

감자의 성분함량과 품종이 바이오에탄올 생산에 미치는 영향

장유리 · 임영훈 · 김근[†]

수원대학교 생명공학과

Effect of Content of Potato Tuber Component and Potato Variety on the Bioethanol Production

You ri Jang, Young hoon Lim, and Keun Kim[†]

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 potatoes were analyzed. The average starch contents of Go-woon, Ha-ryoung, Dae-seo, Jo-won, Ga-won potatoes were 17.9 ± 0.2 , 18.0 ± 1.7 , 17.7 ± 0.5 , 14.8 ± 0.4 , and $16.2\pm 1.0\%$, respectively. The ground powder of each starchy substrate was suspended in distilled water, and then liquefied, saccharified, and fermented by *Saccharomyces cerevisiae* ATCC26603 at 30°C for 4 days. By statistical analysis, the effectiveness of the contents of the different components of the potato tubers on the ethanol production were examined. The results showed that the starch content positively affected the ethanol production, while moisture content affected negatively the ethanol production. Ethanol production from the 5 different varieties of potato tubers harvested on different time were examined and the results indicated that both of potato variety and the harvesting-time significantly affected the ethanol production. Among the several varieties of potato, Ha-ryoung produced the highest yield of ethanol as much as 94.3 ± 1.9 L/ton or 3111 ± 62.7 L/ha.

Keywords : potato variety, tuber components, bioethanol, harvesting time, statistical analysis

세계적으로 불안정한 국제 유가에 대처하고, 지구 온난화의 원인인 이산화탄소의 배출량 감소를 위하여 석유를 대체할 재생이 가능하고 carbon-neutral 한 바이오에너지 생산이 전 세계적인 관심을 집중시키고 있다.

지금까지 가장 대표적인 바이오에너지는 바이오에탄올을

들 수 있다(World Watch Institute, 2006). 바이오에탄올은 현재 세계적으로 사탕수수, 사탕무의 당질계와 옥수수, 밀, 보리 등의 곡류 중심의 전분질계 원료로부터 생산한다(Energy Policy Act, 2005; 수송용 바이오 분야 전문위원회, 2007). 이외에도, 식량과 사료값의 폭등과 윤리적 문제를 해결하기 위한 시도로 섬유질이나 해조류로부터 에탄올 생산이 검토되고 있으나 기술적 난제로 인하여 이들로부터 에탄올 생산의 상용화는 아직 요원하다.

이를 탈피하여 최근에는 고구마와 카사바와 같은 뿌리작물로부터 에탄올 생산이 태국과 중국에서 성장하고 있고(Nguyen and Gheewala, 2008; Schwartz, 2008), 미국 농무성(USDA) 과학자들은 고구마와 카사바는 옥수수에 비하여 1.5 배 내지 2.3배의 발효가 가능한 탄수화물을 생산한다고 발표하였다(Ziska *et al.*, 2009). 감자 역시 단위 면적당 높은 에탄올 생산량 때문에 일부 유럽 지역에서 바이오에탄올 생산원료로서 주목을 받고 있다(Venkatasubramanian *et al.*, 1985).

감자는 저온성 작물로 생육기간이 짧고 단위 면적당 생산량이 높을 뿐만 아니라 토질에 대한 적응성이 커서 전 세계적으로 재배되고 있다(최 와 고, 1991). 또한 감자는 전분질 이외에 칼륨, 인, 마그네슘 등의 무기질과 비타민 B군 및 비타민 C가 풍부하여 서구에서는 오래전부터 주식으로 이용해왔다(신 등, 1994). 국내에서 감자는 강원도를 중심으로 전국적으로 재배되고 있으며 쌀, 옥수수, 대두와 함께 주요 생산 작물로 분류된다. 감자는 바이오에탄올 생산에 쓰일 수 있지만(Tasic *et al.*, 2009; Srichuwong *et al.*, 2009), 유사시 식량으로 사용될 수 있다는 장점을 가지고 있다.

