

토성 및 지하수위에 따른 사료용 옥수수과 수수-수단그라스 잡종의 생육

李浩鎭 · 金秀炯 · 李弘秬*

Growth of Maize and Sorghum-Sudangrass Hybrid Affected by Soil Texture and Ground Water Levels

Ho Jin Lee · Soo Hyung Kim and Hong Suk Lee*

ABSTRACT : This study was conducted to know optimum ground water level for maize(Suwon 19) and sorghum-sudangrass hybrid(Pioneer855F) and investigated effect of different soil types and ground water levels on growth of above two crops at containers were controlled so as to be 25, 35, 50, 70 and 100cm from the soil surface. Both crops showed better growth in sandy loam soil. Optimum ground water level for maize was 100cm and for sorghum-sudangrass hybrid was 70cm in sandy loam soil. Clay loam was unfavorable for both crops even though low ground water level maintained. Sorghum-sudangrass hybrid was adapted better to clay loam soil and high ground water levels. In microscopic study on root anatomy of both crops, destructed cortical tissues were observed. Frequency of the tissues was higher in maize than in sorghum-sudangrass hybrid and higher at mid or tip parts than basal parts of roots in both crops. Arrangement of cortical cells of roots in sorghum-sudangrass hybrid were more regular than those of maize. In root anatomy, no consistent trend with soil types or ground water levels was detected.

Key word : Maize, Sorghum-Sudangrass Hybrid, Soil texture, Water level, Root growth, Root anatomy

논에서 轉換한 초기轉換밭에서 작물을 재배할 때의 가장 큰 문제점은 토양과습으로 인한 산소공급의 부족이며, 따라서 轉換밭의 토성, 지하수위 수준 그리고 적당한 배수법의 설정은 轉換밭에서의 田作物의 재배에 있어서 매우 중요하다^{13,14}. 轉換밭의 田作物과 그 수량은 배수상태에 따라 달라지고 배수정도의 차이뿐 아니라 토성에 따라 크게 달라지며 가벼운 砂壤土에서는 轉換 1년째부터 일반밭

보다 다수를 나타내지만 埴壤土는 3년 정도 지난 후에야 다소 높아지거나 비슷해진다.

초기轉換밭에서 작물의 감수 및 생육불량이 일어나는 이유는 토양통기 불량으로 인한 산소 결핍이 일차적 원인이 되어 종종 작물에 습해를 유발하게 되며, 이에 의해 식물체가 2차적으로 대사과정에서 독성을 나타내거나 양분결핍현상이 나타나게 된다⁸. 우리나라의 경우 7, 8월 강우가 심한 시기

* 서울대학교 농업생명과학대학 농학과(Dept. of Agronomy, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul Nat'l Univ.,)

〈'94. 9. 25 接受〉

에 轉換발의 침수가 일어나며 이는 轉換발에서의 작물재배에 큰 장애요인이 된다. 작물은 침수에 의해 잎의 질소함량이 감소하고 줄기의 신장이 억제되기도 하며 엽록소 파괴 및 노화가 촉진된다¹¹⁾. 산소의 부족은 체내에서 CO₂농도의 상대적 증가를 가져오며 과다한 CO₂는 pyruvate에서 acetaldehyde와 ethanol을 축적하면서 독성작용을 일으키고^{3,9)}, 산소결핍에 대한 적응기작으로 지하부의 에틸렌 농도가 증가하였고^{2,4,5)} 이로 인한 조직의 괴사로 인해 피층내 air space가 생겨난다고 보고하였다⁴⁾. 이러한 air space의 발생은 산소부족상태에서 지상부로부터의 산소유입을 위한 적응기작이라고 하였으며 부정근의 수가 많아지는 것 등의 과습조건에 대한 작물의 반응을 보고하였다⁷⁾.

본 실험은 식양토와 사양토 조건에서 지하수위별로 옥수수 및 수수-수단그라스 잡종의 생육이 어떻게 반응하는가를 살펴봄으로써 전환 발에서의 발작물 재배시에 작물별 적정지하 수위 및 위험지하수위, 토성에 따른 생육반응의 차이, 작물 중에 따른 습해 정도의 차이를 알아보고자 실시되었다.

