

밭작물의 뿌리成長과 生育時期別 土壤水分 消費形態에 관한 研究

—콩, 고추, 참깨—

A Study on Root Growth and Soil Moisture Extraction Pattern during Growing Period of Upland Crops

—Soybean, Redpepper, Sesame—

鄭 夏 禹* · 朴 商 鉉** · 金 成 俊*** · 鄭 永 信****
Chung, Ha Woo · Park, Sang Hyun · Kim, Seong Joon · Chung, Young Sin

Summary

This study is to analyze both root growth and soil moisture extraction pattern during the growing period of upland crops with respect to soybean, redpepper, sesame. Field and lysimeter tests were conducted under 12 treatments of soil moisture level by the San Cristobal experimental design(1981) and 3 soil type(sand, sandy loam, silty loam) for 4 years('87~'90) at the experimental plot of Rural Development Administration located in Suwon. The results of this study are summarized as follows :

1. For soybean, redpepper and sesame, root growth in dry soil was better than that in wet soil and it could be expressed as a sin function in terms of time. Maximum root depth was about 55cm, 44cm, 40cm respectively.
2. The average soil moisture extraction pattern for soybean, redpepper and sesame were 61.4%, 62.8%, 79.5% for zone 1(0~15cm). 25.5%, 27.1%, 18.3%, for zone 2(15~30cm). 11.4%, 9.8%, 2.3% for zone 3(30~45cm), 1.7%, 0.3%, 0.04% for zone 4(45~60cm) respectively. This means that Zone 1 would be the dominant zone in irrigation scheduling.
3. With respect to soybean, the soil moisture extraction pattern(SMEP) was varied some-

* 서울대학교 農業生命科學大學

** 農漁村振興公社 水理試驗場

*** 서울대학교 農業開發研究所

**** 現代엔지니어링 水資源部

키워드 : 뿌리成長函數, 土壤水分消費形態 Neutron
Probe, 土壤水分維持水準

what according to the different maintenance of soil moisture level. The average SMEP for high maintenance of soil moisture was 46%, 29%, 17%, 8%, for middle maintenance of soil moisture was 43%, 29%, 17%, 11% and for low maintenance of soil moisture was 40%, 28%, 20%, 12%, respectively.

4. With respect to soybean, the soil moisture in the upper layer was distinctly consumed more than that in the lower layer for clay loam soil and the soil moisture of all layers was consumed evenly for sand soil. The SMEP for sandy loam soil showed a middle result compared with the above 2 soil types.

I. 緒 論

土壤水分은 土壤, 空氣, 溫度 등과 함께 作物의 生育에 있어서 必要不可缺한 環境的 要素로서, 부족한 量을 作物에 供給해 주면 旱魃의 피해를 막을 수 있고, 過剩의 水分을 迅速히 排除해 주면 濕害를 미리 방지할 수 있는 등의 역할을 한다.

우리나라의 年平均 降水量은 1274mm로서 作物이 生育하기에 비교적 充足한 편이다. 그러나 年中 降水分布가 고르지 못하고, 여름철에 降水의 60% 이상이 집중되어 있으며, 봄, 가을에는 降水量이 作物의 消費水量보다 적어 한 발의 原因이 된다. 土壤內의 水分不足은 作物이 정상적으로 성장하는 것을 阻害할 뿐만 아니라 작물 생산량에 감소를 초래한다. 따라서 作物의 生育에 요구되는 水分을 降雨만으로 보충할 수 없기 때문에 일반적으로 밭作物은 灌溉에 의해 作物의 生育에 알맞는 水分을 공급하여 多收穫을 이루도록 계획하게 된다.

作物의 生育時期에 다른 根群域의 土壤水分 消費形態는 土性, 土壤構造, 土層, 水分狀態에 따라 다르기 때문에, 이의 精確한 파악은 生産性의 極大化 및 安정적인 收穫量 확보를 위한 灌溉 計劃의 基本적이며 필수적인 사항이라 할 수 있다. 그러나 우리나라의 경우 이에 대한 調査 研究가 아직 미흡한 편이다.

