마의 경우, 수분 함량이 다른 원료에 비하여 상대적으로 높았으며, 수분 함량이 높을수록 에탄올 생산량은 줄어드는 것으로 분석되었다.

낮은 전분과 높은 수분함량의 곡물로부터는 높은 에탄올 생산수율을 얻을 수 없다. 따라서 에탄올 생산용 작물을 육종하기 위해서는, 사람이나 동물의 영양섭취를 위해 사용되는 곡류를 위해서 전통적으로 단백질 양이 증가된 작물을 선택하기보다는, 전분량을 늘리는 방향으로 육종을 하여야 할 것이다. 예를 들면 높은 수분량(14%)과 낮은 전분량(67%)으로부터 365 l/ton의 에탄올이 생산되지만, 최근에는 12% 수분과 71% 전분으로부터 400 l/ton의 생산이 옥수수로부터 가능하게 되었다(Ingledeew, 2005).

효모의 성장을 위해서는 물, 발효 가능한 탄소원, 세포막 형성을 위한 산소와 지질, 질소원, 비타민 같은 성장인자, 무기이온들이 필요하다(Russell, 2003). 혐기적 조건하에서 효모의 성장은 에탄올 생산과 직결되어 있다. 성장하는 효모는 휴지기의 효모보다 에탄올을 약 33배 높게 생산한다(Kirsop, 1982). 따라서 에탄올을 잘 생산하려면 어느 정도 효모세포성장이 수반되어야 한다. 효모는 무기 암모늄 이온, 요소, 아미노산, 작은 펩타이드 같은 저분자량의 질소 물질만 이용할 수 있고(Ingledeew, 1999), 단백질이나 tripeptides보다 큰 분자는 성장에 이용할 수 없다(Patterson and Ingledeew, 1999). 본 연구에서 보리의 경우 총단백질이 많을수록 에탄올 생산량이 적은 이유는 확실히 알 수가 없다. 왜냐하면 총단백질량이 많다고 해서 이용가능한 질소가 얼마나 있는지 알 수 없기 때문이다. 단지 총단백질량이 많을수록 상대적으로 전분량이 줄어들어 에탄올량이 적을 것으로 추측해 보는 정도이다.

무기이온은 효모의 성장과 발효에 요구되며, 특히  $Zn^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Fe^{2+}$  등이 중요하다(Russell, 2003). 그러나 이들 무기이온의 농도가 일정 수준이상에서는 효모의 성장과/또는 발효를 억제한다(Russell, 2003). 그러나 현미의 경우 회분량이 많을수록 에탄올 생산량이 줄어드는 경향에 대한 이유는 현재로서는 명확치 않다.

전반적으로 본 실험에 사용된 작물들에서 모두 전분량이 높을 경우 높은 에탄올 생산량을 나타냈다. 또한 수분이 63.9~71.1%(Table 7)로서 11.1~14.6%(Table 1, 3, 5)인 다른 곡물보다 월등히 많은 고구마의 경우 수분함량이 크게 에탄올 생산량을 감소시켰는데, 이는 많은 수분량을 가진 고구마는 결국 적은 전분량을 가지는 것에 기인하는 것으로 사료된다. 전분과 수분량을 제외한 그 외의 조단백질, 조섬유, 회분량과 에탄올 생산량의 관계에 대한 원인 규명은 더 연구가 필요하다.

**Table 9.** The crop components significantly affecting ethanol production.

Crop	Starch	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash
Brown rice	△(+)					△(-)
Barley	○(+)		○(-)		○(+)	
Corn	△(+)					
Sweet potato	△(+)	△(-)				

△ means 10% level of significance,  $P < 0.1$ .

○ means 5% level of significance,  $P < 0.05$ .

(+) means that content of each component positively affected ethanol production.

(-) means that content of each component negatively affected ethanol production.

**Table 10.** Ethanol production yield of various crops.

Crop	Variety	Ethanol production yield (l/Ton)	
		Wet weight base	Dry weight base
Brown rice	Hwasung	439.3	506.1
	Hwasunchal	426.9	495.8
	Dasan	443.5	519.3
Barley	Saesal	344.0	394.0
	Hobanchal	319.1	364.3
	Chungho	348.1	395.6
Corn	Cheonganok	360.6	407.4
	Gangdaok	360.6	405.6
	Gwangpyungok	352.3	397.6
	Jangdaok	356.4	402.7
Sweet potato	Jeungmi	178.2	493.7
	Biomi	128.5	467.2
	Gunmi	153.3	530.6

### 원료대비 에탄올 생산수율

원료대비 에탄올 생산수율은 Table 10에 나타내었다. 건조 전 중량을 기준(wet weight base)으로 할 때는 가장 높은 생산수율은 현미에서 나타났고, 이중에서도 다산 현미가 439.3 l/ton으로 가장 높았고, 그 다음 옥수수 그리고 보리의 순이었으며, 수분함량이 높은 고구마의 경우 전분함량이 상대적으로 낮아 에탄올 생산량이 낮게 분석되었다. 그러나 건조 후 중량 기준(dry weight base) 시에는 건미 고구마가 530.6 l/ton으로 가장 높았고, 그 다음이 다산 현미 등의 현미, 정미 및 바이오미의 고구마, 옥수수, 보리의 순이었다. 품종 간 전분함량이 유사한 옥수수(Table 5)의 경우 에탄올 생산수율이 비슷하게 나타났다. 따라서 에탄올 생산수율에 있어서 전분함량, 수분함량 등이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편 단위면적당 에탄올 생산량 성적을 살펴보면 현미가 평균 2560.0 l/ha, 쌀보리가 평균 1523.6 l/ha, 옥수수가 평균 2992.3 l/ha, 고구마가 평균 4169.1 l/ha로 나타났으며, 이 중에서 건미 고구마가 5115.7 l/ha로 가장 높은 단위면적당 에탄올 생산량을 보였다.

