

博士學位論文

濟州地域에 있어서 단수수品種의 特性
및 Biomass 利用 可能性에 관한 研究



濟州大學校 大學院

農學科

姜 炯 式

2002年 6月

濟州地域에 있어서 단수수品種의 特性 및 Biomass 利用 可能性에 관한 研究

指導教授 吳 現 道

姜 炯 式

이 論文을 農學博士學位 論文으로 提出함

2002年 6月

 제주대학교 중앙도서관
姜炯式の 農學博士學位 論文을 認准함

審査委員長

委 員

委 員

委 員

委 員

濟州大學校 大學院

2002年 6月

**Studies on Sweet Sorghum Cultivar Traits and
Utilization as Biomass Crop in Jeju Region**

Hyoung-Shick Kang

(Supervised by Professor Hyeon-Do Oh)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF AGRICULTURE

DEPARTMENT OF AGRICULTURE
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2002. 6.

目 次

SUMMARY	1
I. 緒 論	4
II. 研究史	6
III. 材料 및 方法	9
IV. 結 果	13
1. 單수수 品種의 特性 및 遺傳率	13
1) 出穗 및 生育日數	
2) 地上部 生育特性	
3) 糖收量 및 ethanol 生産	
4) 種實收量	
5) 生育段階別 地上部 形質 및 糖度 變化	
6) 節位別 糖度變化	
7) 形質間 相關關係	
8) 實用形質의 遺傳率	
2. 土壤의 種類가 單수수 生育에 미치는 影響	34
V. 考 察	38
VI. 要 約	46
參考文獻	49

Summary

This study was carried out to investigate the traits, heritability of cultivars and soil conditions for establishing the cultural method and determining possibility of a biomass crop with introduced sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH) in Jeju region. The result obtained are summarized as follows;

Traits and Heritability of Sweet Sorghum Cultivars

Sweet sorghum were seeded on 18 May, 1997 and the traits and heritability were investigated to select the best adapted cultivars in Jeju region for a biomass crop.

1. Days to heading were longest (101.7 days) in M81E71-1 and shortest (83.0 days) in MN-1054, MN-1060 and Mer80-10. The early maturing cultivars were Wary, MN-1054, Keller and Rio, and the late maturing cultivars were M81E71-1, Tamu Rama, Cowley and Sart.

2. M81E71-1, Keller and Sart had the longest culm, MN-1054, Brandes, Ramoda, MN-1060 and Cowley had the shortest culm less than 240cm.

3. Keller, Wary and Dale cultivars had thicker stem and Brandes, MN-1060, Cowley, and MN-1054 had slender one. Mer 80-10, and MN-1060 had larger leaves and Dale had the smallest leaves.

4. The greatest lodging was in Dale and Wary, and lodging was not observed in Brandes, Cowley, MN-1060. Wary, MN-1060 and Ramoda had aphid resistance.

5. Degree Brix in the soluble solid of juice at 45 days after heading was highest (18°Brix) in Keller. Dale and Tamu Rama had more than 17°Brix but Brandes was lowest (5.2°Brix).

6. Fresh stem weight and amount of extracted juice per 10a were greatest in M81E71-1 and Sart. Total sugar and ethanol yield per 10a were greatest in Dale, Tamu Rama and Keller but were least in Brandes.

7. Panicle weight was heavier in MN-1060 and Cowley. MN-1060, Tamu Rama and M81E71-1 had greater grains per panicle and Wary, Ramoda and Sart had least.

8. 1,000 grains weighed greater than 25g for Sart, Cowley, MN-1060 and MN-1054, and Brandes and Dale had small seed (20g and less).

9. The grain weight per panicle and grain yield per 10a were greatest in MN-1060, Cowley and MN-1054 while the other cultivars had lower yield.

10. Degree Brix was not significantly varied from 1 July to 5 August but were increased on 18 August and highest on 12 September. Brix degree of aboveground was highest in 8 and 9 internode.

11. Degree Brix after heading was increased rapidly and was 17.3°Brix at 30 days after heading and then decreased from 50 days after heading.

12. Heritability estimates for the soluble solid, days to maturity, grain weight per panicle, panicle weight, the number of primary branches per panicle and the weight of 1,000 grains were high. And low heritabilities were obtained in panicle length, culm length and leaf length.

13. Degree Brix was positively correlated with stem diameter, and ethanol yield was positively correlated with stem diameter, fresh stem weight per 10a, degree Brix, juice and total sugar but negatively correlated with grain weight per panicle.

The best adaptable cultivar in Jeju region for a biomass production appears to be Tamu Rama on the basis of °Brix, fresh stem weight, ethanol and grain yield.

Effects of Soils on growth of Sweet Sorghum in Jeju Region

'Tamu Rama' cultivar was seeded on 5 May, 1998 and grown in various soils to determine the best soils for sweet sorghum in Jeju region.

1. Days to heading was shortest on sandy loam soil and maturity was not significantly affected by soil type.

2. Leaf length and width were greatest in soil mixed volcanic ash but were shortest in silt loam of non volcanic ash.

3. No. of nodes and stem diameter were greater in volcanic ash soil and silt loam of non volcanic ash soil but were least in soil mixed sandy loam.

4. Culm length and fresh stem weight were greatest in volcanic ash soil and silt loam of non volcanic ash soil(350m altitude) but were least in soil mixed sandy loam.

5. Degree Brix was not significantly affected by soil type and weight of 1000 grains were least in sandy loam.

6. Grain yield was highest in volcanic ash soil and silt loam of non volcanic ash soil and was least in sandy loam soil.

7. There were highly positive correlation between degree Brix and stem diameter, and between fresh stem weight and plant height, culm length, stem diameter, weight of 1,000 grains, and grain yield per 10a.

For sweet sorghum volcanic ash soil and silt loam of non volcanic ash soil appear better than sandy loam soil.

I. 緒 論

단수수(*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH)는 禾本科 1년생 C₄식물로서 고온, 다조를 좋아하고 耐乾性이 극히 강하여 열대와 그에 준한 건조지대에서 많이 재배되고 있으며 지역적응성이 높고 재배가 용이한 糖料作物이다.

우리 나라 각지에서 재배가 가능하고 製糖過程도 덜 복잡하여 직접 簡易製糖法으로 syrup을 생산하여 당 수요의 일부를 충당할 수 있는 糖料作物일 뿐만 아니라 집약적인 축산경영을 하는 나라에서는 사료로서 이용가치가 높고 특히 최근에는 biomass작물로서 주목이 되고 있다.

단수수의 원산지는 인도설, 아프리카설이 있는데 열대지역이 그 원산지라고 하는 설이 지배적이다. 이집트에서는 B.C 3,000년경에 재배되었고, 우리나라는 중국을 경유하여 4세기경부터 재배되었을 것으로 추정하고 있다(孫, 1989).

시대의 변천과 함께 설탕이 수요가 증가되고 있으나 국내에서는 糖料作物의 재배가 거의 없기 때문에 原糖이나 syrup 또는 人工甘味料 등을 외국에서 전량 도입하여 이용하고 있는 실정이다(2,316천톤, 375백만 \$; 농림부, 2001).

한편 우리 나라는 석유수입 세계 4위를 차지하고 있으며, 제 3의 오일쇼크를 겪을 경우 가장 심각한 타격을 받을 국가는 한국이라고 영국의 이코노미스트지는 지적한 바 있다. 앞으로 다각적인 국제정세 변화 등으로 고유가시대의 도래 가능성이 항상 잠재해 있기 때문에 전적으로 석유 수입에 의존하고 있는 우리 나라로서는 석유 대체에너지의 개발 연구가 이루어져야 할 것이다.

선진국에서는 대체 연료개발을 위하여 많은 예산을 투입하고 있는 실정이며 생물 biomass를 원료로 이미 gasohol(gasoline+alcohol)이 개발되어 브라질 등에서는 자동차 원료로 활용하고 있다(朴과 李, 1991).

星川(1982)는 10여년간 온대지방에서 재배 가능한 여러종류의 식물을 대상

으로 연구한 결과, 단수수가 단위면적당 biomass 생산이 가장 많았고 일년생 작물로서 단기간내에 biomass를 생산할 수 있는 장점을 가지고 있어 석유자원이 고갈될 때를 가정하여 미래에너지 자원으로 매우 유망한 작물이라고 지적하고 있다.

본 연구는 단수수 품종의 특성 및 유전율을 조사하여 제주지역에 적합한 품종을 선발하고 제주 토양조건에서 알맞은 재배기술을 확립하여 biomass 이용 가능성을 검토하고자 수행하였다.



II. 研究史

Poehlman(1959)은 Sorghum속을 용도 및 형태형에 의해서 ①grain sorghum (곡실용) ②sorgo(당료 및 사료용) ③grass sorghum(sudan grass almun, Johnson grass 등) ④broom corn(빗자루용)으로 분류하였다.

Gupta와 Saha(1950)는 22.5°N의 인도에서 과종기를 달리한 경우라도 出穗開花期의 차이는 비슷하였고 그 곳의 出穗開花는 9월 상순부터 11월 상순까지라고 하였다. Miller 등(1968)은 Puerto Rico에서 15개 열대품종과 7개 미국 품종을 연중 과종하여 日長反應에 따라 5계급으로 구분하였고 또한 열대 품종은 出穗日數와 草長間에 높은 相關이 있으나 미국 품종은 이와는 다르다 하였으며 품종에 따라서는 몇 분 정도의 일장 차이로 감응도가 다르게 나타난다고 하였다. Quinby와 Karper(1961)는 약 14시간의 일장을 가진 텍사스에서 10시간의 短日處理를 한 결과, 23~30일간이나 出穗期間이 단축되었으며, 품종에 따른 光週性은 유전적인 현상이나 품종과 收量은 지역성이 더욱 중요하다고 하였고, sorghum속의 일장감응시기는 일반적으로 幼穗分化期前(出葉數 12枚頃)이며, 이 시기의 일장이 出穗期를 결정한다고 하였다.

Quinby와 Karper(1964)는 미국 품종의 *Sorghum vulgare* PERS에 대하여 연구한 결과, 한계일장과 온도 감응도가 품종에 따라 다르고 일정한 온도반응이 먼저 이루어진 후에 일장감응이 이루어지며 이 시기는 出穗所要日數가 60일을 요구하는 품종은 과종후 25일부터이고, 90일을 요하는 품종은 과종후 60일경부터라고 하였다.

Martin과 Sieglinger(1929), Karper 등(1931)은 晚播가 早播에 비하여 모든 생육이 떨어진다고 보고하였고, Pauli 등(1964)은 과종기를 달리하여 생육상을 조사하였고, Arikado(1952)는 sorgo에 대한 生態性 및 節間分析에서 과종기에

따른 出穗所要日數, 節間別 당도분석에 관하여 보고하였다. 또한 孫(1967)은 생육단계별 Brix도, 糖分 및 純糖率의 변화를 조사한 바 있고, 金 등(1995)은 파종기에 따른 節間別 당도 차이에 대하여 보고하였다.

Broadhead와 Freeman에 의하면 파종기가 같은 경우 密植栽培보다 疎植栽培에서 Brix도, 蔗糖含量, 純糖率 등이 증가한다고 하였다. Martin 등(1965)에 의하면 성숙한 줄기에는 糖分이 13~17%, 蔗糖이 10~14%가 함유되어 있고 비결정당 함유량도 많고 또한 단백질도 함유되어 있다고 하였으며, Takehana & Ogura(1956)는 일본에서 재배한 경우, 성숙기에 최고 20%, 평균 17~18%의 당함량을 가진다고 하였고 생육시기별 당함량의 변화 및 줄기 搾汁重의 성분조성에 대하여도 보고하였다.

雜種強勢를 이용한 육종법으로 Stewart(1940), Coons(1941), Doxtator(1942) 등에 의하여 많은 우수한 一代雜種 組合이 만들어져 多收性 또는 褐斑病 저항성 품종이 널리 재배되고 있다. 작물의 교잡종에서 우수한 후대 출현가능성 여부를 조기에 추정할 수 있는 새로운 방법으로서 몇몇 연구자들의 二面交配를 적용하고 이에 의하여 Matzinger와 Kempthorne(1956)가 옥수수에서, Tarumota와 Oizumi(1967)는 sorghum속에 대하여 다각적인 유전적 분석을 하였으며 그 결과는 육종에 크게 기여하고 있다.

단수수는 C₄식물로서 재생력이 왕성하며 옥수수보다 耐病蟲性이면서 耐災害性인 수량이 많은 작물로 기계화 작업에 대한 적응성도 높다고 하였다 (Creel 와 Fribourg, 1979; 星川, 1982). 또한 단수수 줄기의 착즙액은 非結晶性糖으로서 製糖用으로는 이용되지 못하고 syrup용으로 이용되어 왔으며 (Jasberg 등, 1983), 알콜발효가 용이하여 biomass로서 개발 이용이 바람직하다고 하였다(Soilean, 1982; Hoshikawa, 1982).

Smith 등(1987)과 Hill 등(1987)은 단수수에서 착즙된 당은 발효시켜서 간단한 기술로 ethanol을 만들 수 있고 열대지역의 밀보다도 많은 ha당 2,129~5696ℓ의 ethanol을 생산하였으며 無霜期間이 120일인 지역에서도 재배가 가

능하다고 보고하였다. Putnam 등(1991)은 단수수가 밀보다 ethanol 생산 (Keller품종 426gal/acre)이 많았고 미국에서는 옥수수와 더불어 유망한 biomass작물이라 하였지만 倒伏이 심하여 耐倒伏性 품종이 요구된다고 하였다.