따라서 本 研究는 作物의 生育時期別 뿌리의

成長 變化를 조사 분석하여 時間에 따른 函數를 구하고, 土壤水分의 維持水準에 따른 生育時期別 作物의 土壤水分 소비형태를 조사분석하여 生育時期에 따른 實際 뿌리의 성장 깊이와 土壤水分 소비형태와의 關係를 究明하므로써 灌溉 計劃 수립시 最適灌溉水深 決定의 根據를 얻고자 한다.

II. 材料 및 方法

本 試驗은 京畿道 水原市 所在 農村振興廳 農業技術研究所 圃場에서 4個年(1987年 5月~1990年 9月) 동안 다음과 같이 lysimeter 試驗과 圃場試驗을 실시하였다.

1. 供試土壤

圃場 試驗區의 土深別 土壤特性은 Table-1과 같으며, 제 1층(0~15cm), 제 2층(15~30cm), 제 3층 이상(30cm-) 모두 三角分類法에 의한 土性은 砂壤土(sandy loam, SL)로 나타났다.

2. 供試作物

供試作物 및 栽培概要는 Table-2와 같으며, 栽培管理 및 施肥量은 營農指導書에 있는 標準 栽培法에 準하였다.

3. 圃場試驗

포장의 試驗區配置는 Fig. 1과 같이 灌溉區와

Table-1. Physiochemical properties of the tested soil by different depths

Zone	Depth (cm)	Specific gravity	PH	O.M. (%)	Mechanical analysis (%)			Soil texture
					Sand	Silt	Clay	
1	0~15	2.64	6.4	1.21	70	23	7	SL
2	15~30	2.65	6.7	1.11	70	22	8	SL
3	30~45	2.63	6.7	0.51	76	19	5	SL
4	45~60	2.63	6.7	0.51	76	19	5	SL

Table-2. Tested crop and its cultivation

(unit : kg/10a)

Crop name	yr	Date of seeding or transplanting	Date or period of harvest	Planting density (cm×cm)	Amount of fertilizer		
					NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Soybean	87	May 20	Nov. 7	40×50	4	4	5
	88	May 10	Sep. 10	40×50	4	4	5
	89	May 6	Sep. 1	40×50	4	4	5
	90	May 12	Aug. 23	40×50	4	4	5
Redpepper	87	May 20	Aug. 20~Oct. 30	40×50	18	14	18
	88	May 21	Jul. 27~Oct. 15	40×50	18	14	18
	89	May 12	Aug. 20~Sep. 30	40×50	18	14	18
	90	May 13	Aug. 20~Sep. 30	40×50	18	14	18
Sesame	88	May 24	Aug. 11~Aug. 31	40×15	4	3	2
	89	May 27	Aug. 20~Sep. 11	40×15	4	3	2
	90	June 5	Aug. 5~Sep. 3	40×15	4	3	2

