

土性和容積密度가 最少生育制限水分範圍에 미치는 影響

趙仁相 · 玄炳根 · 趙顯準 · 張龍善 · 慎齊晟

Effects of Soil Texture and Bulk Density on the Least-Limiting Water Range

In-Sang Jo, Byung-Keun Hyun, Hyun-Jun Cho, Yong-Seon Jang and Jae-Sung Shin

ABSTRACT

Three soils, sandy loam, loam and silty clay loam, were selected and three inches soil cores with 4 bulk density(BD) levels were made by compressing the soils wetted with 3 levels water. Mechanical and water characteristics were measured and analyzed the mechanical resistance limiting water, available water and least-limiting water range. Mechanical resistance limiting water(MRLW) were appeared at higher bulk density than 1.6Mg/m³ in sandy loam, and 1.4Mg/m³ in loam and silty clay loam. The least-limiting water ranges were sharply decreased at the bulk density 1.6Mg/m³ in sandy loam and loam, 1.4Mg/m³ in silty clay loam. There were big differences between available water contents and least limiting water ranges in finer texture and higher bulk density soils.

Key words : Mechanical resistance limiting water, Least-limiting water range, Bulk density, Available water, Texture.

緒 言

작물생육에 직접적으로 영향을 미치는 토양의 물리적 성질은 水分 및 공기의 함량, 地溫, 硬度(抵抗) 등이며, 이들 직접요인들은 토양의 容積密度, 土性, 입단크기 및 발달정도, 공극분포 등에 따라 좌우된다(Gupta 1994). 식물생육에 이용되는 수분은 단순한 건조중량에 의한 水分含量보다는 식물뿌리가 흡수하는데 소요되는 에너지를 나타내는 水分張力과 밀접한 상관이 있다(De Boodt and Verdonk 1972). 한편 장력이 낮은 土壤水分이 많더라도 酸素供給能力이 없으면 식물뿌리는 양분이나 水分을 흡수하는데 필요한 에너지를 만들지 못하므로 흡수가 정지되며(Kuboda 1987), 경도가 너무 단단하다면 뿌리는 신장을 하지 못하므로 생육이

나쁘게 된다(조 등 1977).

작물의 종류와 생육시기에 따라 適正酸素擴散係數는 차이가 있으나 대개 0.20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{min}$ 을 임계치로 보고 있으며, 공극의 크기와 배열에 따라 차이는 있지만 토양 중 공기량이 10~20% 이상이 되어야 작물생육이 양호한 것으로 밝혀졌다(조 등 1987; Hasegawa 1994). 토양경도는 주로 土性和 容積密度 및 水分含量에 따라 항상 변하고 있으며, 작물뿌리의 특성에 따라 차이는 있겠으나 전반적으로 15~20kg/cm² 이상이 되면 뿌리 신장에 장애가 일어나고 있다. 보수력은 실제로는 토양 표면의 親水程度와 공극의 크기 및 연결 특성에 따라 좌우되는데 이들은 土性和 容積密度에 따라 크게 영향을 받게 된다(오와 임 1967; 조 등 1985; Gabrielle et al. 1995; Jeffrey 1995).

* 農村振興廳 農業科學技術院(National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea.)

이와같이 토양에 간직된 물이 비록 保水力으로는 10kPa에서 1,500kPa 사이에 있다 하더라도, 토양경도가 20kg/cm² 이하로 낮고, 通氣에 필요한 氣相이 10% 이상 되었을 때의 水分만이 실제로 작물이 아무런 제한없이 흡수 이용할 수 있으므로, 이를 非制限水分範圍(Non-Limiting Water Range : NLWR, Letey 1985; Topp et al. 1994) 또는 最少生育制限水分範圍(Least-Limiting Water Range : LLWR, Da silva et al. 1994) 라고 하여 식물이 정상생육을 할 수 있는 척도가 된다.

본 연구는 우리 나라의 주요 밭의 근권토양을 가지고 土性과 容積密度를 달리하였을 때의 最少生育制限水分範圍를 파악하고 有效水分含量과 비교하므로써 耕作물생산을 위한 토양관리에 기여코자 실시하였다.

