

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.1.021>
 pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Study on the Standards of Proper Effective Rooting Depth for Upland Crops

Yongseon Zhang, Kyunghwa Han, Kangho Jung, Heerae Cho, Mijin Seo, and Yeonkyu Sonn*
 National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Rep. of Korea

*Corresponding author: sonnyk@korea.kr

ABSTRACT

Received: January 24, 2017
Revised: February 15, 2017
Accepted: February 20, 2017

The study was performed to determine effective soil depth with crop type. Lysimeters, filled with three types of soils (sandy loam, loam and clay loam), were used. Effective soil depths for 25 cm, 50 cm, 75 cm, and 100 cm were considered for each soil. Six crops were investigated for plant height and yield, and rooting depths: Chinese cabbage, maize, lettuce, potato, red pepper, and soybean. Experiment was conducted at the National Institute of Agricultural Sciences in Suwon from 2012 to 2014. Effective rooting depth including 70% of root ranged from 19 cm to 29 cm for Chinese cabbage, from 24 cm to 38 cm for maize, from 17 cm to 24 cm for lettuce, from 27 cm to 32 cm for soybean, and around 50 cm and 30 cm for potato and red pepper. The maximum depth was 60 cm for soybean, 50 cm for Chinese cabbage, lettuce, and potato, and 75 cm for maize and red pepper. Each crop showed high yield in the treatment with soil depth over maximum rooting depth under all soils.

Keywords: Available soil depth, Rooting depth, Plant height

Effective and maximum rooting depths under the treatment with soil depth above 100 cm.

Soil Texture (USDA)	Chinese cabbage		Corn		Lettuce		Potato		Red pepper		Soybean	
	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max
----- cm -----												
Sandy Loam	29	58	38	75	21	55	-	48	31	76	27	56
Loam	22	43	20	65	24	53	-	44	27	64	32	47
Clay Loam	19	43	24	61	17	51	-	46	30	74	29	58



Introduction

식물뿌리는 물과 양분을 흡수하는 주요한 기관으로 식물체와 토양을 연결함으로써 토양-식물-대기 연속체의 필수적인 역할을 한다. 작물 생장은 토양 양분과 수분 획득에 의존하므로 뿌리 형태 및 생리적 특성과 밀접하게 연관되어 있고, 뿌리 형태는 작물의 양분과 수분 흡수를 결정하므로 지상부 성장과 생체량 수확에 결정적인 영향을 미친다. 작물 종류에 따라 뿌리 량, 뿌리 성장속도, 수직분포와 최대 깊이가 다르지만 뿌리가 길수록 식물체의 양분공급량은 증가하며 (Dong et al., 1995; Wiesler and Horst, 1994), 작물 종류에 따라 뿌리 량, 뿌리 침투력, 수평적 뿌리분포 및 최대 뿌리 깊이가 다르다 (Canadell et al., 1996; Liu et al., 2011). 그러나 우리나라 토양환경분야에서는 근권 공기 (Park and Lee, 1989), 근권 온도 (Park and Lee, 1989; Park and Ro, 1996; Park and Oh, 2001) 및 근권 미생물 (Jang et al., 2006; Yoo et al., 1996)에 관한 연구에 집중되어 왔다.

작물 종류별 뿌리 신장과 분포에 관한 연구는 지난 수십 년간 주요한 관심사로 지구상 식물체 뿌리 깊이는 알라스카 동토대 0.3 m에서 (Dennis et al., 1978) 남 아프리카 칼라하리 사막의 상록수 (*Boscia albitrumca*) 68 m까지 분포하고 있다 (Jennings, 1974). Canadell et al. (1996)은 목본류, 관목류, 초본식물, 작물 등 229종에 대하여 조사한 결과 평균 4.6 m라고 하였으며, Zeng (2001)은 지구상에 분포하는 지형별 토양층 깊이와 초본류 및 목본류를 포함하는 식물체 뿌리 분포 모형평가에 200개 연구논문을 활용하여 지역별 뿌리분포 깊이를 분석한 결과, 농작물은 1.5 m, 사막지역에서 10~15 cm의 초본류는 1.5 m, 상록침엽수는 1.8 m, 상록활엽수는 3.0 m, 낙엽 침엽수는 2.0 m, 낙엽 활엽수는 2.0 m, 습윤지대에서 2.0 m 내외로 성장하는 초본류는 2.4 m, 사막식물은 4.0 m, 동토대 식물은 0.5 m, 반건조대 식물은 4.0 m, 상록관목은 2.5 m, 활엽관목은 2.5 m로 보고하였다.