지금까지는 작물의 품종개발이나 생산량 증가 등의 목적

[†]Corresponding author: (Phone) +82-31-220-2344 (E-mail) kkim@suwon.ac.kr

<Received 19 July 2011; Revised 15 September 2011; Accepted 16 September 2011>

이 식량자원으로서의 기능에 초점을 맞추어 연구가 진행되어 왔지만 앞으로의 연구방향은 바이오에너지 원료로서의 작물에 초점을 맞춘 품질이나 생산량 등에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다(김 등, 2007). 한편, 현재까지 바이오에탄올의 공업적 생산 연구는 적은 양의 바이오매스를 이용하여 최대한의 바이오에탄올을 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 감자의 일반성분인 수분, 단백질, 조지방, 조섬유, 회분 등의 함량을 분석하고 이러한 일반성분들의 함량이 바이오에탄올 생산에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 조사하였다. 또한 감자의 품종 및 단위 재배 면적당 에탄올 생산량을 비교하고자 하였고, 이러한 연구결과는 바이오 에탄올을 생산하기 위한 감자의 육종 방향과 품종 선정을 제시해 주는데 유용할 것이다.

재료 및 방법

감자

생산 시기가 다른 고운, 하령, 대서, 조원, 가원 5 품종의 감자 괴경을 사용하였다. 각 품종은 2010년 4월 10일에 파종하여 동년 6월 30일, 7월 9일, 7월 20일 3차례 수확하였다. 이들은 모두 농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구센터로부터 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 희석하고 3, 5-dinitrosalicylic acid(Sigma, USA)을 사용하여 환원당을 측정한 후(Miller, 1959) 전분함량으로 환산하였다.

일반성분 함량 분석

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

조단백질 함량 분석을 위해 각 분쇄한 원료 2 g과 분해촉진제(CuSO₄ 0.1 g과 K₂SO₄ 0.9 g의 혼합물) 1 g을 유산지

에 싸서 케탈분해용 플라스크에 넣은 후 H₂SO₄ 20 ml를 첨가하고 가열하여 분해하였다. 4배 희석한 분해액 20 ml를 Semimicro Kjeldahl 증류장치로 증류하였다. 0.1 N H₂SO₄에 포집된 총 질소량을 0.1 N NaOH로 적정하여 소비된 ml 수를 공시험액과의 차이로써 측정하였다(AOAC, 1990).

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

조섬유 함량 분석은 수회 탈지한 시료 2 g을 삼각플라스크에 옮긴 후 1.25% H₂SO₄와 1.25% NaOH을 이용하여 분해하고, 남은 시료를 작열 회화한 후 잔류한 무게를 측정하여 조섬유 함량을 측정하였다(AOAC, 1990).

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

에탄올 발효

감자를 분쇄하여 10%(v/v) Termanyl 120 L(Novozyme, Denmark) 액화효소를 200 µl 첨가하여 90°C에서 1시간 처리 후, 다시 95°C에서 1시간 액화하고, *Aspergillus* sp. 유래의 복합 당화효소(4,500 SP) 0.194 g을 첨가하여 60°C에서 1시간 당화과정 처리 후 *Saccharomyces cerevisiae* ATCC26603 균주 3 loop의 균체를 접종하여 30°C에서 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 성분 분석 및 에탄올 발효 측정은 3 반복하였으며, 각 결과를 종합하여 각 성분과 에탄올 생산량과의 관계를 SAS 프로그램을 통하여 회귀 분석하였다.

결과 및 고찰

감자의 일반성분 함량이 에탄올 생산에 미치는 영향

감자 5품종의 전분, 수분, 조단백, 조지방, 조섬유, 회분 등의 일반성분 함량과 에탄올 생산량을 조사하였고, 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 전분량은 14.8±0.4 ~ 18.0±1.7%, 수분함량은 75.8±0.8 ~ 81.2±0.3%, 조단백질 0.95±0.0 ~ 1.9±0.1%의 범위로 품종 간의 변화폭 이 비교적 큰 반면에, 조지방 0.0±0.0 ~ 0.1±0.0%, 조섬유 0.4±0.0 ~ 0.6±0.0%, 회분 0.8±0.0 ~ 1.1±0.0%으로 변화 폭이 비교적 작았다. 에탄올 생산량

Table 1. Effect of different components of potato tuber^a on the ethanol production.