材料 및 方法

우리나라 밭 토양중 土性이 相異한 상주 사양토, 연곡 양토, 화동 미사질식양토에서 표토를 採取風乾후 2mm 체를 통과시켜서 土性은 입자의 沈降速度에 따른 Pipette 법으로 분석하고, 保水力은 토양을 Porous plate 상에서 24시간 물로 포화시킨 후 Pressure chamber에서 각각 10kPa, 33kPa, 1.5MPa을 가하여 여액이 멈춘 후 水分함량을 측정하였으며(Klute 1986), 일반 화학성은 농업기술연구소 토양분석법에 의하여 분석하였다(농업기술연구소 1988). 土性 및 容積密度별로 作物뿌리신장에 제한을 주는 硬度 20kg/cm² 이상의 水分含量을 구하기 위하여 土性별로 각각 3수준의 물을 분무기로 뿌리면서 토양과 혼합한 후에 밀봉하여 항온조건에서 24시간 후에 水分含量을 측정하고, 容積密度가 1.2, 1.4, 1.6, 1.8Mg/m³이 되도록 6반복으

로 무게를 평량하여 3" Core 에 담고 壓縮機로 균일하게 壓密시켰다.

Core 시료의 경도는 직경 2.46mm, 높이 11.24mm 의 金屬圓錐를 관입시키면서 30kg Ring gage (Peacock No.107)를 이용하여 압력을 측정하여 단위 면적당 압력 kg/cm² 로 환산하여 경도 20kg/cm² 에 해당하는 水分含量을 硬度制限水分含量(Mechanical Resistance Limiting Water : MRLW)으로 하였다.

관행적인 有效水分含量은 사양토 10kPa, 양토 및 식양토는 33kPa 水分에서 1.5MPa 水分量인 萎凋係數(Wilting Point : WP)를 漚 값으로 하였으며 最少生育制限水分範圍(Least Limiting Water Range : LLWR)는 氣相이 10% 이상인 경우에는 圃場容水量(Field Capacity : FC)에서 硬度制限 水分含量과 萎凋係數(Wilting Point : WP)를 비교하여 큰값을 漚 값이고, 포장용수량 조건에서 氣相이 10% 이하일 경우에는 通氣性 孔隙(Aeration Porosity : AP)을 10% 확보하여야만 作物생육이 이상이 되므로 10%-氣相(%) 값을 다시 감하였다(Letey 1985 ; Topp et al 1994).

結果 및 考察

토양의 粒徑分布는 표 1과 같이 사양토는 모래 61.2%, 미사 24.6%, 점토 14.2% 이었으며, 양토는 모래, 점토, 미사함량이 각각 43.6%, 41.8%, 14.6% 이었고, 미사질식양토는 미사 56.0%, 점토 34.0% 로써 세 토양간에는 모래와 미사함량이 차이가 있었다.

保水力도 10kPa에서 사양토 21.8%, 양토 27.9%, 미사질식양토 41.4%로 차이가 컸으며, 이들 토양의 萎凋係數는 각각 7.3%, 7.9% 및 17.3%로 사양토와 양토는 비슷하였다.

Table 1. Physico-chemical properties of soils

Soil	Particle size distribution			Moisture retention(KPa)			pH	OM	CEC	Extractable Cation			
	Sand	Silt	Clay	10	33	1500				Ca	Mg	Na	K
				(%)				(%)		(cmol ⁺ /kg)			
Sandy loam	61.2	24.6	14.2	21.8	18.3	7.3	5.4	0.45	6.65	3.38	0.63	0.17	0.13
Loam	43.6	41.8	14.6	27.9	24.0	7.9	5.8	0.93	7.70	3.13	0.49	0.09	0.28
Silty clay loam	10.0	56.0	34.0	41.4	35.6	17.3	5.8	1.79	12.70	4.38	0.65	0.13	0.29