옥수수 유효근권 깊이의 지역별 차이를 살펴보면, 스웨덴 Zollikofen (47.00N, 7.28E)에서는 100 cm (Qin et al., 2006), 캐나다 Ottawa (45.23N, 75.43W)에서 95 cm (Dwyer et al., 1996), 캐나다 Ontario (42.52N, 80.31W)에서 30 cm (Ball-Coelho et al., 1998), 미국 Lamberton (44.13N, 95.16W)에서 144.7 cm (Allmaras et al., 1975), 미국 Princeton (45.34N, 93.35W)에서 105 cm (Laboski et al., 1998), 미국 Columbia (38.57N, 92.19W)에서 50 cm (Buyanovsky and Wagner, 1986), 일본 Hokkaido (43.14N, 141.57E)에서 60 cm (Osaki et al., 1995)까지 신장하는 것으로 나타나 동일한 작물이라도 재배환경에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다.

작물의 유효근권 파악 및 적정 유효근권 확보는 작물생육에 유리할 뿐 아니라 물 및 탄소를 비롯한 생태계 물질순환 해석의 기초가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 기후조건하에서 주요 밭작물이 토성과 유효토심에 따라 신장하는 근권 깊이를 구명하여 밭작물 종류별 적정 유효토심 기준을 설정하고자 유효토심 25, 50, 75, 100 cm인 사양토, 양토, 식양토에서 밭작물을 재배하여 수확기에 작물생육과 뿌리분포 깊이를 조사하였다.

Materials and Methods

포장 조건 본 연구는 경기도 수원시 서둔동에 위치한 국립농업과학원 (이하 농과원) 토양보전 라이시미터를 변경하여 수행하였다. 수원지역은 기후지대상 온대 내지 냉온대에 속하며, 30년간 평년값 (1981~2010)으로 평균기온 12°C, 평균 강수량 1,312 mm, 증발량 (소형증발량계) 1,084.4 mm으로 작부체계농업기후지대로는 중북부서부해안 지대에 해당한다 (Lee et al., 2010).

농과원 토양보전 라이시미터는 가로×세로×깊이가 2×5×1.5 m인 콘크리트 구조물로 1.5 m 하부에는 직경 100 mm

의 유효토심을 매설하였다. 유효토심을 조절하기 위하여 유효토심 25 cm 처리구는 구조물 하부로부터 125 cm를 직경 75 mm이하 잔자갈을 채웠고, 유효토심 50 cm 처리구는 자갈 100 cm, 유효토심 75 cm 처리구는 자갈 75 cm, 유효토심 100 cm 처리구는 자갈 50 cm를 채웠다. 토성별로는 용적밀도 1.3 Mg m^{-3} 으로 충전하기 위하여 토성별로 토심 10 cm마다 해당 부피에 상응하는 토양을 계량하여 흙을 채우는 과정을 반복하면서 포장을 조성하였다.

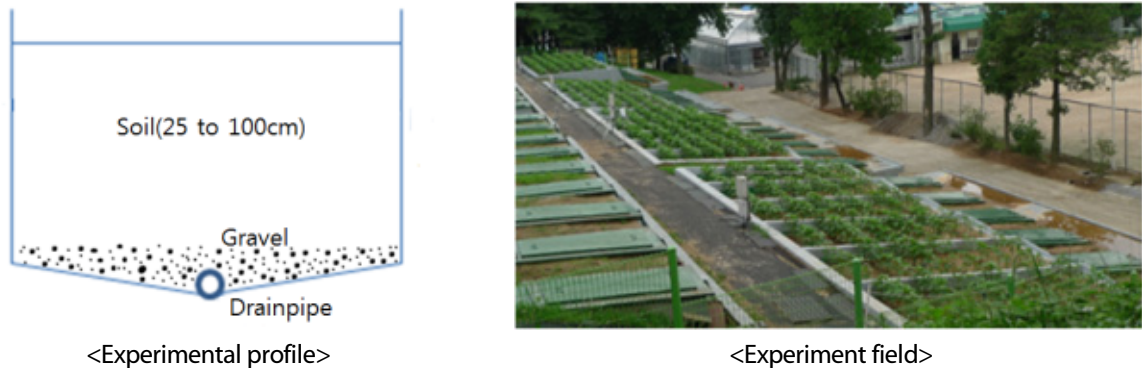


Fig. 1. Experimental field and profile at Suwon city.

실험 설계 및 재배 방법 본 연구는 3×4 분할구배치법으로 설계하였다. 주구는 토성 처리로 사양토, 양토, 식양토의 3처리를 두었다. 세구는 유효토심 처리로 25, 50, 75, 100 cm의 4처리를 두었으며, 순차적으로 배치하였다. 2012년 콩, 상추를 실험하였고, 2013년 배추, 옥수수를 실험하였으며, 2014년 감자, 고추를 실험하였다 (Table 1). 양분 관리의 작물별 표준시비량에 기준하여 퇴비와 무기질 비료를 공급하였다 (NAAS, 2010). 수분 관리는 정식 또는 파종 후 활착기에 관개 후 자연강우의 의존하여 재배하였다. 단, 감자의 경우 파종 후에도 관개하지 않았다.

