한작지(Korean J. Crop Sci.), 57(4): 384~388(2012) DOI : http://dx.doi.org/10.7740/kjcs.2012.57.4.384

간척지 토양에서 바이오에탄올용 단수수 유전자원의 생육특성

최용환† · 문윤호 · 안승현 · 윤영미 · 차영록 · 구본철 · 박광근 · 한희석 · 김완석

국립식량과학원 기술지원과, 경기도 수원시 권선구 수인로 125

Characteristics of Sweet Sorghum Germplasm for Bioethanol Production in Reclaimed Soil

Yong-Hwan Choi†, Youn-Ho Moon, Seung-Hyun Ahn, Young-Mi Yoon, Young-Lok Cha, Bon-Cheol Koo, Kwang-Geun Park, Hee-Suk Han, and Wan-Seok Kim

Technology Services Division, NICS, RDA, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT Variation of major characteristics of 140 sweet sorghum germplasm which had been collected from domestic and foreign countries were investigated to study the possibility of bioethanol production in reclamed soil of Korea. Averages of culm length, ear length, the number of nodes, stem diameter, fresh weight yield, and growth duration from seeding to heading were 175 cm, 26 cm, 9, 11.6 mm, 12.1 t/ha, and 96 days, respectively. Sugar content, which has a great effect on bioethanol, ranged from 5.7 to 23.5 Brix (average 14.1 Brix). Sugar contents of selected two varieties were more than 20 Brix. Fresh weight yield ranged from 20 to 50 t/ha (average 12.1 t/ha). Fresh weight yield of selected three varieties were more than 30 t/ha. Culm length showed highly significant positive correlation with the ear length, the number of nodes, stem diameter, fresh weight yield, and growth duration from seeding to heading. The number of node showed highly significant positive correlation with stem diameter and fresh weight yield. Fresh weight yield showed highly significant positive correlation with culm length, the number of nodes, stem diameter, and growth duration from seeding to heading.

Keywords : sweet sorghum, bioethanol, germplasm, variation, reclamed soil

최근 전 세계는 고 유가시대, 석유자원 고갈에 대비해서 대체에너지 개발에 박차를 가하고 있다. 이중 농업생산물(당질계, 전분질계, 셀룰로오스계 작물 및 농업부산물)등을 원료로 한 바이오에탄올이 크게 주목 받고 있다. 원료작물은 주로 옥수수, 사탕수수, 단수수, 고구마, 볏짚, 억새 등이 검토되고 있으며 이러한 다양한 바이오에탄올 원료작물 가운데 국내·외적으로 최근에 크게 관심을 끄는 작물이 단수수이다.

단수수(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)는 화본과에 속하는 1년생 C_4작물로서 광합성 효율이 매우 높다(Liu Chunzao & Feng Wang, 2008). 또한 내건성과 습해 등 척박한 환경에 잘 적응하며, 종자로 번식하므로 파종도 쉽다. 단수수는 생육기간이 4개월 정도로 짧아 우리나라 남부지방에서는 2기작 또는 동계작물과의 이모작이 가능하다. 단수수는 식용이나 가축사료로도 쓰이며, 줄기에서 나온 착즙액은 전처리나 당화과정을 거치지 않고 곧 바로 발효과정을 거쳐 증류시키면 에탄올을 생산할 수 있어 생산비가 저렴하다. 또한 단수수의 부산물 바개스는 사료용으로 활용(Dar,W.D. *et al.*, 2006)하거나 2세대 셀룰로오스 에탄올 원료로도 사용이 가능하다(Gibson, 2009, Gnasounou *et al*., 2005). 단수수는 생체수량이 많고 당도가 높으며(Liu Chunzao *et al*., 2008; Bian *et al*., 2006; Carpita & McCann, 2008; Cundiff & Vaughan, 1987) 곡물가격에 미치는 영향이 상대적으로 적어 에탄올 생산 원료로서 유망한 작물로 각광 받고 있다. 우리나라는 1965년부터 당원료 작물로 단수수 연구를 시작했으나 수년 내 중단되었다(Bang *et al.*, 2009a). 최근 바이오에탄올 원료작물로 단수수의 중요성이 부각되면서 2008년 10월 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터를 중심으로 적극적인 연구를 추진하고 있다(Bang *et al.*, 2009b, Ahn *et al.*, 2012).

†Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6802 (E-mail) victorcyh@korea.kr
<Received 10 September, 2012; Revised 24 October, 2012; Accepted 9 November, 2012>

따라서 본 연구는 국내·외에서 수집된 단수수 유전자원에 대해 간척지 토양의 생육특성을 조사하여 금후 바이오에탄올원료용 단수수 품종육성에 필요한 기초 자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료는 농업유전자원센터 분양 70품종과 강원대학교 식물자원응용공학로 부터 분양받은 국외 수집종 70품종 등 총 140품종을 사용하였다. 강원대학교에서 분양 받은 국외 수집종 70품종은 안 등(2012)이 보고하였던 재료와 동일한 재료이다. 재배법은 2010년 5월 14일 파종하여 5월 31일에 벼 맥류부 간척지농업과 시험포장에 정식하였다. 간척지 시험포장의 염농도는 조사 시기에 따라 달랐는데 이식 후 27일에 0.56～2.10 dsm^{-1}이었고, 이식 후 67일에는 0.36～1.07 dsm^{-1}이었다. 간척지 시험포장의 pH는 6.6～7.1이었으며, 유기물 함량은 4 g/kg이었다. 또한 간척지 토양 인산 함량은 80 mg/kg이었다. 단수수 육묘는 50공 트레이 육묘상자를 이용하였고, 재식밀도는 휴폭 60 cm, 주간 20 cm로 하였다. 시비량은 10a 당 퇴비 1,000 kg, 요소 17.4 kg(N 8 kg), 용성인비 40 kg(P_2O_5 8 kg), 염화칼리 20 kg(K_2O 12 kg)를 전량 기비로 주었다. 당도는 출수 후 45일에, 출수기, 간장, 수장, 절수, 경태, ha당 생경중 등은 성숙기에 조사하였다. Brix 당도계는 KEM사 RA-250을 사용하였다. 통계처리는 SAS 프로그램을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

주요 형질의 변이

간척지 토양에 적응하는 단수수의 유전적 다양성을 보기 위해 주요형질의 변이를 탐색한 결과는 Table 1과 같다. 간장은 75 cm부터 281 cm까지 변이 폭이 넓었으며, 평균 175 cm이었다. 간장의 분포는 Fig. 1과 같이 59품종이 150～200 cm에 분포 하였다. 201 cm 이상인 품종도 42품종으로 나타났다. 일반 토양에서 방 등(2009a)은 간장 평균 308 cm, 안 등(2012)은 평균 364 cm라고 보고하였는데, 간척지 토양 특성상 간장 크기가 작아졌음을 알 수 있다. 수장은 9 cm부터 62 cm 사이에 분포 하였으며 평균 26 cm이었다. 55품종이 21～30 cm 그룹에 속해 가장 많았다(Fig. 2). 방 등(2009a)은 16.7～43.7 cm, 평균 30.3 cm로 보고 하였으

Table 1. Mean value and range of growth characters of 140 sweet sorghum varieties

Characters	Mean±S.E.	S.D.	Range	C.V.(%)
Culm length (cm)	175±3.5	41.7	75～281	23.8
Ear length (cm)	26±0.8	9.2	9～62	34.8
No. of nodes	9±0.1	1.7	4～13	18.9
Stem diameter (mm)	11.6±0.3	3.7	5.8～42.7	31.6
Sugar content (Brix)	14.6±0.3	3.9	5.7～23.5	26.5
Fresh weight yield (t ha^{-1})	12.1±18.5	60.7	20～50	56.8
Growth duration from seeding to heading (day)	96±0.7	7.9	70～119	8.3

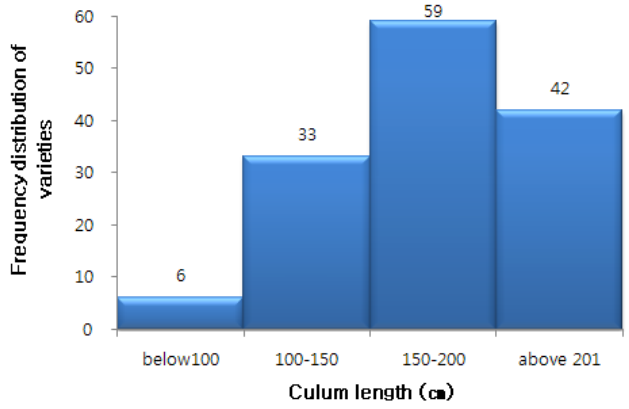

Fig. 1. Histogram of culm length of 140 sweet sorghum varieties.