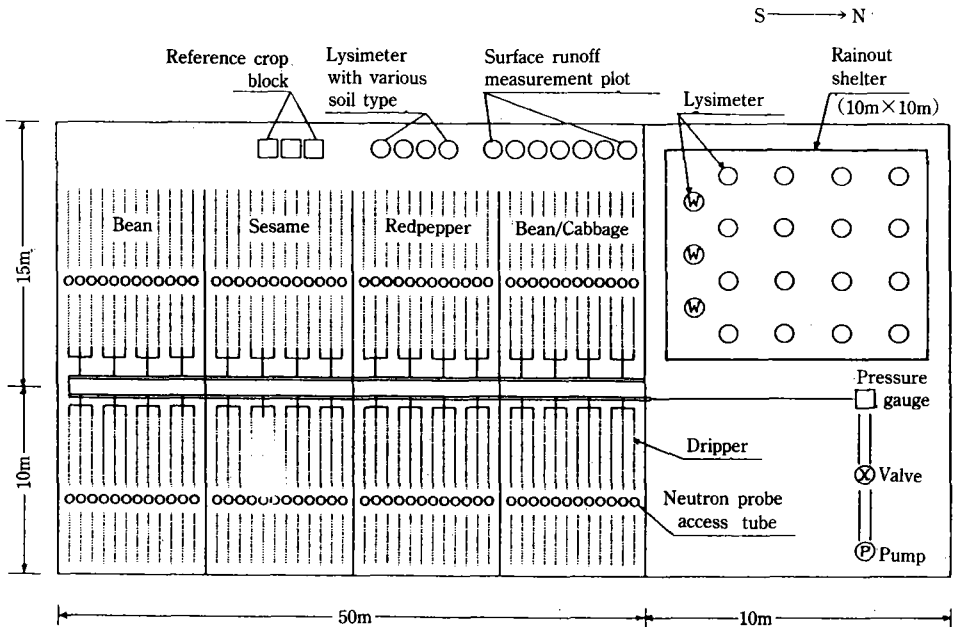


Fig. 1. Layout of experimental field

Table-3. Soil moisture treatment for 3 cropping stages

(unit : %)

Cropping stage	Treatment											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vegetation	20	60	20	60	20	60	20	40	60	80	40	40
Reproduction	20	20	60	60	20	20	60	40	60	40	80	40
Maturation	20	20	20	20	60	60	60	40	60	40	40	80

非灌溉區로 구분하였으며, 관개시설로는 점적 관개(Drip Irrigation)를 채택하였다.

포장 試驗區의 數는 San Cristobal 設計法 (1981)을 參照하여 12개의 處理區로 최소화하였다. 여기서, 제 1 要因인 生育時期는 3단계인 幼苗期, 成長期, 成熟期로 하고, 제 2 要因은 土壤水分은 4개 水準 즉, 有效水分의 20%, 40%, 60%, 80%로 하였다.

4. Lysimeter 試驗

土性別 土壤水分 消費形態는 Fig. 2와 같이 直徑 0.7m인 소형 lysimeter에 埴壤土(clay loam), 砂壤土(sandy loam), 砂土(sand)를 조성하여 시험하였다.

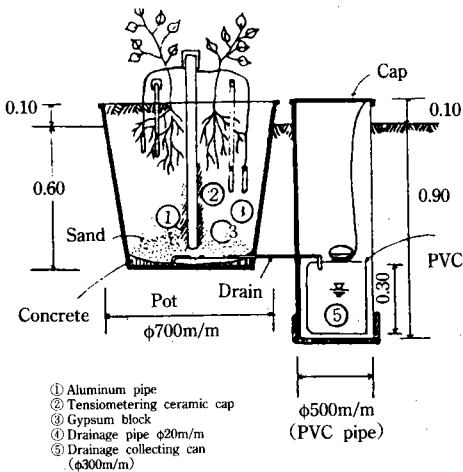


Fig. 2. The structure of small lysimeter

5. 土壤水分 측정

土壤水分은 Neutron probe를 사용하여 測定

하였으며, 2일 간격으로 오전 9시~11시 사이에 측정하였다. 土深別 측정구간은 地表面에서 15 cm 간격으로 4개층으로 나누어, 각 처리구마다 중앙부에 설치된 aluminum access tube에서 每層마다 2회 반복하여 측정하였다.

Neutron Probe에 의한 測定值(count ratio)는 식(1)~(2)와 같이 1차 回歸式을 導出하여 土壤水分으로 환산하였다. 한편 表層部인 第 1層 (0~15cm)에서는 中性子が 大氣中으로 일부 散亂하므로 第 2層 以上の 區間과 구분하였다.

$$\text{제 1 층} : Q_V = 23.60 \times C_R + 6.398 \quad \dots(1)$$

$$\text{제 2 층 以上} : Q_V = 24.86 \times C_R - 0.193 \quad \dots(2)$$

여기서, Q_V : 土壤水分含量(cm^3/cm^3)

C_R : count ratio(= N_{MC}/S_{TD})

N_{MC} : local count

S_{TD} : standard count

6. 消費水量的 計算

作物의 日別 消費水量은 물收支式을 이용하여 식(3)과 같이 계산하였다.

$$ET_i = Q_i - Q_{i+1} + I_i + P_i - R_i - D_i \quad \dots(3)$$

여기서, ET_i : i日의 日消費水量

Q_i : i日 오전 測定時의 土壤水分含量

Q_{i+1} : i+1日 오전 測定時의 土壤水分含量

I_i : i日의 灌溉量

- P_i : i일의 降雨量
- R_i : i일의 地表流出量
- D_i : i일의 地下排水量

灌漑量은 點滴灌漑時의 流量計에 의하여 측정하였다. 降雨量은 포장에서 약 0.8km 떨어진 水原測候所의 자료를 이용하였다. 地表流出量은 直徑 1m의 地表流出 測定裝置를 제작하여 日流出量을 측정하였으며, 排水量은 Green-Ampt 浸透式에 의한 降雨-浸透模型을 개발하여 根群域 以下로 유출된 양을 模擬發生시켜 사용하였다.

