

바이오에너지 작물의 에너지자원으로서 잠재적 가치 평가

고병구^{1*} · 강기경¹ · 이덕배¹ · 김건엽¹ · 홍석영¹ · 김민경¹ · 소규호¹ · 서명철² · 서종호²

¹농촌진흥청 국립농업과학원, ²국립식량과학원

Assessment of Biomass Production and Potential Energy of Major Bioenergy Crops

Byong-Gu Ko^{1,*}, Kee-Kyung Kang¹, Deog-Bae Lee¹, Gun-Yeob Kim¹, Suk-Young Hong¹, Min-Kyeong Kim¹, Kyu-Ho So¹, Myung-Chul Seo², and Jong-Ho Seo²

¹National Academy of Agricultural Science (NAAS), RDA, 150 Suin-ro, Suwon-si 441-707,

²National Institute of Crop Science, RDA, 151 Suin-ro, Suwon-si 441-857

To evaluate the potential value of the major bioenergy crops which are wheat, canola, barley, corn, and sweet potato in Korea, we investigated the production of biomass and calorific value of crops, and also compared input and output factors among bioenergy crops during the cultivation period. There was difference between the biomass values in Agricultural and Forestry statistical yearbook(2006) and the one investigated in this experiment, also there was difference in crops and in species. Among the crops investigated, sweet potato(Jinhongmi, Yulmi) was shown the highest amount of biomass production and corn(Gangdaok) was shown the highest amount of the total biomass which is the total aboveground biomass at harvest. Oilseed canola which is presently a major source of bio-diesel had highest calorific value as 6,673~6,725 cal g⁻¹. Wheat and corn grains which are source of bio-ethanol were in the range of 3,879~4,317 cal g⁻¹. Gangdaok(Corn) produce the highest total calorific value in unit cultivating area among the crops as 8,263 kcal m⁻². Corn was shown that the input and output factors were the highest level among bioenergy crops during cultivation period. Sweet potato also was shown that output factor was the highest level though its input factors were average level. It is needed to be investigated more crops for collecting the higher potential value of bioenergy production further considering small land area and its effective utilization in Korea.

Key words: Bioenergy crops, Biomass, Calorific value

서 언

고유가와 지구적 차원의 기후변화에 대응하기 위해 생물자원을 이용한 대체 에너지 개발이 최근 국내외적으로 주목받고 있다. 우리나라는 에너지 소비부문에서 화석연료가 차지하는 비중이 높아 신재생 에너지의 중요성이 매우 높다고 할 수 있다. 우리나라에서도 겨울보리 대체작물로서 유채를 전남, 전북, 제주지역 1500ha에 걸쳐 2007년부터 재배 시범사업을 추진하고 있으며 재배농가에 170 만원 ha⁻¹의 지원금을 제공하고 있다.

식물의 바이오매스 생산량은 연간 단위면적당 고정된 탄소량(C ha⁻¹ yr⁻¹)이라 할 수 있다(Johnson 등, 2007). 바이오매스를 이용한 에너지 이용 형태는 직접

소각하거나 연료로 전환하는 방법은 현재도 활용되고 있는 매탄가스, 왕겨탄, 알코올의 생산뿐만 아니라 열분해 공정을 통해서 고부가가치 연료를 생산하는 방법 등이 있다. 대부분의 이러한 공정은 비교적 기술이 확립되고 적용이 가능하나 비용절감 및 효율성 제고를 위해 연구가 진행되고 있다.

농경지에서 발생하는 농업부산물에 대해 대체에너지원으로서의 활용가능성을 검토하기 위하여 포도, 배, 사과 등 과수와 고추대 등 농업부산물의 바이오매스 발열량을 조사한 결과, 4,000 kcal kg⁻¹ 이상을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다(홍성구, 2004). 또한 옥수수 대, 밀짚, 벼짚 등 작물의 셀룰로스 바이오매스는 에탄올을 생산하는 원료물질로서 사용되어질 수 있다(Johnson 등, 2007).

바이오연료는 동식물 등을 원료로 하여 생산되는 신재생 에너지로 경유를 대체할 수 있는 바이오디젤과

접수 : 2009. 11. 1 수리 : 2009. 11. 20

*연락처 : Phone: +82312900219,

E-mail: bgko@rda.go.kr

휘발유를 대체하는 바이오에탄올 및 바이오부탄올이 대표적이다. 바이오디젤은 유채, 해바라기, 팜유 등 유지작물에서 추출한 기름을 에스테르 공정을 거쳐 생산하며 바이오에탄올은 사탕수수 및 사탕무 등과 같은 당질이나 쌀, 보리, 옥수수 등 전분질을 이용하여 제조하는 발효에탄올을 말한다. 최근 유럽에서 바이오디젤의 주요 대체작목으로 mustard family (Brassicaceae)를 주요 후보 종으로 거론되고 있다. 또한, 종실용 유채 (*Brassica napus* L.)도 최근 유럽에서 바이오디젤의 주요 재료로서 사용되고 있다(Demirbas 2006). 유채와 같은 십자화과 종은 두과 작물과 비교하여 다양한 이점을 가지고 있는데, 특히 그 중에서 종자에 기름 함량이 높고, 농업적 투입이 적으며, 겨울철에도 잘 자라는 특성을 가지고 있다.