材料 및 方法

1. 옥수수와 수수-수단그라스 잡종의 생육

본 실험은 서울대학교 농생대 부속 실험농장에 설치된 두 가지 토성(砂壤土, 埴壤土)으로 이루어진 지하수위조절시험구(25, 35, 50, 70, 100cm 조절가능)에서 1993년 5월에서 9월에 걸쳐 수행되었다. 공시작물은 사료용 옥수수인 수원 19호와 수수-수단그라스 잡종(Pioneer 855F)을 사용하였으며, 93년 5월 28일에 각각 2m×4m 시험구에 60m

×25m 간격으로 2립씩 점파하고 출아 후 숨어주었다. 시비량은 두작물 모두 20-15-15kg/10a로 하였으며 질소는 厩量基肥로 사용하였다. 수위조절은 파종 후 시작하였으며 비가 온 후에는 침수가 지속되는 것을 막기 위해서 시험조 안의 물을 뺀 후 다시 물을 공급하여 조절하였다¹¹⁾. 두 작물 모두 9월 15일에 최종 생육을 검정하였으며 엽록소함량은 엽록소측정기(Spad 501, Minolta Co, Japan)을 이용하여 측정한 후 Shouchi¹⁰⁾의 방법에 의해 얻은 환산식, 옥수수는(0.0498X-0.270=Y, R²=0.940), 수수-수단그라스 잡종은 환산식(0.085X-1.167=Y, R²=0.970)에 의해서 구했다. 토성 및 지하수위 차이에 따른 뿌리의 해부구조를 관찰하기 위해서 8월 18일에 각 작물의 뿌리를 부위별로 채취하여 고정액(FAA)에 담귀 고정한 후 파라핀법(Berlyn et al, 1976)을 이용하여 시료를 제작한 후 현미경으로 관찰하였다.

2. 지하수위조절 시험조의 토양특성

지하수위조절시험조에 채워진 토양의 물리적 화학적 특성은 아래와 같았다. 토양입자의 분포에 의해 그 토성을 분류해보면 각각 사양토와 사질식양토에 해당함을 알 수 있다⁶⁾.

結果 및 考察

1. 옥수수의 생육

토성차이 및 지하수위 단계적 차이에 대한 옥수수의 생육은 표 3과 같다. 파종 후 발아 이전에 식양토 100cm 시험구는 약 1주일간의 침수가 있어서 출아 및 생육이 정상적이지 못했다. 침수 후에 다

Table 1. Physical properties of the soil of the water-table container with two different soils

Plot	Soil particles (%)			Bulk density (g/cm ³)	Soil texture by USDA
	Sand	Silt	Clay		
Sand loam	65.1~69.9	16.2~21.9	12.8~15.6	1.26	Sandy loam
Clay loam	47.6~52.7	21.4~26.5	23.4~26.5	1.41	Sandy clay loam

1) 식양토 100cm 시험구는 파종 후 수위조절 중의 시험조 누수로 인한 일주일 이상의 침수가 있었다. 이로 인해 두 작물 모두 출아에 큰 장애를 입었으며 이후 생육에도 큰 지장이 있었다. 발아 후 한달경에 이식하였으나 생육은 회복되지 못했다.

Table 2. Soil chemical properties of the water-table container with two different soils

Plot	Water level	pH (KCl)	pH (H ₂ O)	O.M (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	EC (mmho/cm)
Sandy loam	25cm	5.50	6.55	2.10	—	—
	35cm	5.30	6.4	2.52	208.3	0.44
	50cm	5.45	6.5	2.34	—	—
	70cm	5.45	6.5	2.34	327.1	0.34
	100cm	5.45	6.5	2.03	—	—
	Clay loam	25cm	5.30	6.6	1.89	—
35cm		4.90	6.25	0.96	124.2	0.48
50cm		5.00	6.3	1.28	—	—
70cm		5.10	6.3	0.93	166.3	0.39
100cm		4.95	6.3	1.00	—	—

른 시험구의 옥수수를 이식하였으나 생육이 회복되지 못했다. 먼저 출아율을 살펴보면 사양토 시험구에서는 모두 80% 이상의 출아율을 보여 지하수위에 따른 출아율의 큰 차이를 보이지 않았다. 사양토구의 지하수위별로 볼 때는 25cm 시험구의 출아율이 가장 낮았으며 70cm 시험구의 출아율이 가장 높았다. 식양토시험구에서는 지하수위간의 출아율 차이가 뚜렷했으며 침수가 있었던 100cm 시험구와 높은 지하수위가 유지되었던 25, 35cm 시험구에서는 매우 저조한 출아율을 나타내었고 50, 70cm 시험구에서도 평균 80% 이상의 출현율을 보여 식양토시험구에서는 출아의 억제가 심한 것으로 나타났다. 파종기가 늦어졌기 때문에 雄穗出現 및 出絲期도 상대적으로 늦추어졌으며 그 정도는 지하수위가 높아질수록 그리고 식양토 시험구에서 더 심했다. 특히 식양토의 25cm 시험구에서는 雄穗가 출현한 개체가 한 개체도 없었으며 35cm 시험구에서는 자수출현 개체는 있었으나 종실이 맺힌 개체는 하나도 없었다. 전반적인 생육에서는 각 토성별로 지하수위에 따른 생육의 차이가 있었으며 사양토시험구에서는 지하수위가 낮아질수록 생육이 좋아지는 결과를 보였고 지하수위 25cm 시험구를 제외하면 초장과 착수고, 줄기굵기에서 차이가 없는 것으로 나타났다. 식양토 시험구에서는 지하수인 50cm 시험구에서 초장과 着穗高가 가장 높았으며 줄기굵기는 70cm 시험구에서 가장 큰 값을 나타냈다. 파종 후 침수가 있었던 식양토 100cm 시험구에서는 정상생