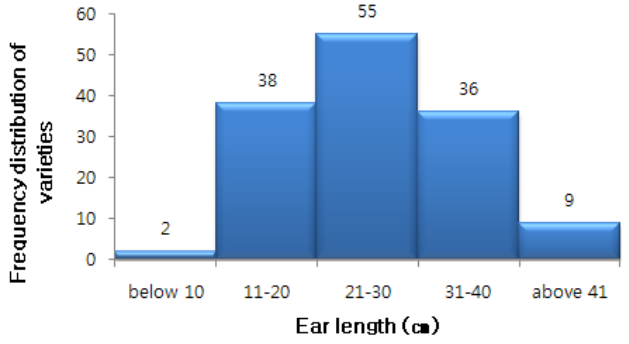

Fig. 2. Histogram of ear length of 140 sweet sorghum varieties.

며, 안 등(2012)은 0～59.3 cm, 평균 23 cm라고 보고하였다. 연구자에 따라 차이가 나는 원인은 시험재료 및 재배환경(일반토양과 간척지토양)의 차이에 의한 것으로 생각된다. 절수는 4개부터 13개였으며, 평균 9개였다. 71품종이 9～11개 사이에 분포하였다(Fig. 5). 안 등(2012)은 3～27개, 평균 10.5개, 방 등(2009a)은 평균 10개라고 보고하였는데, 일반 토양에서의 절수와 비슷한 경향이었으나, Lu *et al.*(1994)은 58개의 단수수를 대상으로 절수가 17～27개, 평균 21개라고 하여 본 결과 보다 2배 이상 많았다. 경태는 5.8～42.7 mm 범위였고 평균 11.6 mm였다. 60품종이 8.1～11.0 mm에 분포하였으며, 14.1 mm 이상에 19품종이 분포하였다(Fig. 6). 경태는 생경중과 더불어 바이오매스 생산량과 관련이 많다. 안 등(2012)은 7.0～28.5 mm, 평균 17 mm라고 보고 하였는데, 간척지 토양에서 단수수 경태는 가늘어 지는 경향이었다. 당도는 5.7～23.5 Brix였고 평균 14.6 Brix이었다. 당도를 5 Brix로 그룹을 지을 때 10.1～15.0 Brix에 58품종, 이어서 15.1～20.0 Brix에 53품종이 분포되었으며, 20.1 Brix 이상에 11품종이 분포하였다(Fig. 3). 고 당도 품종은 Sugar Drip Cane Seeds(23.5 Brix), Indiana Amber(21.4 Brix), Dwarf Blackhull Kafir(21.7) 등 이었으며, 이 품종들은 당질계 바이오에탄올 생산 원료용 품종육성에 활용될 것으로 기대된다. 일반 토양에서 단수수 당도를 안 등(2012)은 3.8～20.8 Brix, 평균 12.5 Brix, 박과 이(1991)는 6～14 Brix라고 보고하였으며, 본 결과에서 당도가 높게 나타났다. 간척지 토양에서는 삼투압에 의한 수분증발로 당도가 높아진 것으로 사료된다. 이삭을 제외한 생경중은 20～50 톤/ha이었으며 평균 12.1 톤/ha이었다. 생경중은 바이오매스 생산량과 관련이 많으며 6.0～10.0 톤/ha에 58품종이 분포하였고, 20.1 톤/ha 이상에 13품종이 분포하였다(Fig. 4). 생경중이 높은 대표적인 품종은 Honey(50.3 톤/ha), IS8012(36.6 톤/ha), Dwarf Blackhull Kafir(35.3 톤/ha) 등이었다. 이들 품종은 고 바이오매스 확보에 유망한 품종육성에 활용되어 질 것으로 기대된다. 안 등(2012)은 일반 토양에서 생경중을 평균 36 톤/ha이라고 보고하였고, 본 결과는 생경중

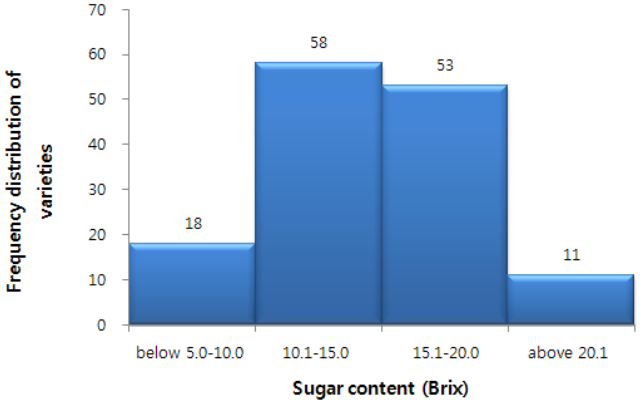

Fig. 3. Histogram of sugar content of 140 sweet sorghum varieties.

