

果実の収量や品質を左右する土壌の物理性および化学性

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	松岡,かおり
発行元	養賢堂
巻/号	94巻7号
掲載ページ	p. 567-578
発行年月	2019年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



果実の収量や品質を左右する土壌の物理性および化学性

松岡かおり*

〔キーワード〕：果樹園，養水分吸収，有効土層

要約

日本の樹園地は，土壌群別で褐色森林土が最も広く分布し，次いで，黒ボク土，黄色土の順に広い。本総説では，まず初めに，樹園地に分布する代表的なこれらの土壌群の物理・化学的な特徴をまとめた。果樹産地で生産される果実は，同じ産地内でも園地によって，その収量や品質（糖度）が大きく異なる。そこで，これらの差異に影響を及ぼす土壌の物理性および化学性は何なのか，特に，根が自由に伸長して正常に養水分を吸収できる有効土層の要因を具体的な事例を挙げてまとめた。具体的には，ミカン，ブドウ，ナシ，モモを対象として，収量，あるいは果実糖度の優劣から果樹園を優良園と不良園に区分し，それらの優劣に関連する土壌の物理性および化学性を挙げた。過去の報告をまとめると，深根性の果樹では，収量，あるいは果実糖度の優劣に関連する土壌の特徴は，樹種に依らず，類似した傾向がある。つまり，有効土層が深く，根が深くまで伸長できる樹は，樹勢が強く，収量は高いが，糖度が低い果実になりやすい傾向がある。一方，有効土層が浅く，根が浅く樹勢が弱い樹は，収量は低い，糖度は高い果実が生産されやすい傾向がある。優良園の土壌のもつ性質を土壌改良法などに活用することによって，園地間の土壌条件の違いから生じる収量や果実糖度の差異を改善あるいは向上させることが望まれる。

1. 日本の樹園地に分布する代表的な土壌の種類とその物理・化学的性質

日本の樹園地の面積は， 277.6×10^3 ha であり，耕

地面積（田，普通畑，樹園地，牧草地を含む）の 6.3% を占める（e-Stat, 2018）。土壌統¹⁾に基づく農耕地土壌の分類「土壌統の設定基準および土壌統一覧表第 2 次案」によると，日本に分布する耕地土壌は 16 種類の土壌群²⁾がある（土壌保全調査事業全国協議会，1979）。そのうち，樹園地は，土壌群別で褐色森林土（樹園地の耕地面積の 37%）が最も広く分布し，次いで，黒ボク土（21%），黄色土（19%）の順に広い（土壌保全調査事業全国協議会，1979）。樹園地に分布する代表的なこれらの土壌群の物理・化学的な特徴を表 1 にまとめた。黒ボク土は，固相率³⁾が低く，孔隙量が高く，果樹が自由に吸収できる水分が高く，有効土層⁴⁾が深いため良好な物理性を有する（吉田，1984）。しかし，腐植質および淡色黒ボク土の中には，下層のロームがち密なため，あるいはシラス，ボラ，浮石土などの不良土壌が介在するため落葉果樹は夏季乾燥害を受けるものが多い（土壌保全調査事業全国協議会，1979）。一方，傾斜地や丘陵地などに分布する褐色森林土や赤黄色土の中には，風化礫や基岩の出現が浅い場合には，有効土層が浅いため表層部分に根は密集し浅くなり，梅雨明けの乾燥期には干ばつの害を受けやすく，ホウ素欠乏症が発生しやすい（吉田，1984）。土壌の化学性が，果実の収量生産に問題となる場合もある。黒ボク土（火山灰土壌）は，一般にリン酸吸収係数⁵⁾が高い。黒ボク土にリン酸を施用しなかった場合には，リンゴ，ナシ，モモ，およびブドウの生育がきわめて不良となり，生育後半期には葉にリン

1) 土壌統：ほぼ同じ材料から同じような過程をとって生成された結果，ほぼ等しい断面形態をもっている一群の土壌の集まり（土壌保全調査事業全国協議会，1979）。

2) 土壌群：断面形態の主な特徴および母材，分布する地形などについて共通点をもっている一連の土壌統をまとめて土壌群とする（土壌保全調査事業全国協議会，1979）。

*前所属：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門（Kaori Matsuoka）

3) 固相率，三相分布：土壌はいろいろな粒径の固体粒子（無機粒子と有機物）「固相」とその間の孔隙とからなる。普通，細孔隙の大部分は液態水「液相」で満たされており，他の粗大な孔隙は「気相」になっている。すなわち，土壌は固相，液相，気相を含む多相系であり，これらを土壌三相という。容積 V の土壌の固相，液相，気相の容積を V_s ， V_l ， V_a とすれば，全容積 V ($V = V_s + V_l + V_a$) に対する各相の容積比はそれぞれ固相率 (V_s/V)，水分率 (V_l/V)，気相率 (V_a/V) と呼ばれる。土壌断面中における土壌三相の容積比を三相分布という（佐久間，2000；波多野，1999）。

4) 有効土層：作物の根が自由に伸長して正常に養水分を吸収できる物理的・化学的性質をもった土層（長野園，2000）。

5) リン酸吸収係数：土壌のリン固定力を表す指標の一つ（土壌環境分析法編集委員会，2000）。

0369-5247/19/A500/1 論文/JCOYP

表1 日本の樹園地に分布する代表的な土壌群の物理・化学的特徴(土壌保全調査事業全国協議会, 1979)