Table 3. Growth of maize at different levels of ground water and two soil types

Soil	Water level	ED	SD	PH (cm)	HE (cm)	DIA (mm)	ER (%)
Sandy loam	25cm	Jun 3	Aug 4	168.0	62.9	1.74	80.5
	35cm	Jun 2	Jul 29	254.5	112.8	2.26	91.6
	50cm	Jun 2	Jul 30	253.7	107.3	2.51	88.1
	70cm	Jun 3	Jul 28	266.7	111.3	2.72	92.9
	100cm	Jun 3	Jul 28	267.4	122.7	2.89	85.7
	LSD _{.05}				21.59	21.08	0.46
Clay loam	25cm	Jun 9	—	86.8	—	1.42	16.7
	35cm	Jun 9	Aug 14	155.5	57.5	1.74	34.5
	50cm	Jun 7	Aug 8	216.7	94.2	2.22	82.1
	70cm	Jun 7	Aug 9	199.8	82.3	2.57	75.0
	100cm	Jun 9	Aug 14	171.7	67.7	2.00	7.1
	LSD _{.05}				21.76	14.75	0.51
LSD _{.05} SOIL				8.75	8.48	0.194	

* ED: Emergence date, SD: Silking date, PH: Plant height, HE: Height of earing node, DIA: stem diameter, ER: Emergence rate

LSD_{.05}: Least significant difference at the 0.05 level of probability

ns: Non significant

NOTE: The plot controlled 100cm water table of clay loam soil was flooded over a week soon after sowing, therefore, most of the seeds were not emerged. At several weeks after the flooding, infant plants of each crop were transplanted from other plots, but their growth were not recovered as a normal pattern.

육으로 회복하지 못해 옥수수는 초기 침수에 의한 생육의 차이가 뚜렷했으며 전반적으로 매우 저조한 생육을 보였다. 토성간 옥수수의 생육을 비교해보면 모든 생육형질에서 사양토 시험구가 월등한 성적을 보였다. 식양토 시험구에서는 웅수출현기와 출사기가 늦어져 생육이 지연됨을 알 수 있었다. 장마기간의 강우에 의해 사양토 70, 100cm 시험구에서는 약간의 도복이 일어났으며 다른 시험구에서는 거의 도복이 일어나지 않았다.

표 4는 등숙기인 8월 18일 조사한 옥수수의 지엽과 자수엽의 엽록소함량과 생엽수를 나타낸 것이다. 앞의 생육형질들과 마찬가지로 사양토 시험구에서 더 높은 엽록소함량을 보여 토성별로도 낮은 지하수위에서 더 높은 엽록소함량을 나타내어 지하수위별 엽록소함량의 차이 및 토성간 차이가 인정되었다. 사양토구에서는 생육형질들과는 달리 지하

수위 25cm 시험구와 지하 수위 35, 50cm 시험구 그리고 70, 100cm 시험구의 순으로 비슷한 값을 보였으며 식양토 시험구에서는 생육형질들과 마찬가지로 25, 35cm 시험구와 50, 70cm 시험구의 순으로 구분되었다. 토성간에는 역시 사양토 시험구에서 높은 엽록소 함량을 보였으며 지엽과 자수엽에서 모두 같은 경향이였다. 엽록소함량이 지하수위별로 앞의 생육형질들과 생식생장기의 장애가 있어 종실의 등숙에 영향하였을 것으로 생각되며 높은 지하수위에서 노화가 빠르게 진전되었을 것으로 생각된다.

生葉數도 葉綠素함량 같은 경향으로 나타났으며 사양토에서 더 큰 값을 보였고 사양토 시험구에서는 지하수위간 차이가 있었다. 식양토 시험구에서는 지하수위간 차이가 인정되지 않았으나 엽록소 함량과 같은 경향이였다.

표 5는 토성 및 지하수위의 단계적 차이에 따른 옥수수 개체당 지상부 및 지하부 생체중과 건물중을 나타낸 것이다. 지상부의 건물중은 엽록소 함량과 같이 사양토 시험구에서는 25cm 시험구에서

가장 저조하였고 70cm, 100cm 이하의 시험구에서 유사하게 높은 수량을 보였고 토성간에는 사양토에서 우수한 수량을 보였다. 지하부의 건물중도 비슷한 경향이였으며 지하부에 대한 지상부의 비율은 사양토에서 더 큰 값을 보였고 지하수위별로는 일정한 경향이 없었다. 식양토시험구에서는 지상부/지하부비율이 낮아 사양토구에 비해 지상부생육이 저조했음을 알 수 있고 이는 지하부생육저하에 따른 양수분의 흡수가 저해되어 상대적으로 지상부수량이 더 저하하였을 것으로 생각된다.