Hoshikawa(1981)에 의하면 일본에서 단수수는 ethanol 생산에 알맞을 뿐만 아니라 손쉬운 재배와 높은 생산량, 생산비가 저렴한 biomass작물이라고 하였고,朴과李(1991)는 단수수, 사탕수수, 사탕무 등의 糖料作物에 대한 국내 재배 가능성을 검토해 본 결과, 단수수가 우리나라의 기후풍토에 적응성이 높고 生體重도 가장 많아서 ethanol 생산에 가장 적합했고 이들의 시험에서는 186ℓ 정도의 ethanol을 생산했다고 하였다.



Ⅲ. 材料 및 方法

1. 단수수 品種의 特性 및 遺傳率

본 시험은 1997년 제주도 애월읍 상귀리 포장(해발 110m, 미사질 양토)에서 Brandes 등 13품종을 供試하여 수행하였다. 5월 18일에 60×20cm 거리로 4~5립 파종하였고 3엽기에 솟아 주당 2분만 남겼다. 시비량은 질소, 인산 및 가리를 10a당 8, 6, 8kg이었고, 전량 基肥로 사용하였다. 시험구당 면적은 4.3 m²(1.8m×2.4m)로 하였으며 亂塊法 3반복으로 포장배치를 하였다. 약제살포는 조명나방 방제에 2회, 진딧물 방제를 위해 1회 실시하였고 出穗 후에는 새 피해를 줄이기 위해 이삭에 그물을 씌웠다.

농촌진흥청 조사기준에 의하여 구당 10주를 대상으로 稈長, 生莖重 등의 생육특성을 조사하였고 줄기의 搾汁은 소형 주스믹서기(SJ-64, Sanyo electric Co., Japan)를 이용하였으며 당도는 °Brix로 Digital refractometer PR-100 ATAGO, 엽록소 함량은 Chlorophyll meter SPAD-502로 측정하였다. 總糖量은 生莖收量×주스 추출%×°Brix로 측정하였고(Soileau 등, 1985) ethanol 收量은 ethanol 1당 1.77kg 발효 탄수화물로 계산하였다(Putman 등, 1991). 穗當粒數, 1,000粒重 등의 種實特性은 성숙기에 수확하여 건조시킨 후 조사하였다.

광의의 遺傳率(H^2)은 分散分析法에 의하여 유전분산(δ_G^2)과 환경분산(δ_E^2)을 구하고 다음 공식에 의하여 추정하였다.

$$H^2 = \frac{\delta_G^2}{\delta_G^2 + \delta_E^2}$$

시험전 토양의 화학적 특성은 표 1, 단수수 재배기간 중의 순별 기온과 강우량은 표 2에서 보는 바와 같다.

Table 1. Chemical properties of top soil before the experiment.

pH (1 : 5)	Organic matter (g/kg)	Available P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation (cmol ⁺ /kg)			EC (dS/m)
			Ca	Mg	K	
5.93	26.8	67.7	4.62	3.38	0.33	0.28

Table 2. Air temperatures and precipitation during the growing season of 1997 with the 4-year(1993-1996) average.

Month		Mean Tem.(°C)		Max. Tem.(°C)		Min. Tem.(°C)		Precipitation (mm)	
		4-yr avg.	1997	4-yr avg.	1997	4-yr avg.	1997	4-yr avg.	1997
May	Middle	17.5	19.8	22.6	23.1	11.4	16.5	33.2	8.2
	Late	19.3	19.1	24.2	22.7	14.7	15.7	25.0	4.5
June	Early	20.0	20.9	24.6	23.1	15.3	18.8	53.3	18.0
	Middle	21.6	22.4	26.4	25.4	17.7	19.5	115.6	0.5
	Late	22.8	23.2	26.9	26.8	19.5	21.5	65.5	55.0
July	Early	25.3	25.2	29.9	27.9	21.4	23.3	57.7	45.2
	Middle	27.8	26.1	31.4	29.2	24.5	23.8	36.1	50.3
	Late	27.2	27.8	30.8	30.0	24.0	25.8	47.9	0.0
Aug.	Early	28.3	28.0	31.8	30.1	25.2	25.5	77.1	110.2
	Middle	27.1	26.0	30.6	27.4	24.3	24.1	206.7	20.4
	Late	27.2	27.1	30.3	29.6	23.0	23.8	68.8	2.5
Sept	Early	24.9	26.0	28.7	27.3	21.1	23.7	5.2	0.1
	Middle	22.3	22.1	25.8	25.1	18.9	20.5	6.8	28.2
	Late	20.8	17.9	24.4	18.3	17.2	17.4	20.7	10.0

2. 土壤의 種類가 단수수 生育에 미치는 影響

1998년 제주 애월읍 상귀리 포장(해발 110m)에서 전년도 품종 특성시험에서 우수한 'Tamu Rama' 품종을 供試하여 시험을 수행하였다. 파종은 5월 5일에 60×20cm 거리로 4~5립 파종하여 3엽기에 슈아 2분만 남겼고 出穗 45일 후에 수확하였다. 시비량은 질소, 인산 및 가리를 10a당 8, 6, 8kg 전량 基肥로 사용하였다. 시험구당 면적은 1.2m²(1.0m×1.2m)였으며, 처리토양은 애월읍 상귀리(비화산회토, 황갈색양토, 동귀통, 해발 350m), 조천읍 신촌리(비화산회토, 암갈색식양토, 이도통, 해발 100m), 구좌읍 평대(화산회흑색토, 평대통), 구좌읍 김녕(사양토, 퇴적토), 구좌읍 평대(화산회 미사질 양토, 대흘통)에서 굴취한 토양을 30cm 두께로 8처리 조합하여 亂塊法 3반복으로 시험구를 배치하였다.

Table 3. Chemical properties of soils used for the experiment in 1998.

Soil type	pH (1 : 5)	Organic matter (mg/kg)	Available P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable cation (cmol ⁺ /kg)			EC (dS/m)
				Ca	Mg	K	
Sandy loam	8.10	0.07	7.67	21.01	1.76	0.56	0.33
Volcanic ash	5.20	2.12	20.24	3.29	0.78	0.83	0.72
Silt loam I ¹⁾	7.00	0.35	76.58	24.18	2.44	2.72	1.08
Silt loam II ²⁾	6.65	0.18	80.10	5.31	3.53	0.77	0.26
Va+Sal(5:5)	7.35	0.84	12.87	31.34	3.38	1.23	0.97
Sil I + Sal(5:5)	7.90	0.11	43.56	24.28	2.48	1.18	0.59
Sil II + Sal(5:5)	7.70	0.14	30.78	27.02	3.44	0.75	0.63
Va+Sal(7:3)	7.20	1.40	12.32	43.24	3.22	1.34	0.94

※ 1) Non volcanic ash silt loam soil of 100m altitude

2) Non volcanic ash silt loam soil of 350m altitude

Sil : Silt loam soil Sal : Sandy loam soil Va : Volcanic ash soil

생육조사는 농촌진흥청 조사기준에 의하여 구당 10주를 대상으로 稈長, 生莖重 등의 생육특성과 10a당 種實收量 등을 조사하였으며, °Brix는 出穗 후 45일에 소형 쥬스믹서기(SJ-64, Sanyo electric Co., Japan)를 이용하여 착즙된 것을 Digital refractometer PR-100 ATAGO로 측정하였다.

시험전 토양의 화학적 특성은 표 3에서 나타내었고 단수수 재배기간 중의 순별 기온과 강우량, 지온, 일사량은 표 4에서 보는 바와 같다.

Table 4. Ten day average air temperature and precipitation during the growing season of 1998.

Month	Air temperature (°C)			Soil temperature [↓] (°C)	Precipitation (mm)	Solar radiation (W/m ²)	
	Max.	Min.	Mean				
May	Late	18.7	17.5	18.1	19.5	1.6	59764
June	Early	18.0	17.1	17.6	18.8	54.0	32692
	Middle	20.1	19.3	19.7	20.8	148.6	40003
	Late	23.0	22.4	22.7	23.1	142.6	32954
July	Early	26.9	26.2	26.6	24.7	0.8	56045
	Middle	26.2	25.5	25.9	25.2	68.4	42259
	Late	24.5	23.8	24.1	24.5	113.2	43029
Aug.	Early	28.5	27.8	28.2	26.1	48.4	51280
	Middle	27.3	26.5	26.9	25.9	0.8	38508
	Late	23.9	23.1	23.5	23.8	33.8	40384
Sept.	Early	23.4	22.5	22.9	23.1	0.0	45884
	Middle	23.0	22.1	22.5	23.2	88.2	40146
	Late	21.5	20.9	21.2	21.8	247.4	20687
Oct.	Early	19.7	19.0	19.3	20.0	3.6	35306
	Middle	18.4	17.7	18.1	18.7	61.8	19931

[↓] At the depth of 10cm

IV. 結 果

1. 단수수 品種의 特性 및 遺傳率

1) 出穗 및 生育日數

제주지역에서 biomass 이용가능성을 검토하고자 단수수 13 품종의 특성을 조사한 결과, 出芽, 出穗, 生育日數는 표 5에서 보는 바와 같다. 出芽期는 5월 27일에서 29일로 품종간 차이가 별로 없었으며 出穗期는 단수수 재배상 가장 중요시하는 형질의 하나로 糖分蓄積의 시발점이 되는 동시에 出穗후의 경과일수에 의해서 줄기의 糖分 함량을 추정할 수 있는 것으로 Keller, Wary 품종이 8월 9~10일로 出穗期가 빠른 편이었으며 Tamu Rama, M81E71-1 품종이 8월 21일과 28일로 出穗가 늦은 경향이었다. 성숙기는 Wary와 MN-1054 품종이 9월 12, 14일로 빠른 편이었고 Tamu Rama, M81E71-1 품종이 9월 25~26일로 성숙기가 늦은 경향이었다. 出芽日數는 M81E71-1, Cowley가 11.3일, 11.7일로 다소 짧은 편이었고 Dale과 Rio 품종이 둘다 15일로 긴 경향을 보였다. 出穗日數가 가장 긴 품종은 M81E71-1으로서 101.7일이었고 다음으로 Tamu Rama, Sart, Cowley 품종으로 出穗日數는 각각 95.0, 92.3, 91.3일이었으며, Wary와 Keller 품종이 약 83일로 出穗日數가 짧은 경향이었고 MN-1054, MN-1060, Mer80-10 품종은 모두 86일경이었다. 생육일수도 出穗日數와 비슷한 경향으로 M81E71-1, Tamu Rama 품종이 131, 129일로 길었고 Wary 품종이 116.7일로 가장 생육일수가 짧았으며 다음이 MN-1054, Keller 품종이 둘다 119일이었다. Wary, MN-1054, Keller, Rio 품종이 생육기간이 짧은 早生種에 속한 품종이었고 晚生系統의 품종은 M81E71-1, Tamu Rama, Cowley 및 Sart였다.

Table 5. Date of emergence, heading and maturity, and days to emergence, heading and duration of growth of 13 cultivars.

Cultivar	Date of emergence	Date of heading	Date of maturity	Days to emergence	Days to heading	Duration of growth
Brandes	May 28	Aug. 18	Sept. 19	14.0	92.0	124.3
Dale	May 28	Aug. 16	Sept. 17	15.0	90.3	122.0
Keller	May 28	Aug. 9	Sept. 15	13.7	83.7	119.7
M81E71-1	May 27	Aug. 28	Sept. 26	11.3	101.7	131.0
Rio	May 28	Aug. 14	Sept. 15	15.0	87.7	120.0
Sart	May 28	Aug. 18	Sept. 20	14.0	92.3	125.0
Tamu Rama	May 28	Aug. 21	Sept. 25	12.7	95.0	129.0
Wary	May 27	Aug. 10	Sept. 12	12.3	83.3	116.7
Mer80-10	May 28	Aug. 13	Sept. 19	13.7	86.7	124.0
Cowley	May 28	Aug. 17	Sept. 22	11.7	91.3	127.0
MN-1054	May 28	Aug. 12	Sept. 14	13.0	86.0	119.3
MN-1060	May 27	Aug. 12	Sept. 16	13.0	86.3	121.3
Ramoda	May 29	Aug. 16	Sept. 19	13.7	89.7	123.7
LSD(5%)	-	-	-	1.8	6.2	2.2

2) 地上部 生育特性

단수수 품종의 지상부 여러 형질에 대한 특성은 표 6과 7에서 보는 바와 같다. 稈長은 M81E71-1, Keller, Sart 품종이 각각 306, 291, 276cm로 긴 長稈種이었고, 다음은 Rio, Dale 품종 순이었으며, MN-1054 품종이 219cm, Brandes 가 228cm, Ramoda, MN-1060, Cowley 등이 稈長 240cm이하로 短稈系統 품종이었다.

Table 6. Culm traits and lodging of 13 cultivars.

Cultivar	Culm length (cm)	Stem diameter (mm)	No. of nodes	Length of upper most internode (cm)	Lodging ¹
Brandes	228	18.0	13.0	1.8	†
Dale	262	22.0	14.0	17.7	+++
Keller	291	23.2	13.7	15.5	++
M81E71-1	306	21.5	15.7	6.4	++
Rio	266	19.3	13.0	17.6	++
Sart	276	21.0	14.7	6.9	++
Tamu Rama	242	18.9	15.0	15.0	++
Wary	261	22.3	14.7	15.2	+++
Mer80-10	250	20.0	12.3	12.5	++
Cowley	240	18.6	13.0	7.0	†
MN-1054	219	18.8	13.7	5.5	++
MN-1060	237	18.3	13.0	6.3	†
Ramoda	230	20.7	12.3	10.8	†
LSD(5%)	37	1.7	1.3	4.8	-

¹ Lodging was scored on a † =upright to +++ =prostrate.