土壌群 (分布割合)	立地	物理的特徴	化学的特徴	分布地域	その他特徴
褐色森林土 (37%)	丘陵地, 山麓の斜面, 台地上の波状地, 平坦地などの排水良好なところ	<ul style="list-style-type: none"> ・細粒質褐色森林土のなかには下層構造の発達が弱く, ち密で透水性小さく過干や過湿となりやすいものがかなり分布する ・中粗粒質のものは保水力中～小, 透水性中～大で一般に過干のおそれがある 	<ul style="list-style-type: none"> ・本来は微酸性ないし中性の土壌 ・我が国のように降水量の多い地帯では塩基の流亡が進み塩基状態は中～不良であり, 強酸性の土壌が分布する ・化学性のうち, 保肥力(陽イオン交換容量), 固定力(リン酸吸収係数)は土壌統群⁶⁾により異なっており, 細粒質は保肥力中～大, 固定力も主として中～大, 一部小であるが, 中粗粒質では保肥力, 固定力とも中～小であり, 緩衝能は一般に小さい 	全国的に分布しているが, 地域的には北海道, 中四国, 東北に多い	<ul style="list-style-type: none"> ・畑地では腐植含量は一般に少なく表土は浅い ・緩傾斜～急傾斜地にも多く分布するため, 透水性の小さいことと相まって侵食の危険性が大きい ・表土, 有効土層が浅いために作物根の伸長が阻害され, 地上部の生育が劣る所も多く, 常習的に干害の見られる場合もある ・斜面上部からの伏流水や表面流去水の影響によって, 山麓平坦部で一時的に過湿障害が現れるところもある ・本土壌の特徴と土地利用面からみて, 土壌改良対策として重要視すべき事項は, 作土深と有効土層の確保および侵食防止である

酸欠乏症状が現れることもある(建石・熊代, 1977)。また, 褐色森林土や赤黄色土は, 下層土の酸性が強く, 下層土の交換性塩基含量⁷⁾や塩基飽和度⁸⁾が低いと収量が低くなる(高木ら, 1963a)。果実の糖度の低下, 着色のおくれなどの果実品質にも土壌の性質が影響を及ぼす。黒ボク土は土壌水分が常に高く保持されるため, 落葉果樹では根の養分吸収が旺盛であるが, 春先の地温上昇がおそく春枝の伸長が遅れる傾向にある。夏季の栄養生長は旺盛で果実

の収量が高いが着色, 成熟のおくれ, 糖度の低下などにより品質的に劣る欠点がある(土壌保全調査事業全国協議会, 1979)。

以上のように, 樹園地に分布する土壌の種類によって, その物理・化学的な性質は異なる。そしてこれらの性質が, 樹体の生育, 収量や果実糖度等の品質に影響を及ぼす。

2. 同一産地内での果樹園土壌の種類, 収量および果実糖度の園地間差異

ウンシュウミカンの産地内の果樹園は, 同一の地

6) 土壌統群: 土壌群と土壌統の中間分類単位として定められている(土壌保全調査事業全国協議会, 1979)。

7) 交換性塩基含量: 一定重量の土壌中の陽イオン交換基に, 他の陽イオンにより交換可能な形態で保持されている陽イオンの量。主に, ナトリウムイオン, カリウムイオン, マグネシウムイオン, あるいはカルシウムイオンの各イオンの量。通常, 100gあたりのミリグラム当量数(meq/100g)で示される(櫻井, 2000)。

8) 塩基飽和度: 土壌の交換性塩基のうち, ナトリウムイオン, カリウムイオン, マグネシウムイオン, およびカルシウムイオンの合計当量数を陽イオン交換容量の値で割ってパーセント値で表したもの(和田, 2000)。

表1 日本の樹園地に分布する代表的な土壌群の物理・化学的特徴（土壌保全調査事業全国協議会，1979）（続き）

土壌群 (分布割合)	立地	物理的特徴	化学的特徴	分布地域	その他特徴
黒ボク土 (21%)	火山山麓，丘陵， 台地，その傾斜地 および波状平坦 地，沖積地の一部	保水力は大きい が仮比重 ⁹⁾ が小 さく軽しょうで， 孔隙率が大きい ため塩基類の流 亡が著しい	・腐植含量の多い 表層 ・全炭素/全窒素 比が高い ・陽イオン交換容 量は大きい が塩基の吸着力が弱 いため酸性土壌 になりやすい ・塩基飽和度が低 く，塩基状態が一 般に劣悪である ・リン酸吸収係数 が特に高く，有効 リン酸含量は一 般に少ない	全国的に分布し ているが，特に北 海道，東北，関東， 東山，九州に多い	・火山灰，火山礫など の火山放出物（非固や 火成岩）から生成 ・リン酸吸収係数が大 きいため，果樹全般と してリン酸の増施効 果が大きい ・塩基の保持力が弱い ため，降雨による酸性 化が著しく，多くの果 樹にマグネシウムお よびホウ素欠乏症が 出やすい ・傾斜地に分布する園 が多い上に，受食性が 大きいため水食およ び風食によって根が 露出し，有効土層の浅 い所では生産力の低 下もみられる ・本土壌の特徴と立地 条件からみて，土壌改 良対策として重要な 事項は化学的的不良性 の解消，地力維持対策 および有効土層の拡 大である

域にあるにも関わらず，地質母材¹⁰⁾の異なる土壌が分布する（高木ら，1963b）. 各地質母材から生成した土壌は，その物理性と化学性に大きな相違があり，そこで生産される果実の収量も異なる. 例えば，優良園では 59.8~95.5 Mg ha⁻¹，不良園では 29.2~69.7 Mg ha⁻¹の収量があり，園地間の違いが大きい（高木ら，1963b）. また，ウンシュウミカンの産地内の調査対象 16 園（土壌種は不明）では，最低収量の園は平均収量 45 Mg ha⁻¹の半分以下の 13 Mg ha⁻¹であったが，最高収量の園は最低収量の園の6~7倍高い 88 Mg ha⁻¹に達した（1991年データ）（大城ら，2000）. ハウスミカンの産地内の調査対象 19 園（土壌種は不明）でも，収量は 30.6~73.0 Mg ha⁻¹の

範囲で園地によって異なり，果実糖度も 10.8~13.5%の間で異なる（瀧ら，2005）. このように，収量や果実糖度は，樹齢だけでなく土壌の性質も影響することが考えられる. それでは収量や果実糖度の差異に影響を及ぼす土壌の要因は何なのか，優良園と不良園の土壌の特徴を比較しながら見ていきたい.