사양토에서는 개체당 건물수량과 같은 경향을 나타내어 지하수위간 차이가 있었고 지하수위 70cm 시험구에서 가장 높은 수량을 보였으며 25cm 시험구에서 가장 낮았다. 35, 50cm 시험구에서는 비슷한 수량을 보였다. 식양토 시험구에서는 50cm 시험구에서 가장 높은 수량을 보였고 25, 35cm 시험구에서는 종실이 맺힌 개체가 하나도 없었다.

2. 수수-수단그라스 잡종의 생육

토성 차이 및 지하수위의 단계적 차이에 따른 수수-수단그라스 잡종의 생육은 표 6과 같이 나타났다. 앞서 밝힌 바와 같이 식양토 100cm 지하수위 조절 시험구에서는 과적후 침수로 인해 출아 및 생육이 정상적이지 못했다. 먼저 출아율을 살펴보

Table 4. Chlorophyll content and number of green leaves of maize grown at different levels of ground water and two soil types on Aug 18th, 1993

Soil	Water level	Chlorophyll content (mg / g Fresh wt.)		No. of green leaves (leaves / plant)
		Flage leaf	Ear leaf	
Sandy-loam	25cm	1.14	1.17	8.0
	35cm	1.75	2.05	9.7
	50cm	1.80	1.78	9.7
	70cm	2.39	2.78	11.0
	100cm	2.60	2.87	11.0
	LSD ₀₅	0.20	0.19	1.56
Clay-loam	25cm	0.45	0.51	7.3
	35cm	0.59	0.68	7.7
	50cm	1.29	1.34	9.0
	70cm	1.36	1.35	8.7
	100cm	0.92	1.11	8.3
	LSD ₀₅	0.22	0.20	ns
LSD ₀₅ SOIL		0.09	0.09	0.80

LSD₀₅: Least significant difference at the 0.05 level of probability ns: Non significant

Table 5. Fresh and dry weight per plant of maize grown at different levels of ground water and two soil types on Aug 18th, 1993

Soil	Water level	Above ground part		Underground part	T/R ratio
		Dry wt. (g / plant)	Dry wt. (g / plant)	Dry wt. (g / plant)	
Sandy-loam	25cm	59.9	17.2	3.48	
	35cm	183.6	26.6	6.90	
	50cm	177.7	32.3	5.50	
	70cm	246.0	30.3	8.12	
	100cm	248.6	50.3	4.94	
Clay-loam	25cm	9.6	5.2	1.84	
	35cm	35.2	10.6	3.32	
	50cm	112.4	41.9	2.68	
	70cm	134.8	34.2	3.94	
	100cm	55.1	26.2	2.10	

* T/R=Shoot /root

면 사양토 시험구에서는 평균 81.2%의 출아율을 보였고 지하수위간에 거의 차이를 나타내지 않은 반면 식양토시험구에서는 50, 70cm 조절시험구를 제외한 시험구에서는 50% 이하의 낮은 출아율을 보여 지하 수위차이에 의한 출아율의 저하가 있었다. 옥수수의 출아율과 비교해 볼 때 수수-수단그라스 잡종은 침수가 있었던 100cm 조절구와 높은 지하수위가 유지된 25, 35cm 시험구에서도 30% 이상의 출아를 보여 옥수수에 비해 과습상태에서의 출아율이 더 높은 것으로 나타났다. 출수기도 토성간의 차이를 보여 식양토시험구에서는 사양토에 비해 최고 20일 이상의 출수지연이 있었다. 사양토 시험구에서는 25, 35cm 조절구를 제외한 나머지 시험구에서 비슷한 출수기를 보였으며 식양토 시험구에서도 같은 경향이였다. 옥수수는 식양토 25cm 조절구에서 자수출현개체가 하나도 없었던 반면 수수-수단그라스 잡종은 생육이 매우 지연

되기는 했지만 8월하순까지 생육이 지속되어 생식 생장으로의 轉換이 이루어졌고 모든 시험구에서 종실을 수확할 수 있었다. 전반적인 생육형질들 간에는 사양토 시험구에서 우수한 생육을 보였고 사양토 시험구내에서 지하수위간에는 桿長을 제외한 형질에서는 지하수위별 차이를 보이지 않아 사양토에서는 높은 지하수위에서도 비교적 정상적인 생육을 유지한 것으로 나타났다. 식양토 시험구에서는 25, 35cm 조절구에서 생육의 저하가 인정되었으며 침수로 인해 출아에 지장을 받았던 100cm 조절구에서도 일단 출아한 개체는 이후 생육이 무리없이 진전된 것으로 나타나 옥수수에 비해 습해에 대한 적응성이 높은 것으로 생각된다. 지하수위 50cm 이하의 조절구에서는 사양토 및 식양토간의 생육의 차이가 거의 없어 점성이 높은 토양에서도 낮은 지하수위가 유지된다면 수수-수단그라스 잡종은 비교적 정상적인 생육을 할 수 있을 것으로 생각된다. 수수-수단그라스 잡종에서도 장마기간 중에 사양토 70, 100cm 지하수위 조절구에서 약간의 도복이 있었으나 심하지는 않았다.

