ひょうごの土づくり指針

平成 30 年　3 月

兵庫県農政環境部

目　　次

第１章

第１　はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

第２　兵庫県の耕地土壌の特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

（１）主要水田土壌の特徴と分布・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

（２）主要普通畑・樹園地土壌の特徴と分布・・・・・・・・・・・・ 5

（３）水田土壌養分の実態と変化・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

（４）土壌診断の基準値・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8

第２章

第１　土づくりの必要性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 10

第２　作物・土壌ごとの土づくり

（１）土地利用型作物

ア　水稲

(ｱ)土壌の維持すべき状態 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11

(ｲ)水田土壌の特徴 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11

(ｳ)土づくり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 13

イ　麦

(ｱ)土壌の維持すべき状態 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34

(ｲ)土づくり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34

(ｳ)排水対策事例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34

ウ　大豆

(ｱ)土壌の維持すべき状態 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38

(ｲ)耕起・砕土・生地 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38

(ｳ)土づくり ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38

(ｴ)排水対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39

(ｵ)土づくり・施肥の注意点 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 40

エ　小豆

(ｱ)土づくり・施肥の注意点 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 40

（２）野菜

ア　共通事項 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41

イ　水田転換畑における注意点 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47

ウ　水田転換畑の土壌改良対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49

エ　普通畑における注意点 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 50

オ　施設土壌の特徴 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 50

カ　施設土壌の改良対策 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51

キ　施設土壌のガス障害 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 53

（３）果樹
ア　畑地 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
イ　水田転換園 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 59
第３　土づくり資材の特徴
（１）有機質資材（堆肥等）・肥料
ア　有機質資材の施用効果と必要性・・・・・・・・・・・・・・・・ 65
イ　主な有機質資材・肥料の特性・・・・・・・・・・・・・・・・・ 66
ウ　堆肥の熟度判別法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74
（２）　緑肥作物
ア　緑肥作物の種類の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 76
イ　緑肥作物栽培上の留意点・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
ウ　緑肥作物別の特徴と利用法・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 78
（３）土壌改良資材（土づくり資材）
ア　土づくり肥料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 80
イ　指定土壌改良資材・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83

第３章　土壌の診断方法と対応
第１　土壌の性質
（１）土壌の物理性（三相分布、硬度、保水性）
ア　三相分布 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87
イ　土壌硬度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87
（２）土壌の化学性
ア　土壌試料の採取法および調整法 ・・・・・・・・・・・・・・・ 93
イ　土壌のｐＨ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 94
ウ　土壌の電気伝導度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 96
エ　土壌の望ましくない状況とその対策 ・・・・・・・・・・・・・ 98
オ　陽イオン交換容量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 105
（３）土壌の生物性
ア　土壌生物の種類・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 109
イ　土壌生物の生態と働き・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 110
ウ　連作障害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 112
エ　土壌病害のタイプと病原菌・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 112
オ　土壌病害の発生と土壌の化学性・・・・・・・・・・・・・・・・ 112
カ　土壌病害の発生と土壌の物理性・・・・・・・・・・・・・・・・ 113
キ　各種有機質資材と土壌微生物の種類・・・・・・・・・・・・・・ 113
ク　微生物資材の活用・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 114

（４）作物の必須元素
ア　各元素の働き・生育障害とその回避法
(ｱ)植物の必須元素 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 115
(ｲ)生理障害診断技術 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 120

第４章　参考資料
第１　現場で活用できる分析法・・・・・・・・・・・・・・・・・ 125
第２　用語の説明・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 144
第３　その他資料　（別冊とする）

第１章

第１　はじめに

本県は、北は日本海から南は瀬戸内海、太平洋を臨む多様な気候と風土のなか、コウノトリ育むお米、山田錦、淡路島たまねぎ等を育む多彩な農林水産業が展開されています。

近年、「農」を取り巻く現状は大きく変化し、人口減少・少子高齢化が進展するなか、本県農業は、小規模兼業農家が約８割を占め、65 歳以上の高齢者が約７割を占めています。また、認定農業者や集落営農組織は微増傾向で、これらの担い手への農地集積は約２割にとどまっています。

このため、ひょうご農林水産ビジョン 2025 では、①担い手経営体に相当部分の農地を集積する農業構造の実現による本県農業の持続的な発展、②野菜等の園芸作物の生産拡大等による需要に応える農業の競争力強化等を推進しています。

本県の土づくりは、昭和 59 年度から実施された「健康な土づくりの推進」にはじまりました。その後、平成 12 年度に「ひょうごのやさしい施肥・土づくり推進資料」を作成し、作物の生産性、品質の向上を図り、有機質資材を活用した土づくりの取組を推進するとともに、平成 14 年度に「環境負荷軽減に配慮した各種作物の施肥基準」を作成し、環境への負荷を軽減する土づくりを推進しています。また、平成 21 年度に「兵庫県環境創造型農業推進計画」を策定し、良質な堆肥等による土づくりと、化学合成した肥料や農薬の使用量を慣行栽培（一般栽培）から３割以上削減する環境創造型農業(人と環境にやさしい農業)を推進しています。

今後の土づくりは、環境創造型農業の基盤となる施肥及び土づくりとともに、農地の集積や担い手の法人化による経営規模の拡大に伴い、各種作業の省力化・効率化が一層求められています。また、適切な土づくりや効果的な施肥の実施には、土壌診断等化学的分析の実施とともに、栽培作物とほ場特性に応じた計画的な土づくり作業が必要となっています。

このことから、「ひょうごのやさしい施肥・土づくり推進資料」を見直し、先進的な担い手経営体が既に実践している土づくりの事例も取り入れた「ひょうごの土づくり指針」を策定します。今後は、普及指導員等の指導者や競争力強化を目指す法人経営体等の地域農業のリーダーにこの資料が活用され、需要に応える農業の競争力強化と持続的な農業の発展に結びつく土づくりが展開されることを期待します。

第２　兵庫県の耕地土壌の特徴

(1) 主要水田土壌の特徴と分布

本県は水田面積が全耕地の約 90%をしめており、分布する主要水田土壌の特徴は次のとおりである。

ア　水田土壌の特徴

(ｱ) 低地水田土

この土壌は、下層の土色が灰色あるいは灰褐色の低地水田土壌で、主に河岸、谷床沖積地、低位～高位段丘及び扇状地等に広く分布している。

これらの土層は母材が地下水あるいは潅漑水の影響を受け、灰色化したか、あるいは以前のグライ層が地下水位の低下により酸化され、灰色化した層と考えられる。

遊離酸化鉄含量が0.8%と低い老朽化水田（秋落ち田）が多く、特に下層60cm以内に砂礫層が存在する土壌にその傾向が強い。

低地水田土の中でも、砂礫層が存在する土壌や壌質・砂質の土壌は透水性が良好で養分の溶脱が多い。しかし、転換畑としては良好である。粘質・強粘質の土壌は水稲作としては生産性の高い土壌であるが、転換畑として利用する場合は表面排水が必要である。

(ｲ) グライ低地土

この土壌は、地表下50cm以内にグライ層が存在する低地水田土壌で、主に河川の最下流部の三角州、中流部の後背湿地、山間谷底平野及び盆地等の低湿地の湿田に分布している。

本県では水田面積の11.0%を占め、主として但馬と丹波に分布している。

グライ層とは、過剰の水分のため酸素が欠乏し、還元状態になっている土層のことで、還元された鉄のため青灰色ないし青緑色を呈している土層である。腐植、全窒素及び遊離酸化鉄含量が他の土壌より高いが、可給態リン酸は少ない。

転換畑として利用する場合は、明きょ、排水溝の設置、高畝栽培等によって表面排水を図る。それでも排水不良な場合は、地下水位を下げるため、本暗きょや弾丸暗きょの設置が必要である。

(ｳ) 黄色土

この土壌は、下層の土色が黄色あるいは黄褐色の台地土壌で、主に高位段丘、中位段丘、丘陵地及び山麓傾斜面に分布している。

本土壌は更新世の高温湿潤な気候下で生成された古土壌と考えられており、虎斑土壌もこの土壌に含める。県内の水田面積の9.4%を占め、低地水田土、グライ低地土に次いで分布面積が多い。

強粘質土壌で堆積状態がち密で透水性が小さく、過乾、過湿になりやすい。転換畑として利用する場合は排水溝の設置や高畝栽培により表面排水を図る必要がある。

腐植や全窒素含量は低いので、有機質資材の施用を行う。

(エ) 多湿黒ボク土

この土壌は、母材が火山灰に由来する黒色土層を有する土壌で、県内の水田面積の3.2%を占め、主として但馬に分布している。

リン酸吸収係数が大きいので、リン酸は固定化されやすい。また、陽イオン交換容量（CEC）は大きいが、塩基の保持力が弱く、透水性が大きいので塩基が溶脱しやすい。腐植含量は高いが、作物に利用されない形態の腐植が多い。

(オ) 褐色低地土

この土壌は、下層の土色が黄褐色で低地にある土壌で、県内の水田面積の3.1%を占め、東播磨と阪神地域の中・高位段丘が河川によって侵食された谷床沖積地に主として分布している。

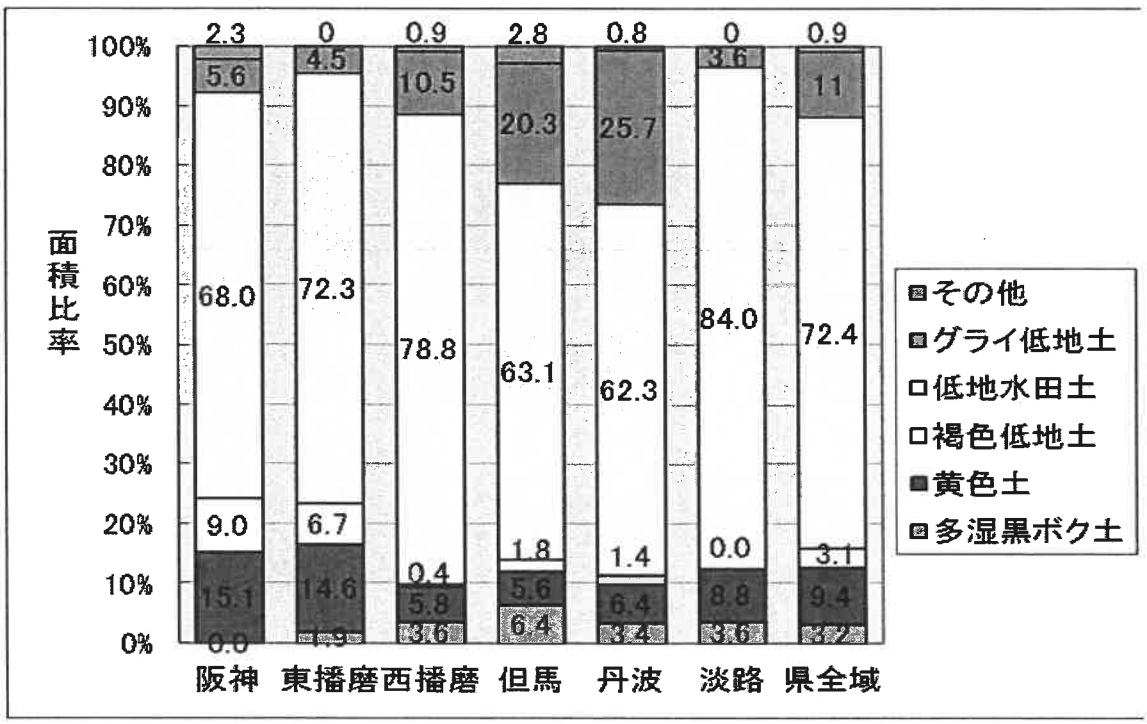


図 1-1　兵庫県の地域別、土壌群別水田面積の比率
（「兵庫県下の耕地土壌の種類とその市町別分布面積」1987 年３月）

イ　水田土壌の地域別分布と栽培作物

（土壌の分布面積比率は図 1-1、分布状況は資料編「農耕地土壌図」を参照）

(ア) 阪神地域（神戸県民センター、阪神南県民センター、阪神北県民局管内）

当地域では、黄色土は明石市の明美台地、三田盆地周辺の高位段丘に分布しており、褐色低地土は明美台地の河川により侵食された谷床沖積地に分布している。グライ低地土は神戸市北区の北摂丘陵地間の低地、三田盆地南部の河岸沖積地に分布し、低地水田土は各地区に広く分布している。多湿黒ボク土は全く分布していない。

水稲以外に、キャベツ、レタス、黒大豆枝豆等の露地野菜、いちご、トマト、葉物野菜等の施設栽培、鉢物花壇苗等の栽培が行われている。

(ｲ) 東播磨地域（東播磨県民局、北播磨県民局管内）

当地域は、黄色土が15%と他の地域より多く、明美台地のある加古川市、稲美町、青野原台地のある加西市に主として分布しており、褐色低地土は明美台地の河川により侵食された谷床沖積地のある稲美町に分布している。グライ低地土は主として加西市の台地の低部に分布し、低地水田土は各地区に広く分布している。多湿黒ボク土は　北部の西脇市、多可町を流れる杉原川河岸沖積地に分布している。

水稲、麦以外に、キャベツ、レタス等の露地野菜、いちご、トマト、葉物野菜等の施設栽培が行われている。

(ｳ) 西播磨地域（中播磨県民センター、西播磨県民局管内）

当地域は、低地水田土が79%を占め、特に砂礫質の水持ちの悪い、漏水田の割合が多い。黄色土は、姫路市北部と福崎町にある高位段丘上に分布しており、グライ低地土は姫路市南部、赤穂市南部に分布し、多湿黒ボク土は市川上～中流の神河町の一部、姫路市北部、揖保川上流の宍粟市一宮町等の河岸沖積地に分布している。