3. 収量や果実糖度を左右する 果樹園土壌の物理・化学的性質

ミカン，ブドウ，ナシ，モモを対象として，収量，あるいは果実糖度の優劣から果樹園を優良園と不良園に区分し，それらの優劣に関連する土壌の物理性と化学性を明らかにする研究が行われてきた（表2）. なお，優良園と不良園は，同一産地内の園地間の差を比べており，これらが同一の土壌種をもつ園ということではない.

ミカン園（花こう岩風化土，および旧期段丘堆積

9) 仮比重：一定容積当たりの乾燥土壌重量，すなわち土壌の固相部分の重量である（松中，2003）.

10) 母材：もっとも風化を受けている土壌の断面上部が発達する材料となった非固結物で，多少とも化学的に風化を受けている鉱物や有機物（山田，2000）.

表1 日本の樹園地に分布する代表的な土壌群の物理・化学的特徴(土壌保全調査事業全国協議会, 1979)(続き)

土壌群 (分布割合)	立地	物理的特徴	化学的特徴	分布地域	その他特徴
黄色土 (19%)	台地および丘陵地の200m以下の地帯で排水良好な場所に分布	<ul style="list-style-type: none"> ・表層の下に黄色ないし黄褐色のち密な次表層がある ・下層に砂礫層を有する礫質黄色土を除いて有効土層は比較的深い ・堆積状態はち密で構造性に乏しく、物理性が不良である ・下層の透水性、通気性は小さく、硬度が大きい、乾燥状態では極めて硬く固結する ・細粒黄色土では耕起、砕土が困難で作土層が浅く、下層は孔隙が少ないため有効水分¹⁾保持量も小さい。中粗粒黄色土では保水性が小さい ・多雨期には過湿となりやすい反面、乾燥期には下層からの水分供給が少なく、土壌の保水量も小さいので過干となりやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・腐植含量の少ない表層で、土壌有機物が少ないため窒素的地力も低い ・一般に陽イオン交換容量が小さく、保肥力が小さい ・カルシウム、マグネシウム、リン酸など塩基や養分の含量が低く、酸性となりやすい ・下層の塩基状態が不良で強酸性を示す土壌が多い ・リン酸吸収係数も小さく、リン酸の固定力は弱い 	東海, 中四国, 九州に多いが, その他の地域にもかなり分布する	<ul style="list-style-type: none"> ・赤色土と類縁の土壌であって一括して赤黄色土と呼ばれる ・透水性が小さいことと相まって侵食が著しく、雨期の土壌管理が大切である ・急傾斜地では有効土層が浅いため根の伸長が阻害され、干害の恐れも大きい ・下層の透水性不良地や伏流水のあるところでは、一時的に過湿の障害があらわれる ・本土壌の特徴としては、下層土が重粘土でかつ塩基に不足する場合が多く、このことが根の伸長を妨げ、樹の生育を阻害する大きな要因となっているので、おもに根群域の拡大と下層土の養分状態を改善することに努める

物風化土)の高収量の優良園は、岩盤または盤層までの土層の深さが80cm以上がほとんどであった。それに対して、低収量の不良園は土層の深さが60cm以下の園が多く見られた。三相分布³⁾は、表層土では収量優良園と収量不良園の間に差が認められなかったが、下層土ではかなりの差が認められた(丹原・栗原, 1963)。また、ミカン園(水成岩風

化土、花こう岩風化土、安山岩風化土など)の高収量の優良園は、下層土の粗孔隙量が多く、保水性はやや乏しいが下層土からの水分供給が適正で根の分布も下層に及んでいた。一方、低収量の不良園は、下層土の固相率が高く、根の分布も粗孔隙量が減少する付近に限られていた。本結果から、根の伸長を阻害する固相率は約60%以上であること、また、岩盤が地表下40cm付近に存在する場合は、例外なく収量の劣る園であるのに対して、土層の深さが1m付近あるいはそれ以上である場合は、収量の高い園であることを明らかにした(丹原ら, 1964)。さらに、ウンシュウミカンの産地(安山岩風化土、および第三紀層砂岩風化土)の高収量の優良園は、中粒～粗粒質の土壌であり、土層の深さは1m以上で

11) 有効水分: 植物によって有効に利用される水分。その容量は、ほ場含水量(湿潤地域でpF 1.5~pF 1.8; 多量の降雨があった後、1~2日たつと、裸地土壌中の水の下方移動量は大きく低下し、蒸発が抑制されている条件のもとでは、土壌水分量はほぼ一定値を保つ。このときの水分量をほ場含水量と呼ぶ。ほ場含水量は、植物生育との関連で、その土壌が保持しうる最大の水分量と見なせる(岩田, 2000a))としおれ水分点(pF 4.2前後; 植物が枯死してしまう土壌含水比。永久しおれ点ともいう(岩田, 2000b))の差で与えられる(岩田, 2000c)。