표 7은 8월 18일에 조사한 수수-수단그라스 잡종

Table 6. Growth of sorghum-sudanese hybrid grown at levels of ground water and two soil types

Soil	Water level	HD	SL (cm)	PL (cm)	DIA (mm)	TN	ER (%)
Sandy-loam	25cm	Aug 13	203.2 ⁺	34.9	1.50	2.5	80.9
	35cm	Aug 9	252.2	42.9	1.66	2.0	83.3
	50cm	Aug 5	261.0	35.8	1.67	2.3	79.8
	70cm	Aug 4	263.3	40.3	1.67	3.3	84.5
	100cm	Aug 4	260.7	39.8	1.69	3.0	77.4
	LSD.05		20.88	ns	ns	ns	
Clay-loam	25cm	Aug 25	199.0	26.3	1.28	1.0	35.7
	35cm	Aug 23	198.5	23.2	1.29	1.0	52.4
	50cm	Aug 15	262.3	34.0	1.79	4.3	83.3
	70cm	Aug 16	264.0	36.5	1.68	2.7	79.8
	100cm	Aug 18	247.3	36.3	1.56	2.7	31.0
	LSD.05		23.42	5.33	0.37	1.17	
LSD.05 SOIL			9.20	3.25	0.12	ns	

* HD: Heading date, SL: Stem length, PL: Panicle length, DIA: Stem diameter, TN: No. of tillers per plant, ER: Emergence rate

LSD.05: Least significant difference at the 0.05 level of probability

NS: Non Significant

NOTE: The plot controlled 100cm water table of clay loam soil was flooded over a week soon sowing, therefore, most of the seeds were not emerged. At several weeks after the flooding, infant plants of each crop were transplanted from other plots but their growth were not recovered as a normal pattern.

Table 7. Chlorophyll content and number of green leaves of sorghum grown at different levels of ground water two soil types on Aug 16th, 1993

Soil	Water level	Chlorophyll content (mg/g Fresh wt.)		No. of green leaves of main stem (leaves/stem)
		Flag leaf		
Sandy-loam	25cm	2.34		6.3
	35cm	3.45		7.3
	50cm	2.95		7.3
	70cm	3.49		7.3
	100cm	3.78		7.0
	LSD.05	0.44		ns
Clay-loam	25cm	0.90		6.3
	35cm	0.92		5.7
	50cm	2.75		5.8
	70cm	2.44		5.7
	100cm	2.37		5.8
	LSD.05	0.75		ns
LSD.05 SOIL		0.26		0.68

LSD.05: Least significant difference at the 0.05 level of probability, ns: Non significant

止葉의 葉綠素함량과 生葉數를 나타낸 것이다. 토성차이에 의한 엽록소함량의 차이가 있었으며 각 토성별로 지하수위간에도 그 차이가 있었다. 사양토 시험구에서는 지하수위 25cm 조절구에서 엽록소함량이 2.34mg/g F.W.로 가장 낮았으며 100cm 시험구에서 3.78mg/g F.W.로 가장 높은 값을 나타내었고 지하수위 35cm 이하이면 양분의 흡수와 이동에 큰 지장을 받지 않을 것으로 생각된다. 식양토 시험구에서는 25cm, 35cm 조절구의 엽록소함량이 낮게 나타났으며 50cm 이하에서는 차이를 보이지 않았다. 사양토 시험구는 평균 3.2mg/g F.W.의 엽록소함량을 보였고 식양토는 188mg/g F.W.로 토성간에 큰 차이를 보였다. 수수-수단그라스 잡종의 엽록소 함량은 지하수위에 의해서 보다는 토성차이에 의해 더 크게 영향을 받은 것으로 나타났으며 이는 생엽수에서도 같은 경향이였다. 생엽수는 토성간에 차이가 인정되었으나 토성별 지하수위간에는 두 토성 모두 그 차이가 없었다.

수수-수단그라스 잡종의 개체당 지상부 및 지하부의 생체중과 건물중은 표 8과 같았다. 사양토 시험구에서의 지상부 건물중이 식양토 시험구에 비해 높은 것으로 나타났으며, 사양토 시험구내에서는 70cm 조절구에서 175.8g으로 가장 높았으며 25cm 조절구에서 지상부/지하부 비율은 일정한 경향을

Table 8. Fresh and dry weight per plant of sorghum-sudanese hybrid grown at different levels of ground water and two soil types on Aug 18th, 1993