水稲以外に、地域特産醤油用の麦、大豆等も栽培されている。

(ｴ) 但馬地域（但馬県民局管内）

当地域は、グライ低地土が20%を占め湿田と多湿黒ボク土の分布が多い。

グライ低地土と多湿黒ボク土の比率が高いのが特徴である。グライ低地土は豊岡盆地のある豊岡市（旧豊岡市、旧日高町、旧出石町）、但馬海岸沿いの三角州のある新温泉町（旧浜坂町）、香美町香住区等の北但馬に分布し、多湿黒ボク土は神鍋山のある豊岡市日高町、鉢伏山周辺の養父市関宮町、八鹿町に分布している。低地水田土は円山川とその支流の河岸沖積地及び谷床沖積地に分布し、黄色土は香美町村岡区の山麓地に主として分布している。

また、泥炭土、黒泥土が豊岡盆地の低湿地に分布している。

湿田が多く、水稲栽培中心の水田地帯で、湛水期間が長く水管理に特徴的な「コウノトリ育む農法」の取組が行われている。

(ｵ) 丹波地域（丹波県民局管内）

当地域は、グライ低地土が25%を占め、但馬地域と同様、湿田の分布が多い。グライ低地土は篠山盆地のある篠山市、氷上盆地のある丹波市柏原町、春日町に分布し、低地水田土は各地区に分布している。黄色土は篠山盆地の篠山市西部に分布し、多湿黒ボク土は丹波市春日町、氷上町に分布している。水稲以外に、黒大豆、やまのいも、大納言小豆等、特産作物の栽培が行われている。

(ｶ) 淡路地域（淡路県民局管内）

低地水田土の分布比率が84.0%で高く各地に広く分布している。グライ低地土は分布面積が著しく少なく、淡路市の丘陵地間の低湿地に点在している程度である。多湿黒ボク土は南あわじ市の旧三原町と旧南淡町の中位段丘に分布しており、黄色土は洲本市南部と旧緑町及び淡路市の旧一宮町の中位段丘上に分布している。

淡路市では、水稲－タマネギの二毛作、カーネーション、ストックの施設栽培が行われており、南あわじ市では、田畑輪換（水稲－レタス－タマネギ等の三毛作）による露地野菜の栽培が盛んである。

(2)主要普通畑・樹園地土壌の特徴と分布

ア　普通畑・樹園地土壌の特徴

本県の普通畑は全耕地の6.5%、樹園地は全耕地の3.4%分布し、普通畑は西播磨と但馬地域に、樹園地は淡路地域に多く分布している。

普通畑では、褐色森林土と黒ボク土が多く、次いで赤色土と黄色土が分布しており、以上の４土壌で全体の約80%を占める。

樹園地では、褐色森林土と黄色土が最も多く、この２つの土壌群で全体の約80%を占める。

表1-1　県内主要普通畑・樹園地土壌の特徴と分布

土壌型	分布地形	特　　徴
褐色森林土	丘陵及び山麓の斜面、台地上の波状地、平坦地等の排水良好な所に分布	・腐植が少なく表土が浅い。 ・酸性で塩基が乏しい。 ・細粒質の場合：下層がち密で、透水性が小さく、過乾、過湿となりやすい。保肥力やリン酸の固定力が大きい。 ・中粗粒質の場合：保水力が小さく、透水性が大きいので、過乾の恐れがある。保肥力や固定力は小さい。
黒ボク土	火山山麓、丘陵、台地、段丘、沖積地の緩傾斜地、波状平坦地等に分布	・極めて酸性化しやすいので、酸性肥料は避ける。 ・リン酸吸収係数が大きいので、可給態リン酸が作物に利用されにくい。 ・陽イオン交換容量は大きいが、塩基の保持力が弱く、透水性が大きいことと相まって塩基が溶脱しやすい。
赤・黄色土	台地及び丘陵地に分布	・腐植は少なく、塩基だけでなく、各種の養分にも乏しく酸性となりやすい。 ・下層がち密で、透水性が小さく、過乾、過湿となりやすい。 ・陽イオン交換容量が小さく、保肥力が小さい。

イ　普通畑・樹園地土壌の県内各地域での分布

(ｱ) 阪神地域（神戸県民センター、阪神南県民センター、阪神北県民局管内）

普通畑：細粒赤色土が大部分を占め、神戸市と三田市の高位段丘上に分布している。

樹園地：細粒黄色土と礫質黄色土が大部分を占め、神戸市、宝塚市、猪名川町に分布している。

(ｲ) 東播磨地域（東播磨県民局、北播磨県民局管内）

普通畑：細粒赤色土と細粒黄色土が大部分を占め、加西市、三木市、小野市等の東播台地に分布し、じゃがいも、だいこん等の露地野菜が

栽培されている。

樹園地：分布面積は約70haと少ない。三木市、小野市、加西市、加東市で、ぶどう等が栽培されている。

(ｳ) 西播磨地域（中播磨県民センター、西播磨県民局管内）

普通畑：有効土層の非常に浅い岩屑土が宍粟市と佐用町に、礫質褐色森林土が神崎郡に、細粒褐色森林土が佐用町に、全層砂質の未熟低地土がたつの市御津町の干拓地に主として分布している。

樹園地：細粒黄色土が姫路市と宍粟市に、中粗粒黄色土が赤穂市に主として分布している。

(ｴ) 但馬地域（但馬県民局管内）

普通畑：表層または全層多腐植質の黒ボク土が香美町と豊岡市（旧日高町）に、中粗粒褐色森林土が、養父市、細粒黄色土が豊岡市（旧出石町、旧但東町）に主として分布している。

樹園地：細粒黄色土が美方郡に、細粒褐色森林土が養父市に主として分布している。

(ｵ) 丹波地域（丹波県民局管内）

普通畑：細粒褐色森林土が主として篠山市に分布している。

樹園地：暗赤色土が丹波市と篠山市、表層腐植質黒ボク土が主として丹波市に分布している。

(ｶ) 淡路地域（淡路県民局管内）

普通畑：中粗粒褐色森林土が南あわじ市に主として分布している。

樹園地：細粒褐色森林土が淡路全域、中粗粒褐色森林土が淡路市に、細粒黄色土が洲本市と南あわじ市に主として分布している。

土壌の種類と特徴については、「兵庫県下の耕地土壌の種類とその市町別分布面積」（平成元年(1989年)３月　兵庫県立中央農業技術センター刊行）、「兵庫県下に分布する水田土壌の種類とその特徴」（昭和62年(1987年)３月兵庫県農業総合センター刊行）を、土壌図については、「土壌保全調査事業　土壌図」（昭和54年(1979年)兵庫県農業総合センター刊行）、農研機構　農業環境変動研究センターHP（日本土壌インベントリー）
http://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/　を参照のこと。

(3) 水田土壌養分の実態と変化

水田の代表地点の調査(1979年から2007年まで、５か年を１巡とし、５年間隔で６回、土壌保全調査事業　土壌環境基礎調査（定点調査）及び土壌機能モニタリング調査で実施)の結果、県内６地域の水田土壌の養分実態と変化並びに対応策が明らかとなった。

ア　阪神地域（神戸県民センター、阪神南県民センター、阪神北県民局管内）

腐植、pH、石灰、苦土及びケイ酸はほぼ適正であるが、リン酸はやや減少したが高い。養分の集積とバランスを考慮しながら有機物の施用を推進して

いく必要があり、野菜栽培においては、施用量の削減等、環境に配慮した土づくり、施肥の推進が求められている。

イ　東播磨地域（東播磨県民局、北播磨県民局管内）

pH、石灰及び苦土はほぼ適正であるが、リン酸が増加し、ケイ酸はやや低い。腐植はやや増加傾向にあり目標値を維持している。ケイ酸の補給とあわせて有機物の施用を推進する必要がある。

ウ　西播磨地域（中播磨県民センター、西播磨県民局管内）

腐植、pH及びリン酸はほぼ適正である。ケイ酸、石灰及び苦土がやや少ない。作土深の浅い漏水田が多いのでケイ酸を中心に養分バランスを配慮しながら有機物の施用を推進していくことが大切である。

エ　但馬地域（但馬県民局管内）

ケイ酸質資材の施用を中心に土づくりに取り組まれており、pH、石灰はやや低いが、リン酸、ケイ酸及び苦土はほぼ適正である。

腐植はほぼ横ばいで、基準値に達しているが、これは湿田の占める割合が多いためと考えられ、地力維持のために完熟堆肥の施用を重点に土づくりを継続していくことが必要である。可給態窒素は、湿土（湿潤状態）では、通常の測定法である風乾土の半分程度と低く土壌からの窒素供給量は少ない。

オ　丹波地域（丹波県民局管内）

但馬地域と同様、湿田の分布が多く、腐植、苦土はほぼ適正であるが、リン酸は増加し、ケイ酸質資材の施用量が減少しており、pH、苦土及びケイ酸が近年低下している。

ケイ酸質資材施用によるケイ酸の補給とpHの改善に留意する必要があり、当地域は湿田が多いので未熟な有機物の施用は避け、完熟堆肥の施用を中心として養分間のバランスのとれた土づくりを推進していくことが必要である。

カ　淡路地域（淡路県民局管内）

野菜栽培が盛んで、施肥量削減に取り組まれているがリン酸は増加傾向にあり、その他の養分はほぼ適正である。

リン酸集積にブレーキをかけつつ、有機物の供給を中心とした土づくりを推進していくことが必要である。このため、三毛作体系の中で、稲わらやソルガムのすき込みを中心とした土づくりや、リン酸等肥料の施用量のさらなる削減に取り組んでいく必要がある。

キ　県平均

水田土壌養分の平均値は、各年度ともおおむね土壌診断の基準値内でバランスも良く、変化も僅かであった。しかし、可給態リン酸は増加、可給態ケイ酸は減少傾向が認められた。

土づくり資材の施用量は、リン酸質資材が減少し、ケイ酸質資材は３巡目以降の減少が著しかった。土づくり肥料の適切な施用が必要である。

表 1-2　地域別水田土壌養分（作土）の変化及び土壌診断基準値

調査地区	調査年次 *	地点数	腐植	全窒素	pH (H_2O)	CEC	交換性塩基 CaO	交換性塩基 MgO	交換性塩基 K_2O	塩基飽和度	可給態[1] リン酸	可給態[2] ケイ酸	可給態窒素
			%	%		me/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g	%	mg/100g	mg/100g	mg/100g
阪神	A	24	3.8	0.20	6.1		258	37	27		54	29	14.3
	B	9	3.8	0.20	6.1	13.3	233	29	22	78.2	45	31	12.8
東・北播磨	A	56	3.8	0.19	5.9		178	23	19		27	23	12.4
	B	18	4.3	0.21	6.0	14.6	226	26	23	69.6	46	23	12.7
西・中播磨	A	84	3.7	0.22	6.0		182	19	18		37	27	10.0
	B	18	3.7	0.19	5.7	12.0	178	19	18	64.5	26	22	9.9
但馬	A	54	4.2	0.23	5.9		218	40	19		24	29	16.3
	B	11	4.2	0.24	5.7	15.4	181	37	14	56.1	30	22	12.1
丹波	A	44	3.6	0.22	6.2		207	28	24		33	53	14.5
	B	6	3.3	0.20	5.3	14.2	134	28	36	49.5	44	10	11.5
淡路	A	34	2.8	0.16	6.2		215	31	21		94	25	10.4
	B	12	3.3	0.20	6.6	12.3	240	31	28	88.4	149	21	11.0
県平均	A	296	3.7	0.21	6.0		201	28	20		40	30	12.7
	B	74	3.8	0.21	5.9	13.5	203	27	22	68.8	55	22	11.6
水田（水稲）作土の土壌診断基準値		3～5			6.0～6.5	12以上	200～250	25～35	20～30	70～90	10～30	25以上	—
畑（露地）作土の土壌診断基準値		3～5			6.0～7.0	12以上	200～250	25～35	20～30	70～90	30～50	—	—
樹園地作土の土壌診断基準値		3～5			6.0～6.5	12以上	200～250	25～35	20～30	70～90	30～50	—	—

注）*水田の代表地点を1979年から2007年まで、５か年を１巡とし、５年間隔で６回調査を実施　　1)Truog-法　2)酢酸緩衝液抽出法

A:3回目（1989～1992年）、B:6回目（2004～2007年）

(4) 土壌診断の基準値

表1-3　土壌診断の基準値（維持すべき目標値）

項目	区分	水田（水稲）	畑（転換畑の園芸作物も含む） 露地	畑（転換畑の園芸作物も含む） 施設	樹園地
作土の厚さ（耕起後）	(cm)	15～18	20以上	25以上	—
主要根群域のち密度	(mm)	—	10以下	10以下	15～20
有効土層	(cm)	50以上	40以上	40以上	60以上
地下水位	(cm)	—	60以下	60以下	80以下
pH (H_2O)		6.0～6.5	6.0～7.0	6.0～7.0	6.0～6.5
陽イオン交換容量(CEC)	(me/100g)	12以上	12以上	15以上	12以上
塩基飽和度	(%)	70～ 90	70～ 90	70～100	70～90
交換性塩基 (mg/100g)	石灰 (CaO)	200～250	200～250	250～300	200～250
	苦土 (MgO)	25～ 35	25～ 35	35～ 50	25～ 35
	カリ (K_2O)	20～ 30	20～ 30	30～ 50	20～ 30
石灰/苦土(CaO/MgO)	(当量比*)	3～ 6	3～ 6	3～ 6	3～ 6
可給態リン酸** (P_2O_5)	(mg/100g)	＊10～30	30～ 50	50～100	30～ 50
可給態ケイ酸***(SiO_2)	(mg/100g)	25以上	—	—	—
遊離酸化鉄 (Fe_2O_3)	(%)	0.8以上	—	—	—
腐植（土壌有機物）	(%)	3～ 5	3～ 5	3～ 5	3～ 5