7. 뿌리조사

작물의 뿌리성장 조사는 1987년부터 1989년까지 3個年間に 걸쳐 실시하였으며, 조사 방법으로는 側뿌리(lateral root)가 파괴되지 않도록 뿌리 근처의 土壤을 몰로 제거하면서 最大深度를 찾아내는 掘削法(excavation method)을 이용하여 播種日 10일후부터 일주일 간격으로 조사하였다.

8. 뿌리성장函數

작물의 生育時期別 뿌리성장은 일반적으로 작물의 최대뿌리깊이와 시간의 함수로 표현하는바, Anderson(1985)의 시간에 대한 指數函數형태, Borg(1986)의 Sin函數형태 등의 여러 가지 방법에 따라 적용이 가능하나 여기서는 적용성이 높은 Borg의 Sin函數를 선정하였다.

$$RD_r = a + b \times \sin(3.03 Tr - 1.47) \dots\dots(4)$$

- 여기서, RD_r : 相對뿌리깊이(現在의 뿌리깊이/最大뿌리깊이)
- Tr : 相對時間(移後後 現在日數/全生育日數)
- a, b : 決定係數

III. 結果 및 考察

1. 作物別 뿌리성장

가. 年度別 뿌리성장

非灌漑區에 대한 3個年(1987~1989)間的의 作物別 뿌리성장은 Fig. 3~Fig. 5와 같다. '87,

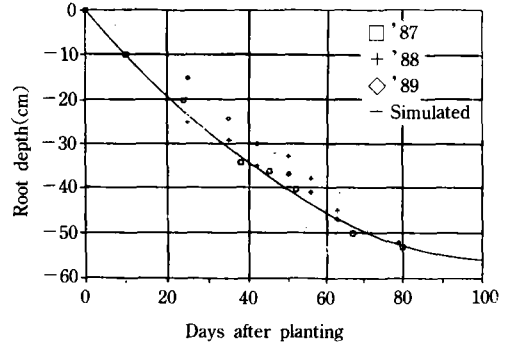


Fig. 3. Root growth of soybean for 3 years ('87~'89)

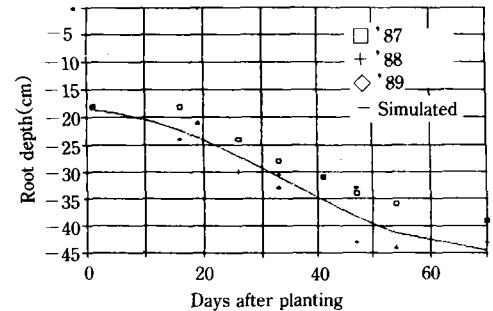


Fig. 4. Root growth of red pepper for 3 years ('87~'89)

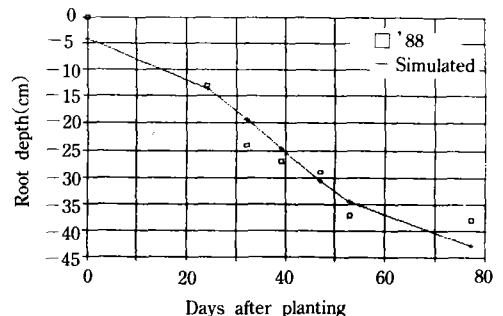


Fig. 5. Root growth of sesame('88)

'89년에 비하여 '88년에는 初期에 다소 빠른 成長率을 보였는데, 이는 '88年 播種後 뿌리成 長期인 5월 下旬부터 6월 上旬까지의 降雨量이 相對的으로 적어서 根群域 内の 土壤水分 부족 으로 인해 급속한 뿌리成長을 가져온 것으로 판단된다. 콩, 고추, 참깨의 最大 뿌리成長깊 이는 각각 약 55cm, 44cm, 40cm로 나타났다.