Table 1. Information for experiment plant, and cultivation period.

Year	Plant	Density (cm)	Cultivation period
2012	Soybean	30 × 80	6.15~10.29
	Lettuce	20 × 20	9.10~10.24
2013	Chinese cabbage	30 × 70	5.3~6.14
	Corn	40 × 70	6.21~8.26
2014	Potato	30 × 70	3.28~7.4
	Red Pepper	40 × 60	5.30~9.23

토양 및 식물체 분석 시험 대상 농경지는 경사 0~2%로, 토양의 기본적인 이화학적 특성을 시험 전에 분석하였다 (Table 2). 토양특성 분석은 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2000)에 준하였다. 토성은 비중계법으로 분석하였다. 토양 반응 (pH)과 전기전도도 (EC)는 토양과 증류수를 1:5 (v:v)로 하여 초자전극법으로 분석하였고 유기물 함량은 Walkey-Black법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 Ca, Mg, K, Na는 1N-NH₄OAc (pH 7.0)용액으로 침출하여 유도 결합 플라즈마 분광계 (CINTRA6, GBC, AU)로 분석하였다. 토성과 유효토심이 작물 생육에 미치는 영향을 분석하기 위해 초장과 생체 수량을 조사하였으며, 뿌리분포를 관찰하기 위하여 조사대상 작물 주변의 토양을 굴착하여 주근이 뻗은 중심점에서 뿌리 분포를 주요 근권깊이와 최장 근권깊이를 측정하였다. 주요한 근권깊이는 토양 단면 내에서

육안으로 뿌리의 70%가 분포하는 깊이를 측정하였으며, 최장 근권 깊이는 토양 단면 내에서 육안으로 뿌리가 관측된 가장 깊은 깊이를 측정하였다.

Table 2. Physico-chemical properties of soils used in the experiment.

Soil type	Soil particle distribution			Bulk density	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cations		
	Sand	Silt	Clay						K	Ca	Mg
USDA	----- wt.% -----			Mg m ⁻³	1:5 H ₂ O	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
Sandy Loam	59.9	25.8	14.2	1.36	6.6	0.2	17	101	0.3	2.9	1.1
Loam	47.7	31.1	21.1	1.34	7.3	0.2	10	81	0.2	5.3	1.8
Clay Loam	30.0	42.9	27.1	1.32	6.7	0.3	17	294	0.5	4.8	1.6

통계분석은 SAS 프로그램 (version 9.1)에서 ANOVA 분석을 수행한 후 5% 유의수준으로 DMRT (Duncan’s multiple range test)를 이용하여 평균간 비교를 수행하였다.

Results and Discussion

강우자료는 시험포장 인근에 위치한 수원기상대의 5월에서 10월까지 6개월의 기상자료를 이용하였다. 그리고 논 토양 유실에 영향을 미치는 강우량을 더 세부적으로 조사하기 위하여 시간별 강우량을 조사하였다. 강우강도는 1회 강우가 12.7 mm 이상 연속된 강우를 대상으로 하였으며 연속강우 기간 중 무강우 시간이 6시간 이상일 경우는 1회 강우로 계산하였다. 조사된 강우량 및 강우강도를 요약하면 Table 3과 같았다. 2012년에서 2014년의 조사기간 중 강우량은 평균 1,076 mm로 951~1,455 mm 범위에 있었고, 강우강도 (EI30)는 평균 4,611 MJ mm ha⁻¹yr⁻¹hr⁻¹로 2,657~8,434 MJ mm ha⁻¹yr⁻¹hr⁻¹ 범위에 있었으며, 강우사상별 최대 강우강도 (EI30)는 7월에 높았다. 연도별로는 2012년 > 2013년 > 2014년의 순으로 강우량과 강우강도가 높았다. 2012~2014년 연구기간 중 태풍의 발생수와 태풍명은 2012년 7월 중순에서 9월 중순까지 5개로 카눈, 담레이, 덴빈, 볼라벤, 산바이였으며, 2013년과 2014년에는 태풍이 없었다.

Table 3. Monthly rainfall distribution and typhoon events during rice growing season in Suwon districts from 2012 to 2014.