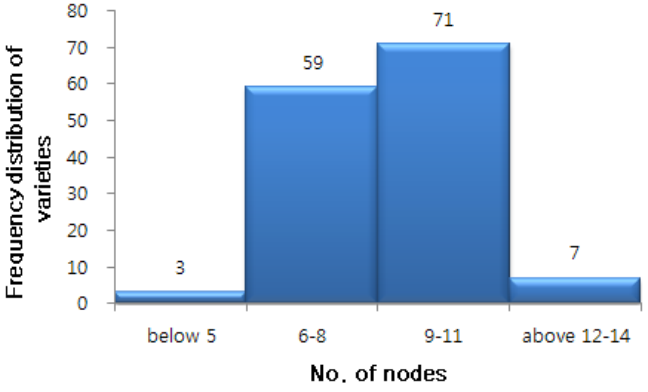

Fig. 5. Histogram of the no. of nodes of 140 sweet sorghum varieties.

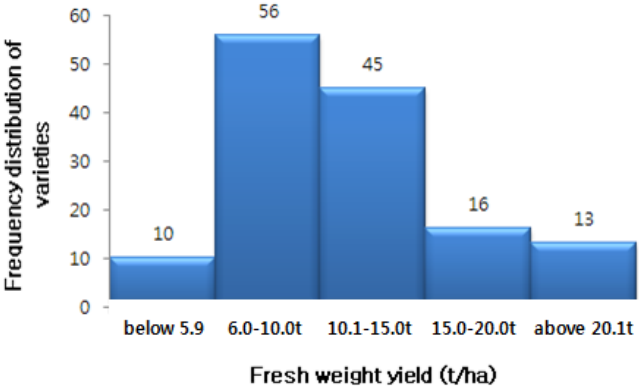

Fig. 4. Histogram of fresh weight yield of 140 sweet sorghum varieties.

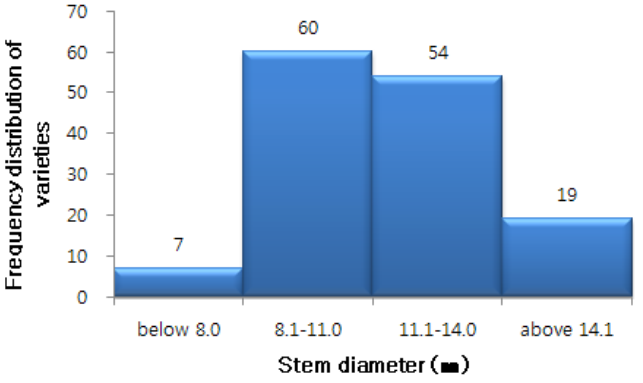

Fig. 6. Histogram of stem diameter of 140 sweet sorghum varieties.

이 일반 토양에서 보다 1/3 감소하는 것으로 나타났다. 출수소요일수는 70～119일이었으며, 평균 96일이었다. 86품종이 91～100일 사이에 분포하였다(Fig. 7). 이는 안 등(2012)이 보고한 71일 보다 25일이나 지연되었다. 80일 이하의 품종도 Ambercane Sweet Sorghum(70일), Sweet Saccaline(76일) 등 8품종이 분포하였는데, 이들 품종은 생육기간이 짧아 우리나라 남부지방의 2기작 재배에 활용도가 높을 것으로 생각 된다. 앞으로 당질계 바이오에탄올 생산에 요구되는 품종은 당함량이 높으며 경태 및 생체수량이 높아 바이오매스 생산에 유리한 품종이며, 이들 품종을 육성하기 위

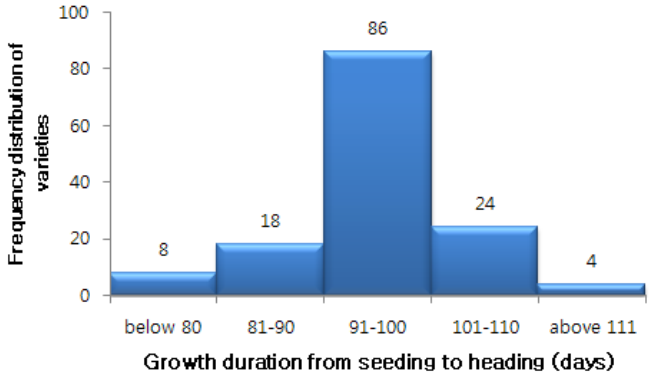

Fig. 7. Histogram of growth duration from seeding to heading of 140 sweet sorghum varieties.