나. 土壤水分 維持水準別 뿌리成長

콩의 土壤水分 維持水準別 뿌리成長을 비교 하면 Fig. 6과 같다. 處理 1(灌溉量이 적은 처 리구), 處理 8(灌溉量이 보통인 처리구), 處理 9 (灌溉量이 많은 처리구)에 대하여 비교하여 보 면, 세 처리 모두 播種後 25일동안 성장이 緩慢하게 進行되었고, 이후 30일동안 성장이 急速하게 進行되어 最終 깊이의 80~85%까지 성장하였으며, 播種後 80~90일경에 최대 깊이 에 도달하였다. 처리간에 비교하면 播種後 45~ 50일까지는 세 처리간의 차이가 별로 없었으나, 그 이후에는 처리 1의 뿌리성장이 처리 8, 9보다 6~10cm정도 활발하였다.

다. 뿌리成長の 函數化

作物別 Borg의 뿌리성장 형태와 실측값을 비교하면 Fig. 3~Fig. 5와 같으며, 이를 函數로 나타내면 식(5)~(7)과 같다.

콩 : $RDr = 0.59 + 0.45 \times \sin(3.03 Tr - 1.47)$ (5)

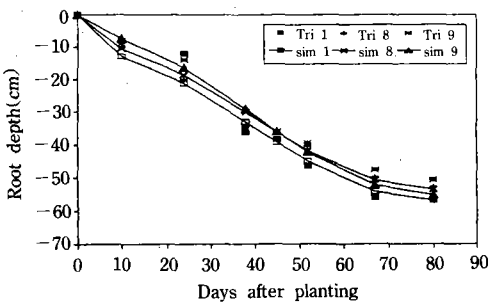


Fig. 6. Comparison of root growth for soybean with 3 different maintenance of soil moisture and their simulated Sin curve by Borg(1986)

고추 : $RDr = 0.72 + 0.30 \times \sin(3.03 Tr - 1.47)$ (6)

참깨 : $RDr = 0.61 + 0.51 \times \sin(3.03 Tr - 1.47)$ (7)

2. 作物別 土壤水分 消費形態

가. 年度別 土壤水分 消費形態

非灌溉區에 대한 3個年(1988~1990)間 콩의 生育時期別 土壤水分 消費形態는 Fig. 7~9와 같으며, 作物別로 요약, 정리하면 Table 4와 같다.

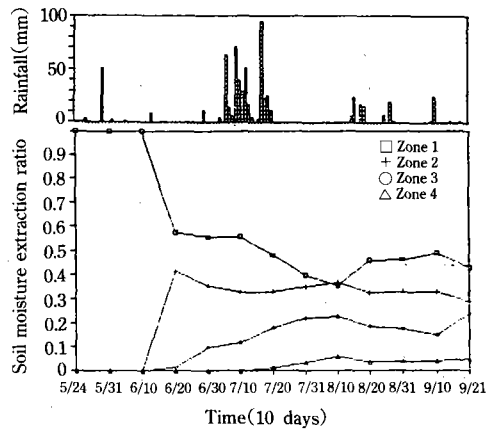


Fig. 7. Soil moisture extraction pattern (SMEP) of soybean for non-irrigated plot('88)

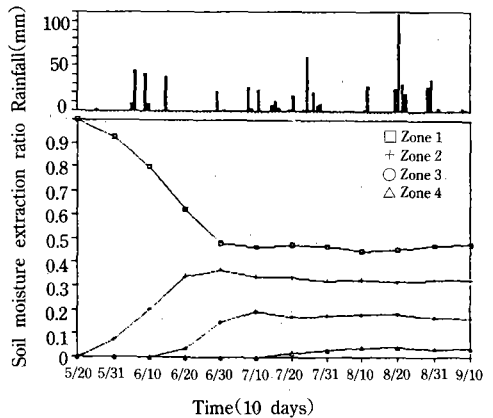


Fig. 8. Soil moisture extraction pattern (SMEP) of soybean for non-irrigated plot('89)