Districts	Rainfall				EI30				Typhoon event		
	2012	2013	2014	Ave.	2012	2013	2014	Ave.	2012	2013	2014
	----- mm -----				----- MJ mm ha ⁻¹ yr ⁻¹ hr ⁻¹ -----				----- number -----		
Suwon city	1,455	951	822	1,076	8,434	2,742	2,657	4,611	5	0	0

*Rainfall for each event > 12.7 mm

수확기에 조사한 작물별 토성 및 유효토심에 따른 초장과 수량은 Table 4와 같다. 작물별로 토심과 작물생육 관계를 살펴보면, 배추의 경우 초장은 유효토심이 깊어질수록 초장이 증가하는 것으로 나타났다. 양토와 사양토에서는 유효토심 100 cm 구에서 수량이 가장 많았고 식양토의 경우 유효토심 25 cm 구에서 수량이 가장 적었고 유효토심 50 cm

Table 4. Plant height and weight for sandy loam, loam, and clay loam soils.

Soil Texture (USDA)	Soil Depth (cm)	Chinese cabbage		Corn		Lettuce		Potato		Red pepper		Soybean	
		Plant height	Fresh weight	Plant height	Fresh weight	Plant height	Fresh weight	Plant height	Fresh weight	Plant height	Fresh weight	Plant height	Fresh weight
		cm	g each ⁻¹	cm	g each ⁻¹	cm	g each ⁻¹	cm	g each ⁻¹	cm	g each ⁻¹	cm	g each ⁻¹
Sandy Loam	20	30.2 a	1248.8 b	147.4 ab	207.9 a	19.5 a	206.0 b	29.7 c	194.8 c	72.2 c	201.9 c	64.3 b	19.9 b
	50	30.8 a	1623.4 a	142.6 b	229.1 a	20.1 a	233.0 ab	38.2 b	298.5 bc	72.3 b	290.4 bc	74.0 b	14.1 b
	75	31.8 a	1911.7 ab	145.3 b	238.0 a	20.3 a	285.2 a	46.7 b	457.8 a	82.7 b	303.1 ab	74.7 b	24.0 b
	100	33.2 a	2232.2 a	151.1 a	218.7 a	20.6 a	279.1 a	49.1 a	420.7 ab	87.5 a	451.7 a	89.9 a	16.4 a
Loam	20	30.5 b	1456.2 a	151.8 a	167.1 a	18.0 b	159.8 b	38.7 c	264.3 a	86.0 c	141.2 b	72.0 bc	16.5 b
	50	30.2 b	1784.8 a	153.4 a	197.5 a	19.9 a	218.3 ab	40.0 c	264.3 a	82.5 c	329.2 ab	75.9 b	21.4 b
	75	32.9 a	1941.9 a	153.5 a	204.6 a	20.7 a	279.7 a	47.4 b	372.6 a	82.0 b	392.4 a	70.1 c	24.1 a
	100	33.6 a	2262.6 a	151.9 a	228.0 a	20.8 a	275.0 a	57.7 a	483.7 a	89.4 a	334.7 a	84.6 a	16.1 a
Clay Loam	20	29.9 c	1086.4 a	151.2 a	204.8 a	19.3 b	228.0 a	37.7 c	270.7 b	80.8 c	242.1 c	70.2 c	20.4 c
	50	31.5 b	1717.8 a	152.8 a	240.0 a	21.7 a	227.3 a	50.9 b	320.7 b	89.5 b	301.5 bc	82.8 b	10.6 b
	75	31.8 ab	1937.6 a	151.8 a	245.6 a	21.5 a	264.7 a	58.0 b	422.6 ab	83.3 b	330.7 ab	83.8 b	18.1 b
	100	34.2 a	1769.0 a	152.5 a	222.4 a	21.4 a	347.4 a	63.3 a	555.9 a	88.7 a	392.5 a	90.6 a	15.3 a

* Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's multiple range test, $p < 0.05$).

이상에서는 수량이 유사하였다.

옥수수의 경우 양토와 식양토 시험구에서는 토양깊이에 따라 초장은 유효성이 없었으나 사양토에서는 유효토심 100 cm 시험구에서 초장이 가장 길었다. 모든 토성에서 유효토심 50 cm, 75 cm, 100 cm 사이의 수량에 대한 유의성은 확인되지 않았으나 유효토심이 깊어질수록 수량이 증가하는 것으로 나타났다. 사양토에서 초장을 고려할 때 적정 유효토심은 75 cm 이상이었다.

상추의 경우 초장은 사양토, 양토에서 유효토심이 깊어질수록 증가하였고, 식양토에서 유효토심 50 cm 이상에서 초장은 유사하였다. 지상부 생중으로 평가한 상추의 수량은 사양토 > 양토 > 식양토의 순으로 유효토심 75 cm 이상에서 최대의 수량이 생산되었으며, 특히 식양토에서는 유효토심 100 cm에서 최대의 수량이 생산되었다. 수량에 기반할 때 사양토와 양토에서 적정 유효토심은 50 cm 이상으로 평가되었다.