본 연구에서는 국내의 바이오 에너지 생산 작물로 주목받고 있는 주요작목을 대상으로 작물간 및 품종간 생산량과 총 바이오매스량 및 발열량을 조사 분석함으로써 바이오 에너지 생산의 잠재적 가치를 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 우리나라에서 바이오에너지 작물로서 주요 대상으로 하고 있는 작물 중 밀, 보리, 옥수수, 고구마, 유채를 대상으로 2~3종의 대표품종을 선택하였다. 그리고 우리나라 지역별로 재배하고 있는 주요 바이오에너지 작물의 재배면적 및 생산량은 농림수산 통계연보(NAQS, 2006)를 기초자료로 사용하였다.

시료채취 및 바이오매스량 측정 작물별 총 바이오매스 생산성은 국립식량과학원 시험전시포(수원 서둔동)와 바이오에너지작물센터(무안 청계리)에서 최근 3~5년간 재배한 수량성적의 평균값으로 하였다. 분석시료 및 수확지수를 측정하기 위하여 Table 1에 서와 같이 2007년 시험포에서 수확한 작물을 대상으

로 하였는데, 채취한 시료를 20 cm 이내로 절단한 후, 건조기를 이용하여 60°C에서 72시간 동안 건조하여 바이오매스량을 측정하였다. 이때 작물별 수확지수를 알아보기 위하여 주요 에너지 이용 부위인 알곡 혹은 괴근 부위와 기타 부위인 잎, 줄기 등을 합친 것으로 구분하였다.

열량분석 채취한 시료의 부위별 열량은 알곡부위와 알곡이외의 기타 부위로 구분하여 측정하였다. 열량측정 장치인 Bomb Calorimeters (Parr Instrument Company, PARR-1266)를 이용하여 작물 별 생산 열량을 분석하였는데, 건조된 시료는 1 mm 내외의 미세분말로 만들어 3반복으로 측정하였다. 단 유채 씨의 경우는 기름함량이 높아 분쇄에 어려움이 있어 분쇄하지 않고 1 g씩 무게를 달아 분석하였다.

작물재배 시 투입요인 분석 주요 바이오에너지 작물 재배시 농자재 및 관개수 투입량을 상대 비교를 위하여 시비량은 작물별시비처방기준(NIAST 2006a), 관개량은 발작물 물관리 지침서(NIAST 2006b), 농약 사용량은 농약사용지침서(KCPA, 2006)을 지표로 하여 분석하였다.

결과 및 고찰

주요 바이오에너지 작물의 지역별 재배면적 및 생산량 우리나라에서 바이오에너지 작물로 가능성이 높은 보리, 밀, 고구마, 옥수수, 유채의 지역별로 생산량을 조사한 결과는 그림 1과 같았다. 보리가 전남권에서 32,492 ha로 가장 많이 재배하고 있었으며, 다음으로 전북권 12,461 ha, 경남권은 7,624 ha 재배하고 있었다. 충남권 등 나머지 지역에서는 보리 재배가 가능함에도 불구하고 그 재배 면적은 미미하였다. 다음으로 옥수수가 많이 재배되는데 강원도에서 5,331 ha

Table 1. Sampling time and spots of Bioenergy crops.

Crops	Species	Sampling time	Sampling spots
Wheat	Keumkangmil, Geurumil	'07.6.14, 6.18.	Suwon NICS, (N37° 15 ' 39.49 " , E126° 58 ' 35.22 ")
Canola	Tammiyuchae, Sunmangyuchae	'07.06.07.	MuanBCRC, (34° 58 ' 08.45 " , 126° 27 ' 11.54 ")
Barley	Youngyangbori, Olbori	'07.06.08.	Suwon NICS, (N37° 15 ' 40.12 " , E126° 15 ' 37.14 ")
Com	Gangdaok, Jangdaok, Kwangpyeongok	'07.09.11.	Suwon NICS, (N37° 15 ' 41.36 " , E126° 58 ' 36.53 ")
Sweet potato	Jinhongmi, Yulmi	'07.10.26.	Muan BCRC, (34° 58 ' 13.25 " , 126° 27 ' 15.21 ")

ton의 옥수수 줄기에서도 에탄올 288~447 L가 생산 가능하다고 보고하고 있다. 또한 보리짚, 밀짚, 벼짚에서 각각 0.31, 0.29, 0.28 L의 에탄올 생산이 가능하다고 보고되고 있다(Kim, 2004).