*各成分のグラム当量（分子量をイオン原子価で除した値のグラム数）による比率

** Truog法、グライ土は10mg

***pH4.0酢酸緩衝液抽出法　ケイ酸についてはP17(6)ケイ酸質肥料、ケイ酸の測定法については、ケイ酸の測定法P142参照のこと

表1-4　施設土壌の目安

項目	目安
電気伝導度EC(dS/m＝mS/cm)	0.5以下
硝酸態窒素(mg/100g)	10以下

表1-5　作物の適正地下水位　　(農林水産省　1987　一部改変)

作　物　名	適正地下水位(cm)
れんこん	通常、湛水条件下で可。
さといも、ねぎ	20cm以下でも収量性は確保できるがさといもでは20～40cm、ねぎでは15～60cmで高収量となる。
なす、小麦、スイートコーン	25cm以下で正常に生育する。
レタス、トマト、きゅうり	30cm以下で正常に生育するが、きゅうりは高いほど多収。レタスは60cm以下で玉揃いが悪くなる。トマトは60cm以下で尻腐れ果が増加する。
いんげんまめ、ピーマン、すいか	30cm以下で正常に生育する。ピーマンは地下水位が高いところほど疫病が多い。
はくさい、かぼちゃ、いちご、かぶ、大豆	30cm以下で正常に生育する。
にんじん(春まき)、ばれいしょ、そば、たまねぎ、やまのいも、キャベツ、らっかせい	40cm以下で正常に生育する。
にんじん(夏まき)、ほうれんそう、カリフラワー、かんしょ、メロン、大麦、裸麦、トウモロコシ	60cm以下で正常に生育し、品質も安定する。
ごぼう、だいこん、小豆、ながいも	1m以下で正常に生育する。ごぼう、だいこん、ながいもは硬盤が存在しないことも必要。

第２章

第１　土づくりの必要性

土壌は、母材である岩石が気象や地形、生物等の作用を受けて長い年月をかけ形成されてきたものである。土壌には各種環境の変化にある程度対応できる緩衝能が備わっている。しかし、これまでの農業は効率性の追求から、化学肥料及び農薬への依存が増加し、堆肥等有機物の投入が減少して、土壌中では養分の集積やアンバランスな状況が現れてきた。また、機械化による作土の浅耕化、下層土の圧密化などが根圏環境を悪化させてきた。これらの影響が土壌の緩衝力を超えて、作物の生理障害や病害虫発生の誘因となり、作柄の不安定化を招いている。近年は持続型社会が志向され、農業生産も環境への負荷軽減が求められるようになってきた。そのため、土づくりが見直され、その効果への期待が高まっている。土づくりとは、作物に必要な養分と水分をバランス良く供給できるよう、土壌の環境を整えて、土壌が持つ作物生産能力、いわゆる地力を維持・向上させることである。地力には、土壌の性質を決める物理性（硬度、排水性、保水性、通気性）、化学性（pH、保肥力、養分、生育阻害物質）、生物性（土壌動物、有用微生物、病害虫）の３つの特性が相互に密接に関係している。これらを総合的に良い条件に近づけることで、バランスの取れた土壌生態系を保つことが可能となる。その結果、土壌の緩衝能が高まり、気象変動や病害虫のストレスに対しても影響を受けにくくなり、作物生産が安定化すると考えられる。今後は、適切な土壌診断により、化学性に偏らず土壌改良方法等や施肥量を総合的に判断することが大切である。

第２　作物・土壌ごとの土づくり

(1)土地利用型作物（稲、麦、大豆）

ア　水稲

(ｱ) 土壌の維持すべき状態

表 2-1　土壌の維持すべき目標値（水稲）

項　目	目標値	備　考
作土の厚さ(cm)	15～18	耕起深
すき床のち密度(mm)	14～20	山中式土壌硬度計による
有効土層(cm)	50以上	
グライ層の位置(cm)	50以下	
減水深(mm/日)	15～20	湛水透水性
pH（H_2O）	6.0～6.5	
陽イオン交換容量(CEC)(mg/100g)	12以上	
交換性石灰（CaOmg/100g）	200～250	
交換性苦土（MgOmg/100g）	25～35	
交換性カリ（K_2Omg/100g）	20～30	
石灰/苦土（CaO/MgO）当量比*	3～6	
可給態リン酸（P_2O_5mg/100g）	10～30	トルオーグ法(グライ土壌は10mg)**
可給態ケイ酸（SiO_2mg/100g）***	25以上	pH4酢酸緩衝液抽出法
遊離酸化鉄（Fe_2O_3%）	0.8以上	
腐植（%）	3～5	

注1＊：当量比とは、各成分の絶対量（グラム当量）による比率。詳細は用語説明参照(p.144)。原子量（分子量）/原子価（イオン原子価）を1グラム当量、その1,000分の1を1ミリグラム当量という。CaOの分子量は56、原子価は2なので、56/2＝28mgが1meになる。CaO200mgは200/28＝7.1me、同様にMgO30mgは1.5meとなり、当量比は7.1/1.5=4.7となる。

注2＊＊：グライ土壌では、トルオーグリン酸として測定値に現れない鉄型リン酸が多く、これは水稲に利用されるので10mgでも十分である

注 3＊＊＊：湛水保温静置法の場合は、16mg/100g 以上、可給態ケイ酸の分析法についての詳細は p.142 参照。

(ｲ)水田土壌の特徴

a　水田土壌の土層分化

水田土壌は、水稲栽培期間中、湛水状態で保たれているので、土壌表層をのぞくと酸素の供給がほとんどないため還元層が生成する。還元層では、鉄、マンガンが水に溶けやすい形態に変化し、水の浸透にともなって土層内を下方に移動する。これを溶脱という。また、溶脱した成分がある部位に沈積することを集積という。このように還元化、溶脱、集積が繰り返し行われることにより水田土壌はいくつかの層に分化する（p.110、図 3-9 窒素循環の模式図参照）。

表 2-2　水田作土の土層分化と元素の安定形態

元　　素	酸化・還元状態での安定な形態		備　　考
	酸化状態	還元状態	
炭素　(C)	炭酸ガス　(CO_2)	メタン(CH_4) 酢酸(CH_3COOH)	還元状態で有害物質生成
窒素　(N)	硝酸　(NO_3^-)	アンモニウム(NH_4^+)	酸化状態で移動性
マンガン(Mn)	二酸化マンガン(MnO_2)	酸化マンガン(MnO)	還元状態で移動性
鉄　(Fe)	酸化第二鉄　(Fe_2O_3)	酸化第一鉄　(FeO)	還元状態で移動性
硫黄　(S)	硫酸　(SO_4^{2-})	硫化水素　(H_2S)	還元状態で水稲に障害 酸化状態で土壌の酸性化

b　水田の養分供給力と地力窒素

作物の生育、収量に最も影響を与える養分は窒素であるが、特に水田では地力窒素の発現が多く、それを考慮した施肥技術が必要となる。水稲が吸収した窒素のうちほぼ 6 割は地力窒素由来のもので、肥料からの吸収は 4 割程度である。なお、リン酸については施用された肥料から 10～15%程度、カリでは 40～70%程度吸収される。

(a) 乾土効果

土壌が乾燥した後、湛水状態にして温度が上がると、窒素が無機化してくることを乾土効果という。これは乾燥により土壌中の有機物の一部が脱水作用によって分解されやすい形に変わることによる。乾土効果は堆きゅう肥の施用などで有機物含量が多いほ場で高く、また、土壌が乾燥する機会が少ない湿田では乾田に比べて高い。

(b) 地温上昇効果

有機物の分解は地温の上昇によって促進される。これは土壌微生物の活動が活発になるからである。地温が 30℃から 40℃に上昇した場合、全窒素が 0.25%程度の有機物が豊富な水田では、湿田で約 7kg/10a、乾田で約 3～4kg/10a の窒素が無機化するといわれている。

(C) 土壌反応効果

土壌の pH が酸性側あるいはアルカリ性側に傾くと、土壌有機物の分解が促進される。これを土壌反応効果という。とくに石灰質資材を施用したときの窒素の無機化はよく知られており、アルカリ効果と呼ばれている。

(ｳ) 土づくり

a 有機質資材の施用方法

(a) 稲わら等の施用方法

稲わらは水田土づくりの重要な資材である。しかし、C/N（炭素率）比が高いため分解にはかなりの時間を要する。特に、過剰に施用したり腐熟が不十分な時には、稲わらが嫌気的に分解し、土壌の強還元化、酢酸や蟻酸などの有機酸やフェノール類の生成などがおこり、水稲の生育障害や根腐れが発生するため注意が必要である。

表 2-3 稲わらのすき込み時期と方法

乾・湿の別	稲わら還元量	すき込み時期と方法	その他
乾田	全量	年内にすき込む。	分解促進のため石灰窒素15～20kg/10aを稲わらすき込み時に散布するのもよい。湿田で年内すき込みが困難なほ場は、春先等の比較的乾燥した時期に耕起する。
湿田	全量	年内にすき込み、再度4月中に耕起して、わらの分解を図る。	

乾　田：非かんがい期に、作土の土壌水分が畑地と同じ程度になる水田。
湿　田：非かんがい期でも作土が水で飽和し、裏作の出来ないような水田。
半湿田：乾田と湿田の中間にあり、高畝にすれば裏作が出来るような水田。

【留意事項】

・稲わらを分解し、C/N 比を約 20 前後に下げるためには、微生物の活動を促進するための窒素源（石灰窒素や硫安）が必要。なお、石灰窒素には、肥料登録だけでなく農薬登録のあるものも販売されているため、特別栽培農産物などとして栽培する場合に農薬登録のある石灰窒素を使用すると化学合成農薬として取り扱うので留意を要する。
・特にいもち病、白葉枯病、紋枯病の常発地では、必ず稲わらは年内にすき込む。また、赤枯れ発生田では、根ぐされ防止のため必ず年内にすき込み、湛水時の異常還元を防止する。
・排水不良対策として、籾がらを毎年 100 kg/10a 程度を年内にすき込むのもよい。

(b) 家畜ふん堆肥の施用方法

表 2-4　家畜ふん堆肥の施用について

種　類	形　態	施用時期	施用量(t/10a)	化学肥料の施用量
牛ふん	堆積発酵したもの乾燥したもの オガクズと混合し堆積発酵したもの	秋すき時	1～2	基肥は基準どおり施用し、分げつ肥は施用せず、穂肥は生育診断により調節する。
豚ぷん	堆積発酵したもの	秋すき時	1	基肥は基準より20～30%程度減肥し、分げつ肥は施用せず、穂肥は生育診断により調節する。
鶏ふん*	堆積発酵したもの	植え付け前	0.3	

＊鶏ふんは、肥料効果が高いので土づくり資材としてよりもむしろ肥料として利用する。詳細は第２章第３のケイフンの項目(p.70)参照。

【留意事項】

①窒素過剰は過繁茂、倒伏、いもち病の発生、登熟不良等による品質低下などを起こしやすいので、土壌の状況により適量を施用する。施用は冬期の休閑または裏作栽培期間を利用して施用し、土壌を耕うん乾燥させ腐熟を促進する。また、水稲栽培期間中は未熟有機物の分解によるガス発生のおそれがあるので、水管理に留意する。

②家畜ふん尿にオガクズを混合した場合は、十分に腐熟して堆肥化したものを施用する(６か月程度堆積発酵したものがよい)。

b　緑肥の利用方法

(a) レンゲ

レンゲの成熟期前のすき込みは窒素の肥効が高いので、「緑肥」として取り扱う。

表 2-5　レンゲのすき込みについて

項　目	内　容
播種量	2～4kg/10a 寒地・やせ地・湿田は多めに、暖地・乾田・肥沃地は少なめに播種する。
すき込み量	10a当たり生草量で２～３tとする(窒素9～14kg程度に相当、化学肥料に換算すると4.5～7kg)。施用にあたっては生草量を確認し、多い場合は必ず刈り出しを行い、他のほ場に施用するか、家畜の飼料として利用する。 レンゲ乾物中成分含有率：窒素 2～3%、リン酸 0.5～0.7%、カリ 1～2%、生草の乾物率：17～20%
すき込み時期とすき込み時の留意点	少なくとも移植の２～３週間前とし、いったん刈り倒して乾燥が進んだものをすき込む。すき込み時にケイ酸質肥料100kg/10aを施用してレンゲの分解促進を図る。
施肥の留意点	基肥は無窒素とし、リン酸とカリのみを施肥基準に準じて施用する。穂肥は、一般には施肥基準に準じて施用すればよいが、気象や土壌条件、水管理によってレンゲの肥効発現が異なる場合があるので、穂肥診断を行って生育に応じて加減することが必要になる。
水管理の留意点	生育初期から浅水、間断灌水を行い、根腐れ防止に努める。

