土壌の物理性と作物の生育および収量との関係

第Ⅱ報 土壌の粗密・土壌水分の多少が作物の生育および収量におよぼす影響*

渡 辺 和 之・児 玉 敏 夫

(農林省農事試験場畑作部)

前報で播種時の土壌の粗密が、作物の発芽、初期生育におよぼす影響を検討し、土壌の粗密の影響は、土壌硬度(土壌中への貫行抵抗値で示すものを土壌硬度とする)、土壌通気性の良否が関係し、作物の種類によってその受け方が異なることを報告した³⁾。しかし土壌硬度、土壌通気性の良否は土壌の粗密だけでなく、土壌水分の多少で変り、多湿になれば土壌硬度が低くなり、土壌通気性は悪くなる。また作物の生育時期によって土壌の物理性への影響は異なるから⁴⁾、初期生育以降の生育についても検討する必要がある。そこで土壌の粗密、土壌水分の多少による土壌の物理性の変化が、作物の生育収量におよぼす影響について調査した。試験は 1961 年に実施された。

試 験 方 法

ポット試験とし、供試作物・品種・施肥量は第1表の通りである。試験区は土壌の粗密(土壌膨軟区、緊密区)、土壌水分の多少(湿潤区、適湿区、乾燥区)を組合せた6処理である。土壌の粗密処理は土を軟らかく充填した膨軟区およびつきかためた緊密区とした。土壌水分の多少処理は地下水位の高低で調節し、湿潤区はポットの底から 15 cm の高さまで水がたえずあるように地表面より灌水し、適湿区は湿潤区と同様な方法で 5 cm に保ち、乾燥区は作物の葉が朝または夕方萎凋したとき、その都度一定量の水を灌水した。土壌水分処理は 6 月 1 日から収穫期まで実施した。試験場所はガラス室、胡瓜のみ病害の発生を防ぐため野外にポットをおき、ポットのみ被覆して雨水による土

第1表 供試作物・品種、施肥量

作物名	品種名	施肥量(ポット当 g)*					反 覆 (株/ポット)
		硫 安	過石	硫加	石灰	石灰	
陸 稻	農林24号	10+5**	18	4	—	—	4(2)
大 豆	兄	2	18	4	10	—	4(2)
甘 藷	農林1号	7	6	6	—	—	5(2)
青 刈 玉蜀黍	交 1 号	20	12	4	—	—	5(1)
胡瓜***	霜 不 和	10+5+5	24	8	10	—	5(1)

備考 * 肥料 1/2000 a ワグネルポットの上層 1/3 の土壌に混合

** 追肥をあらわす。第1回 6 月 27 日、第2回 7 月 29 日。

*** 胡瓜、直播本葉 6 葉摘心、2 本仕立。

* 昭和 40 年 1 月 21 日受理

壌水分の変化を防いだ。播種期 5 月 18 日、甘藷挿苗期 5 月 19 日。なお、主として土壌処理が作物の全重、収量におよぼす影響についてのべるが、全重とは全植物体重で収量・根重を含み、収量とは収穫を目的とした部分を意味し、陸稻=穀重、大豆=粒重、甘藷=塊根重、青刈玉蜀黍=地上部重、胡瓜=果実である。

試 験 結 果

(1) 土壌の物理性：供試ポケットの土壌の物理性は第2表の通りである。土壌容積重は土壌膨軟区が軽く、土壌緊密区で重かつたが、土壌水分処理によって多少差異がみられ、湿潤区では灌水によって土が緊密になり、土壌容積重がやや増加した。土壌の三相分布は土壌が緊密になつたり、土壌水分が多くなると気相の割合を大幅に減少した。全孔隙率は土壌の粗密によって異なり、土壌が緊密になると減少し、また多湿になるとやや少なくなる傾向をみとめた。通気性、透水性は土壌が膨軟な場合や、乾燥する場合大となつた。

第2表 試験区の土壌の物理性

項 目 処 理 区	土 壤 容 積 重 g/cc	全 孔 隙 率 %	土 壤 三 相 割 合 * 氣 相 液 相 固 相			通 気 性 ** 圧	透 水 性 ** 圧
			%	%	%		
膨 軟 区	湿潤	0.74	71	8	63	29	0.09
	適湿	0.64	71	27	44	29	0.04
	乾燥	0.63	74	52	22	26	0.01
緊 密 区	湿潤	0.89	61	3	58	39	0.62
	適湿	0.85	64	6	58	36	0.44
	乾燥	0.83	65	40	25	35	0.23