表2 果実の収量や糖度の優劣に関連する土壌の物理性と化学性

土壌や樹体の 特徴	ミカン (中間, 1963; 高木ら, 1963a; 高木ら, 1963c; 瀧ら, 2005; 丹原・栗原, 1963; 丹原ら, 1964)		ブドウ (三好, 1971; 三好, 1978)		ナシ (森田・石原, 1948; 鈴木ら, 1996)	
	収量優良園	収量不良園	収量優良園	収量不良園	収量優良園	収量不良園
土性 ¹²⁾	中粒～粗粒質	細粒質				
有効土層・ 作土の深さ	・岩盤または盤層までの土層の深さが80 cm以上で深い ・土層の深さが1 m 付近あるいはそれ以上である場合は収量高い ・表層土(作土)の深さと収量 (-0.46*) ¹³⁾ ・貫入可能深と収量 (0.55*)	・土層の深さが90 cm 以下で浅い ・岩盤が地表下40 cm 付近に存在する場合は収量が劣る				
土壌固相率	・下層土の固相率小さい ・下層土の固相率と収量 (-0.66**)	・下層土の固相率高い ・根の伸長を阻害する固相率は約60%以上	土壌固相率 35～52%			
土壌のち密度		下層土でち密	土壌のち密度 23～24 mm 以下			
土壌気相率・ (粗)孔隙量・ 通気性	・下層土の粗孔隙量や孔隙量多い ・下層土の通気性良好	・下層土の孔隙少ない ・下層土の通気性不良	土壌気相率 14%以上		・土壌含空気孔隙量多い ・40～60 cm 深の土壌気相率と収量 (0.755*)	
土壌水分・ 保水性	・下層土の保水性はやや乏しいが下層土からの水分供給が適正 ・下層土の水分や保水性良好 ・下層土の pF 1.5 水分と収量 (0.63**)	下層土の保水性少ない	土壌水分率 18%以上		・土壌含水量少ない ・40～60 cm 深の土壌水分率と収量 (-0.761*)	

深く、下層土の固相率が小さく、下層土の孔隙が多

く、下層土の通気性と保水性が良好であり、根も60～90 cm の深さまでほぼ均等に分布していた。それに対して、低収量の不良園は、細粒質の土壌であり、土層の深さは20～90 cm で浅く、下層土の孔隙も少なくち密で通気性と保水性が不良であり、根は

12) 土性：土壌はさまざまな粒径の粒子で構成されている。どのくらいの粒径の粒子がどんな割合で土壌にあるかを示したものが土性である (松中, 2003)。

13) 括弧内の数値は、収量、あるいは果実糖度との相関係数を示す。*：5%水準で有意，**：1%水準で有意 (瀧ら, 2005)。

表2 果実の収量や糖度の優劣に関連する土壌の物理性と化学性(続き)

土壌や樹体の特徴	ミカン(中間, 1963; 高木ら, 1963a; 高木ら, 1963c; 瀧ら, 2005; 丹原・栗原, 1963; 丹原ら, 1964)		ブドウ(三好, 1971; 三好, 1978)		ナシ(森田・石原, 1948; 鈴木ら, 1996)	
	収量優良園	収量不良園	収量優良園	収量不良園	収量優良園	収量不良園
土壌三相分布	表層土では収量優良園と収量不良園の間に差が認められなかったが, 下層土ではかなりの差が認められた					
土壌酸性	下層土の pH と収量(0.52*)	下層土の酸性強い	収量優良園と収量不良園の間に有意差は認められず			
土壌全炭素含量		土壌の深さに関わらず全炭素含量低い				
土壌硝酸態窒素濃度					20~60 cm 深の土壌硝酸態窒素濃度が高く維持(満開後 60 日から 120 日まで)	
土壌交換性塩基含量	下層土の交換性石灰と収量(0.47*)	下層土の交換性塩基含量少ない	収量優良園と収量不良園の間に有意差は認められず			
土壌塩基飽和度		下層土の塩基飽和度低い				
土壌陽イオン交換容量	下層土の陽イオン交換容量と収量(0.47*)	土壌の深さに関わらず陽イオン交換容量低い	収量優良園と収量不良園の間に有意差は認められず			
土壌石灰飽和度			収量優良園と収量不良園の間に有意差は認められず			
土壌有効リン酸			収量優良園と収量不良園の間に有意差は認められず			
土壌リン酸吸収係数			収量優良園と収量不良園の間に有意差は認められず			

40~50 cm まで分布するが分布状態は疎であった(高木ら, 1963a)。このように, ミカンの根の深さと収量は相関関係が高く, 根の深い園は収量も多く隔年結果も少ないが, 浅い園は逆に隔年結果がはげしく, 収量も少なく, 要素欠乏も多く, 土壌の物理性は収量と密接な関係があった(中間, 1963)。

植穴の深耕は, ミカン樹の生育を良好にする効果が認められた。しかし, 植穴の深耕によって土壌の物理性の改善を行った園でも, 生育不良園が存在した。この生育不良園の樹の生育不良の要因は, 園地の下層土の酸性が強く, 下層土の塩基飽和度が低いこと, あるいは土層内の透水性が不均衡で, そのた

め下層土に滞水を生じて土壌は還元状態となり根に湿害を与えたためであると報告した。園地の土壌条件によっては, 深耕と同時に下層土の化学性の改良と下層土の排水を行う必要があると述べた(高木ら, 1963c)。また, ウンシュウミカンの産地(安山岩風化土, および第三紀層砂岩風化土)の低収量の不良園は, 収量優良園より明らかに下層土の酸性が強く, 下層土の交換性塩基含量が少なく, 下層土の塩基飽和度が低く, また, 土壌の深さに関わらず陽イオン交換容量¹⁴⁾が低く, 土壌全層にわたって全