Potato	Component (%)						Ethanol (%, v/v)
	Starch	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude fiber	Ash	
Go-woon	17.8	78.2	1.0	0.0	0.5	1.0	9.6
	18.1	77.6	1.0	0.0	0.5	1.0	10.2
	17.9	78.3	0.9	0.0	0.5	1.0	9.4
Average	17.9±0.2 ^b	78.0±0.2	0.95±0.0	0.0±0.0	0.5±0.0	1.0±0.0	9.7±0.2
Ha-ryoung	16.4	77.3	1.4	0.0	0.6	0.9	9.8
	19.7	75.1	1.5	0.0	0.5	1.0	10.0
	18.0	74.9	1.5	0.1	0.5	1.0	10.4
Average	18.0±1.7	75.8±0.8	1.5±0.0	0.0±0.0	0.6±0.0	1.0±0.0	10.1±0.2
Dae-seo	17.9	76.8	1.5	0.1	0.5	0.9	10.0
	16.7	78.4	1.5	0.1	0.5	0.9	10.0
	18.3	76.8	1.5	0.1	0.5	0.9	9.0
Average	17.7±0.5	77.3±0.5	1.5±0.0	0.1±0.0	0.5±0.0	0.9±0.0	9.7±0.3
Jo-won	14.7	81.2	1.2	0.0	0.4	0.8	8.2
	14.1	81.8	1.2	0.1	0.5	0.8	8.6
	15.5	80.7	1.3	0.0	0.4	0.9	8.6
Average	14.8±0.4	81.2±0.3	1.2±0.0	0.1±0.0	0.4±0.0	0.8±0.0	8.5±0.1
Ga-won	17.2	76.3	2.0	0.0	0.5	1.2	9.2
	15.1	77.3	1.8	0.0	0.5	1.1	9.4
	16.2	76.8	2.0	0.0	0.5	1.1	9.3
Average	16.2±1.0	76.8±0.5	1.9±0.1	0.0±0.0	0.5±0.0	1.1±0.0	9.3±0.1

^a The potato tubers harvested on June 30 ~ July 20th, 2010 were used for this experiment.

^b Mean ± SE.

도 9.3±0.1 ~ 10.1±0.2%로 변화 폭이 큰 편이었다. 5품종 중에서 각 성분별로 함량이 가장 많은 품종은 전분-하령, 수분-조원, 조단백-가원, 조지방-대서 및 조원, 조섬유-하령, 회분-가원이었고, 에탄올 생산량은 하령이 가장 많았다.

이들 감자의 일반성분 함량분석을 토대로 SAS 프로그램을 통해 단순 회귀분석을 한 결과, 유의수준 10% 하에서 전분함량과 수분이 에탄올 생산에 영향을 주는 것으로 나타났다(Table 2). 전분의 경우 양의 값으로, 그리고 수분의 경우 음의 값으로 표준화회귀계수가 크을 알 수 있는데 이는 전분이 많을수록 에탄올 생산량이 증가하고, 수분이 많을수록 에탄올 생산량은 감소한다는 것을 의미한다. 표준화회귀계수가 통계적으로 유의한 변수들 중에서 종속변수인 에탄올 생산량에 영향을 미치는 주요한 변수의 순서를 나타낸다고 할 때, 본 자료에서는 수분과 전분의 표준화회귀계수 값(절대값)이 2.40908과 1.62052으로 수분이 전분에 비하여 에

Table 2. The simple regression analysis^a for ethanol production from potato tuber.

Components of potato tuber	Standardized estimate	P-value
Starch	1.62052	0.0050
Moisture	-2.40908	0.0010
Crude protein	0.01791	0.9022
Crude fat	0.00143	0.8879
Crude fiber	0.04497	0.0303
Ash	0.05296	0.2056

^a Level of significance $\alpha=0.05$.

탄올 생산량 변화에 있어서 조금 더 큰 영향을 주는 변수임을 알 수 있다.

낮은 전분과 높은 수분함량의 품종의 감자로부터는 높은 에탄올 생산수율을 얻을 수 없다. 따라서 에탄올 생산용 품

종으로 감자를 육종하기 위해서는, 사람이나 동물의 영양섭취를 위해 단백질 양이 증가된 작물을 선택하기보다는, 전분량을 늘리는 방향으로 육종을 하여야 할 것이다. 예를 들면, 옥수수의 경우 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 효모세포의 성장이 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 가원감자의 경우 총 단백질량이 제일 많은 반면(1.9±0.1%) 에탄올 생산량은 상대적으로 적었다(9.3±0.1%). 이 결과로 볼 때 단백질량이 에탄올 생산량 증가에 영향을 주지 않는 것으로 볼 수 있다.