Soil	Water level	Above ground part	Under ground part	T/R ratio
		Dry wt. (g/plant)	Dry wt. (g/plant)	
Sandy-loam	25cm	66.4	16.1	4.12
	35cm	159.6	21.0	7.60
	50cm	148.3	25.7	5.77
	70cm	175.8	32.6	5.39
	100cm	136.0	35.6	3.82
Clay-loam	25cm	23.7	4.6	5.14
	35cm	18.6	11.3	1.64
	50cm	140.4	23.7	5.92
	70cm	120.9	31.3	5.68
	100cm	79.6	28.6	2.78

T/R=Shoot/root

보이지 않았다. 식양토 시험구에서는 지하수위 50cm 조절구에서 지상부 지하부 모두 가장 높은 수량을 나타내었으며 25, 35cm 시험구에서 낮은 값을 보였고 지상부/지하부 비율은 일정한 경향을 보이지 않았다. 식양토 100cm 조절구에서는 생육형질들 간에는 큰 차이가 없었던 반면 지상부 건물중은 50, 70cm의 값에 비해 낮게 나타나서 초기의 침수가 수량에 영향을 것으로 생각된다. 지상부/지하부 비율은 토성간에도 차이를 보이지 않았고 지하부 건물 중 역시 토성간에 큰 차이를 보이지 않았다. 수수-수단그라스 잡종은 지하부생육이 토성에 의해 크게 영향을 받지 않은 것으로 생각되며 옥수수에서 식양토 시험구의 지상부/지하부 비율이 상대적으로 낮았던 것과 비교해 볼 때 지하부의 생육저하에 의한 지상부의 생육저하가 적었던 것으로 생각된다.

3. 옥수수와 수수-수단그라스 잡종 뿌리의 해부 구조

토성 및 지하수위의 차이에 따라 작물의 뿌리해부구조가 어떠한 영향을 받는지를 알아보기 위해 1993년 8월 16일에 각 토성 및 지하수위별로 뿌리조직을 채취하여 각 뿌리를 橫斷面으로 절단한 후 현미경 배율 40배에서 해부구조를 관찰하였고 그 결과는 그림 1에 나타내었다. Drew⁶⁾ 등은 생육초기에 옥수수 근권에 嫌氣狀態를 조장하였을 때 一次不定根의 數나 伸長은 감소하였으나 2차, 3차 부정근의 수나 길이는 증가하였으며 혐기상태의 부정근의 횡단면을 관찰한 결과 피층에 조직의 파사로 인한 공극(cortical air spaces)이 생겨났다고 하였다. 이는 ethylene gas를 주입했을 때도 같은 결과를 나타내어 산소결핍 상태에서는 뿌리조직내의 ethylene의 농도가 증가하여 뿌리피층내 공극이 커지고 부정근의 발생이 조장된다고 하였다. Kawase⁷⁾는 뿌리의 산소결핍시 피층조직의 파괴에 의한 공극의 생성은 지상부로부터 산소결핍부위로의 산소이동을 도모하기 위하여 생겨나는 식물체의 산소결핍에 대한 적응기간이라고 하였고 수중에서 생육하거나 과습 식양토에서 생육한 옥수수뿌리에서는 연약하고 불규칙적인 피층조직이 관찰되었다고 하였다. 또 피층조직의 세포가 파괴