14) 陽イオン交換容量: 一定重量の土壌中の交換性塩基(ナトリウムイオン, カリウムイオン, マグネシウムイオン, およびカルシウムイオン)の総量(櫻井, 2000)。

表2 果実の収量や糖度の優劣に関連する土壌の物理性と化学性（続き）

土壌や樹体の特徴	ミカン（中間，1963；高木ら，1963a；高木ら，1963c；瀧ら，2005；丹原・栗原，1963；丹原ら，1964）		ブドウ（三好，1971；三好，1978）		ナシ（森田・石原，1948；鈴木ら，1996）	
	収量優良園	収量不良園	収量優良園	収量不良園	収量優良園	収量不良園
根群分布・根の分布密度	<ul style="list-style-type: none"> 下層深層まで伸長して分布 60～90 cmの深さまでほぼ均等に分布 主要根群域と収量 (0.48*) 	<ul style="list-style-type: none"> 根の分布は粗孔隙量が減少する付近に限られており浅い 根は 40～50 cm まで分布するが分布状態は疎である 土層内の透水性が不均衡で、下層土に滞水を生じて土壌は還元状態となり根に湿害を与える 	<ul style="list-style-type: none"> 収量優良園と収量不良園の間に根群域の深さに有意差あり 根群域が表層から 50 cm 程度以上に深いほど収量高い 		樹間に根の分布が少なく直根が深層まで伸長	根の分布も浅く、樹間に約 60 cm までの深さに多く分布
植物根量	植物根量と収量 (0.49*)					
着果果そう葉中窒素含有率					着果果そう葉中窒素含有率（満開後 90 日）と収量 (0.692*)	
隔年結果	隔年結果少ない	隔年結果がはげしく、要素欠乏も多い				
地下水位					地下水位低い	地下水位が 1.2 m の深さに存在
その他	<ul style="list-style-type: none"> ミカンの根の深さと収量は相関関係が高い 植穴の深耕はミカン樹の生育を良好にする効果がある ミカンの収量と果実糖度との間に有意水準 5% で有意な負の相関がある 	ミカン園地の土壌条件によっては、植穴の深耕と同時に下層土の化学性の改良と下層土の排水を行う必要がある			ナシの収量優良園は果実糖度が低い傾向があり、収量不良園は果実糖度が高い傾向がある	

炭素含量は低い特徴があった。収量不良園は下層土の酸性が強く、養分が不足する特徴があった（高木ら，1963a）。このように、土壌の化学性は、ミカンの収量や樹の生育に影響を及ぼした。

ハウスミカン園の調査対象 19 園の土壌の性質を

調査し、その結果を収量、あるいは果実糖度の結果と関連づけた報告もある（瀧ら，2005）。収量と有意水準 1% で相関が認められた項目は、下層土の固相率 (-0.66**) ¹⁵⁾、下層土の pF1.5 水分 ¹⁶⁾ (0.63**) であった。また、収量と有意水準 5% で相関が認め

表2 果実の収量や糖度の優劣に関連する土壌の物理性と化学性(続き)

土壌や樹体の特徴	ミカン(瀧ら, 2005)		ナシ(鈴木ら, 1996)		モモ(清水ら, 2005;高野, 2010;和中ら, 2012;吉田, 1984)	
	品質(糖度)優良園	品質(糖度)不良園	品質(糖度)優良園	品質(糖度)不良園	品質(糖度)優良園	品質(糖度)不良園
有効土層・作土の深さ					50 cm 程度の浅い作土	
土壌の易有効水分量(pF 1.5からpF 2.7の水分量)					20 cm 深までの土壌の易有効水分量低い	
土壌水分					30 cm 深の土壌含水率低い	
土壌酸性	下層土の pH と果実糖度 (-0.63**)					
土壌電気伝導度(EC)					10 cm 深の土壌電気伝導度(EC) 低い	
土壌腐植含量					10 cm 深の土壌腐植含量低い	
土壌全窒素含量					10 cm 深の土壌全窒素含量低い	10 cm 深の土壌全窒素含量が0.1%以上の園地は, 低糖度の品質不良園が多い傾向
土壌硝酸態窒素濃度			20~40 cm 深の土壌硝酸態窒素濃度(満開後90日)と果実糖度(3年間で-0.844**~-0.644**)			
土壌交換性塩基含量	下層土の交換性石灰と果実糖度 (-0.51*)				20 cm までの深さの土壌交換性マグネシウム含量低い	
土壌塩基飽和度	下層土の塩基飽和度と果実糖度 (-0.52*)					

られた項目は, 表層土(作土)の深さ(-0.46*), 貫

15) 括弧内の数値は, 収量, あるいは果実糖度との相関係数を示す。*: 5%水準で有意, **: 1%水準で有意(瀧ら, 2005)。

16) pF1.5 水分: 多量の降雨があった後, 1~2 日たつと, 裸地土壌中の水の下方移動量は大きく低下し, 蒸発が抑制されている条件のもとでは, 土壌水分量はほぼ一定値を保つ。このときの水分量をほ場容量と呼び, 植物生育との関連で, その土壌が保持しうる最大の水分量と見なせる。ほ場容量に対応する土壌水分ポテンシャル値(pF)は, わが国のような湿潤地帯では pF 1.5~1.8 を示す(岩田, 2000a; 瀧ら, 2005)。