### 적 요

현미, 쌀보리, 옥수수, 고구마작물의 전분 함량과 일반성분 함량분석이 에탄올 생산에 미치는 영향을 조사하였다.

1. 단순 회귀분석 결과에 의해서 각 원료에서 전분 함량이 에탄올 생산량에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났는데, 전분 함량이 높을수록 에탄올 생산이 증가하였다.

2. 쌀보리의 경우 단백질 함량이 낮을수록 에탄올 생산이 많이 되는 것으로 나타났으며, 특이하게도 조섬유의 경우는 단백질 함량과 반대로 조섬유 함량이 높을수록 에탄올 생산이 높았다.

3. 현미의 경우, 회분 함량이 높을수록 에탄올 생산이 낮게 나타났다.

4. 고구마의 경우, 수분 함량이 다른 원료에 비하여 상대적으로 뚜렷이 높았으며, 수분 함량이 높을수록 에탄올 생산량은 낮아지는 것으로 분석되었다.

5. 건조 전 작물 중량을 기준으로 할 때 가장 높은 에탄올 생산수율은 현미에서 나타났고, 이중에서도 다산 현미가 439.3 liter/ton으로 가장 높았고, 그 다음 옥수수 그리고 보리의 순이었으며, 수분함량이 높은 고구마의 경우 전분함량이 상대적으로 낮아 에탄올 생산량이 낮게 분석되었다.

6. 건조 후 작물 중량 기준 시에는 건미 고구마가 530.6 l/ton으로 가장 높았고, 그 다음이 다산 현미 등의 현미, 정미 및 바이오미의 고구마, 옥수수, 보리의 순이었다.

7. 단위면적당 에탄올 생산량 성적을 살펴보면 현미가 평균 2560.0 l/ha, 쌀보리가 평균 1523.6 l/ha, 옥수수가 평균 2992.3 l/ha, 고구마가 평균 4169.1 l/ha로 나타났으며, 이 중에서 건미 고구마가 5115.7 l/ha로 가장 높은 단위면적당 에탄올 생산량을 보였다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 바이오에너지 사업단(2007-2009

년의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사합니다. 또한 본 실험에 사용한 작물들을 제공해주신 농촌진흥청 작물과학원 유전육종과 김명기 박사님(현미), 맥류전작과 이미지 박사님(쌀보리), 작물기능개발과 손범영 박사님(옥수수), 목포시험장 구근작물연구실 정광호 박사님(고구마)께 감사드립니다.

### 인용문헌

- 김광수, 김용범, 장영석, 방진기. 2007. 바이오에너지 원료작물 생산 및 연구동향. 식물생명공학회지. 34 : 103-109.
- 수송용 바이오분야 전문위원회. 2007. 신·재생에너지 R & D 전략 2030. 바이오(수송용). 산업자원부.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the A.O.A.C., 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C., USA. pp. 79-781.
- Energy Policy Act. 2005. Title XV (Ethanol and Motor Fuels). Subtitle A (General Provisions), Section 1501.
- Hsu, T. 1996. Pretreatment of biomass. In: Wyman, C (ed.) Handbook on bioethanol: production and utilization. Taylor & Francis. Washington DC. pp. 179-212.
- Ingledeu, W. M. 1999. Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: a yeast primer. In K. A. Jacques, T. P. Lyons, and D. R. Kelsall (eds.). Chap. 5. The alcohol textbook. 3rd ed. Nottingham University Press, Nottingham. pp. 49-87.
- Ingledeu, W. M. 2005. Improvements in alcohol technology through advancements in fermentation technology. Getreide-technologie. 59 : 308-311.
- Kirsop, B. H. 1982. Developments in beer fermentation. Topics in Enzymes and Fermentation Technology. 6 : 79-131.
- Miller, G. L. 1959. Determination of reducing sugar by DNS method. Anal Chem. 31 : 426-429.
- Patterson, C. A. and W. M. Ingledeu. 1999. Utilization of peptides by a lager brewing yeast. J. Am. Soc. Brew. Chem. 57 : 1-8.
- Russell, I. 2003. Understanding yeast fundamentals. In K. A. Jacques, T. P. Lyons, and D. R. Kelsall (eds.). 4th ed. Chap. 9. The alcohol textbook. Nottingham University Press, Nottingham. pp. 85-119.
- World Watch Institute. 2006. Bio-fuel for transportation, global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century. Washington, D. C. June 7.
- Wu, X., R. Zhao, D. Wang, S. R. Bean, P. A. Seib, M. R. Tuinstra, M. Campbell, and A. O'Brien. 2006. Effects of amylose, corn protein, and corn fiber contents on production of ethanol from starch-rich media. Cereal Chem. 83(5) : 369-575.