(b) ヘアリーベッチ

マメ科牧草で根粒菌の窒素固定量が多い。C/N 比(炭素率)が 10 程度と低く土壌中での分解が早い。

表 2-6　ヘアリーベッチのすき込みについて

項　目	内　　容
ほ場準備	排水不良田では額縁明きょ及び排水溝を設置し、ほ場排水を良好にする。
播種時期	秋まき：晩生種(例)「寒太郎」10月中旬～11月上旬 春まき：早生種(例)「藤えもん」２月下旬～３月上旬 秋まきは早期播種ほど生育量が多い。秋まきは生育量の早期確保に適。 春まきは天候不順で生育量が不安定になりやすい。
播種量	３～５kg/10a 前年のすき込み量が多すぎた場合は少なめに播種する。 春まきですき込み量を多くしたい場合は、多めに播種する。 耕耘後手まき、散粒機、動力散布機で播種する。覆土は必須ではないが春まきでは必要。覆土すると鳥害防止や発芽の安定につながる。
すき込み量 ＊1	10a当たり生草量で２～４t程度とする。(コシヒカリは２tまで) (窒素8～16kg程度に相当、化学肥料に換算すると4～8kg) 代かき１ヶ月前にm^2当たり生草量＊２を測定し、緑肥窒素の化学肥料相当量を次の計算式から判定する。 緑肥窒素量kg/10a(化学肥料相当量)＝m^2当たり生草重量kg×乾物率10%×4%(窒素含有率%)×1000(m^2を10aに換算)×0.5(化学肥料換算係数) すなわち、m^2当たり生草重量kg×2＝化学肥料相当量になる。 ただし、計算に用いたヘアリーベッチの成分量や生草の乾物率には各種栽培条件で変動幅があるが、ここでは窒素含有率4%、乾物率10%を用いた。 ヘアリーベッチ乾物中成分含有率：窒素 3～4%、リン酸 0.8～1%、カリ 3～4% 生草の乾物率：10～20%
すき込み方法	草高40cm以内なら直接ロータリーで刈り倒し、乾いてからすき込む。草高が高くなると、つる性のためロータリーに絡みつくので、フレールモアで刈り取り裁断し、乾いてからロータリーやプラウですき込む。
すき込み時期とすき込み時の留意点	少なくとも移植の２～３週間前とし、生草量が過剰の場合は、さらに早めに刈り倒してすき込み、窒素量を減らすなどの調整を行う。なお、刈り倒してもすき込まず放置するか、すぐに湛水すると分解が進みにくい。そのため、生草量が少ない場合は刈り倒し後すき込まず放置またはすぐに湛水する方が窒素量を維持できる。
施肥の留意点	基肥窒素は緑肥窒素量により減肥を行い、多い場合は無施用とし、穂肥時に調整する。連作により緑肥残存窒素が蓄積していくので、年数に応じて減肥する。ヘアリーベッチや水稲の品種、気象、土壌条件、水管理によって肥効発現が異なるので、穂肥診断を行って生育に応じて加減する。 リン酸は可給態リン酸が10mg/100g以上、カリは交換性カリが30mg/100g以上を満たし、緑肥量が十分あれば無施用も可能。
水管理の留意点	還元によるガス沸きを抑えるため、生育初期から浅水、間断灌水を行い、根腐れ防止に努める。

＊１：すき込み量が過剰になると、過繁茂となり、m^2 もみ数が増えて登熟歩合や食味の低下、病害虫発生や倒伏等を招くので、適正量のすき込みに留意する。

＊２：生草量の測定は、50cm×50cm 枠をヘアリーベッチが最も繁茂しているカ所に被せて、地際から刈り取り重量を測定し４倍して m^2 当たり生草量とする。ヘアリーベッチが全体に繁茂していない場合は、被覆率をかけて生草量を補正する。

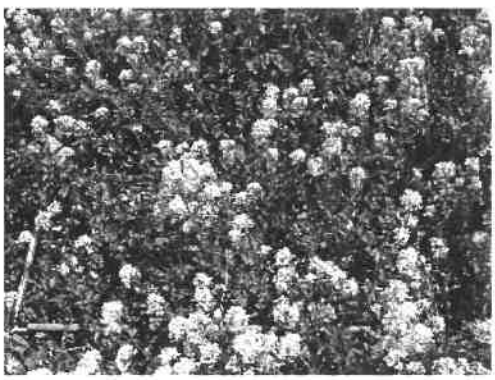
(c) シロガラシ

アブラナ科に属し、春季の景観形成だけでなく、冬季のほ場外への肥料成分の流出を低減する効果や稲作時の肥料代替効果が期待できる。

・シロガラシを栽培して十分な景観形成を得るには300kg/10a程度の乾物量が必要なため、水稲に対する肥料代替効果を発揮させるためにも以下の点に留意する。
・シロガラシは、無機態窒素の多い畑地土壌で生育が良好であるので、堆肥連用ならびに野菜栽培後のほ場に、排水対策を徹底して乾土効果を高めたりすることによって無機態窒素の発現を促す。
・稲作後ではシロガラシの初期生育に必要な無機態窒素が不足しているので、無機態の窒素肥料を地力に応じて施用してから播種する。
・すき込みの作業性などを考慮すると、2月中旬～3月初旬に2kg/10a播種するのがよいと考えられるが、景観形成上、早くから生育量を確保したいときには10月上旬頃から播種する。播種後に軽く鎮圧すると出芽が良好になる。すき込み作業前には、シロガラシの分解を促進するためにフレールモア（ハンマーナイフモア）などで細断処理する。

レンゲ

ヘアリーベッチ



シロガラシ

写真 2-1　緑肥の写真

c　土づくり肥料（土壌の化学性を改善する土壌改良資材）の施用方法

窒素、リン酸、カリの三要素は、施肥で補われるためそれほど不足することはないが、水稲ではそれ以外にケイ酸と鉄が重要となる。また、基盤整備直後や新規開田直後、火山灰土壌の場合は、リン酸固定量が大きいので通常の施肥以外にリン酸質肥料の施用が必要である。

(a) リン酸質肥料

① 新規開田、基盤整備水田その他天地返しや客土実施田では、土壌のリン酸吸収係数の1～5%相当量を含む資材を施用する。

② 火山灰土壌では、活性アルミニウムによるリン酸固定を考慮して、リン酸質肥料の増施が必要である。火山灰土壌ではようりんが施肥効率が高い。

③ 寒冷地、山間地の冷水田では生育初期のリン酸の肥効が悪いので、リン酸質肥料の施用が必要である。

④ 上記以外のほ場では、土壌中の有効態リン酸含量が目標値に達していれば、リン酸施用量は施肥基準に準じる。

⑤ 堆きゅう肥などの有機質資材の施用はリン酸の肥効を高める。堆肥施用が困難な水田では腐植酸質資材の施用がリン酸の肥効向上に効果がある。

(b) ケイ酸質肥料

① 水稲はケイ酸吸収量が100～150kg/10aと極めて多い。通常は土壌や灌漑水、施用した稲わら、堆きゅう肥などから供給されるが、その中でも土壌からの供給量が多い。なお、稲わらやモミガラのケイ酸は結晶化したもの（プラントオパール）が多い。稲わら等を還元してもその全量がすぐに可給化することはなく、過去の還元分から少しずつ放出される。したがって適切な測定法による可給態ケイ酸の値を参考に、不足分を適時、ケイ酸質肥料で補うことが望ましい(p.143参照)。

② 水稲は根から溶存シリカ(ケイ酸分子の親水コロイド)を吸収し、蒸散圧により気孔の周辺組織に集積沈着する。そのため、茎、葉、もみなど各組織はケイ酸の集積により剛性が向上する。その結果受光体勢の向上による光合成能力の向上、耐倒伏性の向上、窒素の過剰吸収抑制などにより、収量・登熟歩合の向上、いもち病やメイチュウなどに対する抵抗性の増加が期待できる。

③ 土壌や灌漑水からのケイ酸供給能力は、温度や珪藻によるケイ酸固定力、土壌pH、ほ場の土質や母岩の種類によって異なるが、各ほ場ごとの供給力はほぼ安定しており、止め葉のケイ酸含量分析により把握することができる。また、土壌や灌漑水の可給態ケイ酸濃度を湛水保温静置法とパックテストを用いた簡易測定により、把握することができる。(参考資料参照)

④ ケイ酸供給力が低いほ場では、堆きゅう肥の施用やケイ酸質肥料の施用効果が大きいので積極的に施用する。近年、さまざまなケイ酸質肥料が開発され、弱酸性域ではケイ酸カルシウムよりも熔成燐肥や熔成けい酸燐肥、熔成けい酸カリ、シリカゲルなどの資材が肥効が高い。

(c) 含鉄資材

鉄は土壌中の天然賦存量が多いため、肥料成分としては指定されていないが、水田では還元化にともない作土の鉄が溶脱し、老朽化田ではしばしば硫化水素による根傷み、根ぐされが発生する。このような場合、遊離酸化鉄が0.8 %(800mg/100g)未満では、含鉄資材を投入し、遊離酸化鉄含量を維持することが必要である。

(d) ほ場条件等による施用法

表 2-7 ほ場条件による肥料の施用法

施用資材名	毎年度施用量(kg/10a)	施用条件		
		ほ場条件	養分条件	水稲生育条件
リン酸質肥料	20～40	火山灰土壌 (黒ボク土)	可給態リン酸 10mg/100g未満 (トルオーグ法)	
腐植酸質資材	40	堆肥を施用していない腐植含量の低いほ場	腐植含量 2.5%未満 陽イオン交換容量 8me未満	
ケイ酸質肥料	60～200	上記以外のほ場	可給態ケイ酸 25mg/100g未満 ケイ酸(止葉中) 12.5%未満 遊離酸化鉄 0.8%以上	いもち病に罹病しやすい 軟弱徒長 窒素過多 倒伏
含鉄資材	200～300	砂礫質漏水田 (礫質礫層土壌) 減水深30mm/日以上 秋落ち田	可給態ケイ酸 25mg/100g未満 遊離酸化鉄 0.8%未満	根腐れ ごま葉枯れ 登熟不良

【留意事項】

- 各施用資材とも秋すき時に施用する。
- 各施用資材の成分含有量は、含鉄資材は酸化鉄 30%、ケイ酸質肥料はケイ酸 25%、リン酸質肥料はリン酸 20～30%を基準としている。成分含有量の高い資材及び易溶出資材の場合は、施用量を削減する。
- 含鉄資材とケイ酸質肥料は、併用する必要はない。
- ケイ酸質肥料は種類に応じて、石灰、カリ、リン酸の補給ができる。
- この表の可給態ケイ酸の分析値は pH4 酢酸緩衝液抽出法で分析した。
  可給態ケイ酸の測定法についての詳細は p. 142 参照。

(e) 土壌分析結果からの施用量の算出例(水稲)

○リン酸質肥料の算出例

計算式

仮定値　可給態リン酸　**a** mg/100g、目標値　20 mg/100g、仮比重　**b**、
土づくり肥料リン酸含量　**d**%、耕起深　**c** cm

$$\text{リン酸質肥料施用量（kg/10a）} = \frac{(20-\mathbf{a}) \times \mathbf{b} \times \mathbf{c}}{10} \times \frac{100}{\mathbf{d}}$$

○ケイ酸質肥料と含鉄資材の選択方法と算出例

次表のとおり、土壌中の遊離酸化鉄含量を基準として資材を選択する。

計算式

仮定値　可給態ケイ酸含量　**a** mg/100g、目標値　25 mg/100g
水稲１作当たりの収奪量　35kg／10a、仮比重　**b**、
耕起深　**c** cm、土づくり肥料ケイ酸含量　**d**%

$$\text{ケイ酸質肥料施用量（kg/10a）} = \left\{ \frac{(25-\mathbf{a}) \times \mathbf{b} \times \mathbf{c}}{10} + 35 \right\} \times \frac{100}{\mathbf{d}}$$

＜算出例１：ケイ酸＞

可給態ケイ酸　10 mg/100g、遊離酸化鉄　1.2%の場合
遊離酸化鉄が 0.8%以上なので、ケイ酸質肥料を使用する。

仮定値　仮比重　1.2、耕起深　10cm、土づくり肥料ケイ酸含量　25%

計算例

$$\frac{(25-10) \times 10 \times 1.2}{10} + 35 \times \frac{100}{25} = 212\text{kg/10a}$$

[ケイ酸質肥料の施用量に関する考え方]

・水稲の吸収量 100kg/10a(玄米収量 500kg、100 kg当たり 20 kg吸収)、潅漑水からのケイ酸供給量 15kg/10a、還元した稲わらからの供給量 50kg(稲わら 500kg/10a、ケイ酸含量 10%)とすると、土壌からのケイ酸収奪量は、100－15－50＝35kg/10a となる。

・土壌の仮比重が 1.2、耕起深が 10cm なので、10a 当たりの土量は 120t となる。

・目標値からの不足量 25－10＝15 mg/100g は、土量 120t では、15×1.2＝18kg/10a となる。

・10a 当たりの供給量は、収奪＋不足量で、35＋18＝53kg/10a となる。

・10a 当たりのケイ酸質肥料施用量は、ケイ酸含量 25%のため、53×(100÷25)＝212kg

＜算出例２：含鉄資材＞

可給態ケイ酸 30mg/100g、遊離酸化鉄 0.6％(600 mg/100g)の場合

遊離酸化鉄が 0.8％(800mg/100g)未満なので、含鉄資材を使用する。

［分析値から施用量を計算した場合］

遊離酸化鉄の目標値を 800mg/100g、仮比重 1.2、耕起深 10cm とすると、土量は 120t/10a、目標値からの不足量 800－600＝200mg/100g(200kg/100t)なので、土量 120t では 200×1.2＝240kg、含鉄資材中の遊離酸化鉄含量を 25%とすると含鉄資材施用量は 240×(100÷25)＝960kg/10a と非常に多量となる。このような多量を毎年施用すると、土壌はアルカリ化する。したがって、分析値から施用量を算出するのは難しい。

［含鉄資材の施用量に関する考え方］

県の基準値である遊離酸化鉄含量0.8％未満の水田で毎年施用する場合、200kg～400kg の範囲内で施用する。

土壌中遊離酸化鉄含量（%）	土づくり肥料
0.8未満の場合	含鉄資材
0.8以上の場合	ケイ酸質肥料

例えば、遊離酸化鉄含量 0.8％未満～0.6％以上は 200kg、0.6%未満～0.4%以上は 300kg、0.4％未満は 400kg/10a を施用する方法も考えられる。この程度の施用では、遊離酸化鉄は目標値に到達しないので、毎年施用する。１回に多量施用すると、アルカリ化する危険性があるので１回の施用量の上限は 400kg/10a にする。