入可能深¹⁷⁾(0.55*), 主要根群域¹⁸⁾(0.48*), 植物根量(0.49*), 下層土の pH(0.52*), 下層土の陽イオン交換容量(0.47*), 下層土の交換性石灰(0.47*)であった。すなわち, 収量の高い園は, 下層土が柔らかく, 根が伸長し易く根が多い特徴があり, これ

17) 貫入可能深: 貫入硬度計で 25 kg cm² を振り切った深さ(瀧ら, 2005)。

18) 主要根群域: 細根の 70~80% が分布する土壌の深さ(瀧ら, 2005)。

表2 果実の収量や糖度の優劣に関連する土壌の物理性と化学性（続き）

土壌や樹体の 特徴	ミカン（瀧ら，2005）		ナシ（鈴木ら，1996）		モモ（清水ら，2005；高野，2010； 和中ら，2012；吉田，1984）	
	品質（糖度） 優良園	品質（糖度） 不良園	品質（糖度） 優良園	品質（糖度） 不良園	品質（糖度） 優良園	品質（糖度） 不良園
土壌酸可溶性 銅	表層土（作土） （0.61**）の、 あるいは下層土 （0.51*）の酸可 溶性銅と果実糖 度					
根群分布・ 根の分布密度					・浅い根群分布 ・根の分布密度 高い ・全細根の96% が深さ50 cmの 土壌にあり、 50～100 cmに 3%、100～150 cmに1%、それ 以下の深さには 存在しない	・深い根群分布 ・深さ50 cmま での土壌に 58%、50～100 cmまでに24%、 100～150 cmに 14%、それ以下 の深さに4%の 根が存在
収穫果の 果肉窒素含量					収穫果の果肉中 窒素含量低い	
果実の全ポリ フェノール含 量					果実の全ポリ フェノール含量 高い（5月下旬）	
葉面積					葉面積小さい	
葉中カルシウ ム含量					葉中カルシウム 含量低い（7月 下旬）	
葉中銅濃度	葉中銅濃度と果 実糖度（0.58**）					
新梢長・ 節間長						新梢長と節間長 が長い
樹冠の 相対照度					樹冠下、あるい は樹冠外周部の 相対照度高い	

らの園は下層土の水もちが良く、水を切ることが容易ではない特徴があった。また、下層土の酸性が低くなく養分のある園であった。一方、果実糖度と有意水準1%で相関が認められた項目は、表層土（作土）の酸可溶性銅（0.61**）、下層土のpH（-0.63**）、葉中銅濃度（0.58**）であり、有意水準5%で相関が認められた項目は、下層土の交換性石灰（-0.51*）、下層土の塩基飽和度（-0.52*）、下層土の酸可溶性銅（0.51*）であった。果実糖度が高い園は、表層土と下層土の酸可溶性銅が高く、葉に含まれる銅含量も

高く、下層土のpHが低く、養分が不足する特徴があった。さらに、調査対象19園の収量と果実糖度との間に有意水準5%で有意な負の相関が認められた（瀧ら，2005）。以上のように、ミカンの収量、あるいは果実糖度には、土壌の物理性と化学性の両方が影響を及ぼしており、高収量の園と高糖度の園の土壌の性質は、相反する特徴があった。

ブドウ園（海成砂質土）の高収量の優良園と低収量の不良園の間には、根群域の深さに有意差があり、ブドウの根群域が表層から50 cm程度以上に深いほ

表2 果実の収量や糖度の優劣に関連する土壌の物理性と化学性 (続き)

土壌や樹体の 特徴	ミカン (瀧ら, 2005)		ナシ (鈴木ら, 1996)		モモ (清水ら, 2005; 高野, 2010; 和中ら, 2012; 吉田, 1984)	
	品質(糖度) 優良園	品質(糖度) 不良園	品質(糖度) 優良園	品質(糖度) 不良園	品質(糖度) 優良園	品質(糖度) 不良園
その他			ナシの果実糖度を低下させないためには、収穫時期1か月前には土壌中硝酸態窒素濃度を低下させて窒素の過剰な吸収を抑える必要がある			<ul style="list-style-type: none"> ・モモの品質不安定園は、雨が降らず乾燥する年は高品質の果実となり、雨量の多い年は低品質の果実が生産される。品質不安定園は、品質不良園に近い根群分布の傾向がみられるが、品質不良園より浅い根群分布である ・窒素肥料を多量に施肥するとモモの葉面積は有意に高く、葉中窒素含量は有意に高い時期があるが、果実糖度は有意に低い。また、日照時間が多く、降水量の少ない年ほどモモの果実糖度は高い ・窒素施肥等による窒素過剰、密植等による日照条件の悪化、あるいは排水不良はモモの果実糖度を低下させる要因と考えられている

ど、収量の高い優良園であった。また、ブドウの根群伸長好適条件は、土壌のち密度¹⁹⁾が23~24 mm以下であり、水分率18%以上、固相率35~52%、気相率14%以上の範囲であった。すなわち根の伸長や透水性を阻害せず、適切な水分と通気性の良い土壌の物理性がブドウの収量を高める要因であると報告した。なお、収量優良園と収量不良園の土壌のpH、交換性塩基、陽イオン交換容量、石灰飽和度、有効リン酸、リン酸吸収係数には、両者で有意差は認められず、これらの土壌の化学性に明瞭な差は認められなかった(三好, 1971; 三好, 1978)。