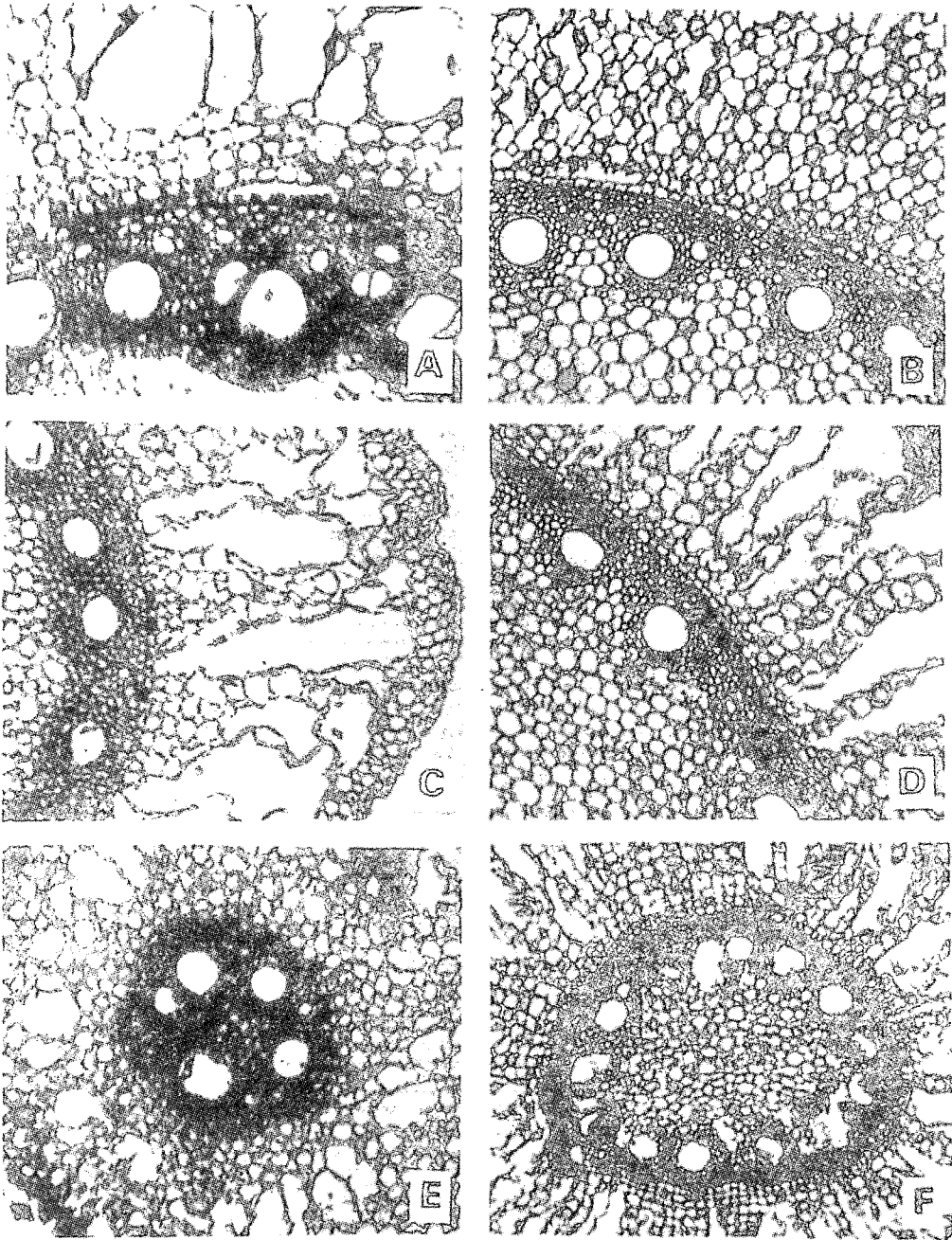


Fig. 1. Micrographs of cross-sections of the basal parts(A, B), mid-part(C, D), tip parts(E, F) of the 1st adventitious root(1st nodal root) of two species grown in the water-table container. ($\times 40$)

A, C, E: *Zea mays* B, D, F: *Sorghum bicolor*

되어 공극(lysigenous aerenchyma)이 생겨났다고 하였고, 피층세포의 배열방식에 따라서도 피층조직내 세포사이의 공극(schizogenous aerenchyma) 양이 차이를 보이는데 直交로 배열하는 경우가 斜線으로 배열하는 경우에 비해 2.3배 가량 더 큰 공극을 가진다고 하였다.

Yamaguchi¹²⁾는 침수 또는 건조상태에 의해 뿌리보호조직인 표피(epidermis), 하피(hypodermis), 내피(endodermis)의 목질화에 영향을 받는다고 하였으며 그 반응양식 및 반응정도에 따라 각 장애에 대한 적응성을 달리한다고 하였고, 피층의 후막조직(cortical sclerenchyma)의 파괴 등이 일어난다고 하였다. 대개의 식물은 심한 한해나 습해에 의해 보호조직의 木質化가 지연되거나 약화되어 조직의 파괴가 일어나게 된다고 하였고 피와 같이 종에 따라서는 오히려 목질화가 강화되는 경우도 있다고 하였다.

본 실험에서도 각 토성의 25, 35cm 조절구에서 채취한 뿌리는 피층조직이 壞死한 경우가 많았으나 한 개체내에서도 피사한 피층조직이 관찰된 부위와 그렇지 않은 부위가 함께 나타난 경우가 많았다. 채취시기가 생육후기였기 때문에 관찰된 뿌리 피층의 피사가 과습으로 인한 산소부족 때문에 발생한 것인지 아니면 생육말기의 노화에 의한 것인지를 구분하기 어려웠다. 또한 각 작물에 있어서 土性間이나 지하수위별로 뿌리 해부구조의 뚜렷한 차이나 일정한 경향을 찾아내기는 어려웠다. 작물 중간에는 피층조직 및 유관속 조직의 형태적 차이가 관찰되었으며 대체로 수수-수단그라스 잡종의 피층세포는 규칙적으로 배열되어 있는 반면 옥수수는 그렇지 않았다. 옥수수는 외피의 형태가 일그러져 있는 경우가 많았으며 피층의 조직 파괴정도가 전반적으로 수수-수단그라스 잡종에 비해 심했고 유관속계(Vascular cylinder)내의 세포도 파괴된 경우가 더러 있었다. 결과적으로 토양과습에 의해 옥수수 뿌리의 피층조직이 더 많이 파괴된 것으로 나타났는데 Kawase⁷⁾나 Drew⁴⁾ 등이 언급했듯이 이러한 피층내 공극의 생성이 과습조건에 대한 적응기작이었다고는 명확히 판단내릴 수 없었으며 토성 및 지하수위에 따른 지상부의 생육 및 수량에 있어서 상대적으로 수수-수단그라스 잡종의 성적

이 우수했던 것을 감안할 때 오히려 과습에 따른 stress에 의한 것이라고 추측된다.