해서는 고 당도 품종과 다수성 품종의 교배조합을 통한 우수 계통선발, 생산력 검정, 지역적응시험 등의 체계적인 단수수 육종 프로그램이 가동 되어져야 할 것으로 사료된다.

주요 형질간의 상관

단수수의 주요 형질간의 상관관계를 보면 Table 2와 같다. 간장은 수장, 절수, 생경중 등과 고도의 유의성이 인정되는 정의 상관을 보였다. 이는 방 등(2009a)과 안 등(2012)의 보고와 일치하였다. 그러나 간장과 당도 간에는 유의성이 없지만 부의 상관을 나타내었다. 방 등(2009a)은 초장과 당도 간에 부의 상관을 나타낸다고 하여 본 결과와 일치하는 경향이었다. 절수는 경태, 생경중 및 출수소요일수 간에 고도의 정의 상관을 보였다. 안 등(2012)은 절수와 간장, 경태, 생경중, 출수소요일수 간에 고도의 정의 상관이 인정 된다고 하여 본 결과와 일치하였다. 생경중은 출수소요일수, 간장, 절수, 경태 등과 고도의 정의 상관을 나타내었다. 단수수의 생경중과 경태 간의 고도의 정 상관은 강(2002), 방 등(2009a)과 안 등(2012)의 보고와 일치하였다. 생체수량과 당도 간에는 유의성이 없는 부의 상관을 나타내었다. 안 등(2012)도 부의 상관을 인정하여 본 결과와 일치하였으나, 김과 손(1991) 및 Reddy *et al.*(2007)은 생경중과 당도 간에 고도의 정 상관이 있음을 보고하여 본 연구와 다른 결과를 보였다. 연구자에 따라 다른 결과를 보인 원인은 앞에서 언

Table 2. Correlation coefficient among characters of 140 sweet sorghum germplasm.

Traits	CL	EL	NN	SD	FW	Brix°
Growth duration from seeding to heading (GD)	0.276**	0.133	0.435**	0.241**	0.357**	-0.054
Culm length (CL)		0.665**	0.547**	0.161*	0.394**	-0.116
Ear length (EL)			0.132	0.123	0.180	-0.144
No. of nodes (NN)				0.427**	0.547**	-0.022
Stem diameter (SD)					0.527**	-0.022
Fresh weight yield (FW)						-0.100
Sugar content (Brix%)						

*, ** : Significant at 5% and 1% probability level, respectively.

Table 3. Characteristics of selected cultivars for sweet sorghum in reclamied soil

Varietie	Culm leng. (cm)	Ear leng. (cm)	No. of nodes	Stem diameter (mm)	Fresh weight (t/ha)	Sugar cont. (Brix%)	Remark
Indiana Amber	205	26	9	14.3	15.0	21.4	Sugar content
Dwarf Blackhull	180	19	10	15.9	35.3	21.7	Sugar content, Biomass
IS 8012	226	35	13	19.7	36.6	16.1	Biomass

급한 바와 같이 시험재료 및 재배환경의 차이에서 나타나는 것으로 생각된다.

본 시험에서 간척지토양의 염농도는 시험구내에서 많은 변이가 있었으며, 생육이 양호한 토양의 EC값은 1.17 dS m^{-1}이었고, pH는 7.1이었으며, 생육이 불량한 토양의 EC값은 1.43 dS m^{-1}이었고, pH는 6.6이었다. 이상의 결과를 종합하여 본 시험의 시험재료 중에서 간척지에 적응하는 바이오에탄올용 유망 단수수 유전자원은 Indiana Amber, Dwarf Blackhull Kafir, IS8012 등으로 사료된다(Table 3).