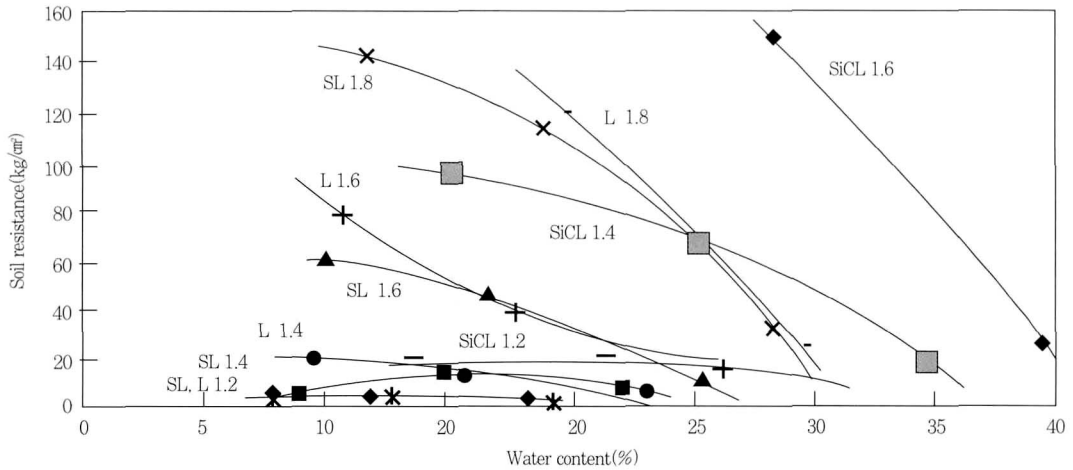


Fig. 1. Changes of soil resistance by water contents at different textures and bulk densities

有機物 含量은 사양토가 0.45%로 가장 낮았고, 양토 0.93%, 식양토 1.79%로 우리 나라 평균치인 2.3% 보다는 낮은 수준이었고, 보수력과 관계가 있는 1가 이온인 Na, K의 합계는 0.30~0.42cmol/kg 범위로 큰 차이가 없는 肥沃도가 보통인 토양이었다.

그림 1에서 土性 및 容積密度別로 水分含量에 따른 토양경도 변화를 보면 토양경도는 수분함량이 증가될수록 감소되었는데 토양이 細粒質일수록, 容積密度가 높을수록 변화가 현저하였다.

세토양 모두 容積密度 1.2Mg/m³에서는 경도 20kg/cm²를 초과하는 硬度制限水分範圍가 나타나지 않았으며, 容積密度 1.4Mg/m³에서 사양토는 가장 높은 경도치가 13kg/cm²에 불과하였고, 양토에서는 수분함량 9.0%에서 20kg/cm²에 달하였다. 미사질식양토에서는 수분함량이 34.2%가 되어야 토양경도를 20kg/cm² 이하로 낮출 수 있었다.

한편 容積密度 1.6Mg/m³인 경우에 硬度制限水分含量은 사양토와 양토가 각각 23.2%와 23.4%로 큰 차

Table 2. Comparison of soil available water and least-limiting water range at different textures and bulk densities

Texture	Bulk density(Mg/m³)	FC	WP	AW	MRLW	AP	LLWR
		(%)					
Sandy loam	1.2	26.2	8.8	17.4	-	28.5	17.4
	1.4	30.5	10.2	20.3	-	16.7	20.3
	1.6	34.9	11.7	23.2	23.2	10.0	6.4
	1.8	32.1	13.1	19.0	29.8	2.3	-
Loam	1.2	28.8	9.5	19.3	-	25.9	19.3
	1.4	33.6	11.1	22.5	9.0	13.6	22.5
	1.6	38.4	12.6	25.8	24.7	10.0	4.9
	1.8	32.1	14.2	17.9	30.0	2.1	-
Silty clay loam	1.2	42.7	20.8	21.9	-	12.0	21.9
	1.4	47.2	24.2	23.0	34.2	10.0	3.0
	1.6	39.6	27.7	11.9	39.6	-	-

* FC : Field capacity
MRLW : Mechanical resistance limiting water
LLWR : Least-limiting water range

WP : Wilting point
AP : Aeration porosity

AW : Available water

이가 없었으나, 미사질식양토는 水分含量이 39.6%가 되어야 토양경도를 뿌리발육에 크게 제한이 되지 않는 20kg/cm² 이하로 낮출 수 있었는데 이때의 水分 含量은 포장용수량과 같은 수준이었다. 容積密度 1.8Mg/m³일 경우의 硬度制限水分含量은 사양토와 양토가 각각 29.8% 와 30.0%로 비슷하였고, 미사질식양토로써는 容積密度 1.8의 Core를 만들 수 없었다.