莖直徑은 20.0mm 내외였는데, Keller, Wary, Dale 품종이 각각 23.2, 22.3, 22.0mm로 줄기가 굵은 편이었고 다음은 M81E71-1, Sart의 순이었으며 莖直徑이 가는 품종은 Brandes, MN-1060, Cowley, MN1054였다. 節數는 12.3~15.7개로서 M81E71-1, Tamu Rama, Sart, Wary 품종이 15.7, 15.0, 14.7절로 많았으며 Mer80-10과 Ramoda가 12.3절로 적었다. 대체적으로 稈長이 긴 품

종이 절수가 많고 短稈인 품종이 절수가 적은 경향이었으나 Tamu Rama는 稈長에 비해 절수가 많은 예외적인 품종이었다. 種實의 倒伏과 관련되는 지상부 최상위절의 길이는 품종간 차이가 심하였는데 Dale, Rio, Keller, Wary와 Tamu Rama 품종이 15cm 이상으로 긴 편에 속하는 품종이었고, Brandes와 MN-1054 품종은 6cm 이하로 가장 짧았다. 대체적으로 種實이 성숙한 이후에는 지상부 최상위절(穗梗)의 길이가 짧은 품종이 이삭부분의 倒伏에 강한 경향이였다.

재배기간중에 지상부의 倒伏은 Dale, Wary 품종이 가장 심하였으며 Brandes, Cowley, MN-1060, Ramoda 품종은 倒伏에 강하였는데 대체적으로 稈長이 260cm 이상인 품종이 倒伏에 약한 편이었고 稈長이 240cm 이하인 품종들이 倒伏에 강한 경향이였다.

Chlorophyll meter 측정치는 Brandes가 35.8로 가장 낮았고 Keller, Ramoda 품종이 50 이상으로 많았으며 다음으로는 M81E71-1가 49.7, Wary가 48.1 순이었다. 葉長은 76.6~92.6cm의 범위에 있었으나, 품종간 유의차가 없었으며, 葉幅은 Sart와 Mer80-10이 9.9cm로 가장 넓었고, MN-1054, Dale 품종이 7.4cm, 7.8cm로 좁았다. Mer80-10, MN-1060, Rio 품종이 廣葉이면서 긴편이었고 Dale 품종이 잎이 짧고 좁은 품종이었으며 MN 1054 품종은 잎은 길지만 (89.3cm) 葉幅은 7.4cm로 가늘었고 Sart는 葉幅은 9.9cm로 넓었지만 葉長은 87cm로 다소 작은 품종이었다. 성숙기에 조사한 莖當 生葉數는 Rio, Tamu Rama, Keller, Sart는 13엽 이상인 품종이었고 Cowley와 Ramoda는 11엽 이하인 품종이었다.

진딧물 발생 정도는 Brandes와 M81E71-1 품종이 심하게 발생하여 진딧물에 약한 품종이었고 Wary, MN-1060, Ramoda는 전혀 발생하지 않아 진딧물에 대한 耐蟲性 품종이었으며, Dale, Keller, Cowley 품종도 발생이 다소 적은 편이었다.

Table 7. Leaf traits and aphid occurrence of 13 cultivars.

Cultivar	Chlorophyll meter readings	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of green leaves	Aphid occurrence degree(0-9) [▷]
Brandes	35.8	88.1	9.2	11.3	7
Dale	47.4	76.6	7.8	12.6	1
Keller	52.1	82.3	8.4	13.7	1
M81E71-1	49.7	89.1	8.6	12.7	7
Rio	46.9	90.0	9.2	14.3	5
Sart	43.6	86.6	9.9	13.0	3
Tamu Rama	41.8	84.3	9.0	13.7	5
Wary	48.1	78.9	8.1	12.7	0
Mer80-10	47.1	92.6	9.9	11.3	5
Cowley	45.8	89.8	9.3	10.3	3
MN-1054	41.7	89.3	7.4	12.0	1
MN-1060	47.4	92.0	9.8	11.0	0
Ramoda	51.4	87.1	9.3	10.7	0
LSD(5%)	3.7	NS	1.0	2.1	-

▷ 0 : non-occurrence of aphid

3 : a few occurrence

7 : many occurrence

1 : very few occurrence

5 : middle occurrence

9 : a great many occurrence

3) 糖收量 및 ethanol 生産

단수수 품종에 따른 줄기 汁液量, 總糖量 및 ethanol 생산량은 그림 1과 표 8에서 보는 바와 같다.

株當 生莖重은 莖直徑과 稈長의 상승적에 비례하므로 M81E71-1, Sart품종이 각각 1,354, 1,339g으로 무거웠으며 다음이 Wary, Dale, Tamu Rama,

Keller품종 순이었고, 대부분 短稈인 품종(Brands, MN-1060, Ramoda, Cowley, Mer80-10)이 株當 生莖重이 가벼웠으나 Rio품종은 稈長이 긴편이었으나 오히려 莖直徑이 가늘어 株當 生莖重은 731g으로 적었다(그림1).

10a당 生莖重은 株當 生莖重과 비슷한 경향이었는데 M81E71-1, Sart품종이 10,033, 9,913kg으로 가장 무거웠으며 다음이 Dale, Wary, Tamu Rama, Keller 품종이었고, Rio 5,417kg, Ramoda품종이 5,971kg으로 10a당 生莖重이 적었다.

줄기 착즙액의 Brix당도는 5.2에서 18.0°Brix의 범위에 있었으며 Keller품종이 18.0°Brix로 가장 높았고 Dale, Tamu Rama품종이 17°Brix 이상이었으며 다음으로는 Ramoda, Mer80-10 순이었다. Brandes품종은 5.2°Brix로 가장 낮았고 MN-1060, Sart, Cowley품종은 10°Brix 이하로 낮았다. M81E71-1, Sart품종은 生莖重은 무겁지만 당도가 10°Brix로 낮은 편이었고 Dale, Keller, Tamu Rama은 生莖重은 공시품종 중에서 중 정도이지만 당도는 17°Brix이상으로 높은 품종이었다.

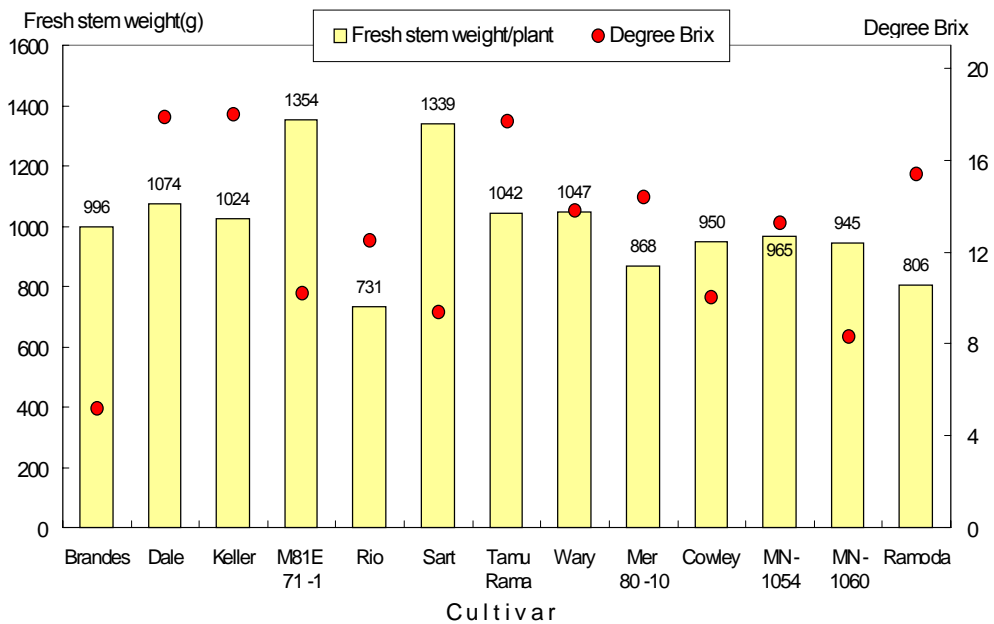


Fig 1. Fresh stem weight per plant and degree Brix of 13 cultivars.

Table 8. Fresh stem weight, juice, total sugar and ethanol yields of 13 cultivars.

Cultivar	Fresh stem weight (kg/10a)	Degree Brix	Juice (kg/10a)	Total sugar (kg/10a)	Ethanol yield (ℓ/10a)
Brandes	7,380	5.2	3,926	204.2	115.4
Dale	7,959	17.9	4,362	780.8	441.1
Keller	7,588	18.0	3,915	704.7	398.1
M81E71-1	10,033	10.2	5,588	570.0	322.0
Rio	5,417	12.5	2,763	345.4	195.1
Sart	9,913	9.4	5,204	489.2	276.4
Tamu Rama	7,721	17.7	3,969	710.5	401.4
Wary	7,760	13.8	4,097	565.4	319.4
Mer80-10	6,429	14.4	3,343	481.4	271.8
Cowley	7,040	10.0	3,661	366.1	206.8
MN-1054	7,149	13.3	3,703	492.5	278.2
MN-1060	7,003	8.3	3,621	300.5	169.8
Ramoda	5,971	15.4	3,164	487.3	275.3
LSD(5%)	1,341	2.3	790	143.5	69.8

줄기에서 착즙한 즙액량은 10a당 生莖重이 많았던 M81E71-1, Sart품종이 5,588kg과 5,204kg으로 가장 많았으며 다음으로는 Dale, Wary, Tamu Rama, Keller품종이었고 Ramoda, Rio품종이 즙액량이 적었다. 10a당 總糖量은 Dale이 780.8kg, Tamu Rama품종이 710.5kg, Keller품종이 704.7kg으로 가장 많았으며 Brandes와 MN-1060품종이 각각 204.2kg, 300.5kg으로 가장 낮았고 다음이 Rio, Cowley품종 순이었다.

ethanol 생산량은 Dale, Tamu Rama, Keller품종이 각각 10a당 441.1, 401.4, 398.1 ℓ 로 가장 많았으며, 다음으로는 M81E71-1(322 ℓ), Wary(319.4 ℓ)순이었고 Brandes품종이 115.4 ℓ 로 가장 적었으며 MN-1060, Rio품종도 ethanol 생산이 10a당 200 ℓ 이하로 적은 편이었다. Tamu Rama품종은 당도가 높아서 生莖重에 비해 ethanol 생산이 많은 품종이었고, M81E71-1, Sart품종은 生莖重은 무겁지만 당도가 낮아 오히려 總糖量과 ethanol 생산량은 작았다. Dale, Tamu Rama, Keller품종은 10a당 生莖重이 7,500kg이상이면서 당도가 17° Brix 이상으로 總糖量과 ethanol 생산량이 많은 품종이었다.

4) 種實收量

단수수 13개 품종의 種實에 대한 형질특성은 표 9와 그림 2에서 보는 바와 같이, 穗重은 MN-1060과 Cowley품종이 각각 58.7, 55.6g으로 가장 무거운 품종이었으며, Wary품종은 25.3g으로 가장 가벼운 품종에 속하였는데, 품종에 따라 穗重 변화의 폭은 심한 편이었다. 穗長은 Rio와 Sart품종은 26cm 이상으로 길었고 Keller와 Tamu Rama, Mer80-10품종이 11.2, 15.9, 16.5cm로 가장 짧은 품종이었는데 穗長이 길다고 穗重이 무거운 것은 아니었다.

穗當 1次枝莖數는 Cowley, MN-1060품종이 각각 69.0, 68.3개로 많았고 다음은 Sart, M81E71-1, Rio품종 순으로 많았으며, Keller품종은 36.3개로 가장 적었고 Wary, Mer80-10품종도 적은 편이었다. 1次枝莖當 粒數는 Keller, Mer80-10, Tamu Rama, Brandes, M81E71-1, Rio, Dale, MN-1054품종이 30개 이상으로 많았고, Sart와 Ramoda품종은 각각 18.0, 19.7개로 가장 적었다.

穗當 粒數도 품종에 따라 차이가 심하였는데, MN-1060, Tamu Rama, M81E71-1품종이 1,700개 이상으로 많았으며 Wary, Ramoda 및 Sart품종은 1,100개 이하로 이삭당 종실수가 적었다.

Table 9. Panicle, grain traits and bird damage of 13 cultivars.

Cultivar	Panicle weight (g)	Panicle length (cm)	No. of primary branches /panicle	No. of grains /primary branch	No. of grains /panicle	Grain weight /panicle (g)	Weight of 1000 grains (g)	Bird damage [♪]
Brandes	27.7	21.0	52.0	31.3	1618	23.0	16.7	†
Dale	38.3	18.9	47.0	30.7	1447	22.0	15.3	††††
Keller	34.3	11.2	36.3	33.7	1211	26.0	21.3	††
M81E71-1	45.7	22.2	56.0	31.3	1771	37.3	21.0	††
Rio	41.7	26.6	55.3	30.3	1691	32.7	21.3	†††
Sart	41.7	26.2	61.7	18.0	1096	35.7	32.7	†††
Tamu Rama	45.7	15.9	54.7	33.0	1797	41.0	23.0	††
Wary	25.3	18.3	42.3	24.0	1024	21.3	20.3	††††
Mer80-10	39.7	16.5	44.7	33.3	1468	34.7	22.3	†††
Cowley	55.7	23.0	69.0	24.0	1642	47.3	28.0	†††
MN-1054	44.0	21.1	46.7	30.3	1399	38.0	26.0	††
MN-1060	58.7	21.4	68.3	27.3	1865	50.7	27.0	†
Ramoda	33.3	17.0	52.3	19.7	1028	23.7	21.7	††††
LSD(5%)	5.7	5.6	5.9	6.1	304	5.1	3.0	-

♪ † : Non damage

††† : middle damage

†† : a little damage

†††† : maximum damage

穗當 種實重은 MN-1060와 Cowley품종이 각각 50.7, 47.3g으로 가장 무거웠고, 다음은 Tamu Rama, MN-1054품종 순이었고, 가장 가벼웠던 품종은 Wary, Dale, Blandes, Ramoda품종이 24g이하로 품종간 차이가 컸다. 1,000립 중은 15.3~32.7g의 범위에 있었는데, Sart, Cowley, MN-1060 및 MN-1054품

종 등은 26g 이상인 품종으로 大粒種에 속하였고, Tamu Rama, Mer80-10, Ramoda, Rio, Keller, M81E71-1, Wary 품종 등은 中粒種, Brandes와 Dale은 20g이하로써 小粒種으로 분류되었다.