수확지수가 높을수록 바이오에너지로 이용하는 주요 수확부위인 곡실부분이 많다는 것을 의미한다. 수확지수 HI(Harvest Index)는 $[HI = Y_{gr}/Y_{biol}]$ 로서 Y_{gr} 은 수확된 곡물부위, Y_{biol} 은 성숙기에 수확한 곡물부위를 포함한 지표면위의 총 바이오매스량이다(Donald and Hamblin, 1976).

수확지수는 고구마가 약 0.7로써 가장 높은 것으로 나타났고, 보리와 옥수수가 약 0.5 수준을 나타내었다. 수확지수는 미국의 경우 1940년부터 2000년까지 약 45% 증가되어 왔는데, 이 주된 영향은 유전자의 개량에 기인한다고 보고하고 있다(Kumudini, 2002).

열량계를 이용하여 측정된 건조된 바이오매스의 단위 중량당 열량은 Table 3에서 제시된 바와 같이 부위별 열량은 바이오 에탄올의 주 원료가 되는 밀, 옥수수 등은 3,879~4,317 cal g⁻¹으로 값의 범위 내에 있었으며, 대체적으로 알곡부위에서 높은 값을 보였다. Hong(2004)의 보고에서 목질계인 배, 포도, 사과 등의 잔가지의 열량이 4,300~4,600 cal g⁻¹인 점을 감안하면 약간 낮은 수치를 보였다. 한편 바이오 디젤의 주 원료로 사용되는 유지작물인 유채의 씨(에너지 이용부위)는 6,673~6,725 cal g⁻¹으로 가장 높게 나타났는데, 이는 유채 씨에 다량 함유되어 있는 유지성분이 탄수화물이나 전분보다 높은 열량을 가지고 있기 때문이다.

또한, 단위면적당 총 생산열량은 총 바이오매스가 가장 많은 옥수수의 강다육이 8,263 kcal m⁻²으로 나

Table 3. Production of biomass and harvest index by major bioenergy crops.

Crop	Species	Biomass (kg 10a ⁻¹)		Harvest index (Y_{gr}/Y_{biol})
		Y_{gr}^{\dagger}	Y_{biol}^{\ddagger}	
Wheat	eumkangmil	397	1,080	0.37
	Geurumil	315	676	0.47
Canola	Tammiyuchae	250	790	0.32
	Sunmangyuchae	350	1,045	0.33
Barley	Youngyangbori	364	729	0.50
	Olbori	275	511	0.54
Corn	Gangdaok	818	2,035	0.40
	Jangdaok	880	1,633	0.54
	Kwangpyeongok	828	1,860	0.45
Sweet potato	Jinhongmi	1,189	1,689	0.70
	Yulmi	1,015	1,472	0.69

[†] Y_{gr} is harvested grain.

[‡] Y_{biol} is the total aboveground biomass including the harvested grain at maturity.

Table 4. Production of calory by major bioenergy crops.

Crop	Species	Calorie(cal g ⁻¹)		Energy production (kcal m ⁻²)
		Y_{gr}^{\dagger}	Y_{stm}^{\ddagger}	
Wheat	eumkangmil	4,317	3,985	4,434
	Geurumil	4,263	3,989	2,781
Canola	Tammiyuchae	6,674	3,896	3,771
	Sunmangyuchae	6,725	3,918	5,077
Barley	Youngyangbori	4,181	4,059	3,004
	Olbori	4,179	4,052	2,657
Corn	Gangdaok	4,190	3,974	8,263
	Jangdaok	4,146	3,886	6,575
	Kwangpyeongok	4,145	3,903	7,461
Sweet potato	Jinhongmi	3,879	4,014	6,618
	Yulmi	3,888	4,044	5,793

[†] Y_{gr} is harvested grain.

[‡] Y_{stm} is the aboveground biomass excluding the harvested grain.

Table 5. Comparison of input and output factors among bioenergy crops during.

Crop	Input factor			Output factor
	Amount of irrigation	Amount of fertilization	No. of agrichemicals	Energy production kcal m ⁻²
Wheat	+	+	++	+
Canola	++	++	++	++
Barley	++	+	++	+
Corn	+++	+++	++	+++
Sweet potato	++	++	+	+++

+ low, ++ common, +++ high

타났다(Table 4).

주요 바이오에너지 작물 재배시 투입 및 생산요인별 상대 비교한 결과는 Table 5와 같았다. 투입요인으로는 작물생육 기간동안 소요되는 관개량, 농약사용횟수, 작물별 시비량을 대상으로 하여 요인별로 상대적으로 비교하였으며, 생산요인으로 단위면적당 생산되는 총바이오매스의 열량을 비교분석하였다.