표 2에서 砂壤土인 경우 容積密度의 증가에 따른 最少生育制限水分範圍(LLWR)의 변화를 보면, 容積密度가 1.2Mg/m³에서 1.8Mg/m³로 증가될수록 물이나 공기가 들어갈 수 있는 총공극량은 54.7%에서 32.1%로 감소되고 固相의 증가에 따라 萎凋水分含量도 거의 비례적으로 증가하게 된다. 容積密度 1.2Mg/m³와 1.4Mg/m³에서는 위조함수량에서도 20kg/cm²에 이르지 못하지만, 容積密度 1.6Mg/m³에서는 硬度制限水分含量이 23.2%로써 萎凋係數 11.7%의 두배에 해당된다. 容積密度가 1.8Mg/m³로 증가되면 경도한계점은 水分含量 29.8%에 이르게 되므로 위조함수량 13.1%를 제외한 16.7%의 水分은 단지 토양경도가 높기 때문에 작물이 정상적으로 흡수 이용할 수 있는 범위에서 벗어나게 된다.

한편 10kPa에서 토양공극량은 容積密度 1.2Mg/m³에서는 28.5%, 容積密度 1.4Mg/m³에서는 16.7%로 크게 감소되었고, 容積密度 1.6Mg/m³에서는 공극량이 4~5% 밖에 되지 못한다. 그러므로 最低通氣孔隙 10%를 제외하면 작물이 정상생육을 할 수 있는 水分範圍는 겨우 6.4%로 축소되어, 容積密度가 1.2Mg/m³와 1.4Mg/m³일 때의 最少生育制限水分範圍 17.4%와 20.3%에 비하여 현저한 차이가 있으며 容積密度 1.8Mg/m³에서는 경도제한 水分含量이 29.8%로써 총공극량 32.1%에서 겨우 2.3%만이 남게되므로 이는 限界通氣孔隙 10%에도 크게 부족되므로 작물의 정상생육은 불가능한 것이다.

이러한 경향은 壤土에서도 비슷하여 관행적인 有效水分含量은 容積密度 1.6Mg/m³에서 25.8%로 최고수준을 나타내고, 나머지는 17.9%~22.5% 범위이었으나 最少生育制限水分範圍는 容積密度가 변화됨에 따라 차이가 뚜렷하였다. 容積密度 1.8Mg/m³에서는 硬度制限

水分含量이 30.0%로써 총공극량 32.1%중에서 2.1%밖에 여유가 없으므로 통기성공극량 10%를 확보하기도 불가능한 것이다.

한편 微砂質壤土에서는 有效水分含量이 容積密度 1.4Mg/m³에서 23.0%로 최고치를 보였다. 容積密度가 1.6Mg/m³으로 증가되면 有效水分含量이 11.9%로 떨어졌지만, 最少生育制限水分範圍는 容積密度 1.2Mg/m³에서만 21.9%이었을 뿐, 容積密度가 1.4Mg/m³로 증가되면 水分含量이 34.2%까지는 한계경도를 초과하므로 총공극량 47.2%에서 남게 되는 13.0%로서는 작물뿌리가 호흡하고 水分을 흡수하면서 생육하기는 어려울 것이 사실이다.

이상의 결과로써 萎凋係數가 硬度制限水分範圍를 초과하는 容積密度가 낮은 粗粒質土壤에서는 有效水分含量과 最少生育制限水分範圍와 차이가 적지만 容積密度가 1.6Mg/m³ 이상으로 높은 粗粒質土壤이나 容積密度가 1.4Mg/m³ 이상인 細粒質土壤에서는 最少生育制限水分範圍가 유효수분함량보다 현저히 축소되므로 이들 토양은 토층개량을 통하여 最少生育制限水分範圍를 넓혀주는 것이 무엇보다도 중요할 것이다.