備考 8 月 15 日測定 * 実容積測定装置による測定

** 山中式透水性・透気性測定器による測定

(2) 作物の生育収量：土壌の粗密、土壌水分の多少が作物の地上部重、根重、収穫物におよぼす影響をみると第3表の通りである。この結果を土壌膨軟・適湿区に対する割合(全重・収量)でみると第1図の通りである。

まず湿潤区の場合をみると、陸稻の収量は土壌の粗密を問わず適湿区と大差がなかつたが、他の作物は、湿潤区で減収した。特に土壌が緊密になると、湿潤の悪影響を強く受け、なかでも甘藷・胡瓜が著しい。土壌が膨軟になると一般に湿潤処理による影響は緩和されたが、甘藷の塊根は膨軟区でも湿潤処理による減収程度が高かつた。全重について湿潤処理の影響をみる

第3表 土壌の粗密、土壌水分の多少が作物の生育収量におよぼす影響（1株当たりg）

土壌粗密 の項目	作物 土壌水分	陸 稻			大 豆			甘 藷			青刈玉蜀黍		胡 瓜		
		地上部重	根重	精粒重	地上部重	根重	総粒重	地上部重	細根重	塊根重	地上部重	根重	地上部重	根重	果数(本)
土膨軟 壤区	湿潤	117.5	8.5	42.2	39.5	4.7	22.1	66.5	7.0	7.1	109.0	23.5	1084	48	6.8
	適湿	108.0	7.9	43.0	50.2	4.2	27.4	56.5	2.8	21.2	109.5	15.6	1269	51	7.5
	乾燥	31.6	7.8	2.3	12.3	2.3	5.3	34.1	1.4	3.9	81.5	13.7	206	31	0.8
土緊密 壤区	湿潤	100.3	8.7	33.3	21.1	2.6	12.0	62.0	6.4	0.04	76.5	18.7	182	27	1.0
	適湿	82.8	5.9	30.6	39.3	4.0	20.1	61.2	2.5	17.3	98.7	15.7	1138	30	6.6
	乾燥	35.6	6.0	3.2	13.2	2.0	5.1	32.7	0.9	5.6	66.5	15.6	395	19	2.0

備考 1) 地上部重：地上部全重（陸稻＝籾重、大豆＝粒重、甘藷＝地下茎、胡瓜＝果重を含む）

2) 胡瓜のみ生体重、他の作物は乾物重で示す。 3) 収穫期、甘藷 10 月 11 日、青刈玉蜀黍、雄穂抽
出期、胡瓜 8 月 21 日までに収穫された果数、果実は重さ 100 g 長さ 20 cm を基準に収穫した。

と、甘藷以外の作物は、収量の傾向に類似し、陸稻は湿潤区で増加し、胡瓜・大豆・青刈玉蜀黍は土壌緊密・湿潤区で生育が抑えられ、全重を減少したが、土壌膨軟区でその障害は少なくなり、青刈玉蜀黍ではやや増加した。しかし甘藷の全重は、塊根重の傾向と異なり、湿潤処理による悪影響は土壌の粗密をとわず少なく、土壌が膨軟であれば適湿区と大差のない生育を示した。

適湿区では土壌が緊密になると、いずれの作物も減収したが作物の種類、土壌の粗密による収量差は湿潤区ほどは大きくなかった。しかしこの範囲内では、陸稻・大豆が土壌の緊密による減収が大きく、青刈玉蜀黍は小さかった。甘藷・胡瓜は土壌が緊密になると、湿潤区では大幅に減収したが、適湿区では影響が比較的少なかった。全重についてみると、甘藷以外の作物は土壌が緊密になると減少したが、甘藷は地上部の生育がよくなり、全重の差異はみられなかった。

乾燥区の場合は、土壌水分の減少が制限因子として大きく作用し、全重、収量とも著しく少なくなった。収量については、陸稻が最も乾燥の影響を大きく受け減収し、次いで大豆・胡瓜・甘藷であり、青刈玉蜀黍が最も影響を受けにくい。土壌の粗密による収量の差異は少なかったが、土壌が緊密になると、青刈玉蜀黍・大豆は減収し、胡瓜・甘藷・陸稻はかえって増加した。全重については、胡瓜・大豆が乾燥の影響を大きく受けて減少し、次いで陸稻・甘藷であり、青刈玉蜀黍は最も乾燥の悪影響が小さかった。土壌の粗密では緊密の影響を大きく受け減少したのが青刈玉蜀黍で、逆に全重を増加したのが胡瓜であった。