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). 본 연구에서 모든 감자들이 비슷한 회분 함량을 나타내었기 때문에, 감자 종에 따른 무기이온의 에탄올 생산에 대한 영향을 알기는 어렵다.

전반적으로 본 실험에 사용된 모든 감자 품종들에서 전분

량이 많을수록, 그리고 수분이 적을수록 많은 에탄올 생산량을 나타내었다. 이 등(2008)의 실험 결과에 의하면 여러 작물에서 공히 전분이 많을수록 에탄올 생산이 많았는데 그 외에 쌀보리의 경우 단백질 함량이 낮을수록 그리고 조섬유 함량이 많을수록 에탄올 생산이 많았고, 현미의 경우에는 회분 함량이 높을수록 에탄올 생산이 낮게 나타났으며, 옥수수의 경우는 전분외에 에탄올 생산량에 영향을 끼치는 성분이 없었다. 고구마의 경우는 본 연구의 감자와 마찬가지로 전분이 많을수록, 수분이 적을수록 에탄올 생산량이 많았다(이 등, 2008). 따라서 이상 보고된 모든 작물에서 공히 전분이 많을수록 에탄올 생산량이 많았으나, 수분의 경우는 감자와 고구마에서만 에탄올 생산에 영향을 끼쳤는데, 그 이유는 감자와 고구마가 다른 곡류 작물보다 수분함량이 월등히 많아 전분함량이 크게 좌우되었기 때문으로 사료된다.

감자 품종별 에탄올 생산수율

감자 품종별 중량 및 단위면적당 에탄올 생산수율을 조사하였고 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 중량당 에탄올 생산수율은 습중량을 기준(wet weight base)으로 하였으며, 하령 감자가 94.3±1.9 L/ton으로서 가장 높은 에탄올 생산수율을 나타내었고, 고운이 그 다음으로 가장 높았으며 그 다음 대서와 가원 그리고 조원이 79.9±0.9 L/ton의 순이었다. 가장 높은 하령과 가장 낮은 조원의 습중량당 에탄올 생산수율 차이는 14.4±1.0 L/ton이었다.

한편 단위면적당 에탄올 생산량을 살펴보면 하령 감자가 3111.9±62.7 L/ha로 가장 높은 단위면적당 에탄올 생산수율을 보였고, 대서와 고운이 그 다음으로 가장 높았으며 그 다음 가원, 그리고 조원이 2556.8±28.8 L/ha로 가장 낮았다. 가장 높은 하령과 가장 낮은 조원의 단위면적당 에탄올 생

Table 3. Ethanol production yield of several varieties of potato tuber.

Potato variety	Ethanol production yield (L)	
	per ton of potato tuber ^a	per unit area of land(ha) ^b
Go-woon	91.1±1.9ab ^c	2733.0±57.0ab ^c
Ha-ryoung	94.3±1.9a	3111.9±62.7a
Dae-seo	90.6±2.8ab	3080.4±95.2ab
Jo-won	79.9±0.9c	2556.8±28.8c
Ga-won	87.1±0.9b	2787.2±28.8b
Statistical analysis	p<0.0001	p<0.0001

^a Wet weight base

^b Based on average potato tuber yields of 30 ton/ha of Go-woon, 33 ton/ha of Ha-ryoung, 34 ton/ha of Dae-seo, 32 ton/ha of Jo-won, 32 ton/ha of Ga-won(personal communication).

^c The means in the same column followed by the same letters were not significantly different in a pairwise t-test.

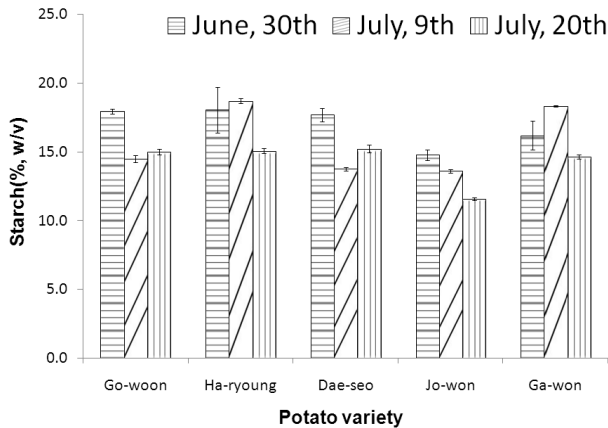


Fig. 1. Starch content of potato tubers of several varieties harvested on different time. The potato was sowed on April 6th, 2010.