새에 대한 피해 정도는 품종간 차이가 심하였는데 Brandes, MN-1060 품종은 새 피해가 전혀 발생하지 않았으나 Dale, MN-1060 품종은 새가 선호하는 품종으로 種實 피해가 심하였다. 種實用으로 재배하려면 새 피해를 줄이는 대책이 필요하다.

10a當 種實收量은 MN-1060, Cowley, MN-1054 품종이 각각 860, 786, 745kg으로 가장 많았으며 Tamu Rama, Brandes, Sart, M81E71-1 품종은 600kg 이상이었고 Wary, Ramoda, Dale, Keller 품종은 500kg 이하로 種實收량이 적은 편이었다.

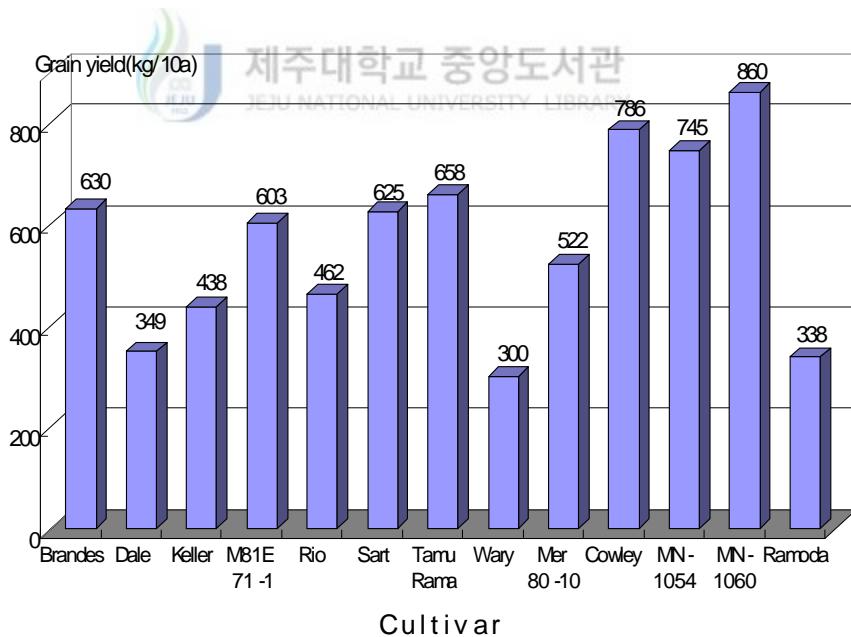


Fig 2. Grain yield of 13 cultivars(LSD 5% : 176).

5) 生育段階別 地上部 形質 및 糖度 變化

단수수 생육단계에 따른 각 형질과 Brix 당도의 변화는 그림 3 ~7에서 보는 바와 같다. 草長은 생육초기인 7월 1일 조사에서는 품종간 차이가 거의 없었으나 점차 생육이 진전됨에 따라 품종간 차이가 나타나 9월 21일 조사에서는 품종간 특성이 뚜렷하였다. 대부분의 품종은 9월 21일 이후에는 신장 폭이 적었으나 M81E71-1 품종은 증가 폭이 컸다(그림 3).

莖直徑은 7월 1일 조사에서는 MN-1054 품종이 가장 가늘었고 Wary 품종이 가장 줄기가 굵었으며, 8월 10일 조사에서는 莖直徑이 최고치를 나타내다가 그 이후에는 점차 가늘어지기 시작하였다. 단수수가 出穗期를 전후로 최고의 줄기 굵기를 형성하다가 出穗로 인해 지상부 생육이 왕성하게 이루어지면서 점차 가늘어지는 특성을 보였다(그림 4).

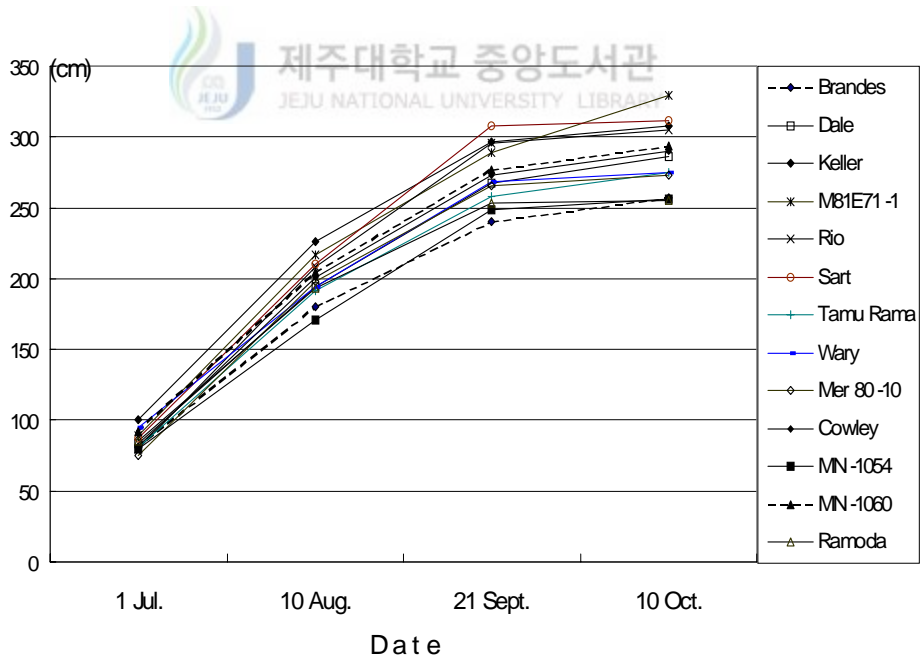


Fig 3. Change in plant height in 13 cultivars.

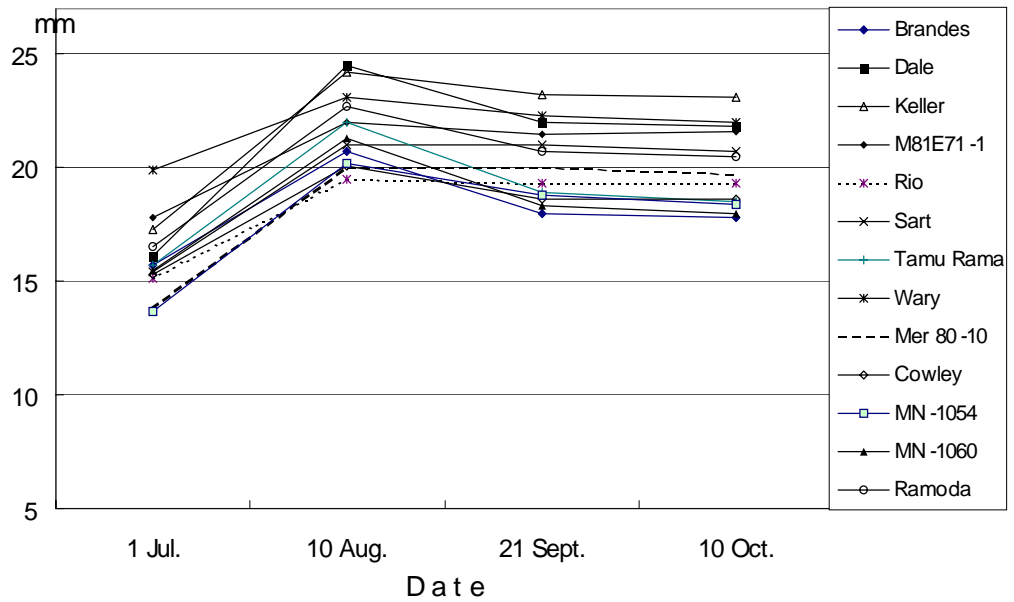


Fig 4. Change in stem diameter in 13 cultivars.

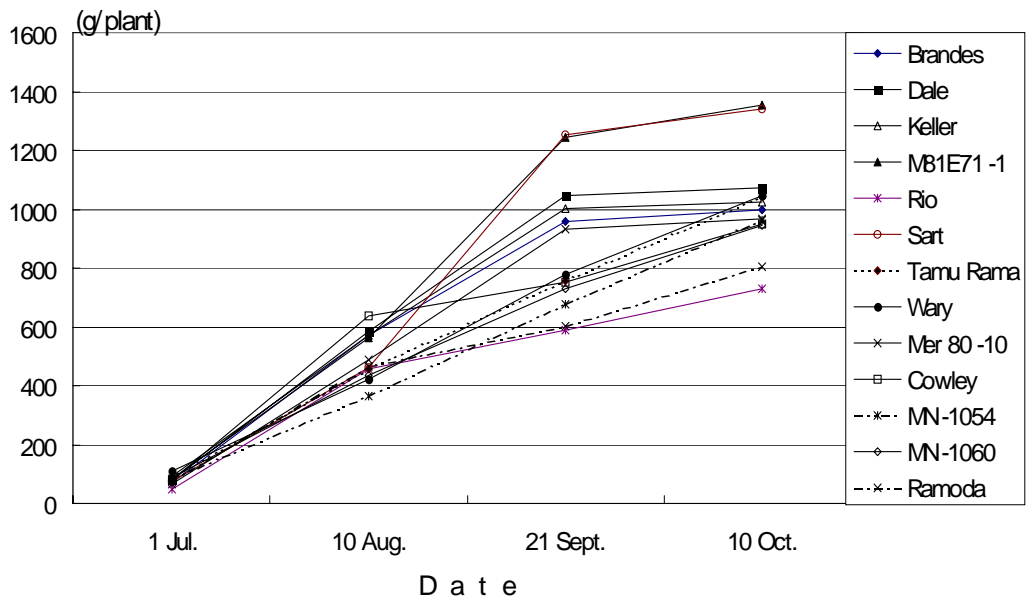


Fig 5. Change in fresh stem weight in 13 cultivars.

生莖重은 草長과 같은 경향으로 생육 초기인 7월 1일에는 품종간 뚜렷한 차이가 없었으나 점차 생육이 진전됨에 따라 生莖重이 증가되면서 품종간의 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 9월 21일 이후에는 대부분의 품종이 증가폭이 완만하지만 Ramoda, M81E71-1과 Sart품종은 지속적인 증가를 보였다(그림5).

Brix 당도의 품종별 변화는 그림 6에서 보는 바와 같이 모든 품종이 7월 1일 당도 측정에서는 2.8~3.6°Brix로 품종간 큰 변이는 없었으며 7월 23일에서도 3.4~4.9°Brix로 비슷하였으나 出穗始인 8월 5일 측정에서는 7월 23일 측정한 당도보다도 오히려 전 품종에서 낮게 나타났다.

8월 18일 조사에서는 모든 품종의 당도가 다소 증가하기 시작하였고 9월 12일 측정에서는 Brix 당도가 현저히 증가하여 최고치에 도달하였는데 증가폭은 품종간에 차이가 많았다. Brandes와 MN-1060품종은 증가폭이 2.0°Brix이하였으나 Dale품종은 11.4°Brix가 증가하였고 Keller, Tamu Rama 및 Ramoda품종은 8°Brix이상 증가하였다. 10월 12일 측정에서는 9월 12일 조사보다도 오히려 감소하는 경향이었는데 Brandes와 Wary품종은 당도의 변화가 없었고 Mer 80-10품종은 5.0°Brix 줄어 가장 감소폭이 컸으며, 다음이 Keller, Cowley와 Ramoda품종이었다. 수확시에 당도가 가장 높은 품종은 Tamu Rama품종이 17.6°Brix로서 변화폭도 0.1°Brix로 出穗 후 45일과 당도의 변화가 거의 없는 품종이었고 다음으로 높은 품종은 Dale, Keller였다.