(ｴ) 水田土壌の物理性改善

水田の作土は近年浅くなる傾向にある。実際、高速でロータリー耕を行うと、10cm 程度しか耕起できないことが多く、浅層化が進む要因になっている。作土層が薄くなると水稲の根群伸長域が狭くなり、土壌からの養水分の供給量が減少し、生育が不安定になりやすい。また、有機物を施用したときに作土層が浅いと異常還元を引き起こすことがある。そこで、ゆっくりていねいに耕うん・砕土を行ったり、深耕用機械を用いて深耕を行う。

また、すき床層のち密度が高かったり不透水層が存在すると、水の縦浸透が阻害され、還元化が進行するため、心土破砕耕を実施して透水性の改善を図る。

a　深耕の実施（作土深の確保）

(a) 深耕の適・不適条件

深耕の効果は土壌型により異なり、地下水位が低く深耕後に土壌が乾燥する場所では、特に効果が高い。増収だけでなく、近年の高温登熟条件下では品質低下の抑制効果も期待できる。

過去の多収穫田の耕起深は、20cm 程度が多い。耕起深を 12cm から 18cm

にすることにより、10a 当たり乾土として約 60t の耕土が増加することになる。

また高い効果を得るためには、新たに耕起される土層の性質に応じた土壌の改良対策を実施するほか、間断灌がい、中干しなどの水管理を励行して、土壌が強度の還元状態になるのを抑制することが大切である。

表 2-8　深耕の適・不適条件

項　目	効果の高い適条件	効果の期待できない不適条件
透水・排水性	灌排水自由な乾田	湧水田、湿田
土壌型	灰色、灰褐色、黄褐色、礫質土壌（グライ土壌）	泥炭、泥炭質、黒泥、強グライ土壌
土壌条件	効果の高い順位は 砂質土＞壌質土＞粘質土 作土下に塩基、鉄などが溶脱し、深耕によりその作土との混和が可能な場合	作土直下に砂礫層が出現
生育型	秋落ち型	でき遅れ型

【留意事項】

深耕に適した土壌型でも、深耕を行う前に新たに耕起しようとする土層の状態(礫含量、土性、化学性など)をあらかじめ調査し、深耕しても支障が生じないか確認する。

(b) 深耕の方法

２～３年に１回プラウ耕などによる深耕を行い、作土を少なくとも 15cm～18cm 程度にすることが必要である。しかし、いきなり作土を深くしすぎると、生育後期まで窒素が過剰に供給されて、米の品質に影響が出たり、水稲の機械移植では植え付け精度が低下するなど機械作業効率の低下を招くので注意が必要である。また、転換畑においても、作土が深い方が生産性は高まるが、水田の高度利用で輪作を行う場合は、すき床層を破壊しないよう留意する。

表 2-9　水田深耕機械の種類と特徴

機　種	種　類　と　特　徴
プラウ	プラウにはボトムプラウとディスクプラウがあるが、一般にプラウといえばボトムプラウを指していることが多い。 プラウ（ボトムプラウ）耕は、土を切断し、耕起して反転・破砕するため、土塊はほぼ完全に反転され、ほ場表面の夾雑物、作物の切株、雑草などをすき込むので、その後の雑草の発生も少なくなる。しかし、耕起後の均平度が劣るので、ロータリーあるいはハローで砕土・均平化する必要がある。
駆動ディスク ハロー型プラウ	プラウによる反転耕（深耕・反転）とロータリー耕による攪拌耕（耕幅が広い、破砕力が大きい）の両面を併せ持つ。
ロータリー	ロータリー耕は、土を攪拌して細かく砕土する作用が強く、耕起と同時に砕土、均平整地ができる。深耕用ロータリーを用いると、耕起深は30cmぐらいまでいけるが、土壌水分が多いとかなりの馬力を要し、作業が困難になることがある。
その他	す　　き … 単用すき・双用すき・２段耕すきなどがある。 心土破砕機 … 振動式心土破砕機（パンブレーカー）・サブソイラー・ロータリーディガなどがある。

表 2-10　深耕・反転・有機物すきこみ用機械の適応性

機械の種類			標準 ロータリー	逆転 ロータリー	駆動型 ディスク	すき	プラウ
作業性	耕起性	耕　深	13～18cm	13～18cm	18～20cm	18～20cm	20cm以上
		耕　幅	トラクター幅			トラクター幅以下	
		反転性	泥層攪拌	泥層攪拌	セミ反転	完全反転	完全反転
	耕起状態	土　塊	大きい	上細・下粗	非常に大	非常に大	非常に大
		乾土効果	ほぼよい	よくない	全体によい	全体によい	全体によい
	有機物 すきこみ	埋没の程度	露出小	露出大	露出小	露出大	露出大
		土への攪拌	よく混ざる	下層に混ざる	混ざらない	混ざらない	混ざらない
	土のかたより		少ない	少ない	やや多い	多い	多い
	その他	後作業	不要	不要	必要	必要	必要
		あぜ際耕起	可能	可能	可能	困難	可能
		作業速度	2～3km/hr.	2～3km/hr.	3～5km/hr.	6～7km/hr.	3～5km/hr.
		牽引抵抗	なし	小	小	中	大
適応性	ほ場	水　田	最適	適	最適	最適	可
		畑	適	最適	適	適	最適
		水田転換畑	適	最適	最適	適	適
	土性	重い土	最適	最適	適	適	適
		普通の土	最適	最適	最適	最適	最適
		軽い土	適	適	適	最適	最適

c　排水対策

(a) 排水のねらいと計画

すき床層のち密度が過大であったり、作土直下に不透水層がある場合は、心土破砕耕を行うと透水性の改善が図れる。特に転換畑の場合は効果が高い。

また、粘質土壌に由来する透水性不良がある場合は、溝切り栽培や弾丸暗きょの施工が有効である。排水不良田ではしばしば地耐性の不足により機械作業が困難になることがある。この場合も、溝切り、弾丸暗きょ等の実施により作土層の乾燥を促すとよい。また、有機物の施用により団粒化を促進すると排水改善に役立つ。

なお、ほ場における排水は、主として洪水時の排水が重要であり、水稲作付期間中は当日の雨量は、その日のうちに排除が原則である。

また、ほ場の排水は、耕起、収穫等の作業が円滑に行うことができて、さらに水稲の健全な生育を維持するため、生育時期に応じた排水管理ができることが必要である。

(b) 排水の目標

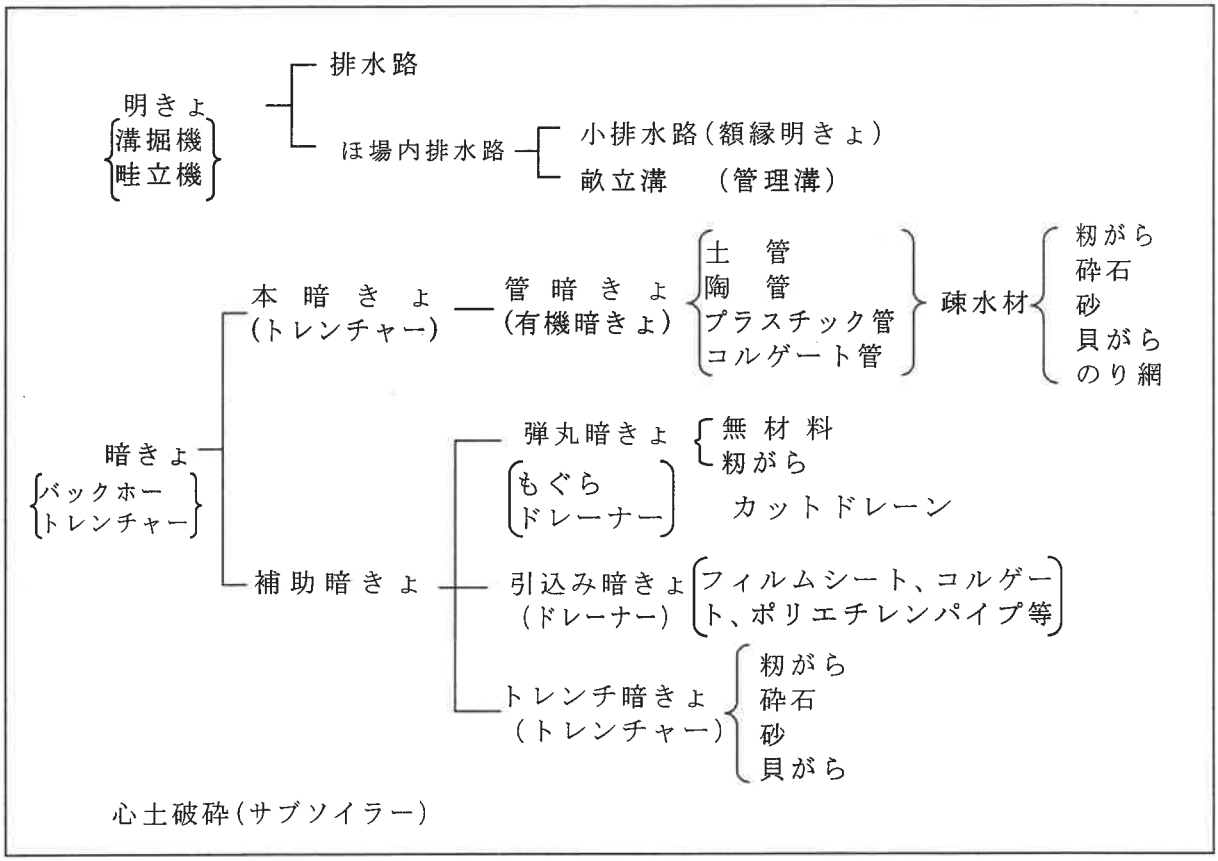
表 2-11　排水の目標

項　目		目標値
田面排水計画	湛水直播きの芽干し時 中干し時 灌がい終了時 大雨時の湛水排除（10cm以上の湛水）	１日以内 ２～３日以内 ３～５日以内 １～２日以内
水田の暗きょ排水計画	計画暗きょ排水量 吸水きょ埋設深 暗きょ間隔（地下水位・土壌等による）	50mm/日 0.6～1.0m 10～15m
汎用化水田の排水計画	地表残留水許容日数 降雨後２～３日の地下水位 地下水位（降雨後７日） 透水係数	１日以内 40～50cm 50～60cm 10^{-4}cm/秒以上

(c) 排水の種類とその方法

排水の方法としては、地下水の排除と地表水の排除に大別される。また、難透水性土壌では、本暗きょと補助暗きょを組合せた複合暗きょが必要である。

表 2-12　排水の種類と方法　（麦の排水対策事例 p. 35 参照）



d　ほ場整備田の早期熟田化対策

(a) ほ場整備田での問題点

・盛土部の土壌沈下などにより、田面が凹凸になり高低差が大きくなることが多い。このため、ほ場全体が均一な土壌水分になるような理想的な水管理ができ難くなる。

・ほ場整備工事過程での大型ブルドーザーなどの踏圧による下層土上部の圧密化により不透水層が形成されている。また、土壌の撹乱により土壌構造が破壊される。これらの原因により、透水性が小さくなり、表面排水が悪化する。

・切土部では養分不足、盛土部では養分過多になりやすく、地力が不均一になり作物の生育も不均一になる。

・棚田の下方に位置する田の畦畔直下は、たえず上方に位置する田より水の浸透があり、水分過飽和状態になりがちである。

(b) ほ場整備田での改良対策

・ほ場が凹凸で高低差がある場合、高い部分の土を低い部分に運搬したり、客土を行い、ほ場全体が均一になるように努める。ほ場が均一になると中干しなどの水管理も効率的に行える。

・不透水層が生じ、排水が悪くなった場合、これを改良するためには表面排水あるいは地下排水を行うことが重要である。

(c) 表面排水対策

・５ｍ間隔に排水溝を設け、排水口まで余剰水がすみやかに流れるようにする。

・棚田では、上部水田の畦畔からの浸透水を除去するため、法尻に畦畔に沿って明きょを掘る。

・作土を 18cm 前後深耕し、根域を拡大させ養分吸収を増加させる。なお、深耕時には堆肥の併用が必要である。

・休閑期には完熟堆肥を施用し、土壌の理化学性の改善を行う。秋すきを励行し、表面排水を図り土壌の乾燥により構造を発達させるため、畝立てあるいは５ｍ間隔程度に排水溝を作っておく。

(d) 地下排水対策

・圧密層が比較的下層にある場合や地下水位が高い場合は、地下排水により乾田化する。

・地下排水するには、暗きょを施工するのが効果的である。

・湿田に対する一般的な暗きょ施工法は「カ　排水対策」の項目を参照のこと。

(e) 漏水防止対策

・別項（p.31 表中）の施肥土壌区群Ⅴおよびその他の漏水過多水田で、中部山間、丹波、播但山間高冷地、但馬平坦地の地域では冷夏等に対して、田面水温や地温の維持上昇のためにも、また土壌養分の流亡防止のためにも漏水防止対策が必要である。

・水田の漏水は畦畔からが大半を占めることが多いので、以下のような対策を実行する。

・代かき時にできるだけ畦まわりを丁寧に代かき

・畦畔沿いにベントナイト等の資材散布やあぜ塗り機の活用等によるあぜ塗り、あるいは畦シートを利用

・代かき時に畦畔際をトラクターのタイヤで幅２ｍほど踏圧することも有効

(オ) 不良水田土壌と改良対策

a　老朽化水田

作土層やその下層のすき床層から鉄(遊離酸化鉄)が強度に溶脱されているような水田を老朽化水田という。老朽化水田では、鉄のほか、マンガン、カリ、カルシウム、マグネシウム、ケイ酸などが強度に溶脱される。