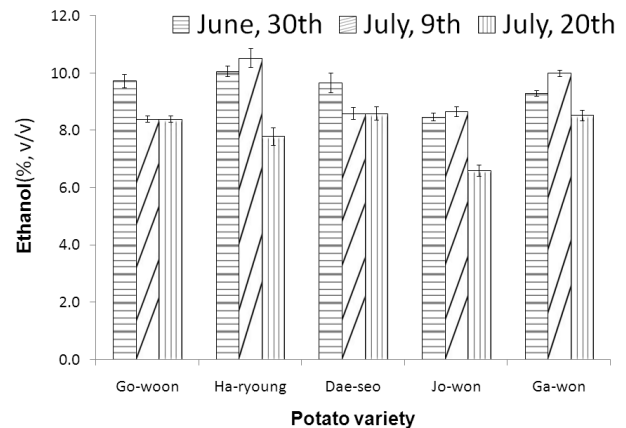


Fig. 2. Ethanol production from potato tubers of several varieties harvested on different time. The potato was sowed on April 6th, 2010.

산 수율의 차이는 555.1 ± 33.9 L/ha이었다. 이 단위면적당 에탄올 생산량에 있어 품종간 서열은 습중량당 에탄올 생산량의 품종간 서열과 같았는데, 그 이유는 단위면적당 감자 생산량에 있어 품종별로 큰 차이가 없는 것(고운, 30 ton/ha; 하령, 33 ton/ha, 대서, 34 ton/ha, 조원 32 ton/ha, 가원 32 ton/ha)(personal communication)에 기인한다고 해석된다.

한편 다른 논문에서는 유럽 일부 지역에서 바이오에탄올 원료로써의 감자의 에탄올 생산수율은 74 L/ton(Easson and Woods, 2004) 또는 1,400-1,800 L/ha(Venkatasubramanian *et al.*, 1985)로 보고되었다. 이에 비하여 본 실험에서 사용된 감자들은 습중량당 에탄올 생산량 $79.9 \pm 0.9 \sim 94.3 \pm 1.9$ L/ton, 단위면적당 에탄올 생산량 $2556.6 \pm 28.8 \sim 3111.9 \pm 62.7$ L/ha으로서 본 연구에서의 감자 에탄올 생산 수율이 유럽지역에서의 감자 에탄올 생산보다 더 많았다. 또한 단위면적당 에탄올 생산량을 다른 작물과 비교하여 볼 때 현미가 평균 2560.0 L/ha, 쌀보리가 평균 1523.6 L/ha, 옥수수가 평균 2992.3 L/ha로 보고되어(이 외, 2008), 하령감자의 경우 3111.9 ± 62.7 L/ha로서 다른 작물보다 더 높은 단위면적당 에탄올 생산량을 보였다. 이와 같은 사실은 국내에서 생산된 감자가 바이오에탄올 생산에 있어 다른 지역 및 다른 작물과 대비하여 우수한 경쟁력을 가지고 있다고 판단된다.

감자 수확시기에 따른 에탄올 생산량 비교

감자 수확시기에 따른 감자내 전분 함량과 에탄올 생산량을 조사하였고, 그 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 먼저 전분 함량의 경우 수확시기에 따라 전분 함량이 차이가 있게 나타났고, 감자 품종에 따라서도 전분 함량이 가장 많은 수확시기가 다르게 나타났다. 즉, 수확시기 6월 30

일에 가장 많은 전분량을 나타낸 품종은 고운, 대서, 조원이었고, 7월 9일에 가장 많은 전분량을 나타낸 품종은 하령과 가원이었다. 한편 7월 20일에 가장 많은 전분량을 나타낸 품종은 없었다. 여러 품종과 수확시기들 중에서 가장 많은 전분량은 하령에서 7월 9일 수확한 것이었고, 그 다음은 가원에서 7월 9일에 수확한 것이었다.

여러 품종의 수확시기별 에탄올 생산량(Fig. 2)의 변화도 전분의 경우와 대체로 유사하였다. 가장 많은 에탄올 생산을 나타낸 수확 시기는 품종마다 다르게 나타났는데, 최적 수확시기가 6월 30일인 경우는 고운과 대서이었고, 7월 9일의 경우는 하령과 가원이었다. 조원의 경우는 6월 30일과 7월 9일의 에탄올 생산량이 비슷하였고, 7월 9일이 약간 높게 나타났다. 한편 7월 20일이 수확 최적 시기인 품종은 없었다.