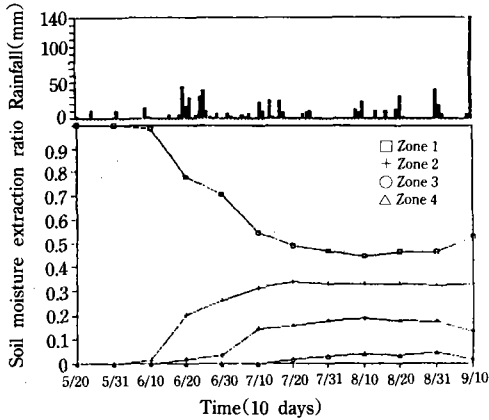


Fig. 9. Soil moisture extraction pattern (SMEP) of soybean for non-irrigation plot('90)

Table-4. Soil moisture extraction pattern for 3 years ('88~'90) (unit : %)

Crop name	Year	Zone			
		1	2	3	4
Soybean	88	59.5	26.2	12.3	2.1
	89	59.1	27.3	11.9	1.6
	90	65.5	23.0	10.0	1.5
	ave.	61.4	25.5	11.4	1.7
Red pepper	88	58.9	29.0	11.8	0.6
	89	59.0	30.4	10.4	0.2
	90	70.8	22.0	7.1	0.1
	ave.	62.8	27.1	9.8	0.3
Sesame	88	78.5	18.7	2.7	0.11
	89	74.0	22.6	3.4	0.0
	90	85.9	13.4	0.7	0.0
	ave.	79.5	18.3	2.3	0.04

콩, 고추, 참깨의 平均 土壤水分消費比率은 제 1 층이 각각 61.4%, 62.8%, 79.5%, 제 2 층이 각각 25.5%, 27.1%, 18.3%, 제 3 층이 각각 11.4%, 9.8%, 2.3%, 제 4 층이 각각 1.7%, 0.3%, 0.04%로서 제 1 층에서의 土壤水分消費比率이 큰 비중을 차지하였다. 降雨에 의한 消費形態의 변화를 살펴보면 無降雨日이 길어질수록 제 2 층 이하의 土壤水分消費比率이 증가하고, 제 1 층의 消費比率이 감소하는 것을 볼 수 있었다.

Table-5. Soil moisture extraction pattern of soybean for 12 different soil moisture treatment (unit : %)

Treatment	Zone				Yield (gr/EA)
	1	2	3	4	
1	39.7	28.4	19.6	12.4	156
2	39.3	28.5	19.6	12.6	214
3	38.6	30.4	18.8	12.2	233
4	38.6	26.5	20.3	14.7	228
5	37.7	28.1	19.3	14.9	210
6	36.7	29.0	19.9	14.5	206
7	36.7	29.0	20.0	14.4	268
8	42.7	28.7	17.3	11.3	224
9	45.6	29.3	17.1	8.0	211
10	42.0	28.3	17.0	12.7	167
11	40.6	29.5	17.9	12.0	176
12	41.0	29.4	17.2	12.4	193

이는 灌溉計劃의 樹立時 제 1 층이 制限土層이 될 수 있는 것으로 생각된다.

나. 土壤水分維持水準別 土壤水分 消費形態와 收穫量

콩을 대상으로 한 土壤水分維持水準別 平均 土壤水分 消費形態는 Table-5와 같다. 土壤水分 維持水準別 土壤水分 消費形態는 處理에 따라 크게 3가지 유형으로 분류할 수 있었는데, 콩의 生育期間中 灌溉量이 많은 처리구(9) 경우의 土層別 土壤水分消費比率은 제 1 층, 제 2 층, 제 3 층, 제 4 층이 각각 46%, 29%, 17%, 8%이고, 灌溉量이 보통인 처리구(8)의 경우는 각각 43%, 29%, 17%, 11%이며, 灌溉量이 적은 처리구(1)의 경우는 각각 40%, 28%, 20%, 12%로 나타났다.

세 處理를 비교하면 제 1, 4 층에서는 처리 상호간에 비교적 큰 차이를 나타내고 있으며, 중간층인 제 2, 3 층에서는 거의 類似한 형태를 나타내고 있다. 이는 灌溉量이 많을수록 土壤面에서의 蒸發量이 커지게 되어 灌溉量이 적은 처리구에 비하여 土層部の 土壤水分이 상대적으로 많이 소비되며, 灌溉量이 적으면 上層部の

土壤水分이 대부분 消耗되어 차츰 下層部의 消費率이 높아지기 때문에 판단된다.