(a) 問題点

老朽化水田における問題点は、養分の不足と有害物質(とくに硫化水素)による水稲根への害がある。養分の不足については、窒素、リン酸、カリ、ケイ酸、マグネシウム、マンガンなどが知られている。また硫化水素は、土壌の酸化還元電位が－150mV 以下の強還元状態になると硫黄が還元されて生成する。硫化水素が発生すると養分の吸収阻害が起こり、その影響の程度は、リン酸＞カリ＞ケイ酸＞アンモニウム＞マンガン＞マグネシウム＞カル

シウムの順である。

さらに、強還元状態が常態化した水田では、鉄やマンガンが流亡した結果、水稲根の酸化鉄や酸化マンガンによる防護が弱くなり、直接根が硫化水素に犯されやすくなることにより根ぐされが発生する。硫化水素の害が進むと、根は半透明になり、皮層、細胞が破壊され、機能を失い壊死する。

(b) 改良対策

老朽化水田の改良法としては、客土、天地返し、含鉄資材の施用、優良粘土、ケイ酸質肥料、マンガンやマグネシウムを含む肥料の施用などがあるが、それらとあわせて無硫酸根肥料の施用、かん排水の合理的管理、窒素およびカリ肥料の合理的施用なども必要となる。

b 湿田

湿田では地下水位が高く、酸素の供給がないので土壌は還元状態を呈する。還元状態を診断するには、ジピリジル反応を確認する。湿田は地下水位の高さによって湿田、半湿田に分けられる。湿田は年間を通じて灌漑水の動きがまったくないかあるいは少ない。Eh 値は全層とも終始低い。半湿田は乾田と湿田の中間的性格を有し、一年のある期間、湿田状態になる水田をいう。

(a) 問題点

湿田では好気性菌の活動が弱く、常に未熟な有機物が多い状態にある。地温が上昇するのにともない、急激に分解が始まり、酸素欠乏に起因して根ぐされや養分吸収阻害が発生する。

(b) 改良対策

湿田の改良は、暗きょ排水の施工によって地下水位を下げることと、灌漑水の地下浸透を図ることが重要である。排水工事にともなう乾田化過程に応じ、肥培管理を行うことも大切で、とくに窒素は基肥を減らして穂肥重点の施肥を行う。

c 泥炭田

泥炭地とは地表下 50cm 以内に泥炭層があり、排水しても泥炭層が約 20cm 以上の厚さを持つものをいう。泥炭はそれを構成する原植物によって高位泥炭(ミズゴケ類を主体とする)、中間泥炭(ワタスゲ類)、低位泥炭(ヨシ類)に分けられる。泥炭土は有機物含量が多いため、容積重が小さく塩基含量が少ない。酸性が強く pH は 4 前後であることが多いため、酸度矯正が必要である。

(a) 問題点

養分ではリン酸、カリ、カルシウム、マグネシウム、マンガン、ホウ素、銅、亜鉛などが欠乏している。また、湛水時に生成される各種有害還元物質により、水稲根の養分吸収が阻害される。土層が軟弱なため、機械作業の場合にスリップやめり込みなどがおきやすい。

(b) 改良対策

明きょ、暗きょによる排水が基本となる。泥炭田は鉱物質が不足しているので、優良粘土の客土、塩類の補給などを行えば、生産力の高い水田になる

ことが多い。

d　干拓田

(a) 問題点

土壌構造がまったく未発達であるため物理性が劣悪である。また、塩害、乾田化にともなう硫酸発現による酸性害、還元状態になった場合の障害、アルカリ害などが知られている。

(b)改良対策

干拓地では排水工事による地下水の引き下げが最優先すべき対策である。これを契機にして乾田化が進行し、固相率の増加、透水性や地耐力の向上、団粒構造の発達など物理性の改良が進行する。土壌有害物質が流去するとともに塩基の溶脱も促進されるので、塩基成分、リン酸などの補給のために土づくり肥料の施用が必要である。塩害地、強酸性化地では、脱塩に努めるとともに石灰質肥料を施用し、栽培期間は灌漑水の掛け流しを行うことが望ましい。

e　火山灰土壌

火山灰土壌は主に洪積台地に分布し、腐植に富む黒色土壌で、比重が軽く透水性が極めてよい。リン酸固定力が非常に強く可給態リン酸が非常に少ない。一方、窒素やカリウムの吸着力が弱いため流亡しやすく、塩基が不足しやすい。

(a) 問題点

リン酸欠乏に陥りやすい。また漏水による養分流亡がはなはだしい。山間部や冷涼地では水温が上がりにくいため、地力窒素の発現が遅れる。

(b) 改良対策

火山灰土壌での改良目標は、初期生育を良好にし、登熟不良、いもち病による減収を防ぐことが第一である。初期生育の促進には、リン酸を多用することが重要である。通常の施肥では燐酸吸収係数の1%程度を施用量の基準とする(リン酸吸収係数2,000であればリン酸として20kg/10a)。

新規開田の場合は、これよりさらに多く、一時に5～10%量を加えて土壌改良を行う方法がとられる。なお、土壌中の塩基含量やケイ酸含量が少ないとリン酸多用の効果も出にくいため、塩基飽和度を50～80%に保ち、ケイ酸質肥料の施用を行う。

f　漏水過多田

減水深が異常に大きい水田を漏水過多田という。全層または下層が砂質または砂れき質からなる水田、火山灰水田、および傾斜地帯の階段状水田に多い。

(a) 問題点

漏水過多田は土壌養分の保持能力が弱く、肥料成分や塩基などが溶脱しやすい。また土壌自体から供給されるケイ酸、マグネシウム、カリ、リン酸、鉄、マンガンなども乏しい。

(b) 改良対策

改良対策は状況に応じた対策が必要で、床締め、優良粘土含有土壌（ベントナイトなど）の客土、含鉄資材の施用、ケイ酸、マグネシウム、カルシウ

ム、マンガンなどの施用、窒素、カリの増施と分施、固形肥料の施用やリン酸多施などが効果的である。

(カ) 施肥基準

a　施肥基準の設定

・施肥は、気象、土壌条件、灌漑水質等の自然条件や品種、作付体系、栽培管理等の栽培条件の相違により異なるので、それらを考慮して、土壌区分ごとに目安となる施肥基準を定める。

・経済的、効率的な効果をあげるために土壌条件を把握し、土壌図の活用やきめ細かな土壌診断を実施して、効率的な施肥を推奨する。

b　施肥基準の使用上の注意点

この基準は主として機械移植栽培について記載しているが、施肥設計を作成するに当たっては、次の事項を十分考慮するものとする。

(a) 目標収量

各地域とも水稲 500～550kg（10a 当たり）を目標収量として作成した。

(b) 土壌区分

土壌区分は、p. 31 の別表のとおり、６施肥土壌区群に分類した。地域ごとの土壌区分は、インターネット上で県内各地域の土壌図等が公開されているので、参照、確認する。

《参考》　土壌図の検索方法
インターネット上で県下各地域の土壌図等が公開されているので、指導に活用すること。
[ホームページ] http://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/

c　有機質資材の施用

堆きゅう肥、稲わら等の有機質資材の施用を心がける。

d　土づくり肥料の施用

土づくり肥料の施用は別項「土づくり」を参照のうえ施用推進を図る。

e　栽植密度及び苗令

機械移植栽培での栽植密度は㎡当たり 15～22 株（坪当たり 50～70 株）、稚苗は 20 日苗（3.5 葉程度）、中苗は 35 日（4.5 葉程度）を標準とした。

注）葉齢は不完全葉を含む。

f　品種別補正

窒素成分について、品種ごとに必要とされる成分量が異なるので、品種に応じて施肥量を補正する（p.32 の品種別補正値を参照）。

g　前作の種類による補正

前作物の種類または施肥の方法により施肥量を加減する必要があるときは、土壌診断等により補正をして使用する。

h　汚濁水流入田に対する適用

汚濁水の流入田などは、水質及び土壌診断によって適切な土壌の改良を行う。なお、特に窒素過剰となるところでは、節水栽培などをとり入れ、併せて生育状態を診断して窒素肥料を減量する。

表 2-13 施肥土壌区と施肥窒素成分量(基肥-分げつ肥-穂肥１-穂肥２ kg/10a)

施肥土壌区	土壌群または土壌統群	区分上の概念並びに特徴	基準窒素成分量および特記事項
Ⅰ 有機質湿田 (泥炭黒泥土壌)	黒泥土 泥炭土 灰色低地土・下層有機質 グライ土・下層有機質	地表下60cm以内に泥炭あるいは黒泥を含む湿田土壌である。有機物が過剰であるため、塩基が不足しやすく酸性を呈するものが多い。夏季、地温の上昇に伴う急激な有機物の分解により生育遅延または根腐れを起こしやすく、種々の病害虫の被害も大きく、倒伏しやすい。但馬地域にごくわずか分布する。	6-0-1.5-0 穂肥で減肥する
Ⅱ 一般湿田 (グライ土壌)	グライ土(グライ土・下層有機質を除く)	作土及び作土直下からグライ層(いつも水がついて青灰色を呈する層)になる湿田である。またグライ層でなくても地下水の極めて高い湿田も含まれる。斑鉄(酸化鉄の斑紋)が深くまで多くみられる水田は、収量がやや高く、斑鉄が認められないものは収量が低い。また、夏季に地下水位の低下するものと上昇するものとがあり、前者は収量が高い。一般に潜在地力に富み、腐植、全窒素及び遊離酸化鉄含量が他の土壌より多い。夏季高温時に有機物が急激な分解を始めるので、無効分げつが多くなりやすく、また、根腐れを起こしやすく倒伏しやすい。	6-0-2-0 穂肥で減肥する
Ⅲ 一般半乾半湿田及び粘土質乾田 (灰色土壌)	細粒灰色低地土・灰色系 中粗粒灰色低地土・灰色系 灰色低地土・下層黒ボク 多湿黒ボク土	作土下１mの全層にわたって灰色を呈するかあるいは下層がグライ層となる土壌である。さらに下層が灰褐色であるが、粘質の土壌を含む。前二者は地下水位がやや高く、困難な場合もあるが、一般に二毛作が可能である。土性は地下水位の低い所では砂壌土～壌土の場合があるが、一般には埴壌土～壌土の場合が多い。この土壌区は欠陥の少ない土壌で水稲の収量の高い所が多い。所によっては遊離酸化鉄含量が少なく、老朽化の進んでいることもあるので、注意が必要である。	6-0-2-0 穂肥で減肥する
Ⅳ 中間質乾田 (灰褐色土壌)	細粒灰色低地土・灰褐系 中粗粒灰色低地土・灰褐系	全層が灰褐色を呈する乾田土壌であるが、時には斑紋が多いため褐色を帯びることがある。また砂礫層が地下60cm以下に存在する土壌並びに下層に角礫を含む崩積土壌あるいは熟田化した台地土壌（第三紀層、洪積層）なども含まれる。土性は壌土～埴壌土で水もちがやや悪い。老朽化が進んでいるものは対策を必要とする。下層の密度が高く深耕の効果が高い。	4-2-3-0 気象条件生育状態によって穂肥を減量、あるいは分施する
Ⅴ 砂礫質漏水田 (礫質礫層土壌)	礫質黄色土・斑紋あり 礫質褐色低地土・斑紋あり 礫質灰色低地土・灰色系 礫質灰色低地土・灰褐系	作土直下あるいは30～60cmから砂礫層になる乾田である。水もちが悪く肥料も流亡しやすい。また各種養分の溶脱が激しく、特に、ケイ酸、苦土、マンガン等が欠乏した老朽化水田が多く、地力が低いので、なにより土づくりが必要である。	4.5-2-2-1 分施して肥料利用率を高める

Ⅵ 台地性 未発達田 （黄褐色 土壌）	細粒黄色土・斑紋あり 細粒褐色低地土・斑紋あり 中粗粒褐色低地土・斑紋あり 暗赤色土	一般に埴土で強粘質である。また、水田としての歴史が浅く黄色を呈し、第三紀層、洪積層が多い。自然肥沃度が低く、養分も溶脱し、腐植、全窒素等が少なく酸性を呈する。なお、地下水位は低いが構造が未発達で、作土、下層土の土性が粘質～強粘質土壌なので透水性が不良な土壌が多い。	6-0-3-0

◎リン酸成分の施肥量：窒素成分の 60～70％を基肥として施用する

◎カリ成分の施肥量：窒素成分と同量を、基肥および追肥として施用する。

◎基準窒素成分量の品種別補正値（窒素成分量に対する％）

（
100　はりまもち
95　キヌヒカリ、きぬむすめ、ヒノヒカリ、兵庫夢錦
85　どんとこい、ヤマフクモチ、五百万石、兵庫北錦
75　コシヒカリ
60　山田錦
）

図 2-1　水稲施肥基準地域区分図（旧町版）

現在の市町区分図

兵庫県地図(41市町)