감자의 경우 초장에 대한 유효토심의 영향이 확인되었으며, 식양토 > 양토 > 사양토의 순으로 초장이 길고 수량이 많았다. 수량은 사양토의 경우 유효토심 75 cm 이상에서 최대 수량이 확인되었으며, 양토와 식양토에서는 유효토심 100 cm에서 최대 수량을 얻었다. 수량에 기반할 때 모든 토성에서 적정 유효토심은 50 cm 이상으로 평가되었다.

고추의 경우 사양토, 양토, 식양토 모든 토성에서 유효토심 100 > 50, 75 > 25 cm의 순으로 초장이 길었다. 수량은 사양토에서 유효토심 100 cm구에서 최대 수량이 생산되었으며, 양토는 유효토심 75 cm 이상의 처리구에서 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 식양토는 유효토심 100 > 75 > 50 > 25 cm의 순으로 유의한 차이가 있었다. 수량에 근거할 때 적정 유효토심은 사양토와 식양토는 100 cm 이상, 양토는 75 cm 이상으로 평가되었다.

콩의 경우 초장은 모든 토성에서 유효 토심이 깊어질수록 증가하였다. 사양토는 100 cm 이상, 식양토는 50 cm에서 유효한 차이가 있었으며, 양토는 75 cm 이상에서 유의한 차이가 있었다. 콩 수량은 사양토와 식양토에서는 유효토심 75 cm 시험구에서 최대 수량이 관측되었으며, 식양토는 유효토심 25 cm와 75 cm 시험구에서 높았다. 수량에 근거할 때 콩의 적정 재배를 위한 적정 유효토심은 50 cm 이상이었다.

사양토, 양토, 식양토의 유효토심 100 cm 이상인 시험구에서 주근이 뺀 중심점을 기준으로 뿌리 70% 이상이 분포하는 근권 깊이와 최대 신장 깊이를 조사하였으며, 수확기에 조사한 작물별 근권 깊이는 Table 5와 같다.

Table 5. Effective and maximum rooting depths under the treatment with soil depth above 100 cm.

Soil Texture (USDA)	Chinese cabbage		Corn		Lettuce		Potato		Red pepper		Soybean	
	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max	Root 70%	Root Max
	----- cm -----											
Sandy Loam	29	58	38	75	21	55	-	48	31	76	27	56
Loam	22	43	20	65	24	53	-	44	27	64	32	47
Clay Loam	19	43	24	61	17	51	-	46	30	74	29	58
Ave.	23.3	48.0	27.3	67.0	20.7	53.0	-	46.0	29.3	71.3	29.3	53.7

작물별 근권 깊이는 배추의 근권 깊이는 19~29 cm 범위로 사양토에서 가장 깊었다. 옥수수의 근권 깊이는 24~38 cm 범위로 사양토에서는 40 cm에 이르렀으며, 상추는 17~24 cm 범위로 25 cm 이내이었다. 감자의 경우 덩이 줄기를 형성하는 근권 깊이와 최대 신장깊이와 동일한 깊이인 50 cm 이내 이었고, 고추는 토성과 상관없이 모두 30 cm 정도였으며, 콩의 근권 깊이는 27~32 cm 범위이었다. 이러한 특성은 작물별 특성에 기인하는 것으로, Dillewijn (1952)은 관개 사탕수수 재배 시 뿌리량 50% 이상이 최상부 표층 20 cm 이내에 분포하고 60 cm 이내에 뿌리 양의 85%가 분포한다고 하였으며, Paz-Vergara et al. (1980)은 사탕수수 뿌리가 180 cm 까지 성장하고 토양 30 cm 까지 60%, 60 cm까지 85% 분포하는 것으로 보고한 바 있다.

작물별 최대 신장 깊이는 48~76 cm 범위로 나타났으며, 뿌리가 깊게 신장하는 작물은 옥수수, 고추 > 콩 > 배추, 상추의 순이었다. 배추의 최대 신장 깊이는 사양토에서 58 cm, 양토와 식양토에서는 43 cm로, 재배를 위한 적정 유효토심은 사양토 60 cm, 양토와 식양토는 50 cm로 평가되었다. 옥수수 뿌리 최대 신장 깊이는 사양토에서 대부분 75 cm 이내에 분포하였으며, 양토와 식양토는 각각 65 cm, 60 cm에 분포하여 사양토에 비해 최대 근권 깊이가 얕았다. 옥수수 재배를 위한 적정 유효토심은 사양토 75 cm, 양토 65 cm, 식양토 61 cm이었다. 상추의 최대 신장 깊이는 사양토 55 cm, 양토 53 cm, 식양토 51 cm로 유사하여, 배추 재배를 위한 적정 유효토심은 50 cm로 평가되었다. 감자의 경우 모든 토성에서 근권 깊이와 최대 신장 깊이가 50 cm 이내로, 적정 유효토심은 50 cm이었다. 고추의 최대 신장 깊이는 사양토와 식양토는 75 cm 내외 이었고, 양토에서는 64 cm 이내에서 관측되어 고추 재배를 위한 적정 유효토심은 75 cm로 판단된다. 콩의 최대 신장 깊이는 사양토와 식양토는 56 cm 내외 이었고, 양토에서는 47 cm 이내에서 관측되어 콩 재배를 위한 적정 유효토심은 60 cm이었다.