그림 1은 지하수위조절 시험구에서 생육한 옥수수와 수수-수단그라스 잡종 뿌리의 일차 부정근을 절단하여 관찰한 것이다. 사진 A는 옥수수 부정근의 기부, 사진 B는 수수-수단그라스 잡종 부정근의 기부, 사진 C,D는 각각의 부정근의 중간부, 사진 E,F는 끝부분의 모습이다. 두 종 모두 기부에 비해 피층 조직의 파괴정도가 심했고 작물간에는 옥수수에서 그 경우가 더 많았다. 基部에서보다 중간 이하부분에서 두 종간의 형태적 차이를 뚜렷하게 구분할 수 있었는데 수수-수단그라스 잡종의 皮層細胞 배열이 옥수수에 비해 규칙적이며 外皮가 비교적 잘 보존되어 있고 공극의 모양도 상대적으로 일정한 것을 볼 수 있었다. 두 종 모두 피층세포는 직교로 배열한 모습을 나타냈으며 수수-수단그라스 잡종이 더 정연한 모습으로 옥수수에 비해 세포간 공극이 더 효과적으로 배열되었을 것으로 생각되었다. 따라서 지하수위조절 시험구에서 생육한 두 종의 작물중에서 옥수수가 수수-수단그라스 잡종에 비해 습해에 의한 뿌리 조직의 피해가 더 컸을 것으로 생각된다.

摘 要

사양토와 식양토 두 토성에 대하여 각각 25, 35, 50, 70, 100cm의 지하수위가 조절가능한 시험구에서 토성 및 지하수위가 우리나라에서 주로 이용되는 두가지 청예사료작물인 옥수수와 수수-수단그라스 잡종의 생육에 미치는 영향을 알아보고 작물별 적정지하수위를 알아보기 위하여 1993년에 수행되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 두 작물 모두 사양토에서 우수한 생육을 보였으며 옥수수는 사양토의 지하수위 100cm에서 가장 우수한 생육을 보였으며 수수-수단그라스 잡종은 사양토 지하수위 70cm에서 가장 우수한 성적을 나타내었다.
2. 수수-수단그라스 잡종이 토성차이 및 지하수위 차이에 따른 생육의 변이가 적어서 옥수수에 비해 적응성이 높은 것으로 판단되었다.

3. 옥수수과 수수·수단그라스 잡종의 뿌리 해부구조 관찰결과 토성 및 지하수위에 따른 일정한 경향을 찾아내기는 어려웠으며 옥수수에서 皮層組織이 파괴된 경우가 더 많았고 부위별로는 중간부분과 끝부분에서 피층조직이 파괴된 경우가 더 많았다.

引用文獻

1. Berlyn, G.P. and J.P. Miksche. 1976. Botanical microtechnique and cytochemistry. The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, USA.
2. Bradford, K.J. and Shang Fa Yang. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. Hortscience. Vol. 16(1):25-29.
3. Crawford, R.M.M. 1977. Tolerance of anoxia and ethanol metabolism in germinating seeds. New Phytol. 79: 511-517.
4. Drew, M.C., M.B. Jackson, and S. Fifa. 1979. Ethylene-promoted adventitious rooting and development of cortical air spaces(aerenchyma) in roots may be adaptive responses to flooding in *Zea mays* L. Planta 147:83-88.
5. Fair, P. et al. 1973. Enzyme activities associated with carbon dioxide exchange in illuminated leaves of *Hordeum vulgare* L. Ann.Bot. 37:1035-1039.
6. Foth, H.d. 1984. Fundamentals of soil science. John wiley & Sons (7th ed.) p 21-30.
7. Kawase, M. 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. Hort. Sci. 16(1): 30-33.
8. Levitt, J., et al. 1980. Response of plants to environmental stresses. Academic press. vol II. 213-224.
9. Salisbury, F.B. and C.W.Ross. 1992. Plant physiology(4th ed.). Wadsworth press. p 266-288.
10. Shouichi, Y. et al. 1976. Laboratory manual for physiological studies of rice. IRRI (3th ed.) P 43-46.
11. Wanple, R.L. and D.M.Reid. 1975. Effect of aeration on the flood induced formation of adventitious root and other changes in sunflower. Planta. 127: 262-270.
12. Yamaguchi, A. 1993. Significance of root system structure in relation to the stress tolerance in cereal crops. In Low-input Sustainable Crop Production Systems in Asia 347-360. KSCS. Korea
13. 白倉治一. 1987. 水田轉換畑の排水法. 農業および園藝 62卷 4號:518-526.
14. 大久保 隆弘. 1989 地力と田畑轉換, 作付體系. 農業および園藝 64卷 1號:133-140.