以上の結果土壌容気率の大小との関係でみると、第2図のようである。各作物とも土壌容気率が低下すると収量は少なくなることが認められる。しかし土壌容気率の低下による収量の減収程度は、作物の種類によつて異なり、陸稻はその程度が小さく、次いで青刈玉蜀黍である。甘藷、胡瓜はその影響を大きく受け著しく減収した。一方土壌容気率が高い場合は、土壌通気不良の悪条件が除かれ、作物の収量は多くなつたが、

土壌容気率があり高くなると土壌水分が相対的に少なくなり、乾燥障害をみられるようになる。

全重は収量と同様な傾向を示し、土壌容気率が低下すると減少したが、甘藷のみは塊根重ほどその影響を強く受けず、この試験結果では土壌容気率が5%以下でなければ生育阻害がみられなかった。また甘藷は第

第1図 土壌膨軟・適湿区に対する各処理区の全重、収量割合。

第2図 作物の全重・収量と土壤容気率の大小との関係

備考 土壤膨軟・適湿区に対する各処理区の全重，収量割合を示す。

○ 全重割合 ● 収量割合 実線は収量割合の傾向を示す。

3表でみられるように塊根重と細根重が，土壤処理によつて大きく異なり，細根重は土壤容気率が小さい条件でも土壤水分が多い所で増加した。

このように作物の種類によつて生育に適する土壤容気率が異なり，また作物の部分によつて違いがみられた。

結果のとりまとめと考察

土壤が緊密になると土壤硬度が高くなり，根の伸長に機械的障害をあたえ，作物の生育は抑えられる⁷⁾。また土壤容気率は減少し，土壤通気が阻害されるため根の呼吸や，養水分の吸収など根の生理的機能が低下する^{2,5)}。一方土壤水分は多くなると，土壤容積重が同じでも土壤硬度が低くなり，土壤容気率が減少する⁷⁾。したがつて土壤の粗密，土壤水分の多少が作物の生育収量におよぼす影響は，土壤の物理性よりみると，おもに土壤通気，土壤硬度，土壤水分が関与したものと考えられる。

まず陸稲は湿潤区での全重，収量が高く，土壤容気率の低下による生育阻害を受けにくく，生育初期と同様⁹⁾，土壤通気阻害の影響があまりみられなかつた。これは陸稲の根は巨大の細胞間隙を作り⁹⁾，通導組織の発達がよいため，土壤通気を阻害する土壤条件での適応性が高いためと考えられる。このことから土壤緊密処理による全重，収量の低下は，土壤通気阻害による影響よりも，土壤硬度の増大による影響が大きく作用したものとみられた。一方陸稲の全重，収量は水分不足によつて著しく阻害され，土壤水分の多少が他の供試作物よりは，大きく影響することがわかつた。

大豆は適湿区の全重，収量が最も多く，湿潤区および乾燥区で少なかつた。土壤の粗密処理では土壤が緊密になると減少し，土壤容気率の低下による生育阻害がみられた。大豆は播種期に土壤が緊密状態であると初期生育を大きく阻害するが⁹⁾，収量に対してもマイナスに作用した。また大豆にあつては湿潤区で土壤の粗密をとわず収量を低下して，土壤通気阻害の影響がみられたが，大豆は通導組織の発達が悪く¹⁾，このような土壤条件での適応性が低いためと考えられる。

甘藷にあつては地上部重，塊根重に対する土壤処理の影響が異なり，塊根は土壤容気率が低下する土壤緊

密処理や湿潤処理で肥大が著しく抑えられたが，地上部や細根の生育にはこのような土壤条件での生育阻害が少なく，特に細根は土壤水分の多いことが根重を多くした。玉井⁹⁾によれば甘藷の最適土壤水分は地上部と地下部の生育で異なり，地上部の最適土壤水分が高いことをみとめた。本試験の結果から，甘藷の塊根肥大には土壤通気の良否が大きく作用するが，地上部，細根の生育には塊根が肥大ほど大きく作用しないことがわかつた。しかし潤潤区における細根重の増大は主として地表面に密集したもので，細根重の増大が必ずしも生育に有利に作用するとはかぎらない。土壤硬度の影響については潤潤区での収量の低下は大きいから，他の作物に比較して土壤硬度による生育阻害を受けにくい作物であつた。