12개의 處理區中 콩의 收穫量이 가장 많았던 處理區는 제 7 처리구의 268gr/EA였으며, 그 다음으로는 제 3 처리구의 233gr/EA, 제 4 처리구의 228gr/EA의 順으로 나타났다. 위의 세 처리구에 대한 共通點은 成長期의 土壤水分을 有效水分의 60%로 維持시켜 준 것으로, 幼苗期, 成熟期의 토양수분 유지수준보다 成長期의

土壤水分 維持水準이 收穫量에 크게 영향을 미치는 것으로 사료된다.

다. 土成別 土壤水分 消費形態

콩을 대상으로 하여 土成別 土壤水分의 消費形態를 파악하고자 埴壤土, 砂壤土, 砂土를 대상으로 라이시미터 시험을 한 결과는 Table-6과 같다.

土性別 土壤水分의 消費形態를 비교하면 전반적으로 埴壤土는 上層部에서 높고 下層部로 갈수록 낮아지며, 砂土는 各층에서의 비율이 모두 고른 값을 가지며, 砂壤土는 埴壤土와 砂土의 중간값을 나타내었다. 이러한 경향은 埴壤土가 갖는 土壤水分 포텐셜(soil water potential)이 砂壤土와 砂土에 비해 크기 때문이라고 판단된다. 다시 말하면, 砂土의 경우 제 1층에서의 土壤水分 消費比率이 낮은 것은 土壤의 孔隙率이 높아서 土壤水分이 土層部에 貯溜되지 않고 하층부로 이동하기 때문이라고 생각된다.

Table-6. Soil moisture extraction pattern of soybean for 3 different soil types ('89) (unit : %)

Soil name	Mon./10day	Zone			
		1	2	3	4
clay loam	6/M	44.9	32.2	15.3	7.6
	L	36.0	26.1	23.6	14.3
	F	39.4	30.3	16.2	14.1
	7/M	34.6	29.1	20.3	16.0
	L	39.6	28.2	16.8	15.4
	F	31.2	25.6	25.6	17.7
	8/M	37.8	28.5	17.4	16.3
	L	42.2	34.0	15.6	8.2
	average		38.0	29.0	19.0
sandy loam	6/M	34.8	31.6	15.8	17.7
	L	21.6	25.3	22.8	30.3
	F	27.6	23.1	22.8	26.6
	7/M	32.2	32.2	18.0	17.6
	L	31.5	30.8	19.6	18.1
	F	12.3	30.5	29.7	27.5
	8/M	20.3	30.2	24.0	25.5
	L	36.5	30.1	18.3	15.1
	average		30.0	29.0	22.0
sandy	6/M	32.8	26.6	23.4	17.2
	L	20.5	27.1	28.8	23.6
	F	26.9	25.5	26.4	21.3
	7/M	27.8	31.4	25.3	15.5
	L	30.2	29.0	21.6	19.2
	F	19.9	22.7	31.0	26.4
	8/M	22.0	26.8	25.4	25.8
	L	34.2	27.4	21.9	16.4
	average		26.0	27.0	26.0

IV. 要約 및 結論

本 研究는 콩, 고추, 참깨를 대상으로 1987년부터 1990년까지 4年間 圃場試驗과 라이시미터 試驗을 통하여 얻은 자료를 가지고 生育時期別 뿌리의 成長과 土壤水分 消費形態를 파악하였다. 分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 콩, 고추, 참깨의 뿌리成長은 모두 濕潤한 상태에 비하여 乾燥한 土壤水分 조건에서의 成長이 활발함을 보였다. 土壤水分 조건에 따라 뿌리의 成長形態를 時間에 대한 sin 函數로 나타낼 수 있었으며, 최대 뿌리깊이는 각각 55cm, 44cm, 40cm였다.