이상의 결과들로부터 에탄올 생산을 위한 감자는 그 품종과 수확시기의 선택이 중요함을 알 수 있다. 전체적으로 볼 때 가장 많은 에탄올은 하령 감자를 7월 9일에 수확한 것에서 나타났다.

적 요

감자로부터 바이오에탄올을 생산함에 있어, 감자 품종, 성분 함량, 감자 수확시기가 에탄올 생산에 미치는 영향을 조사하였다.

1. 단순 회귀분석 결과에 의해서 감자의 전분과 수분 함량이 에탄올 생산량에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났는데, 전분 함량이 높을수록 그리고 수분함량이

적을수록 에탄올 생산이 증가하였다.

2. 감자 품종별 중량 및 단위면적당 에탄올 생산수율을 조사한 결과, 하령 감자가 94.3±1.9 L/ton과 3111.9±62.7 L/ha으로서 가장 높은 에탄올 생산수율을 나타내었고, 조원이 79.9±0.9 L/ton과 2556.8±28.8 L/ha로 가장 낮았다.
3. 가장 많은 에탄올 생산을 나타낸 수확 시기는 품종마다 다르게 나타났는데, 최적 수확시기가 6월 30일인 경우는 고운과 대서이었고, 7월 9일의 경우는 하령과 가원이었다. 조원의 경우는 6월 30일과 7월 9일의 에탄올 생산량이 비슷하였고, 7월 9일이 약간 높게 나타났다. 한편 7월 20일이 수확 최적 시기인 품종은 없었다.
4. 이상의 결과들로부터 에탄올 생산을 위한 감자는 그 품종과 수확시기의 선택이 중요함을 알 수 있다. 전체적으로 볼 때 가장 많은 에탄올 생산량은 하령 감자를 7월 9일에 수확한 것에서 나타났다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 국책기술개발사업(과제번호: PJ007489)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사합니다. 또한 본 실험에 사용한 감자들을 제공하여주신 농촌진흥청 식량과학원 고령지농업연구소 서종택 박사님께 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.

신용서, 성현주, 김동한, 이갑상. 1994. 감자를 첨가한 요구르트의 제조와 특성. 한국식품과학회지. 26 : 266-271.

이경은, 이재연, 김 근. 2008. 작물의 성분 함량이 바이오에탄올 생산에 미치는 영향. 한국작물학회지. 53 : 339-346.

최옥자, 고무석. 1991. 마이크로파 가열이 감자가루 저장중 지방산 조성에 미치는 영향. 한국영양식량학회지. 20 : 461-466.

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.

Easson, D. L., V. B. Woods, E. G. A. Forbes. 2004. Potential of cropping for biofuels in northern Ireland, The Agricultural Research Institute of Northern Ireland, Hillsborough. p. 26.

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.

Ingledeew, 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.

Ingledeew, W. M. 2005. Improvements in alcohol technology through advancements in fermentation technology. *Getreidetechnologie*. 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.

Nguyen T. T., S. H. Gheewala. 2008. Life cycle assessment of fuel ethanol from cassava in Thailand. *Int. J. Life Cycle Assess.* 13 : 147-154.

Patterson, C. A. and W. M. Ingledeew. 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.

Schwartz L. 2008. China fuels ethanol industry with yams, sweet potatoes and cassava. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/story?id=52450>.

Srichuwong, S., M. Fujiwara, X. Wang, T. Seyama, R. Shiroma, M. Arakane, N. Mukojima, K. Tokuyasu. 2009. Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of very high gravity (VHG) potato mash for the production of ethanol. *Biomass & Bioenergy*. 33 : 890-898.

Tasic, M. B., B. V. Konstantinovic, M. L. Lazic, V. B. Veljkovic. 2009. The acid hydrolysis of potato tuber mash in bioethanol production. *Biochem. Eng. J.* 43 : 208-211.

Venkatasubramanian, K., H. J. Heinz, C. R. Keim. 1985. In :Dekker, M. (ed). *Starch conversion technology*. New York. Basel. pp. 143-173.

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.

Ziska L. H., G. B. Runion, M. Tomecek, S. A. Prior, H. A. Torbet, R. Sicher. 2009. An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. *Biomass & Bioenergy*. 33 : 1503-1508.