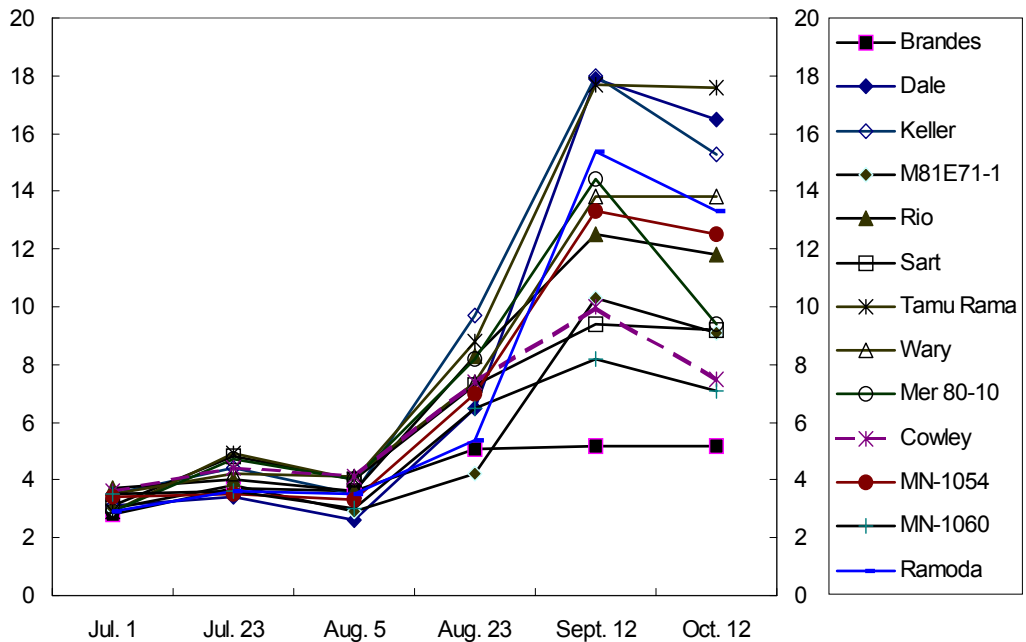


Fig 6. Change in degree Brix in 13 cultivars.

1998년 Tamu Rama 품종을 공시하여 出穂를 기준으로 出穂前 30일부터 出穂後 90일까지 10일 간격으로 Brix 당도를 측정 한 결과는 그림 7에서 보는 바와 같다.

出穂前 30일에는 당도가 5.3°Brix로 낮았으나 점차 당도가 증가하기 시작하여 出穂期에는 10.1°Brix였다. 出穂後에는 급속도로 당도가 증가하여 出穂後 10일에는 14.8°Brix였고 20일후에는 15.9°Brix, 30일후에는 17.3°Brix였는데 그 후에는 증가폭이 미미하다가 50일 이후에는 당도가 낮아지는 경향을 보였다. 당도가 15°Brix 이상이면 당 생산이 가능하므로 줄기를 이용하고자 할 때에는 出穂 30일 후부터 수확이 가능하였다.

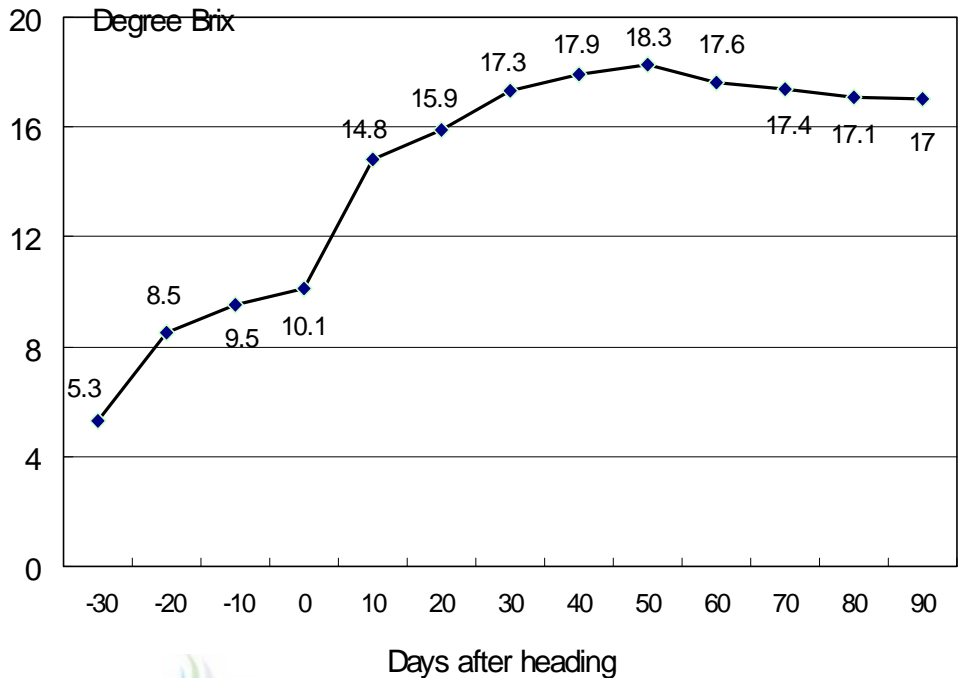


Fig 7. Degree Brix change in Tamu Rama cultivar in 1998.

6) 節位別 糖度 變化

당분 축적이 식물체 절위에 따라 어떻게 분포되는가를 알고자 단수수 절위에 따른 Brix 당도의 변화를 出穗後 45일경에 조사하였는데, 그 결과는 표 10과 그림 8에서 보는 바와 같다. Brandes와 Sart품종은 지상부 7절에서 6.4, 10.9°Brix로 제일 높았고 MN-1054와 MN-1060품종은 지상부 8절, Keller, Sart, Tamu Rama, Wary, Mer 80-10 및 Ramoda품종은 9절, Rio, Mer 80-10, Cowley품종은 10절, Dale는 11절, M81E71-1품종은 12절에서 Brix 당도가 가장 높게 나타났다. 모든 품종의 절위별 평균 Brix 당도의 비교에서는 지상부 8, 9절이 14.6°Brix로 가장 높았고 다음이 지상부 10, 1, 6절 순이었다. 대체로 지상부 1절에서 5절까지는 당도가 떨어지는 경향을 보이다가 지상부

5절부터 점차 증가하기 시작해서 8, 9절에서 정점을 이루고 점차 상위절로 갈수록 당도는 줄어드는 경향을 보였다(그림 8).

지상부 최상위절을 기준으로 보면 Dale, Keller, M81E71-1, Rio, Mer 80-10, Cowley 및 Ramoda 품종이 지상부 최상위 5절에서 높은 Brix 당도를 보였고, Tamu Rama, Wary, MN-1054 품종은 지상부 최상위 6절, Brandes와 MN-1060 품종은 7절, Sart 품종은 지상부 최상위 8절에서 당도가 가장 높게 나타나고 있다. 대부분 품종들이 지상부 최상위 5절에서 7절 사이가 Brix 당도가 높은 경향이었고 지상부 최상위 1절이 당도가 가장 낮게 나타났다.



Table 10. Degree Brix of internodes of 13 cultivars.

C.V Node	Bran des	Dale	Keller	MBIE 71-1	Rio	Sart	Tamu Rama	Wary	Mer 80-10	Cowl ey	MN- 1054	MN- 1060	Ramo da
1*	6.0	17.2	16.6	16.2	16.5	10.1	18.0	13.7	18.0	10.3	14.8	8.4	18.3
2	5.1	16.2	16.6	15.8	17.3	8.9	15.8	12.5	16.4	8.8	14.4	7.0	16.1
3	5.1	15.3	15.5	15.3	17.6	8.1	14.6	12.8	15.1	8.4	13.6	7.0	16.1
4	4.5	14.6	16.5	15.0	16.5	8.1	17.1	12.5	12.8	7.7	13.4	6.6	15.9
5	4.8	15.0	18.6	15.1	14.4	7.5	17.1	12.2	14.2	7.0	13.8	6.6	15.2
6	6.2	15.2	18.6	16.0	14.0	7.8	17.2	14.8	15.0	8.0	14.8	6.7	16.2
7	6.4	16.5	19.3	17.4	15.7	10.9	17.2	16.0	15.8	8.2	15.7	7.5	16.9
8	6.1	17.3	19.4	17.7	17.0	10.2	17.5	16.0	17.1	8.9	16.7	9.0	17.2
9	5.4	17.8	19.6	17.7	17.2	10.6	18.2	16.4	16.0	9.7	15.4	8.2	17.8
10	5.1	18.1	18.6	18.8	17.7	10.4	18.0	15.4	16.0	10.1	14.1	8.1	15.6
11	4.7	18.8	18.1	18.9	15.1	10.2	17.3	15.0	14.8	8.8	13.1	7.6	15.3
12	4.4	18.2	17.4	19.0	13.7	10.0	17.1	13.4	11.5	8.4	12.3	6.6	12.0
13	3.8	16.6	16.2	18.9	11.8	9.9	16.8	12.1	10.6	8.1	10.9	6.5	11.2
14	-	17.0	-	18.9	9.5	7.9	16.1	10.2	-	8.4	-	6.4	-
15	-	16.2	-	17.5	-	6.5	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	16.4	-	4.2	-	-	-	-	-	-	-

* : 1st aboveground internode

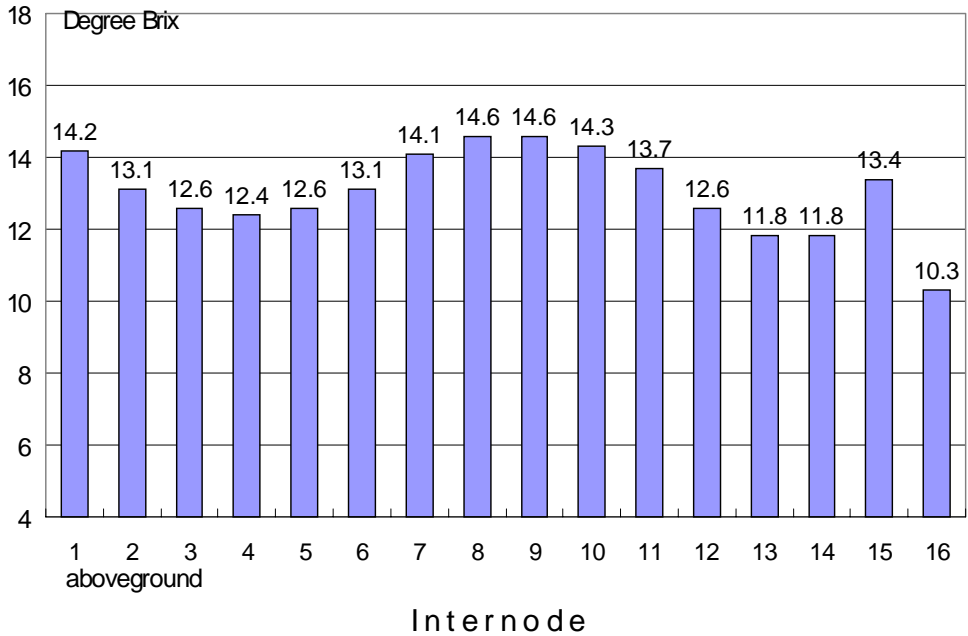


Fig 8. Average degree Brix on aboveground internodes in different cultivars.

7) 形質間 相關關係

단수수 품종의 형질간 相關關係는 표 11에서 보는 바와 같다. 稈長은 10a 당 生莖重과 高度의 正(+)의 相關이었고 莖直徑과는 正의 相關이 있었으며, 10a당 生莖重은 莖直徑과 生育일수와는 正의 相關을 보였다. 당도는 莖直徑, 總糖量, ethanol 생산량과 高度의 正의 相關을 보이고 있으나 種實收量과는 高度의 負(-)의 相關을 보였다. 10a당 줄기 搾汁量은 生育일수와는 正의 相關을 보였고, 稈長, 生莖重, ethanol 收量과는 高度의 正의 相關을 보이고 있다. ethanol 생산량은 莖直徑, 生莖重, 당도, 주스량, 總糖量과는 高度의 正의 相關을 보였으나 穗當 種實重과는 負의 相關을 보였다. 1,000립중은 穗重, 穗當 種實重과 高度의 正의 相關을 보였고 種實收량은 穗重, 穗當 粒數, 穗當 種實重, 1,000립중과는 高度의 正의 相關을, 生育일수와는 正의 相關을 보였으

나 莖直徑과 당도와는 高度의 負의 相關을 보였다. 대부분 줄기 형질과 종실 형질과는 負의 相關을 나타내었고 줄기, 종실형질간에는 正의 相關을 보였다.

Table 11. Correlation coefficients estimated among the characters of 13 cultivars.

Character	Durati on of growth	Culm length	Stem diameter	Fresh stem weight /10a	Degree Brix	Juice /10a	Total sugar /10a	Ethanol yield /10a	Panicle weight	No. of kernels/ panicle	Grain weight /panicle	Weight of 1000
Culm length	0.164											
Stem diameter	-0.194	0.375*										
Fresh stem weight/10a	0.362*	0.417**	0.328*									
Degree Brix	-0.176	0.008	0.500**	-0.150								
Juice/10a	0.361*	0.414**	0.315	0.986**	-0.148							
Total sugar/10a	0.058	0.241	0.630**	0.503**	0.768**	0.505**						
Ethanol yield	0.064	0.237	0.627**	0.499**	0.767**	0.499**	0.995**					
Panicle weight	0.371*	-0.008	-0.376*	-0.029	-0.122	-0.047	-0.126	-0.122				
No. of kernels /panicle	0.414**	0.043	-0.528**	-0.147	-0.234	-0.116	-0.273	-0.263	0.586**			
Grain weight /panicle	0.422**	-0.084	-0.637**	-0.020	-0.421	-0.041	-0.388*	-0.377*	0.856**	0.701**		
Weight of 1000	0.162	0.010	-0.103	0.222	-0.149	0.167	-0.046	-0.035	0.572**	-0.103	0.507**	
Grain yield	0.352*	-0.203	-0.494**	0.210	-0.461**	0.214	-0.270	-0.263	0.642**	0.510**	0.823**	0.484**

*, ** : Significant at 5% and 1% level of probability

8) 實用形質의 遺傳率

광의의 遺傳率은 표 12와 13에서 보는 바와 같다. 당도(95.73%), 생육일수(90.30%), 穗當種實重(89.87%), 穗重(88.79%), 穗當1次枝莖數(87.89%), 1,000립중(86.61%) 등은 遺傳率이 높았으며, 生莖重(75.36%), 莖直徑(72.36%), 10a當種實重(72.25%), 穗當粒數(70.43%), 1次枝莖當粒數(63.94%), 절수(61.71%), 出穗日數(60.69%), 엽폭(60.49%) 등은 중정도였고, 穗長(57.21%), 稈長(51.73%), 엽장(26.56%) 등은 遺傳率이 낮은 편이었다.