또한, 토성간에 유효 토심의 차이가 나타난 작물은 2013년과 2014년 공시작물인 배추, 옥수수, 감자, 고추, 콩, 배추로 사양토가 양토 및 식양토에서 깊게 나타났는데, 이는 토양수분을 보유할 수 있는 토성간 차이로 판단된다. 2012년 상추와 콩의 재배시험에서는 토성에 상관없이 유효토심이 동일하게 나타났으나 평년 강수량 1,312 mm 보다 적었던 2013~2014년에는 토양 공극량이 양토나 식양토 보다 적은 사양토에서 작물이 수분 흡수를 위하여 심토까지 뿌리가 신장함에 따라 토성간 차이가 나타났다.

작물의 유효 근권 깊이에 대한 연구에서 영국남부의 경우 누에콩, 꽃양배추, 미나리과 파스리프과 순무 80 cm, 상추 및 양파 60 cm, 완두콩 70 cm인 것으로 조사되었고 (Greenwood et al., 1982), 캐나다 앨버타 지역에서 밀, 옥수수, 보리와 유채는 50~100 cm, 완두콩은 60~70 cm, 알팔파는 120 cm 이상이었다 (ARD, 2013). 한편, 미국의 Nebraska와 Oklahoma에서 작물별 뿌리신장 깊이는 마늘, 부추류, 완두콩, 양파, 콩류와 오이는 120 cm 이하, 칸탈루프, 고추, 고구마, 수박, 파슬리, 꽃양배추, 아욱과의 다년생 오크라, 단옥수수, 감자, 토마토, 엽채용 순무, 호박, 시금치, 덩굴성 호박

과 순무는 120~200 cm, 근대, 가지, 무, 당근, 양상추, 배추, 옥수수, 콜라비, 파슬리, 홍무, 루바브, 서양고추냉이와 아스파라거스는 200 cm 이상으로 보고된 바 있다 (Weaver and Bruner, 1927).

타이완에서 작물 근권은 강낭콩, 상추, 양파와 무는 50 cm 이하, 배추, 당근, 꽃양배추, 샐러리, 옥수수, 오이, 가지, 마늘, 고추와 호박은 50~100 cm, 참외, 아욱과의 다년생 오크라, 토마토, 완두콩은 120 cm 이상이었다 (AVRDC, 1990). 농업기술대계 (RCA, 1993)에 따르면 일본의 경우 과채류는 40~50 cm, 엽채류 40 cm, 단근채 40~50 cm, 장근채 80 cm, 기타 밭작물은 50 cm 이상으로 작물적 특성과 재배환경에 따라 뿌리의 신장에 차이가 있는 것으로 나타났다. 이러한 작물별 재배환경 요인 중 Russel (1997)은 관개와 비료사용이 작물뿌리 분포에 가장 영향이 큰 것으로 보았고, Reicosky (1972)는 토양수분 함량이 가장 중요한 요인으로 보았다.

온대 내지 냉온대 기후지역에 속하는 우리나라 재배환경에서 시험대상 작물의 토심이 얕을수록 수량이 감소하였으며, 토심 75 cm와 100 cm 수량은 유사하였다. 토성 및 작물별 생육 특성을 고려한 적정 유효토심은 배추 50 cm, 옥수수 75 cm, 상추 50 cm, 감자 50 cm, 고추 75 cm, 콩은 50 cm 이상이었다. 유효토심 100 cm 이상인 토양조건에서 작물별 근권 깊이는 배추 19~29 cm, 옥수수 24~38 cm, 상추 17~24 cm, 감자 50 cm 내외, 고추 30 cm, 콩 27~32 cm 범위였고, 최대신장 깊이는 배추 58 cm, 옥수수 75 cm, 상추 55 cm, 감자 50 cm, 고추 70 cm, 콩 60 cm에서 관찰되었다.