유채의 경우 생산량 및 투입량 모두 보통으로 나타났다. 한편 유채는 『짚+유채』의 이모작을 할 수 있으며, 경관효과 및 밀원작물로서의 장점을 가지고 있다. 옥수수의 경우 농자재 투입량이 가장 많았으며 생산열량 또한 가장 많은 것으로 나타났다. 고구마는 투입요소가 전반적으로 보통임에도 불구하고 생산열량은 높은 것으로 나타났다. 한편 보리와 밀의 경우 투입량이 상대적으로 낮으며 생산열량 또한 낮은 것으로 나타났다. 하지만 우리나라에서 주로 겨울철 재배되는 점을 고려한다면 바이오에너지 작목으로서도 그 가능성이 있다고 판단된다.

적 요

우리나라 주요 바이오에너지 작물인 밀, 유채, 보리, 옥수수, 고구마를 대상으로 그 에너지화 하는 잠재적 가치를 평가하기 위하여, 바이오매스 생산량과 생산열량을 조사 분석하였고, 작물재배기간 동안 투입 및 생산요인을 작물간에 분석하였다.

바이오매스 생산량은 작물별 조사한 결과와 농림통계연보에 있는 데이터와는 차이가 있었으며, 특히 작물간 및 품종간에도 차이가 있었다. 본 연구에서는 작물별 직접 조사한 결과를 이용하여 바이오매스량, 총생산열량 등을 비교분석하였다. 바이오매스 생산량에 대하여 주요 에너지 이용 부위만 고려할 때 고구마가 가장 많았고, 지상부의 곡류부위를 포함한 총 바이오매스는 옥수수(강다옥)가 많은 것으로 나타났다. 부위별 열량을 비교해 보면 바이오 에탄올의 주 원료가 되는 밀, 옥수수 등은 3,879~4,317 cal g⁻¹으로 비슷한 값을 보였으나, 바이오 디젤의 주 원료로 사용되는 유

지작물인 유채의 씨(에너지 이용부위)는 6,673~6,725 cal g⁻¹으로 가장 높게 나타났다. 단위면적당 총 생산열량은 총바이오매스가 가장 많은 옥수수의 강다옥이 8,263 kcal m⁻² 으로 가장 높게 나타났다.

옥수수의 경우 영농에 필요한 투입이 가장 많았으며 생산량 가장 많은 것으로 나타났다. 고구마는 투입요소가 전반적으로 보통임에도 불구하고 생산요인은 높은 것으로 나타났다.

추후 대상작물을 확대하여 조사할 필요가 있으며, 우리나라의 좁은 농경지 면적을 감안하여 효율적 이용 측면도 고려하여 적절한 바이오에너지 작물을 선발할 필요가 있다.

인 용 문 헌

- Hong, S.H. 2004. Evaluation of Agricultural Biomass Resources for Renewable Energy -Biomass from Orchards and Non-paddy Fields-. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. 46(3):85-92
- Jane M-F Johnson. 2007. Biomass-Bioenergy Crops in the United States: A Changing Paradigm. The Americans Journal of plant science and biotechnology. 1-28.
- KCPA(Korea Crop Protection Association) 2006. Agrochemicals Use Guide Book.
- Kim, C.S., and S.H. Lee. 2006. Economic Analysis of a Rape Production for Biodiesel. Korea Association Of Organic Agriculture. 14(3):237-249.
- Kim, S., and B.E. Dale. 2004. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. Biomass and Bioenergy 26:361-375.
- Kumudini, S. 2002. Trials and tribulations: A review of the role of assimilate supply in soybean genetic improvement. Field Crops Res. 75:211-222.
- Mann, L., V. Tolbert, and J. Cushman. 2002. Potential environmental effects of corn(*Zea mays* L.) stover removal with emphasis on soil organic matter and erosion. Agriculture, Ecosystems and Environment 89:149-166.
- Nam, J.J., Y.S. Ok, B.S. Choi, S.T. Lim, Y.S. Jung, Y.S. Jang, and J.E. Yang. 2008. Methodology of Life Cycle Assessment (LCA) for Environmental Impact Assessment of Winter Rapeseed in

- Double-cropping System with Rice. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 27(2): 205-210
- NAQS(National Agricultural Products Quality Management Service). 2006. Agricultural and Forestry statistical yearbook.
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006a. Guide Book on crop for good fertilization.
- NIAST(National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006b. Guide Book on upland crops for good irrigation.
- NICS(National Institute of Crop Science). 2001. Reference book of science farming for barley cultivation.
- Shin, Y.K and C.Y. Kang. 2005. A development strategy of bioenergy by using Rape in Korea. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*. 32(3):573-590.
- Stupak, I., A. Asikainen, M. Jonsell, and P. Tamminen. 2007. Sustainable utilisation of forest biomass for energy Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. *Biomass and Bioenergy* 31:666-684.