Table 12. Genetic, environmental and phenotypic variance, and heritability estimates for days to heading and maturity, stem and leaf traits, and soluble solid of 13 cultivars

Statistics	Days to heading	Days to maturity	Stem diameter (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Culm length (cm)	No. of nodes	Fresh stem weight (g/plant)	Degree Brix
Vg	20.69	16.05	0.03	12.44	0.53	511.08	0.91	9013.07	15.92
Ve	13.40	1.72	0.01	34.41	0.34	476.98	0.57	2908.50	0.71
Vph	34.09	17.77	0.04	46.86	0.87	988.06	1.48	11921.56	16.63
H ²	60.69	90.30	72.36	26.56	60.49	51.73	61.71	75.60	95.73

Table 13. Genetic, environmental and phenotypic variance, and heritability estimates for panicle and kernel traits, and grain yield of 13 cultivars

Statistics	Panicle weight (g)	No. of primary branches /panicle	No. of grains /primary branch	Panicle length (cm)	No. of grains /panicle	Grain weight /panicle (g)	Weight of 1000 grains (g)	Grain yield (kg/10a)
Vg	89.24	89.35	22.94	14.64	77454.37	81.34	20.67	28350.74
Ve	11.26	12.31	12.94	10.95	32519.99	9.17	3.19	10889.58
Vph	100.50	101.66	35.87	25.58	109974.36	90.51	23.86	39240.32
H ²	88.79	87.89	63.94	57.21	70.43	89.87	86.61	72.25

2. 土壤의 種類가 단수수 生育에 미치는 影響

토양 종류에 따른 단수수의 생육 및 종실특성은 표 14와 15에서 보는 바와 같다. 出芽期間은 사양토와 화산회토를 혼합한 토양에서 가장 빨랐고 出穗期間은 出芽期間이 가장 늦었던 사양토에서 93일로 가장 빨랐으며 비화산회 미사질양토에서 늦었지만 성숙일수에서는 토양간 차이가 없었다.

Table 14. Days to emergence and heading, duration of growth, leaf traits and stem diameter of sweet sorghum as affected by soils

Soil type	Days to emergence	Days to heading	Duration of growth	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of nodes	Stem diameter (cm)
Sandy loam	12.0	93	131	59.1	7.5	13.3	1.66
Volcanic ash	11.3	97	137	68.7	8.7	14.7	1.84
Silt loam I ¹⁾	11.3	99	139	55.5	6.5	14.0	1.76
Silt loam II ²⁾	11.3	98	139	50.7	5.5	14.7	1.81
Va+Sal(5:5)	10.0	95	136	65.3	6.9	13.0	1.74
Sil I +Sal(5:5)	13.3	96	135	60.8	7.0	13.7	1.65
Sil II +Sal(5:5)	12.7	95	137	54.2	5.7	13.7	1.63
Va+Sal(7:3)	10.7	95	137	68.3	6.3	13.3	1.70
LSD(5%)	1.0	2.4	NS	4.8	0.7	1.4	0.13

※ 1) Non volcanic ash silt loam soil of 100m altitude

2) Non volcanic ash silt loam soil of 350m altitude

Sil : Silt loam soil Sal : Sandy loam soil Va : Volcanic ash soil

엽장, 엽폭은 화산회토가 포함된 토양에서 가장 양호하였고 비화산회토 미사질양토가 포함된 동귀동(해발 350m)에서는 엽장, 엽폭이 짧은 경향이였다. 절수는 사양토가 혼합된 토양에서 다소 적었고 화산회토와 비화산회 미사질 양토에서 다소 많았다. 莖直徑은 화산회토와 비화산회토 미사질 양토에서 1.8cm 내외로 높았으며 사양토가 혼합된 토양에서 대체로 가는 편이었다.

Table 15. Culm length, fresh stem weight, degree Brix, and grain yield as affected by soils

Soil type	Culm length (cm)	Fresh stem weight (g/plant)	Degree Brix	Weight of 1000 grains(g)	Grain yield (kg/10a)
Sandy loam	193.2	839.0	17.8	21.6	540.7
Volcanic ash	242.1	1,149.5	18.0	22.9	666.4
Silt loam I ¹⁾	244.3	1,117.5	17.9	23.0	655.0
Silt loam II ²⁾	215.7	985.1	17.5	22.9	648.9
Va+Sal(5:5)	204.5	992.6	17.8	22.9	640.4
Sil I + Sal(5:5)	220.4	922.8	17.4	22.4	634.0
Sil II + Sal(5:5)	197.6	901.2	17.6	22.6	619.2
Va+Sal(7:3)	222.7	1,061.6	18.0	23.0	654.9
LSD(5%)	15.7	39.9	NS	0.6	22.1

※ 1) Non volcanic ash silt loam soil of 100m altitude

2) Non volcanic ash silt loam soil of 350m altitude

Sil : Silt loam soil Sal : Sandy loam soil Va : Volcanic ash soil

稈長은 화산회토와 비화산회토 이도동(해발100m)에서 242, 244cm로 가장 길었으며 사양토와 비화산회토 동귀동과 사토가 혼합한 토양에서 가장 작았

다. 株當 生體重은 稈長에 비례하여 化산회토가 1,149.5g, 비화산회토 이도통에서 1,117.5g으로 무거웠고 다음이 化산회토가 70% 함유한 토양에서 1,061.6g이었고 사양토가 839g으로 가장 生體重이 가벼웠다.

당도는 토양간 다소 차이는 보였지만 유의성은 인정되지 않았고 1,000립중은 사양토가 21.6g으로 가장 가벼웠고 그 외 토양에서는 비슷한 수치로 유의하지 않았다. 10a당 種實收量은 化산회토와 비화산회 미사질양토에서 10a당 648.9 ~ 666.4kg으로 많았고 사양토에서는 540.7kg으로 種實收量이 적었으며 그 외 토양은 비슷한 수량을 보였다. 비화산회토와 化산회토간에 收量 차이가 없었다.

토양에 따른 단수수의 형질간 相關關係는 표 16에서 보는 바와 같다. 出穗日數와 생육일수는 高度의 正(+의)相關을 보였고 稈長은 草長과, 엽폭은 엽장과 高度의 正의 상관이 있었으며 절수는 出穗日數, 稈長과 高度의 正의 相關을, 생육일수와는 正의 相關을 보였다. 莖直徑은 稈長과 正의 相關을 보였고, 生莖重은 草長, 稈長, 莖直徑과는 高度의 正의 相關을, 出穗日數, 절수와는 正의 相關을 보였으며, 당도는 莖直徑과 正의 相關을 보였다. 또한 1,000립중은 出穗日數, 稈長, 生莖重과 正의 相關을 보였고 種實收量은 出穗日數, 草長, 稈長, 生莖重, 1,000립중과는 高度의 正의 相關을 보였다.

Table 16. Correlation coefficients estimated among the characters as affected by soils

Character	Days to heading	Duration of growth	Plant height	Culm length	Leaf length	Leaf width	No. of nodes	Stem diameter	Fresh stem weight	Degree Brix	Weight of 1000 grains
Duration of growth	0.551**										
Plant height	0.213	-0.051									
Culm length	0.368	0.175	0.864**								
Leaf length	-0.249	-0.340	0.116	-0.005							
Leaf width	-0.138	-0.340	-0.032	-0.034	0.539**						
No. of nodes	0.608**	0.486*	0.400	0.578**	-0.184	-0.042					
Stem diameter	0.321	0.141	0.287	0.477*	0.167	0.293	0.258				
Fresh stem weight	0.446*	0.155	0.764**	0.815**	0.290	0.076	0.448*	0.573**			
Degree Brix	-0.108	-0.053	0.235	0.198	0.326	0.298	-0.001	0.432*	0.387		
Weight of 1000 grains	0.557**	0.349	0.446	0.419*	0.141	-0.204	0.342	0.328	0.636**	0.160	
Grain yield	0.526**	0.203	0.688**	0.694**	0.168	-0.109	0.344	0.401	0.777**	0.069	0.753**

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

V. 考 察

1. 단수수 品種의 特性 및 遺傳率

出穗日數와 생육일수가 긴 품종은 M81E71-1, Tamu Rama, Cowley, Sart 이었고 Wary 품종이 出穗日數와 생육일수가 가장 짧았다.朴과 李(1991)도 11 개 품종의 단수수를 진주지역에서 5월 20일 파종하여 시험한 결과, 出穗日數가 70~118일 정도였다고 하였다. 본 시험에서는 83~101일로 품종간에 변이가 적고 出穗日數도 다소 빨랐는데 이는 재배지역 기온이 높는데 기인한 듯하다. Smith 등(1987)이 수행한 당생산을 위한 단수수의 지역별 적응품종에 관한 연구에서 지역(위도)별로 出穗日數의 변이가 심하다고 하였다. 생육일수는 116.7에서 131.0일의 범위에 있었으며, 대부분의 품종이 8월 14일에서 8월 18일 사이에 성숙기에 도달하였고, 평균 생육일수는 123.3일이었다. 孫(1971)에 의하면 파종부터 出穗까지의 出穗日數가 78.5 ± 4.5 일 범위내에서 出穗하는 품종을 早生群, 88.5 ± 4.5 일을 中生群, 晚生群은 98.5 ± 4.5 일로 나눌 수 있다고 하였다. 出穗日數를 10일 간격으로 조, 중, 만생군으로 구별해 보면 早生群은 Keller, Wary이고, 中生群은 Brandes, Dale, Rio, Sart, Mer80-10, Cowley, MN-1054, MN-1060, Ramoda 품종이며 晚生群은 M81E71-1, Tamu Rama 품종임을 알 수 있다. 이는 金 등(1995)이 Rio는 晚生種이고 Tamu Rama는 早生種에 속한다는 보고와는 다른 결과를 보였다.

莖直徑은 Keller, Wary, Dale, M81E71-1, Sart가 굵었고 가늘었던 품종은 Brandes 품종이었는데 姜과 李(1996)도 단수수 3계통의 莖直徑이 17.0~20.0mm였다고 한 결과와 비슷하였다. 8월 10일 조사에서 莖直徑이 최고치를 나타내다가 그 이후에는 점차 가늘어지기 시작하였는데 일반적으로 莖直徑이

出穂전에 최대를 이루다가 出穂후 급격한 신장으로 가늘어지는 경향이 있다고 한 孫(1971)의 결과와 같은 경향이었는데 이는 성숙과 더불어 수분이 감소되는 결과라고 볼 수 있다.

Mer80-10, MN-1060품종이 長廣葉品種이었고 Dale품종이 잎이 짧고 좁은 小葉系統이었는데, 제주도는 바람이 많아서 잎이 길고 넓은 계통은 생육기간 중에 찢어지는 경향이 있어 제주도에서는 잎이 짧으면서 小葉系統 품종이 유리할 것으로 생각된다.

줄기에 있어서 長稈種은 M81E71-1, Keller, Sart, Rio와 Dale품종이었고 短稈種은 MN-1054, Brandes, Ramoda, MN-1060와 Cowley품종이었는데 長稈種은 倒伏에 약하므로 倒伏에 강하면서 長稈系統 품종을 선발하여야 收量을 높일 수 있을 것으로 생각되었다. 절수는 12.3~15.7개로서, 미국종 6개, 일본종 2개를 도입하여 시험한 결과 품종간에 큰 차이가 있었다고 한 孫(1967)의 결과와 비슷한 경향이었으며, 품종중에서는 M81E71-1이 많았고, M81E71-1와 Ramoda가 적었다.

株當 生莖重에서 무거운 품종은 M81E71-1, Sart, Wary, Dale, Tamu Rama의 순이었고, 가벼운 품종은 MN-1054, Brandes, MN-1060, Ramoda, Cowley, Mer80-10, Rio품종이었는데 대체적으로 稈長과 비례하는 경향이었으나 Rio품종은 예외였다. 孫(1971)에 의하면 晩生種이 稈重이 높고 長稈種이 晩熟이라 하였으나 본 시험의 결과와 일치하지 않았다.

줄기 착즙액의 Brix 당도는 5.2에서 18.0°Brix의 범위로 6.0~14.0°Brix를 보였다는 朴과 李(1991)의 보고보다 높았다. 金 등(1995)은 단수수의 당도는 出穂 직후에 급격한 증가를 보였으며, 晩播의 경우에는 그 증가속도가 더욱 빠르다고 하였다. 또한 5월 15일 과중시에 出穂 후 35일경에 17°Brix 이상을 나타내어 그 이전의 과중기에서 보다 당축적이 빨리 이루어져 남부지방의 단수수 과중적기는 5월 15일경이라고 하였다. 그리고 그들의 연구에 공시된 4가지 품종은 본 연구의 당도와 차이가 있었는데 같은 품종에 있어서도 과중시

기, 지역 환경 등의 차이로 나타난 결과라고 추정이 된다.

10a당 總糖量과 ethanol 생산량은 10a당 生莖重과 당도가 높은 품종일수록 많았으며 Dale, Tamu Rama와 Keller품종이 가장 높았고 Brandes와 MN-1060품종이 가장 낮았다. Tamu Rama품종은 당도가 높아 生莖重에 비해 ethanol 생산이 많은 품종이었고 M81E71-1, Sart품종은 生莖重은 높지만 당도가 낮아 오히려 總糖量과 ethanol 생산량은 적게 나타났다. Putnam 등 (1991)은 1988년 acre당 Keller품종은 426gal, Dale품종은 414gal의 ethanol을 생산하였고朴과李(1991)는 10a당 186ℓ 정도의 ethanol이 생산되어 차이를 보였다. 본 시험에서는 116 ~ 441ℓ ethanol이 생산되어 품종간에는 차이가 많았지만 Dale, Tamu Rama와 Keller품종 등의 ethanol 수량은 Putnam 등 (1991)의 보고와 차이가 없었다.