青刈玉蜀黍は生育初期に根が地上に出るのを防ぎ土壤粗密，土壤通気処理をすると生育を大幅に抑えたが⁸⁾，雄穂抽出期の青刈収量では，土壤処理の差が他の作物に比較して少なかつた。これは生育中期よりの気根の発生や，浅根性の作物であるため土壤条件の変化による適応性が高いためと考えられる。しかし本試験では，土壤緊密・潤潤区の生育は抑えられ，また土壤の緊密処理でいずれの水分条件でも生育の阻害がみられたので，土壤通気，土壤硬度の影響をある程度受けることがわかつた。

胡瓜は土壤緊密・潤潤区で生育が著しく阻害され，また乾燥区で収量を低下したが，この場合土壤緊密区の方がその障害が少なかつた。胡瓜は通気要求度の高い作物といわれ³⁾，本試験結果でも土壤容気率の低下によつて全重，収量は，甘藷塊根と同じように大きく抑制され，土壤通気阻害による影響を大きく受けた。しかし土壤硬度の増大による生育阻害は，浅根性作物であるためか大きな影響がみられなかつた。

以上のように土壤粗密，土壤水分の多少によつて変化する土壤の物理的性質が，作物の生育収量におよぼす影響は，作物の種類によつて異なつたが，第2図に示すように供試作物を通じて土壤容気率の大小に規制されるところが大きい。しかしその影響は作物の種類また作物の部位によつて異なることがわかつた。

引用文献

1. 有門博樹 1954. 大豆の過温に対する反応 特にその解剖学的差異について（英文）. 日作紀 23 : 28.
2. BERTRAND A.R and H. KOHNKE 1957. Subsol conditions and their effects on oxygen supply and the growth of corn roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21 : 141.
3. 位田藤久太郎 1953. 蔬菜の根の生理に関する研究 第1報 蔬菜の根の酸素要求に就いて. 園学誌 21 : 202.
4. 児玉敏夫・野本達郎・渡辺和之 1959. 土壌通気と甘藷の生育収量との関係 第1報 土壌の粗密肥料の多少と生育収量. 日作紀 27 : 372.
5. LAWTON, K 1945. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrient by corn plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 10 : 263.
6. 王井虎太郎 1956. 畑作用水法の合理化に関する研究. 愛媛大学紀要. 農学 2 : 157.
7. TARLOR H.M. and H.R. GARDNER 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. Soil Sci. 96 : 153.
8. 渡辺和之・児玉敏夫 1965. 土壌の物理性と作物の生育および収量との関係. 第1報 日作紀 投稿中.
9. 山崎伝 1952. 畑作物の湿害に関する土壌化学的並びに植物生理学的研究. 農技研報告 B1 : 1.

Studies on the Effects of Soil Physical Conditions on the Growth and Yield of Crop Plants

II. Effects of the bulk density and moisture content of soil on the growth and yield of crop plants.

Kazuyuki WATANABA and Toshio KODAMA

(Central Agricultural Experiment Station, Kitamoto, Saitama)

Summary

Using upland rice, soybean, sweet potato, soiling corn and cucumber as specimens, the authors studied the effects of the soils of different bulk densities and moisture contents (in this experiment, brown-colored volcanic ash soil was used) would have on the growth and yield of crop plants.

The result was that the effects of the varying soil physical conditions due to the difference in its bulk density and moisture content were different depending on the kind of the crop plants used. But in all the kinds, conditions were largely influenced by the magnitude of the soil air capacity. In fact, the yield was lowered when the capacity in question was extremely small (or when the soil bulk density or moisture content was relatively high). In this case, the rate of decrease in the yield differed according to the kind of crop plants—the rate was high in the case of sweet potato plants (weight of tuberous roots), cucumber plants (number of fruits) and soybean plants (weight of grains), and was relatively low in the case of upland rice (weight of grains) and soiling corn (weight of parts protruding above the ground).

In the authors' experiment, the yield of crop plants increased with the rise of the soil air capacity. When this capacity rose beyond a certain level, however, the moisture content of the soil decreased correspondingly, and as a result, the yield was lowered. This phenomenon was especially evident in the case of upland rice, and was least noticeable in soiling corn. Thus, the soil air capacity favorably affecting the yield of crop plants differed according to their kinds.

The influence of the soil air capacity at various levels on the total weight of crop plants was, generally speaking, similar to such influence on their yield. In the case of sweet potato plants, however, the soil air capacity required for the growth of their upper parts was different from that required for the growth of their tuberous roots. That is to say, the soil air capacity, when decreased, had less unfavorable effects on the growth of the upper parts than on the growth of the tuberous roots. This goes to show that the effects of different soil air capacities differ from one part of the crop plant to another.