ナシ園(第四紀新層砂壤土)の収量の高い優良園は、収量の低い不良園に比べて、地下水位が低く、土壌の含水量が少なく、含空気孔隙量が多い土壌の

物理性を有しており、樹間に根の分布が少なく直根が深層に及んでいた。一方、収量不良園は、地下水位が1.2 mの深さに存在したため、根の分布も浅く、樹間に約60 cmまでの深さに多く分布した(森田・石原, 1948)。また、ナシ園(厚層多腐植質黒ボク土)の収量は、根域下層(40~60 cm深)の土壌の気相率が高いほど(0.755*)、また、根域下層の土壌の水分率が低いほど(-0.761*)、高かった。また、満開後90日の着果果そう葉中窒素含有率が高いほど、収量は高い傾向であった(0.692*)。なお、満開後90日の葉中窒素含有率は、満開後60日の表層(0~20 cm深)の土壌中硝酸態窒素濃度が高いほど、高い傾向であった(3年間で0.513*~0.899*)こと、さらに、高収量の優良園は、満開後60日から120日までの主要根群域(20~40 cm深)、および根域下

19) 土壌のち密度: 現場での土壌の硬さを指す(小原, 2000)。

層の土壌中硝酸態窒素濃度が、低収量の不良園と比べて高く維持されていた。そのため、収量優良園の高い土壌窒素が、樹体の窒素濃度を高めて、収量を増加させたと考えられた。一方、果実糖度は、満開後 90 日の主要根群域の土壌中硝酸態窒素濃度が低いほど、高い傾向であった (3 年間で -0.844^{**} ~ -0.644^{**})。果実糖度を低下させないためには、収穫時期 1 か月前には土壌中硝酸態窒素濃度を低下させて窒素の過剰な吸収を抑える必要があると指摘した。高収量の優良園は果実糖度が低い傾向があり、低収量の不良園は果実糖度が高い傾向がみられた (鈴木ら, 1996)。

モモの果実糖度等の品質が優良である品質優良園 (12 園)、品質不良園 (9 園)、または品質不安定園 (年によって品質に変化のある 14 園) に区分して、各品質別の園のモモの根群の垂直分布を示した (吉田, 1984)。品質優良園は、浅い根群分布であり、全細根の 96% が深さ 50 cm の範囲にあり、50~100 cm に 3%、100~150 cm に 1%、それ以下の深さには存在しなかった。一方、品質不良園は、品質優良園とは対照的で、深い根群分布であり、深さ 50 cm までの範囲に 58%、50~100 cm までの範囲に 24%、100~150 cm に 14%、それ以下の深さに 4% の根が存在し、深くなるにしたがい漸減する傾向があった。品質不安定園は、品質不良園に近い根群分布の傾向がみられるが、品質不良園より浅い根群分布であった。品質不安定園は、雨が降らず乾燥する年は高品質の果実となり、雨量の多い年は低品質の果実が生産された。品質のよい果実の生産には作土が 50 cm 程度の浅い園がよいことを示した (吉田, 1984)。また、清水ら (2005) や和申ら (2012) は、モモの果実糖度の高い品質優良園と低い品質不良園を比較して、高糖度果実の生産に関連性の高い要因を検討した。モモ '白鳳' の高糖度の品質優良園 (平均糖度 11.2 度) は、品質不良園 (平均糖度 10.5 度) に比べて、樹の葉面積が有意に小さく、樹冠下の相対照度が有意に高く、深さ 20 cm までの表層土壌の易有効水分量 (pF1.5 から pF2.7 の水分量) が有意に低く、深さ 20 cm までの土壌の交換性マグネシウム含量は有意に低かった。また、品質優良園は、収穫果の果肉中窒素含量が有意に低く、5 月下旬の果実の全ポリフェノール含量が高く、7 月下旬の葉中カルシウム含量は有意に低かった。これらの項目は、

品質優良園と品質不良園との間に有意差が認められた要因の中で、果実糖度と関連性が高いと考えられた (和申ら, 2012)。モモ 'あかつき' の高糖度の品質優良園 (平均糖度 13.8 度) は、品質不良園 (平均糖度 10.8 度) に比べて、樹冠外周部の相対照度が有意に高く、深さ 30 cm 層の土壌含水率が有意に低く、深さ 10 cm 層の土壌中の電気伝導度 (EC)²⁰⁾、全窒素含量、および腐植含量が有意に低かった。深さ 10 cm 層の土壌全窒素含量が 0.1% 以上の園地は、低糖度の品質不良園が多い傾向であった。一方、品質不良園は、樹の新梢長、および節間長が有意に長かった。これらの項目は、品質優良園と品質不良園との間に有意差が認められた要因の中で、果実糖度と関連性が高いと考えられた (清水ら, 2005)。窒素肥料を多量に施肥するとモモの葉面積は有意に高く、葉中窒素含量は有意に高い時期があるが、果実糖度は有意に低いことが報告されている (Jia ら, 1999)。また、日照時間が多く、降水量の少ない年ほどモモの果実糖度は高いことが示されている (高野, 2010)。したがって、窒素施肥等による窒素過剰は、モモ樹の樹勢を強め、新梢の伸長を旺盛にし、樹冠内の相対照度の低下させる要因となり、結果的に、果実糖度を低下させたことが示唆された。また、密植等による日照条件の悪化、あるいは排水不良も、モモの果実糖度を低下させる要因と考えられた (和申ら, 2012)。

以上から、有効土層が深く、根が深くまで伸長できる樹は、樹勢が強く、収量は高いが、糖度が低い果実になりやすい傾向がある。一方、有効土層が浅く、根が浅く樹勢が弱い樹は、収量は低い、糖度は高い果実が生産されやすい傾向がある。収量、あるいは果実糖度に影響を及ぼす土壌の物理・化学的性質は、樹種に依らず、類似した傾向がある。優良園の土壌のもつ性質を土壌改良法などに活用することによって、園地間の土壌条件の違いから生じる収量や果実糖度の差異を改善や向上させることが望まれる。