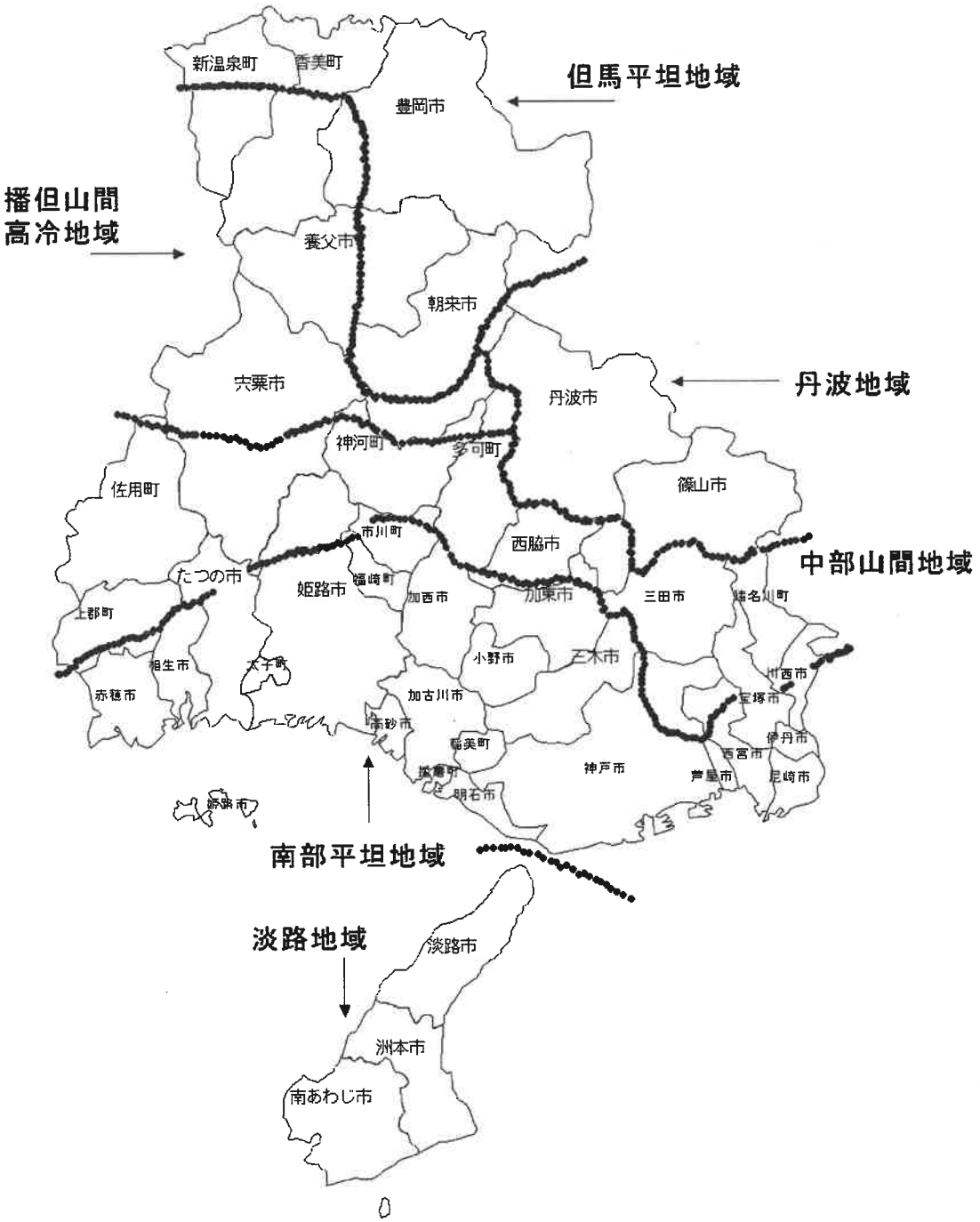


図 2-2　現在の市町区分図

イ　麦

(ｱ) 土壌の維持すべき状態

表 2-14　土壌改良基準

項　　目	目　標　値
作土厚さ（cm）	15 以上
地下水位（cm）	40 以深
粗孔隙（pF1.5）（%）	10 以上(耕起前)
pH（H_2O）	6.0～7.0
交換性塩基含量	
石灰（CaO mg/100g）	200～250
苦土（MgO mg/100g）	25～35
カリ（K_2O mg/100g）	20～30
塩基組成	
石灰/苦土(CaO /MgO) 当量比	3～6
可給態リン酸（P_2O_5mg/100g）＊Truog 法	10～30

＊　土壌 pH を 6.5～7 程度に高めたり、堆肥を施用することは麦の収量・品質向上に重要な項目である。また、稲、大豆等との輪作体系においても効果が期待できる。

(ｲ) 土づくり

堆肥は 10a 当たり 1～2t、または、麦の播種作業に支障をもたらさないかぎり、稲わら全量をほ場に還元する。土壌診断に基づいて、石灰質または苦土石灰肥料等の土づくり肥料を 100～150kg/10a 施用する。pH5 以下になると生育が極端に悪くなるので土づくりは特に重要である。

(ｳ) 排水対策事例

麦作にとって排水対策は作柄の良否に最も影響する作業であり、耕起・播種時には、十分にほ場が乾燥していることが必須である。したがって、以下の施工方法を参考にして、効果の高い排水対策方法を効率的に行う必要がある。

a　本暗きょ＋補助暗きょの組み合わせ

乾田化が困難で湿害を回避できないような粘質ほ場でも効果が高い。管理溝等の潰れ地が少なく、ほ場全面に播種できるので面積当たりの実収量が増加する。

(a) 本暗きょの施工

30ａ区画ほ場（30m×100m）の場合、本暗きょは右図のように長辺方向に 10m 間隔に３本施工する。施工方法はトレンチャまたはバックホーで幅 20～30cm、深さ 50～70cm の溝を掘り、底部は凹凸がないように仕上げる。このとき、暗きょに集められた水が速やかにほ場外に排出されるように暗きょの深さは上流側 50cm、下流側 70cm を設定し、1/500 程度の勾配を設ける。溝が仕上がったら底部に多孔パイプ（直径 65mm）を埋設し、溝に籾殻また

は砕石等を充填する。

充填資材が籾殻の場合、施工後陥没しないように充填途中によく踏みつける。充填量は籾殻の場合田面まで、砕石の場合田面下30cmとし、砕石の上に籾殻を田面まで充填する。集水管（塩ビパイプ、直径65mm）は多孔パイプと直結し3本それぞれ単独に設置するか、もしくは短辺側に集水きょを設け1本にまとめて設置する。集水管を設置した畦畔部は崩壊や、水田に戻したときの漏水を防ぐため、固く締めつけながら土を埋め戻す。

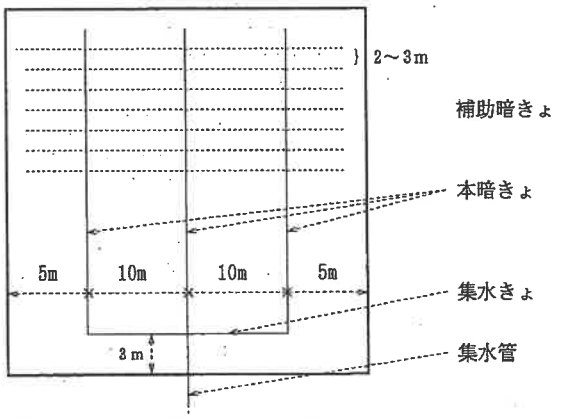


図 2-3　本暗きょの施工

(b) 補助暗きょ（弾丸暗きょ）の施工

補助暗きょは一般に弾丸暗きょとし、本暗きょに直交するように短辺方向に1.5～2m間隔で施工する。施工深さは30cm前後とし、籾殻層と交叉していることが重要である。補助暗きょは営農作業と考えるべきで、播種作業前に毎年施工することが望ましい。

b　額縁明きょ＋弾丸暗きょの組み合わせ（放射状弾丸暗きょ施工法）

本暗きょを施工していないほ場では、額縁明きょと弾丸暗きょの組み合わせによって、大区画ほ場でも十分な排水効果が期待できる。本暗きょと同様にほ場全面に播種できるので面積あたりの実収量が増加する。施工方法は額縁明きょを設置後、まず深さ30cm前後の弾丸暗きょをほ場の短辺方向に平行して3～5m幅（土壌条件によって異なる）で施工し、次に40～50cm程度まで掘り下げた排水口から放射状に集水きょとなる弾丸暗きょを施工する。

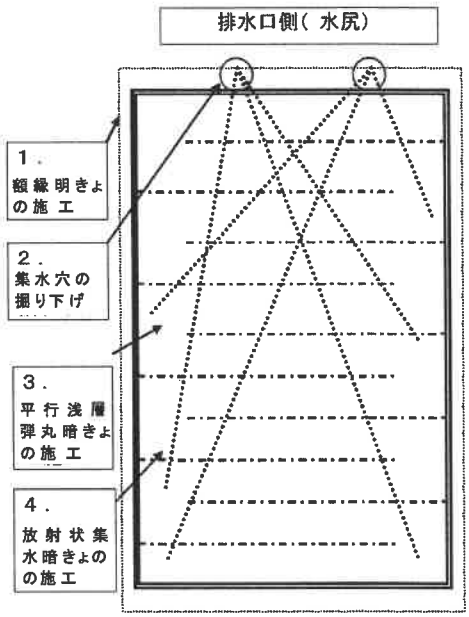


図 2-4 補助暗きょ（弾丸暗きょ）の施工

c　明きょを活用した排水対策（従来法）

従来より実施されている営農排水方法は、排水溝部分に播種できないが排水効果は高いので、弾丸暗きょ等の作業機がない場合は、この方法で、徹底

した排水対策を行う必要がある。排準備が整い次第行うのが望ましい。間隔は土性や排水の良否により適宜定めればよいが、壌質土の乾田では３ｍ程度がよい。また、雨水がほ場内にたまることのないよう特に留意する。

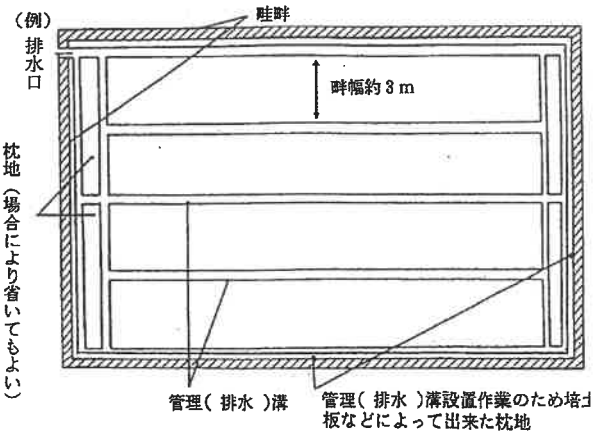


図 2-5 明きょを活用した排水対策

d　心土破砕

現在のような大型機械による作業体系では、機械の踏圧により作土直下の耕盤層が形成される。

暗きょを生かしながら透水性の改善と根圏拡大を図るためには、心土破砕が有効な手だてとなる。

◎基本的整備→暗きょ・明きょの整備

◎補助的整備→サブソイラー等による心土破砕の施工

機械による農作業を繰り返していくと機械の重みによって土がしだいに固められていく。通常は毎年耕すと、表面部分(15cm 程度) は柔らかくなるが、その下には堅い土の層が残る。このため、作物の根が伸びなかったり、水や空気の通りが十分に得られず作物の生育が悪くなったりする。せっかく「暗きょ」を整備していても、この堅い層があると雨が降ったあとの水がなかなか抜けずに、「暗きょ」の機能が発揮されないこともある。堅い土の部分に亀裂を入れ、水が通る道をつけ農地の排水性や通気性を確保し、作物の生育環境を良くする工事を「心土破砕」という。また、透水性の確保を持続させるため亀裂の部分に貝殻・チップ等の疎水材を入れる有材心土破砕もある。

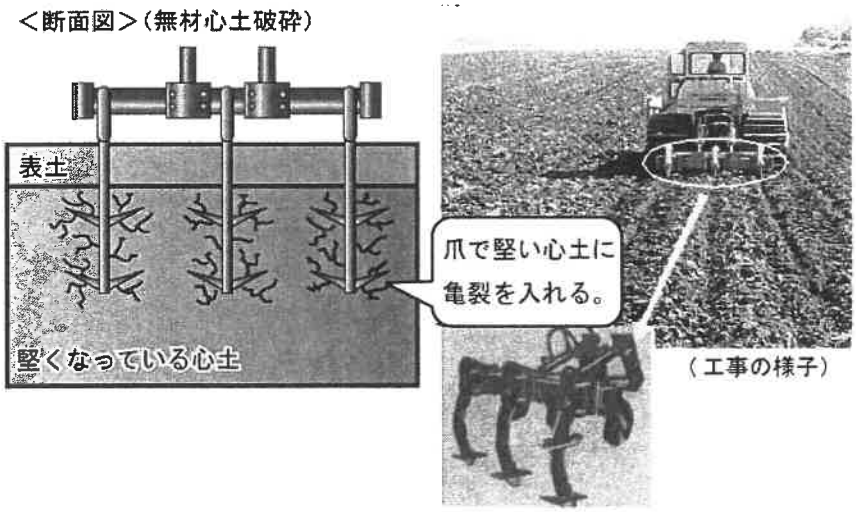


図 2-6　心土破砕

＜原図：北海道庁ＨＰ＞　※無材心土破砕は、土中の疎水材無しの意味

表 2-15　営農排水対策の種類

排水対策	基本的な考え方	内容(施工基準)
ほ場内排水等	水田の畑利用の初期には作土下に水の縦浸透を妨げるすき床層が存在するので、ほ場内に排水溝を掘削することにより、地表面滞留水の排除を速やかに行う。 乾田型の礫質礫層土壌、灰褐色土壌、黒ボク土等の排水条件の良い水田を除き、大部分の水田で実施することが望ましい。	ほ場内排水溝の設置 深さ：20～30cm 間隔：3～5m
すき床層の膨軟化	耕土内部の粗孔げきを多くし、透水性・通気性の改善を図るために深耕等によりすき床層の膨軟化を図る。 水田の畑利用初期にあたっては、基本的に全ての水田を対象に実施することが望ましい。 特に土性が細粒質及び中粒質ですき床層の形成されやすい土壌条件をもった水田については必ず実施する。	プラウ等による深耕 深さ：15～18cm
捕水きょ(明きょ)	ほ場一筆ごとの個別転作を行う場合、隣接田からの横浸透水及び降雨時の隣接田からの溢流水を防止するため、ほ場の周囲等に捕水きょを設置する。 扇状地等傾斜地で伏流水がある場合には、山側に捕水きょを設置する。	捕水きょの設置 深さ：30cm 以上
弾丸暗きょ等(補助暗きょ)	土壌構造の発達が不十分で土壌透水性が不良となっている水田では、弾丸暗きょ、籾がら暗きょ、コルゲート管の設置等の補助暗きょにより、地表面滞留水及び作土層重力水の排除を促進する。 弾丸暗きょ等の施工に当たっては、本暗きょ排水の有無及びその施工状況等を勘案して実施する。	弾丸暗きょ等の施工 深さ：30cm 前後 間隔：2～3m が望ましい。
心土破砕	土性が細粒質で速やかな土壌構造の発達ができない水田では、弾丸暗きょ等と併せて、心土破砕により土層に亀裂を作って排水を促進する。	パンブレーカーによる心土破砕 深さ：30cm 前後 間隔：1m 程度
その他(高畦栽培)	以上のような営農対策でも、なお排水が不良な強グライ土等において栽培しようとする場合には、高畦栽培を行う必要がある。	高畦栽培 高さ：30cm 以上