2. 3個年('88~'90)의 圃場試驗 結果, 콩, 고추, 참깨의 平均 土壤水分消費比率은 제 1층이 각각 61.4%, 62.8%, 79.5%, 제 2층이 각각 25.5%, 27.1%, 18.3%, 제 3층이 각각 11.4%,

9.8%, 2.3%, 제 4 층이 각각 1.7%, 0.3%, 0.04 %로서 제 1 층에서의 土壤水分 消費比率이 큰 비중을 차지하여 灌溉計劃의 樹立時 제 1 층이 制限土層으로 될 수 있는 것으로 생각된다.

3. 콩을 대상으로 하여 生育期間 동안 土壤水分 維持水準을 달리한 결과, 灌溉量이 많은 처리구의 土層別 土壤水分 消費比率은 제 1 층, 제 2 층, 제 3 층, 제 4 층 각각 46%, 29%, 17%, 8% 이고, 灌溉量이 보통인 처리구의 경우는 각각 43%, 29%, 17%, 11% 이며, 灌溉量이 적은 처리구의 경우는 40%, 28%, 20%, 12% 로서, 灌溉量이 많을수록 土層部의 土壤水分 消費가 많은 것으로 나타났다.

4. 土性別 土壤水分 消費形態는 埴壤土의 경우 土層部에서 높고 下層部로 갈수록 낮아지며, 砂土는 각층이 거의 고른 값을 가지며, 砂壤土는 埴壤土와 砂土의 중간값을 나타내었다.

參 考 文 獻

1. Anderson, 1985, Soil Water Modeling : Hydrological Forcasting, John Wiley & Son Co. 22.
2. Belcher, D. J., R. R. Cuykendall, and H. S. Sack, 1950, The Measurement of Soil Moisture and Density of Neutron and Gamma Ray Scattering, Civil Aeron. Admin. Tech. Dev, Report No. 127.
3. Borg, 1986, Depth Development of Roots with Time : An empirical Description, Transactions of ASAE.
4. Bras, R. L., and J. R. Cordava, 1981, Interseasonal Water Allocation in Deficit Irrigation, WRR, Vol. 17, No. 4 : 867.
5. Cuenca, R. H., 1988, Hydrological Balance Model using Neutron Probe Data, Irri. & Drainage J., Vol. 114, No. 4.
6. Daniel Hillel, 1972, Optimizing the Soil Physical Environment toward Greater Crop Yield, Academic Press.
7. Douglas, J. E., 1966, Volumetric Calibration of Neutron Moisture Probes, Soil. Sci. Soc. Amer. Pro., Vol. 30 : 541-544.
8. Feddes, R. A., E. Bresler, and S. P. Neuman, 1974, Field Test of a Modified Numerical Model for Water Uptake by Root Systems, WRR, Vol. 10, No. 6.
9. Gardner, Wilford, and Don Kirkham, 1952, Determination of Soil Moisture by Neutron Scattering, Soil Sci. 73(5) : 391-401.
10. Gear, R. D., A. S. Dransfield, and M. D. Campbell, 1977, Irrigation Scheduling with Neutron Probe, Irri. & Drainage J., ASCE.
11. Hauser, V. L., 1984, Neutron Meter Calibration and Error Control, Transactions of the ASAE : 722-728.
12. Jung, Y. S., and H. M. Taylor, 1984, Differences in Soil Water Uptake associated with Time and Depth, Soil Sci. 137 : 341-350.
13. Lambert, J. R., D. N. Baker, C. J. Phene, 1976, Dynamic Simulation of Processes in the Soil under Growing Row Crops : RHIZOS.
14. Mayaki, W. C., I. D. Teare, and L. R. Stone, 1976, Top and Root Growth of Irrigated and Nonirrigated Soybeans, Crop Science, Vol. 16 : 92-94.
15. Molz, F. J., and I. Remson, 1970, Extraction Term Models of Soil Moisture Use by Transpiring Plants, WRR, 6 : 1346-1356.
16. Narinder K. et al., 1981, Soy-root-a Dynamic Model of Soybean Root Growth and Water Uptake, Transactions of the ASAE.
17. Rowse, H. R., W. K. Mason, and H. M. Taylor, 1983, A Micro-computer Simulation Model of Soil Water Extraction by Soybeans, Soil Sci. 136 : 218-225.
18. 鄭夏禹外, 1987-1990, 밭작물 消費水量 算定方法 定立研究, 서울대 附屬 農業開發研究所.