Sart, Cowley, MN-1060, MN-1054품종 등은 大粒種에 속하였고, Tamu Rama, Mer80-10, Ramoda, Rio, Keller, M81E71-1과 Wary품종 등은 中粒種, Brandes와 Dale품종은 小粒種으로 분류될 수 있었다. Harlan 등(1972)은 재배종 수수를 bicolor, guinea, caudatum, kafir 및 durra의 5형으로 분류하였는데, 본 시험에서 공시된 단수수 품종들은 bicolor형이라 하였고姜(1993)은 수수류 청예용 一代雜種의 雜種強勢와 組合能力에 관한 연구에서 bicolor형 수수의 1,000립중이 가벼웠다고 하였다.

Dale와 MN-1060품종은 새가 선호하는 품종으로 종실 피해가 심하였으며 Brandes와 MN-1060품종은 새가 선호하지 않아 피해가 전혀 발생하지 않았다. 種實用은 새의 피해가 적은 품종을 선발할 필요가 있고 조해가 심한 품종은 새 먹이용으로 재배하면 좋을 것으로 생각되었다.

10a當 種實收量은 MN-1060, Cowley, MN-1054품종이 가장 많았으며 Wary, Rmoda, Dale 및 Keller품종은 500kg이하로 수량이 적었다. 種實을 목적으로 재배하고자 할 경우에는 MN-1060, Cowley, MN-1054품종이 알맞을 것으로 생각된다.

단수수 생육단계에 따라 지상부 형질에 대한 변화에서 草長과 株當 生莖重은 생육초기에는 품종간 차이가 거의 없었으나 점차 생육이 진전됨에 따라 품종간 차이가 현저하게 나타났고, 대부분의 품종은 9월 21일 이후에는 신장 폭이 적었으나 M81E71-1품종은 晚生種이라 지속적인 신장이 이루어졌다. 莖直徑은 8월 10일 조사에서 莖直徑이 최고치를 나타내다가 그 이후에는 점차 가늘어지기 시작하였는데 이는 단수수가 出穗期를 전후로 최고의 줄기 두께를 형성하다가 出穗로 인해 지상부 생육이 왕성하게 이루어지면서 점차 가늘어지는 특성을 보였다는 孫(1971)의 보고와 비슷한 결과였다.

Brix 당도의 변화는 8월 5일까지는 모든 품종에서 변화가 없었으나 그 이후부터는 서서히 당이 축적되기 시작하여 9월 12일에 최고에 달하였다가 차츰 떨어지는 경향을 보였다. 8월 5일 측정에서는 낮게 나타나고 있는 것은 8월 초의 집중적인 강우로 인하여 단수수 식물체의 과다한 수분흡수로 인하여 당도의 저하를 가져온 것으로 여겨진다. 金 등(1995)은 강수와 당분함량과의 관계는 晚熟種에서는 비교적 둔하게 작용하고 早熟種에서는 예민하게 나타난다는 보고가 있으나 이에 대해서는 별도의 검증이 필요하다고 본다. 수확시에 당도가 가장 높은 품종은 Tamu Rama가 17.6°Brix로서 변화폭도 0.1로 出穗 후 45일과 당도의 변화가 거의 없는 품종이었고 다음으로 높은 품종은 Dale, Keller로 종실과 줄기를 동시 수확시 적합한 품종이라 할 수 있다. 생육이 진전됨에 따라 출수기까지는 Brix도가 완만한 증가를 보이다가 출수기 이후 급격한 증가를 보이고 있는데 이는 Arikato(1952), 孫(1971)의 보고와도 일치되는 결과였다.

Tamu Rama 품종을 출수전 30일부터 출수후 90일까지 10일 간격으로 Brix 당도를 조사한 결과, 출수전 30일에는 당도가 낮았으나 점차 당도가 증가하여 출수후에는 급속도로 당도가 높아져 출수 30일후에는 17.3°Brix였으며 그 후에는 증가폭이 미미하다가 50일 이후에는 당도가 낮아지는 경향을 보였다. 당도가 15°Brix이상이면 당 생산이 가능(金 등, 1995)하므로 출수 30일후 부터

출수 90일 까지도 당도가 17°Brix를 유지하므로 장기간 수확이 가능할 것으로 생각된다. 金 등(1995)은 출수전까지는 Brix도는 완만한 증가를 보이다가 출수 직후에는 급격한 증가를 보였다고 하였고 Arikato(1952)와 孫(1967)은 出穗期는 당분축적의 시발점이 되고 完熟期를 정점으로 하여 그 이후에는 낮아진다는 보고와 비슷한 결과를 보였다.

단수수 절위에 따른 Brix 당도의 변화는 지상부 1절에서 5절까지는 당도가 떨어지는 경향을 보이다 지상부 5절부터 점차 증가하다가 8, 9절에서 정점을 이루고 점차 상위절로 갈수록 당도는 줄어드는 경향을 보였다. 孫(1971)은 선단 제 1절부터 3절이 최고에 달하고 4절에서 낮아지다가 지상부 제2절에서 다시 약간 높아지는 경향이었던 보고와는 다른 결과였다. 金 등(1995)이 지상으로부터 제6절에서 제7절이 가장 높았고 선단으로 갈수록 낮아졌다는 보고와는 유사한 결과였다.

단수수 품종의 형질간 相關關係를 보면 10a당 生莖重은 稈長과 高度의 正의 相關을, 莖直徑과 生育일수와는 正의 相關을 보였고, 당도는 莖直徑과 高度의 正의 相關을 보이고 있고 種實收量과는 高度의 負의 相關을 보였으며 ethanol 생산량은 莖直徑, 生莖重, 당도, 주스량, 總糖量과는 高度의 正의 相關을 보였으나 穗當 種實重과는 負의 相關을 보였다. 種實收量은 穗重, 穗當 粒數, 穗當 種實重, 1,000립중과는 高度의 正의 相關을 보였고, 生育일수와는 正의 相關을 보였으며 莖直徑과 당도와는 高度의 負의 相關을 보여주고 있다. 따라서 ethanol 생산은 生莖重과 당도가 높은 품종이 ethanol 수량이 많고 種實收量은 당도가 낮은 품종이 收量이 많다고 볼 수 있으며 대부분의 종실형질과는 正의 相關을 보여 종실 특성이 양호해야 種實收량이 많다고 생각된다. 金 등(1995)은 稈長과 莖直徑 및 Brix도간에는 負의 相關이며 기타 형질간에는 正의 相關關係가 있었으나 그 중 莖直徑과 稈重간에는 高度의 正의 相關關係가 인정된다고 하였는데 본 시험과 비슷한 결과를 시사하였다. 孫(1971)은 出穗日數, 稈長, 稈直徑, 稈重, Brix 당도, 稈中糖分, 純糖率, 可製糖量 등 8

형질간에는 正의 相關關係가 인정된다고 하였다. 따라서 당 이용시는 종신평성이 좋지 않은 품종이 선발되어야 하고 종실을 이용하고자 할 때에는 당도가 낮고 종실이 굵은 품종을 선발해야 할 것이다.

광의의 遺傳率은 당도, 생육일수, 穗當 種實重, 穗重, 穗當 1次枝莖數, 1,000립중 등은 遺傳率이 높았으며 穗長, 稈長, 엽장 등은 낮았다. 孫(1971)은 생태 및 유전적으로 다른 11품종을 二面交配法에 의하여 交雜된 F₁ 및 交配親의 유전분석을 한 결과, 出穗期는 遺傳力이 높아서 초기세대부터 선발이 가능할 것이라고 하였고, 稈長, 稈重, Brix도에 대한 遺傳力은 낮다고 하였다.



2. 土壤의 種類가 單수수 生肉에 미치는 影響

토양을 달리하여 單수수의 생육과 종실특성을 살펴보면 발아기간은 사양토와 화산회토가 혼합한 토양에서 가장 빨랐고 出穗期間은 발아기간이 가장 길었던 사양토에서 가장 빨랐으며 성숙일수는 토양간 차이가 없었다. 이는 사양토는 保水力이 부족하여 出穗를 촉진하였던 것으로 보이며 비화산회토는 반대로 保水力이 양호해 토양간 차이가 있었던 것으로 보였다.

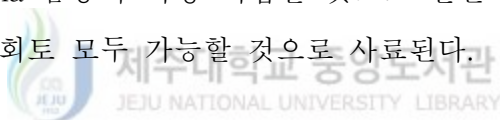
지상부 생육이 대체적으로 화산회토와 비화산회 미사질양토에서 양호하였는데 이는 유기물과 EC가 두 토양에서 높았고 비화산회토에서는 수분보유력이 양호하여 좋은 결과를 보인 듯하다. 그러나 당도는 토양간에 차이가 없었다. Soileau & Bradford(1985)는 N-P-K 시비와 Brix간에 相關關係가 없었다고 하였다. 種實收量은 지상부 생육과 비례하여 화산회토와 비화산회토에서 수량이 많았다. 따라서 單수수는 제주도 화산회토와 비화산회토 어디에서나 재배가 가능하고 중산간 토양에서도 재배가 가능하리라 사료된다

Hoshikawa(1982)는 biomass 이용 가능한 작물의 10a당 ethanol 생산량은 미국에서 사탕수수가 966.8ℓ 로 가장 많았으며 다음이 單수수로 559.8ℓ 였으나 본 시험에서는 Tamu Rama품종이 401.4ℓ 였다. 이들 작물의 생육기간은 사탕수수가 390일이고 單수수는 미국에서 150일, 제주는 130일이다. 1일 10a당 생산하는 ethanol을 계산해 보면 오히려 사탕수수가 1일 ethanol 2.48ℓ 생산이 가능하지만 單수수는 미국인 경우, 3.99ℓ, 種實까지 이용하면 4.9ℓ ethanol 생산이 가능하다 하였고 본 시험에서는 1일 3.08ℓ 생산되어 單수수가 사탕수수나 다른 작물보다 ethanol 생산량이 많아 biomass 자원식물로 적합하다고 본다. 현재는 미국보다 10a당 ethanol 생산량이 낮은 실정인데 이는 재배기술이 뒤떨어지고 單수수 재배환경이 차이로 生莖收量이 감소한데 기인

한 듯 하다.

biomass로서 단수수의 상업적인 재배 가능성은 현재 석유 수급이 안정되고 단수수 알콜 생산비가 가솔린보다 높아서 생산은 이루어질 수 없으며 자급사료와 당 생산도 수입시장이 확립되었기 때문에 국내 생산 실시는 부정적이다. 그러나 단수수 생산 기술을 향상시키고 생산비 절감도 가능하게 되면 단수수는 복합영농 biomass작물로서 주목할 가치가 있다고 생각된다.

이상의 결과로 볼 때, 제주지역에서 단수수를 당료작물로 재배할 경우에는 15°Brix 이상이면서 生莖重이 높은 Keller, Dale, Tamu Rama 품종이 적당할 것으로 생각되며 種實收量이 많았던 품종은 MN-1060, Cowley, MN-1054 및 Tamu Rama 품종이었는데, biomass 작물로 줄기와 種實을 모두 이용할 경우에는 Tamu Rama 품종이 가장 적합할 것으로 판단되며 토양조건은 제주 화산회토나 비화산회토 모두 가능할 것으로 사료된다.



VI. 要 約

제주지역에서 단수수의 biomass 이용 가능성과 재배법을 확립하기 위하여 1997년부터 1998년에 걸쳐 품종특성, 유전율 및 토양조건을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단수수 品種의 特性 및 遺傳率

1997년 5월 18일에 13 품종을 공시하여 제주지역에 적합한 품종을 선발하고자 생육특성과 생육단계별 형질변화 등을 조사하였다.

1. 出穗日數는 M81E71-1품종이 101.7일로 가장 길었고 Wary와 Keller품종이 약 83일로 짧은 편이었으며, 생육일수도 出穗日數와 비슷한 경향이였다. Wary, MN-1054, Keller, Rio품종이 早生種이였고 M81E71-1, Tamu Rama, Cowley 및 Sart품종은 晚生種이였다.

2. 稈長은 M81E71-1, Keller, Sart품종이 길었으며 MN-1054, Brandes, Ramoda, MN-1060, Cowley등이 240cm이하로 短稈種이였다.

3. 莖直徑은 Keller, Wary, Dale품종이 굵은 편이였고 Brandes, MN-1060, Cowley, MN-1054 품종은 가늘었다. Mer80-10, MN-1060품종이 광엽이면서 긴편이였고 Dale품종은 잎이 짧고 좁았다.

4. 倒伏은 Dale, Wary품종이 가장 심하였으며 Brandes, Cowley, MN-1060, Rmoda품종은 倒伏에 가장 강하였고 진뒗물은 Brandes와 M81E71-1품종에 많이 발생하였고 Wary, MN-1060, Ramoda품종에는 전혀 발생하지 않았다.

5. 출수 후 45일경의 Brix 당도는 Keller가 18.0°Brix로 가장 높았고 Dale, Tamu Rama품종이 17°Brix이상이었으며 Brandes품종은 5.2°Brix로 가장 낮았다.