引用文献

- 土壌保全調査事業全国協議会. 1979. 日本の耕地土壌の実態と対策. 農林水産省農蚕園芸局. 東京.
土壌環境分析法編集委員会. 2000. 土壌環境分析法. 日本

20) 電気伝導度 (EC) : 電流通過の難易度をいい、間接的に水溶液の全塩類濃度の大きな尺度となる (松本, 2000)

- 土壌肥料学会監修. 博友社. 東京.
- e-Stat. 2018. 作物統計調査, 面積調査, 確報, 平成30年耕地及び作付面積統計. <<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500215&tstat=000001013427&cycle=7&year=20180&month=0&tclass1=000001032270&tclass2=000001032271&tclass3=000001125355>>.
- 波多野隆介. 1999. 土壌の物理性. pp.96-118. 久馬一剛編著. 最新土壌学. 朝倉書店. 東京.
- 岩田進午. 2000a. ほ場容水量. p.452. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 岩田進午. 2000b. しおれ水分点. p.151. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 岩田進午. 2000c. 有効水分. pp.490-491. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- Jia, H., K. Hirano and G. Okamoto. 1999. Effects of fertilizer levels on tree growth and fruit quality of 'Hakuho' peaches (*Prunus persica*). J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68: 487-493.
- 松本 聡. 2000. 電気伝導度. p.273. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 松中昭夫. 2003. 土壌学の基礎, 一生成・機能・肥沃度・環境一. 農山漁村文化協会. 東京.
- 三好 洋. 1971. 千葉県果樹園土壌の特性, 第II報ブドウ園土壌の特性とその生産性. 千葉農試研報. 11: 56-60.
- 三好 洋. 1978. 生産からみた土壌分類, 一とくに土壌調査によって得られた測定値と土壌分類について一. 土肥誌. 49: 170-179.
- 森田義彦・石原正義. 1948. 果樹の生育に及ぼす土壌の物理的組成の研究, I果樹園土壌の諸調査(第I報). 園学雑. 17: 92-99.
- 長野間宏. 2000. 有効土層. p.491. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 中間和光. 1963. みかんと土壌の物理性. 土壌の物理性. 9: 1-5. <<https://js-soilphysics.com/downloads/pdf000/009000.pdf>>.
- 小原 洋. 2000. 硬度. pp.119-120. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 大城 晃・杉山泰之・片山晴喜・河村 精・久田秀彦・岡田長久. 2000. ウンシュウミカンにおける冬季根中でのぶんによる樹体栄養診断の開発. 土肥誌. 71: 259-262.
- 佐久間敏雄. 2000. 土壌三相. pp.302-303. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 櫻井克年. 2000. 陽イオン交換容量. pp.493-494. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 清水康雄・野中 稔・矢野 隆・新開志帆・松本幸幸. 2005. モモ'あかつき'の高糖度果実生産要因について. 愛媛果試研報. 19: 17-27.
- 鈴木智久・山田健悦・亀和國彦. 1996. ナシ園黒ボク土壌の実態と果実の収量・品質との関係. 栃木農試研報. 44: 15-23.
- 高木睦夫・井田勝実・矢野綱之. 1963a. 温州みかん園土壌の理化学的性質と生産力の関係. 土肥誌. 34: 177-180.
- 高木睦夫・西村利幸・矢野綱之. 1963b. 母材を異にする温州みかん園の土壌の相違とその生産力との関係. 土肥誌. 34: 215-221.
- 高木睦夫・矢野綱之・矢野文夫. 1963c. 植穴の深耕が温州みかんの幼木の生育に及ぼす影響. 土肥誌. 34: 247-251.
- 高野和夫. 2010. おいしいモモの生産と出荷技術に関する研究. 岡山農林水産総合研報. 1: 23-90.
- 瀧 勝俊・成田秋義・渡辺靖洋・杉原巧祐・鈴木寛之・坂野 満. 2005. ハウスミカン園の土壌特性と改良目標の一試案. 愛知農試研報. 37: 117-125.
- 丹原一寛・栗原 肇. 1963. ミカン園土壌の物理的性質と生産性について. 土肥誌. 34: 327-330.
- 丹原一寛・栗原 肇・曾根達郎. 1964. ミカン園土壌の物理的性質と生産性について(第2報), 愛媛県瀬戸内地域の土壌の特性. 土肥誌. 35: 341-345.
- 建石繁明・熊代克巳. 1977. 火山灰土壌に生育するリンゴ, ナシ, モモおよびブドウの生育, 収量および果実品質に及ぼすリン酸の肥効. 信州大農紀要. 14: 1-11.
- 和田信一郎. 2000. 塩基飽和度. p.37. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 和中学・林 恭弘・堀田宗幹・久田紀夫・橋本真穂. 2012. モモ'白鳳'の高糖度園と低糖度園の実態並びに高糖度果実生産要因について. 和歌山農林水産総合研報. 13: 35-48.
- 山田一郎. 2000. 母材. p.452. 久馬一剛・佐久間敏雄・庄子貞雄・鈴木 皓・服部 勉・三土正則・和田光史編著. 土壌の事典. 朝倉書店. 東京.
- 吉田賢児. 1984. 果樹園土壌の診断. p.245-267. 農業技術大系, 土壌施肥編, 第4巻, 土壌診断・生育診断. 農山漁村文化協会. 東京.