이상으로 토성별 유효토심에 따른 작물 생육과 수량, 토성별로 유효토심 100 cm 이상인 조건에서 작물별 최대 신장 깊이를 고려한 결과, 토성별 편차가 있으나 콩 60 cm, 상추, 배추, 감자 50 cm, 옥수수 및 고추 75 cm 이상으로 평가되었다. 연구결과를 바탕으로 밭작물 재배를 위한 적정 유효토심을 25 cm 간격으로 나누어 그룹화 할 경우 상추, 배추, 감자의 최소 토양깊이는 50 cm, 콩, 옥수수, 고추는 75 cm로 나눌 수 있었다.

Conclusion

밭작물의 적정 유효토심을 설정하기 위하여 2012년부터 2014년까지 수원에서 사양토, 양토, 식양토로 충진된 무저 라이시미터에 유효토심을 25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm 수준으로 처리하고, 배추, 옥수수, 상추, 감자, 고추, 콩을 재배하여 작물생육과 뿌리신장을 조사하였다.

토성별 작물 뿌리분포는 토성별로 편차를 보였으나 작물별 뿌리의 70%가 분포하는 근권 깊이는 배추 19~29 cm, 옥수수 24~38 cm, 상추 17~24 cm, 감자 50 cm 내외, 고추 30 cm, 콩 27~32 cm 범위였으며, 작물별 최대 신장 깊이는 콩 60 cm, 상추, 배추와 감자 50 cm, 옥수수와 고추 75 cm 이상이었다.

시험대상 작물의 수량은 모든 토성에서 뿌리가 최대로 신장하는 깊이 이상의 유효토심으로 충진된 시험구에서 높았다.

Acknowledgement

This study was conducted by support of NIAS research and development project (Project No. PJ010936) Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Allmaras, R.R., W.W. Nelson, and W.B. Voorhees. 1975. Soybean and corn rooting in southwestern Minnesota: II: root distributions and related water inflow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39:771-777.

- ARD. 2013. Alberta irrigation management manual. Agricultural and Rural Development, Albert, Canada.
- AVRDC. 1990. Vegetable production training manual. Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhua, Taiwan.
- Ball-Coelho, B.R., R.C. Roy, and C.J. Swanton. 1998. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. *Soil Tillage Res.* 45:237-249.
- Buyanovsky, G.A. and G.H. Wagner. 1986. Post-harvest residue input to cropland. *Plant Soil* 93:57-65.
- Canadell, J., R.B. Jackson, J.R. Ehleringer, H.A. Mooney, O.E. Sala, and E.D. Schulze. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia.* 108:583-595.
- Dennis, J.G., L.L. Tiedzen, and M.A. Vetter. 1978. Seasonal dynamics of above-and below ground production of vascular plants at Borrow, Alaska. In:Tieszen L.L.(ed).
- Dillewijn, C.V. 1952. Botany of sugarcane. Waltham Mass., U.S.A., The Chronical Coy Book Dept.
- Dong, B., Z. Rengel, and R.D. Graham. 1995. Root morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency. *J. Plant Nutr.* 18:2761-2773.
- Dwyer, L.M., B.L. Ma, D.W. Stewart, H.N. Hayhoe, D. Balchin, J.L.B. Culley, and M. McGovern. 1996. Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Can. J. Soil Sci.* 76:23-28.
- Evans, R., R.E. Sneed, and D.K. Cassel. 1996. Irrigation scheduling to improve water and energy use efficiencies. North Carolina Cooperative Extension Service. Publication Number: AG 452-4.
- Greenwood, D.J., A. Gerwitz, D.A. Stone, and A. Barnes. 1982. Root development of vegetable crops. *Plant Soil* 68:75-96.
- Jang, K.Y., H.Y. Weon, K.H. Lee, S.I. Kwon, W.S. Kong, J.S. Suh, and J.M. Sung. 2006. Comparison of biological characteristics on the organic waste-treated lysimeter soil by RFLP, PLFA, and CLSU. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:415-418.
- Jennings, C.M.H. 1974. The hydrology of Botswana. Ph. D. thesis, university of Natal, Sough Africa.
- Laboski, C.A.M., R.H. Dowdy, R.R. Allmaras, and J.A. Lamb. 1998. Soil strength and water content influences on corn root distribution in a sandy soil. *Plant Soil* 203:239-247.
- Lee, J.T., K.M. Shim, H.S. Bang, M.H. Kim, K.K. Kang, Y.E. Na, M.S. Han, and D.B. Lee. 2010. An analysis of changes in rice growth and growth period using climatic tables of 1960s (1931~1960) and 2000s (1971~2000). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:1018-1023.
- Liu, L., Y. Gan, R. Bueckert, and K. Van Rees. 2011. Rooting systems of oilseed and pulse crops. II: vertical distribution patterns across the soil profile. *Field Crop Res.* 122:248-255.
- NAAS. 2010. Fertilizer application recommendations for crop plants. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NRCS. 1983. National engineering handbook. In sprinkler irrigation. Section 15, Chapter 11. Washington, D.C. USDA. Natural Resources Conservation Service.
- Osaki, M., T. Shinano, M. Matsumoto, J. Ushiki, M.M. Shinano, M. Urayama, and T. Tadano. 1995. Productivity of high-yielding crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 41:635-647.
- Park, H. and M.G. Lee. 1989. Effect of Carbon dioxide of root zone on emergence and early growth of transplanted ginseng. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 22:127-130.
- Park, J.M. and H.M. Ro. 1996. Effect of root zone temperature on the growth and the leaf mineral contents of apple (*Malus domestica* Borkh) trees. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:378-384.
- Park, J.M. and S.D. Oh. 2001. Effect of root zone temperature in orchard on the air and the chemical properties of the