6. 株當 生莖重, 10a當 生莖重, 즙액량은 M81E71-1, Sart품종이 가장 많았

으며 Ramoda, Rio 품종이 가장 적었고 10a當 總糖量과 ethanol 수량은 Dale, Tamu Rama, Keller 품종이 가장 많았으며 Brandes 품종이 가장 적었다.

7. 穗重은 MN-1060과 Cowley가 가장 무거웠고 Wary 품종이 가장 가벼웠다. 穗當 粒數은 MN-1060, Tamu Rama, M81E71-1 품종이 1,700개 이상으로 많은 편이었고 Wary, Ramoda 및 Sart 품종은 적었다.

8. 1,000립중은 Sart, Cowley, MN-1060, MN-1054 품종은 26g 이상인 大粒種에 속하였고, Brandes와 Dale 품종은 20g 이하로서 小粒種이었다.

9. 穗當 種實重과 10a當 種實收量은 MN-1060, Cowley, MN-1054 품종이 가장 많았으며 Wary, Ramoda, Dale, Keller 품종이 적은 편이었다.

10. 생육단계별 °Brix는 7월 1일부터 8월 5일까지는 변화가 없었으나 8월 18일부터 급격히 증가하였고 9월 12일 측정에서는 최고에 도달하였다가 그 이후는 감소하는 경향이였다. 절위에 따른 °Brix 당도는 지상부 8, 9절(최상위절에서 5, 6절)에서 가장 높았다.

11. Tamu Rama 품종은 出穗 후부터 당도가 급속도로 증가하여 出穗 30일에는 17.3°Bx였고 그 후에는 증가폭이 미미하다가 50일 이후에는 당도가 낮아지는 경향을 보였다.

12. 형질간 相關關係에서 당도는 莖直徑과 高度의 正의 相關을 보이고 있고 ethanol 수량은 莖直徑, 生莖重, 당도, 주스량, 總糖量과 高度의 正의 相關을 보였으나 穗當 種實重과는 負의 相關을 보였다.

13. 광의의 遺傳率은 당도, 생육일수, 穗當 種實重, 穗重, 穗當 粒數, 1,000립중에서 높았으며 穗長, 稈長, 엽장 등은 낮았다.

따라서 제주지역에서 당을 목적으로 단수수를 재배할 경우에는 당도가 15°Brix 이상이고 生莖重이 많았던 Keller, Dale, Tamu Rama 품종이 알맞을 것으로 생각되고, 종실이 목적이면 MN-1060, Cowley, MN-1054, Tamu Rama 품종이 적합하며, biomass 작물로 줄기와 종실을 모두 이용할 경우는 Tamu Rama 품종이 가장 적합할 것으로 판단되었다.

2. 土壤의 種類가 단수수 生育에 미치는 影響

제주지역 토양종류에 따른 단수수의 생육특성과 種實收量を 조사하고자 단수수 'Tamu Rama' 품종을 공시하여 1998년 5월 5일에 파종하였다.

1. 出穗期間은 사양토에서 가장 빨랐고 성숙일수에서는 토양간 차이가 없었다.

2. 엽장 葉폭은 화산회토가 포함된 토양에서 가장 양호하였고 비화산회토 미사질양토가 포함된 토양에서는 짧은 경향이였다.

3. 절수와 莖直徑은 화산회토와 비화산회 미사질양토에서 다소 양호하였고 사양토가 혼합된 토양에서 대체로 적은 편이였다.

4. 稈長, 株當 生體重은 화산회토와 비화산회토(해발 100m)에서 가장 길었으며 사양토와 비화산회토(해발 350m)와 사도가 혼합한 토양에서 가장 작았다.

5 당도는 토양간 다소 차이는 있었지만 유의성은 인정되지 않았고 1,000립중은 사양토가 가장 적었고 그 외 토양에서는 유의차가 없었다.

6. 10a당 種實收量은 화산회토와 비화산 미사질양토에서 648.9~666.4kg/10a으로 가장 많았고 사양토에서 적었다.

7. 형질간 상관관계는 生莖重은 出穗日數, 草長, 稈長, 莖直徑, 1,000립중 및 種實收量과 高度의 正의 상관을 보였고 당도는 莖直徑과 正의 상관이 있었으며 種實收量은 出穗日數, 草長, 稈長, 1,000립중과 高度의 正의 상관이 있었다.

제주지역에서 단수수의 토양조건은 사질이 포함된 토양보다는 화산회토나 비화산회토에서 재배하는 것이 적합하였다.

參 考 文 獻

- AriKato, H. 1952. Some ecological characters and application of joint-to-joint analysis sorgho plant. Proc. Crop Sci. Japan 21:54-55.
- Brodhead, S. and Freeman. Sorgho spacing experiments in Mississippi. Agr. J. 55(2)
- Coons, G. H. 1941. A new leaf-spot resistant beet variety. Sugar 36(7):30-33.
- Creel, R. J. and H. A. Fribourg. 1979. Interactions between forage sorghum cultivars and defoliation managements. Agron. J. 73:463-469.
- Doxtater, C. W. 1942. Some crossing experiments with sugar beets. Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Tech. 2:325-335
- Garner, W. W. and H. A. Allard. 1923. Further studies in photoperiodism, the response of the plant to relative length of day and night. J. of Agr. Res. 23(11):871-920.
- Gupta, J. C., and Saha, J. 1950. Effect of sowing time and photoperiods in sorghum roxhurghii var. hians Staf. Natur 166:75-76.
- Harlan, J. R. and J. M. J. de Wet. 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. Crop Sci. 12:172-176.
- Hill, N. S., G. L. Posler, and K. K. Bolsen. 1987. Fermentation inhibition of forage and sweet sorghum silages treated with acrylic or maleic acid. Agron. J. 79:619-623.
- Hoshikawa, K. 1981. Sweet sorghum as a biomass crop. (In Japanese) Agric. & Hortic. 56(4):497-503.

- 星川清親. 1982. 스위트솔가ムによるバイオマス國産計劃. 遺傳 36(4): 32-37.
- Hoshikawa, K. 1982. Sweet sorghum as a new fuel biomass. AICAF vol. 2 : 19-28.
- Jasberg, B. K., R. R. Montgomery and R. A. Anderson. 1983. Preservation of sweet sorghum biomass. Biotechnology and Bioengineering Symp. No. 13:113-120.
- 姜正勳. 1993. 수수類 靑刈用 一代雜種의 雜種強勢와 組合能力. 서울대학교 대학원 박사학위논문
- 姜正勳, 李浩鎭. 1996. 靑刈用 수수類 一代雜種의 生育形質 및 乾物生産에 대한 雜種強勢. 韓作誌 41(6):640-649.
- Karper, R. E., J. R. Quinby, D. L. Jones, and R. E. Dickson. 1931. Grain sorghum date-of-planting and spacing experiments. Texas Agr. Exp. Sta. Bul. 424.
- 金祥坤, 朴洪在, 鄭東熙, 權炳善. 1995. 단수수의 播種期에 따른 節間別 당度差異. 韓作誌 40(4):451-459.
- 高永杜, 李浩材, 金載荒, 劉成五. 1997. 옥수수(수원 19호, 광안옥)와 단수수(라미 끼슬고, 사일리지슬고)의 生産量과 Silage의 品種 評價. 韓草誌 17(3):265-276.
- 李明煥, 許忠孝, 金大浩, 崔敬培, 李袖植, 朴慶培, 崔震龍. 1989. 播種期 및 栽植密度가 단수수의 生草收量 및 營養素 含量에 미치는 影響. 農試論文集 (田·特作篇) 31(4):38-44.
- Martin, J. R., and J. B. Sieglinger. 1929. Spacing and date-of-seeding experiments with grain sorghums. Usda Tech. Bul. 131.
- Matzinger, D. F. and O. Kempthorne. 1956. The modified diallel table with partial inbreeding and environment. Genetics 41:822-833.
- Miller, F. R., D. K. Barnes, and H. J. Cruzado. 1968. Effect of topical

- photoperiods on the growth of sorghum when grown in 12 monthly plantings. *Crop Sci.* 8(4):499-502.
- 農林部. 2001. 농산물 유형별 품목별 수출입통계.
- 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.
- Pauli, A. W., F. C. Stickler, and J. R. Lawless. 1964. Developmental phases of grain sorghum(*Sorghum vulgare* PERS.) as influenced by variety, location, and planting date. *Crop Sci.* 4(1):10-13.
- Poehkman, J. M. 1959. Breeding field crops. Chapter 14. Breeding sorghum.(Henry Holt and Company, Inc. New York)
- Purseglove, J. W. 1985. Tropical Crops. Monocotyledons. 2nd ed. Longman Inc., New York.
- Putnam, D. H., W. E. Lueschen, B. K. Kanne, and T. R. Hoverstad. 1991. A comparison of sweet sorghum cultivars and maize for ethanol production. *J. Prod. Agric.* 4(3):377-381.
- Quinby, J. R, and R. E. Karper. 1961. Inheritance of duration of growth in the milo group of sorghum. *Crop Sci.* 1:8-10.
- _____. 1964. Identification of sorghum varieties for maturity. *Sorghum Newsletter.* 7:55-56.
- Smith, G. A., M. O. Bagby, R. T. Lewellan, D. L. Doney, P. H. Moore, F. J. Hills, L. G. Campbell, G. J. Hogaboam, G. E. Coe, and K. Freeman. 1987. Evaluation of sweet sorghum for fermentable sugar production potential. *Crop Sci.* 27:788-793.
- Soileau, J. M., 1982. An inventory of agricultural land in the Tennessee valley region and its availability for fuel crops. TVA off. of Agri. and Chem. Dev. Bul. Y-173. Muscle Shoals, AL. :37-59.

- _____, J. M., and B. N. Bradford. 1985. Biomass and sugar yield response of sweet sorghum to lime and fertilizer. *Agron. J.* 77:471-475.
- 孫昌琦, 朴尙求, 崔富述. 1997. 단수수 播種期別 適正刈取回數와 靑刈收量. 畜産論文集 39(2):63-67.
- Son, S. H. 1967. Studies on the sweet sorghum varieties in Korea. I. Relationship among the accumulation of sugar content various growing stage and some other agronomic characters. *The Research Reports of the O.R.D.* 10(1):113-125.
- _____. 1967. Studies on the characteristics and correlation among them in sweet sorghum varieties in Korea. *J. Agr. Fore. Sci. Dong-guk Univ.* 1(1):95-112.
- 孫世鎬. 1971. 단수수(*Sorghum vulgare* Pers) 品種의 生態變異 및 有效形質의 遺傳에 관한 研究. 韓作誌 10(1):4-21.
- 孫世鎬. 1989. 特用作物研究 33년. pp 72-80.
- Stewart, D. 1940. Hybrid vigor in sugar beets. *J. Agr. Res.* 60(11):715-738.
- Syakudo and Kawabata. 1961. Hybrid vigor and its utilization in Renge (*Astragalus sinicus* L.). *Jap. J. Breeding* 11(3):199-205.
- Takehana, H. and N. Ogura, 1956. Studies on the components of sorghum I-II. I. Sugar components in sorghum and the compounds disturbing the crystallization of sugar. *J. Agr. Chem. Soc. Jap.* 30(10):644-646.
- Tarumoto I. and H. Oizumi. 1967. Studies on forage sorghum breeding. I. Heterosis in forage characteristics of F₁ hybrids among morphological types. *Jap. J. Breeding* 17(2):137-143.

謝 辭

本 研究를 遂行함에 있어서 始終 關心과 指導鞭撻을 하여 주신 吳現道 指導教授님, 本 論文 審査에 指導 助言과 激勵로 審査委員長을 맡아주신 金翰林 教授님, 깊은 關心으로 論文을 審査해 주신 高永友 教授님, 姜榮吉 教授님과 제주산업정보대학 任泰浩學長님께 깊은 感謝를 드리고, 大學院에서 講義와 많은 助言을 해주신 朴良門教授님, 權五均教授님, 趙南棋教授님, 宋昌吉教授님께도 深甚한 感謝를 드립니다.

또한 本 研究 遂行을 위해 助言과 與件을 마련하여 주신 濟州道農業技術院 金耿浩院長님을 비롯한 姜明繕局長님, 李漢權場長님께도 진심으로 感謝를 드립니다.

論文 資料整理와 많은 도움을 준 金贊佑, 고미라 後輩에게 진심으로 感謝드리고 高동환, 고지병선생에게도 고마움을 전합니다. 論文을 作成하게 많은 協助를 해 준 玄官熙, 金哲均 담당과 하우스에서 많은 고생을 해 준 모든 여러분에게도 진심으로 고마움을 전합니다. 또한 論文 作成에 직접, 간접으로 도움을 주신 濟州道農業技術院 職員 여러분에게도 謝意를 표합니다.

物心兩面으로 도움을 주었고 試驗圃場을 利用하게 해 주신 親戚분들과 항상 곁에서 苦生을 함께 했던 弟妹에게도 고마움을 전합니다. 그리고 試驗圃場 뿐만 아니라 언제나 많은 도움을 주셨고 아내를 正直하게 길러주신 聘丈, 聘母님께도 진심으로 感謝드립니다.

또한 지금까지 바른 길로 引導해 주셨고 오랫동안 入院해 계시면서도 希望을 잃지 않도록 해 주신 아버님과 어려운 逆境에서도 健康하게 키워주신 어머니에게도 感謝드립니다. 滿朔이 된 몸으로 圃場과 資料整理에 고생해 주었고 언제나 곁에서 限없는 愛情과 至誠으로 항상 勇氣를 주고 있는 사랑하는 아내 榮淑과 나의 希望인 아들 景敦에게도 작은 結實을 전하면서 함께 이 榮光을 永遠히 간직하고 싶습니다.