적 요

농업유전자원센터 및 국외에서 수집한 단수수 유전자원 140품종을 대상으로 주요 형질변이를 탐색하여 우리나라 간척지 토양에 알맞는 품종을 선정하고 아울러 단수수 품종 육성에 필요한 기초 자료를 얻고자 수행한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 간척지 토양에서 단수수의 작물학적 생육특성은 간장 175 cm, 수장 26 cm, 절수 9개, 경태 11.6 mm, 생경중 12.1 톤/ha, 출수소요일수 96일이었다.
2. 바이오에탄올 생산에 크게 영향하는 당도 범위는 5.7～23.5 Brix였고, 평균 14.1 Brix였으며, 20 Brix를 초과하는 고 당도 품종은 Sugar Drip Cane Seed(23.5 Brix), Indiana Amber(21.4 Brix), Dwarf Blackhull Kafir(21.7)이었으며, 고 당도 품종육성에 유망한 유전자원이었다.
3. 생경중의 범위는 20～50 톤/ha이었고, 평균 12.1 톤/ha이었으며, 생경중 30톤/ha 이상으로 높은 품종은 Honey (50.3 톤/ha), IS8012(36.6 톤/ha), Dwarf Blackhull Kafir (35.3 톤/ha) 등 이었다.
4. 주요 형질간의 상관관계는 간장과 수장, 절수, 경태, 생경중, 출수소요일수 간에, 절수와 경태, 생경중 간에 고도로 유의한 정의 상관을 나타내었다.
5. 생경중은 간장, 절수, 경태, 출수소요일수와 고도로 유의한 정의 상관을 나타내었다.

사 사

본 시험을 수행할 수 있도록 협조해 주신 국립식량과학원 벼맥류부 간척지농업과 직원 여러분께 감사드립니다.

인용문헌

Ahn S. H., S. S., Nam, J. K. Bang, C. Y. Yu, Y. H. Choi, Y. H. Moon, S. T. Bark, Y. L. Cha, B. C. Koo, and K. G. Park. 2012. Specific Characters of Sweet Sorghum Germplasm - the Promising Crop for Bioethanol Production. Korean J. Intl. Agri. 24(1) : 32-32.

Bang J. K., Y. B. Kim, S. S. Nam, S. H. Ahn, and S. J. Suh. 2009a. Variation of Major characters in Sweet Sorghum Germplasm for Bioethanol. Korean J. Intl. Agri. 21(3) : 189-192.

Bang J. K., S. S. Nam, S. H. Ahn, and S. J. Suh. 2009b. Current Research on Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to Bio-ethanol in china. Korean J. Intl. Agri. 21(3) : 183-188.

Bian Yun-long, Yazaki Seiji, Inoue Maiko and Caih Hong-Wei, 2006. QTLs for sugar content of stalk in sweet sorghum (Sorghum bicolor L. Moench). Agricultural sciences in China. 5(10) : 736-744.

Carpita N. C. and M. C. McCann. 2008. Maize and sorghum : genetic resources for bioenergy grasses. Trends in plant Science 13(8) : 415-420.

Cundiff J. C. and D. H. Vaughan. 1987. Sweet sorghum for ethanol industry for the Piedmont. Energy in Agriculture. 6 : 133-140.

Dar, W. D., B. V. S. Reddy, C. L. L. Gowda, and S. Ramesh. 2006. Genetic resources enhansment of ICRISAT- mandate crops. Curent Science 91(7) : 880-884.

Gibson, S. 2009. Bioenergy crops “Sweet sorghum”. Advanta Seeds Ltd. Austrilia. : 1-7.

Gnasounou E., A. Dauriat, and C. E. Wyman. 2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar : economic trade - affs in the context of North China. Bioresource Technology 96 : 985-1002.

Liu Chunzao and Feng Wang. 2008. Sweet sorghum : A promising crop for bioethanol. J. of Biotechnology 136(S) : 456-459.

Lu N., G. Best, and C. De C. Neto. 1994. Integrated energy system in China - The cold Northeastern region experience. FAO : 1-75.

Park K. B. and M. H. Lee. 1991. Feasibility in Utilization of Sugar Crops as Bio-energy Resources in Korea. Korean J. Crop Sci. 36(4) : 300-304.

Reddy B. V. S., B. Ramaiah, A. A. Kumer, and P. S. Reddy. 2007. Selection of restorers and varieties for stalk sugar traits in sorghum. SAT eJournal/ejournal.icrisat.org. 5(1) : 1-3.