- soil, and the growth of 'Fuji' apple trees. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 6:380-386.
- Paz-Vergara, J.E., A. Vasquez, Y.W. Iglesias, and J.C. Sevilla. 1980. Root development of the sugarcane cultivars H32-8560 and H57-5174, under normal conditions of cultivation and irrigation in the Chicama Valley. In Congress ISSCT (17, Manila, Philippines.). Proceedings. p.534-540.
- Qin, R., P. Stamp, and W. Richner. 2006. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland. *Soil Tillage Res.* 85:50-61.
- RCA. 1993. *Agricultural technology glossary*. Rural Cultural Association. Tokyo, Japan (in Japanese).
- Reicosky, D.C., R.J. Millington, A. Klute, and D.B. Reters. 1972. Patterns of water uptake and root distribution of soyabeans (*Glycine max*) in presence of a water table. *Agron. J.* 64:292-297.
- Russel, R.S. 1977. *Plan root systems: their functions and interaction with the soil*. New York, Mc GrawHill.
- Weaver, J.E. and W.E. Bruner. 1927. *Root development of vegetable crops*. 1st ed. McGraw-Hill, New York, London.
- Wiesler, F. and W.J. Horst. 1994. Root growth and nitrate utilization of maize cultivars under field conditions. *Plant Soil* 163:267-277.
- Yoo, S.J., K.S. Whang, S.I. Kim, and K.W. Chang. 1996. Effect of organic amendments on rhizosphere microflora of tomato plant. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:297-302.
- Zeng, X. 2001. Global vegetation root distribution for land modeling. *J. Hydrometeorol.* 2:525-539.

Appendix

Root zone depth for major crops in USDA (NRCS,1983), Taiwan (AVRDC, 1990), Canada (ARD, 2011), and North Carolina (Evans et al., 1996).

Crop	Root depth in cm			
	Canada, ARD	Taiwan, AVRDC	USA, NRCS	USA, North Carolina
Alfalfa hay	120	-	120~180	150
Asparagus	50~100	-	180	-
two-rowed barley	-	-	-	120
Beans, dry	30~60	45	60	90
Snap beans	-	110	-	120
Beet, table	-	-	60~90	90
Broccoli	-	-	60	90
Cabbage	-	60	60	90
Canola	50~100	-	-	-
Cantaloupes	-	-	60~120	120
Carrots	-	90	60~90	90
Cauliflower	-	60	60	90
Celery	-	60	60	-
Cherries	-	-	75~120	-
Corn, field	50~100	-	60~120	120
Corn, sweet	-	90	90	120
Cotton	-	-	105	150
Cucumber	-	90	60	90
Eggplant	-	90	60	120
Garlic	-	60	30~60	-
Grapes	-	-	90~150	-
Kale	-	-	-	60
Lettuce	-	30	30~60	60
Melons	-	155	90~120	-
Mustard	-	-	-	60
Oats	-	-	60~90	-
Okra	-	110	-	120
Olives	-	-	90~120	-
Onions, dry	-	30	30~60	60
Peas, fresh	40~70	-	30~60	90
Peanuts	-	-	-	120
Peaches	-	-	60~120	-
Peppers	-	90	60~90	90
Potato, Irish	60	-	60~90	-
Potato, sweet	-	-	60~90	-
Pumpkins	-	-	90~120	-
Radishes	-	45	30	-
Rutabagas	-	-	-	90
Spinach	-	-	30	60
Squash, Summer	-	90	30~60	-
Strawberries	-	-	30~60	60
Timothy hay	50	-	-	-
Tobacco	-	-	-	90
Tomatoes	-	120	60~120	90
Turnips	-	-	45~75	90
Watermelon	-	-	-	120
Wheat	50~100	-	-	-