結 論

土性別 容積密度에 따른 最少生育制限水分範圍를 구명하고자 사양토, 양토, 미사질식양토를 가지고 水分含量이 3수준, 容積密度 3~4수준의 Core를 만들어서 金屬圓錐로 土壤硬度를 측정하고 수분특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

토양경도가 20kg/cm²에 이르는 土壤水分含量 즉 硬度制限水分含量은 사양토에서는 容積密度 1.6Mg/m³에서 23.2%, 容積密度 1.8Mg/m³에서 29.8%이었고, 容積密度 1.4Mg/m³ 이하에서는 나타나지 않았으나, 미사질식양토에서는 容積密度 1.4Mg/m³에서 34.2%, 容積密度 1.6Mg/m³에서 39.6%로 현저히 높은 수준이었다.

砂壤土에서의 最少生育制限水分範圍는 容積密度 1.2, 1.4Mg/m³에서 각각 17.4%, 20.3% 이었고, 容積密度 1.6Mg/m³에서는 6.4%로 급격히 떨어졌으며, 容積密度 1.8Mg/m³에서는 硬度制限 및 氣相 부족으로 最

少生育制限水分範圍가 나타나지 않았다.

壤土에서의 最少生育制限水分範圍는 容積密度 1.2, 1.4Mg/m³에서 각각 19.3%와 22.5% 이었으나, 容積密度 1.6Mg/m³에서는 4.9%로 떨어졌으며, 微砂質植壤土에서는 容積密度 1.2Mg/m³에서 21.9%가, 容積密度 1.4Mg/m³에서는 3.0%로 급격히 떨어지고 容積密度 1.6Mg/m³에서는 나타나지 않았다.

토양이 粗粒質이고 容積密度가 낮을 때는 有效水分含量과 最少生育制限水分範圍간에 큰 차이가 없었으나, 細粒質土壤에서 容積密度가 1.4Mg/m³이상일 때는 最少生育制限水分範圍는 有效水分含量에 비하여 현저히 감소되었다.

引用文獻

Busscher, W.T. 1982. Improved growing conditions through soil aeration. *Soil Sci. Plant Anal.* 13(5):401~409.

Da Silva, A.P., B.D.Kay and E.Perfect., 1994. The least limiting water range : an index of the structural quality of soils for crop growth. p. 129~130. In 15th World Congress of Soil Science. Vol. 2b commission I : Poster sessions, Transactions. July 10~16, 1994. Acapulco, Mexico.

DeBoodt, M., and O.Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26 : 37~44.

Gabrielle, B., S.Menasseri and S Mout. 1995. Analysis and field evaluation of the ceres models water balance component. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59 : 1403~1412.

Gupta, R.P. 1994. Physical rating of coarse textured soils to quantify production potential for sorghum. p. 306~311. In 15th World Congress of Soil Science. Vol. 5a. Symposia Transactions. July 10~16, 1994. Acapulco, Mexico.

Hasegawa, S. 1994. Evaluation of water and oxygen supply ability of soils to suffice the demands of crops. *Soil Physical Conditions and Plant Growth* 69(S) : 55~66.

Jeffrey, S.K. 1995. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1134~1141.

Klute, A. 1986. Method of soil analysis. part 1. 2nd ed. *Agronomy* 9 : 635~662.

Kuboda, T. 1987. Soil physical analysis for soil diagnosis in extension. *Soil Physical Condition and Plant Growth.* 55 : 2~4.

Letey, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.* 1 : 277~294.

Topp, G.C., F.G.Cook and K.C.Wires. 1994. Non-limiting water range (NLWR) in selected soil and refining the aeration limits. p. 50~51. In 15th World Congress of Soil Science. Vol. 2b, Commission 1. Poster Sessions, Transactions, July 10~16, 1994. Acapulco, Mexico.

농업기술연구소, 1988. 토양화학분석법 p. 38~124. 수원

오재섭, 임정남. 1967. 우리나라 대표 토양의 물리성에 관한 연구. *농시연보* 10(3) : 1~7.

조인상, 임정남, 조성진. 1977. 토양의 경도가 완두뿌리의 신장에 미치는 영향. *한토비지* 10(1) : 7~12.

조인상, 허봉구, 김이열, 조성진. 1985. 우리나라 토양의 물리화학적 특성 상호 관계에 관한 연구. *한토비지* 18(2) : 134~139.

조인상, 허봉구, 김이열, 조영길, 엄기태. 1987. 밭토양 물리성과 고추생육과의 상관연구. *한토비지* 20(3) : 205~208.