ウ　大豆

(ｱ) 土壌の維持すべき状態

表 2-16　土壌改良目標

項　目	目　標　値
作土の厚さ（cm）	15 以上
地下水位（cm）	50 以深
粗孔隙（pF1.5）（%）	10 以上（耕起前）
pH（H_2O）	6.0～7.0
交換性塩基含量　石灰（CaO mg/100g）	200～250
苦土（MgO mg/100g）	25～35
カリ（K_2O mg/100g）	20～30
塩基組成	
石灰/苦土(CaO/MgO) 当量比	3～6
可給態リン酸（P_2O_5mg/100g）＊Truog 法	10～30

＜ほ場の選定＞

a　過乾・過湿のおそれのない地力のあるほ場が望ましい。

b　栽培適地の土壌条件として、冠水しても半日以内に排水可能であること。

c　ほ場整備直後のほ場は、特に排水性を高めるよう努める。

d　連作を避け、麦や水稲とのローテーションを図る。

(a) 紫斑病、立枯病害、センチュウなどの多発地では連作しない。

(b) 麦類や緑肥など、冬作物を導入して連作障害を緩和する。

(ｲ) 耕起・砕土・整地

耕起・砕土・整地は丁寧に行う。不耕起栽培の場合はこの限りでない。

a　砕土性が良いと、播種の深さ、覆土の厚さが一定して種子の発芽率が高まり、除草剤の効果も高まる。ただし、播種が深くなりやすいので、播種機の調整を十分に行う

(a) 転換畑で土壌水分が高い状態では砕土不良になりやすいので注意を要する。

(b) 麦跡や春期に土壌が十分乾燥した状態になると大豆時の砕土はしやすくなる。

b　土壌条件や水分条件に応じて適応作業機械の選定や作業体系の組み立てをする。

(ｳ) 土づくり

大豆は、窒素要求量は高いが施肥効率の低い作物で、窒素施肥だけでは増収は困難であり、地力の消耗も大きいため、堆肥等の施用による窒素肥沃度の向上が重要となる。また根粒における窒素固定にはモリブデンと多量の酸素が要求され、土壌ｐＨが低いとモリブデンの供給に、土壌の通気性が低いと酸素の供給に支障を生じる。一方で大豆は水の要求量も多く、堆肥等の施用による、

通気性と保水性を兼ね備えた土づくりが必要である。子実に多量に蓄積されるタンパク質の生産にはイオウが必須であるが、堆肥施用にはその供給も期待できる。

・10a 当たり堆肥 1～2t、稲わらの全量を秋冬期にすき込む。
・前作が麦の場合も、麦わらは全量すき込む。
・石灰質または苦土石灰 100～150kg 施用

＊土壌 pH を 6.5～7 程度、腐植を 4%程度に高めるよう、石灰質資材や堆肥の施用を継続することは、大豆の収量・品質向上に重要な項目である。

(a) 緑肥作物の利用

緑肥作物の利用にあたっては、有機物としての土づくり効果の持続性や、共通の病害虫が少ないことなど利用目的にあった種類や栽培方法を選択する必要がある。緑肥作物の栽培上の留意点や作物別の特徴などが「ひょうご安心ブランド農産物生産技術マニュアル（水稲編）p.6～10」にまとめられており、大豆栽培における基本的な活用方法にも参考にできる。

＜参考＞ヘアリーベッチについて

・水稲同様、すき込み２週間後を目安に播種する。梅雨で水分条件が不安定な場合、刈り倒した後すき込まずに置き、無機化の時期を調節する。
・畑地のため、窒素の無機化は早く、肥効としては 30%程度と想定される。
・すき込み量が少ない場合は、開花期の追肥で調整する。
・丹波黒大豆では、生草量 3.5t/10a 以上のすき込みを推奨している。
・大豆はヘアリーベッチと属が違うため、連作障害は出にくいとされている。

また、他に「ヘアリーベッチを利用したダイズ・エダマメ増収技術マニュアル」（農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（平成 24～26 年度）「排水不良転換畑における緑肥作物と籾殻補助暗きょによる大豆・エダマメ多収技術の確立」の研究成果をまとめたマニュアル）が作成され、下記アドレスに公開されている。

www.akita-pu.ac.jp/bioresource/dbe/soil/HV_manual.pdf

(I) 排水対策

a 排水対策の留意事項

(a) 排水対策計画にあたっては、排水不良の原因を十分に調べ地域の状況にあった効果的な排水対策の選択・組み合せを実践する。

(b) 排水不良の主な原因

・傾斜地での伏流水や平坦地での地下水位上昇等の地形条件
・排水路側の高低差が小さく、水位差が確保できないほ場条件
・土壌が粘質で透水性が低い等の土壌条件
・ポンプ排水の能力不足等の排水施設の不備
・水路に雑草が生えて排水できない等の維持管理不良
・すき床層あるいは下層上部の圧密化による透水不良

(b) 排水対策の方法

麦の項（p.35）を参照

麦作後の作付けでは、前作で実施した排水溝等を有効に活用し、作業の効率化を図る。

(オ) 土づくり・施肥の注意点

・土づくり肥料として熔リン等を施用している場合は、基肥量からリン酸の施用成分を差し引くこと。
・肥沃地では、基肥の窒素は無施用とする。
・基肥に被覆尿素を用いる場合は、60～80日溶出シグモイド型が適する。
・追肥は生育状態をみて行い、生育が劣る場合は開花期に窒素とカリを各２～４kg/10a程度追肥するとよい。
・大豆は窒素吸収量が他の作物に比べて多く、そのうちの50～70%は根粒菌に依存しているといわれている。しかし、収量水準が高くなると根粒菌への依存度が低くなるので、多収を目指す場合は追肥量を多くするなど増肥する必要がある。

エ　小豆

(ア) 土づくり・施肥の注意点

・土づくり肥料として、熔リン等を施用している場合は、基肥量からリン酸の施用成分を差し引く。
・肥沃地では、基肥の窒素は無施用とする。
・追肥は生育状態をみて行い、生育が劣る場合は、開花期に窒素とカリを追肥するとよい。

(2) 野菜

野菜は品目が多いためすべてを網羅する土づくり方針を示すことが困難である。まず畑地、水田転換畑に共通する内容を述べてから水田転換畑、普通畑、施設土壌における注意点を述べる。

ア　共通事項

兵庫県では水田が多く本県農業は稲作中心に展開されてきたが、水田転換畑として畑作物が栽培されることも多い。水田は元来水稲の生産性を向上させる目的で土壌管理が行われてきたため、水田転換畑で畑作物を栽培するにあたっては留意すべきことがいくつかある。また、畑地は生産環境としては劣悪な条件のほ場もあり、土壌改良の必要性は高い。

畑土壌は一般的に酸化的な条件にあり、好気的な条件で活動する微生物等の働きが活発になり土壌中の有機物の分解が盛んになる。野菜は一般的に生長が早く、養分の吸収量が多いため、多量の施肥が行われるので、土壌の化学性の変化が大きい。また、耕起や管理による土壌への影響も大きく、土づくりが不十分な場合、土壌構造が破壊され単粒構造になりやすい。土壌構造の単粒化は透水性、保水性を低下させ、植物の生長、養分の吸収に大きな影響を与える。

土壌改良の目標は、土壌の持つ肥沃度を高めることである。土壌の肥沃度とは、「植物が生育するための要求、即ち生存の二つの要因（水と養分）を同時に共存して保証しうる土壌の能力」と定義されている。「水はけがよく、しかも水持ちがよい」という相反する条件を同時に満たすことが求められる。ここに関係する要因は極めて多く、かつ、それらの要因は相互に密接な関連を持っている。表2-17に畑、水田転換畑での土壌改良目標値を示す。

表2-17　水田転換畑での土壌改良目標値（野菜）

区分 / 項目		畑（転換畑の園芸作物も含む）	
		露地	施設
作土の厚さ（耕起後）（cm）		20以上	25以上
主要根群域のち密度（mm）		10以下	10以下
有効土層（cm）		40以上	40以上
地下水位（cm）		60以下	60以下
pH（H_2O）		6.0～7.0	6.0～7.0
陽イオン交換容量(CEC)（me／100g）		12以上	15以上
塩基飽和度（%）		70～ 90	70～100
交換性塩基(mg／100g)	石灰(CaO)	200～250	250～300
	苦土(MgO)	25～ 35	35～ 50
	カリ(K_2O)	20～ 30	30～ 50
石灰／苦土（当量比）		3～ 6	3～ 6
可給態リン酸(P_2O_5)（mg／100g）		30～ 50	50～100
腐植（土壌有機物）（%）		3～ 5	3～ 5

(ｱ) 土壌の物理性

a　作土層の厚さ

作土とは作物の根が水分や養分吸収のために容易に伸長していくことのできる土層のことで、人為的な耕耘の影響を直接受けた膨軟な部分をいう。畑作物では直根性で根が深くまで入るものが多い。通常は25cm程度、根菜類では30cm以上、ゴボウでは60cm以上が必要である。

適度な作土の厚さを確保するため、必要に応じて深耕用ロータリーやプラウなどで耕起するが、急激に作土を深くすると、下層土の性質によっては肥沃度が低下したり作物の生育が不良となる。同時に堆肥などの有機物を施用して養分を補給することが必要である。

表2-18　望ましい作土層の厚さ(cm)

分類			
望ましい範囲	望ましくない範囲	著しく望ましくない範囲	作物名
26cm以上	16～25cm	15cm以下	かんしょ、ばれいしょ、いんげんまめ、らっかせい、ソラマメ、きゅうり、トマト、なす、かぼちゃ、すいか、メロン、スイートコーン、キャベツ、はくさい、カリフラワー、たまねぎ、レタス、かぶ、にんじん、さといも、こまつな、アスパラガス、セルリー、ふき
31cm以上	16～30cm	15cm以下	こんにゃくいも、てんさい、ピーマン
31cm以上	21～30cm	20cm以下	ほうれんそう、だいこん、ごぼう、にら
41cm以上	21～40cm	20cm以下	ながいも

(農林水産省,1987を改変)

b　主要根群域の最大ち密度

作物の根は山中式硬度計で22mm以下であればよく伸長するが、これ以上になると伸長が妨げられ、24mm以上で透水性も悪くなる。このようなち密層が厚く、粗孔げき率が少ないときには心土破砕が有効である。また、ち密層により根の伸長が妨げられるときには、混層耕によりその層を砕き上下の層と混合する。

表2-19 土壌の硬度と根の伸びおよび簡易判定法

硬度計の数値	粘りと乾湿	指で押したときの判定
10mm以下	干ばつが心配	指で断面を押すとたやすく貫入する
10～15mm	ちょうど適している	指で断面を押すと深い指痕ができる
15～22mm	やや硬いが根は伸びる	指で断面を押すと浅いかあるいはわずかに指痕ができる
22～24mm	根は少し入るが伸びが悪い	指で断面を押しても指痕がつかない
24mm以上	根が入らない。湿害の危険が大	移植ごての先端がかろうじて入る

c　主要根群域の粗孔げき率

粗孔げき率は三相分布を調査すれば把握することができる。厚いち密層が存在するために粗孔げき率が少ない場合は深耕を実施する。また、土壌が細粒質であるために粗孔げき率が少ないときは堆肥などの有機物を施用し団粒化を図る。

d　主要根群域の易有効水分保持能

粗孔げき率が過大で易有効水分保持能が少ない(水もちが悪い)場合はベントナイトなどの粘土質の土壌改良資材を施用する。また、パーライト、泥炭などの保水性に富む土壌改良資材を施用する方法も有効である。

表2-20　水田転換畑および普通畑の土壌の好適な物理性

項　　目	条　　件	好適な数値
根群の活動を盛んにする気相率	普通作物・野菜類	20%以上
	とくに好気的な作物	25%以上
	果　　樹	15%以上
根群の伸長に必要な粗孔げき率	露　　地	10%以上
	施　　設	13～14%以上
	果　　樹	10%以上
根群の張りをよくするための土壌のち密度		20～22mm以下 (山中式硬度計)
根菜の商品価値を高く保つための土壌のち密度		18mm以下
露地野菜栽培の根域土層の条件	固相率	50%以下 (火山灰土27%以下)
	粗孔げき率	20%以上
	ち密度	18mm以下
露地野菜の必要根群の深さ	葉茎菜・果菜類	50cm以上
	短根性根菜類	60cm以上
	長根性根菜類	80cm以上
転換畑野菜における地下水位の必要な深さ	葉茎菜・果菜類	50～60cm以上
	短根性根菜類	80cm以上
	長根性根菜類	120cm以上

表2-21　畑地における土壌生産阻害要因を改良するための対策

阻害要因	対策の種類		改良対策の概要
有効土層の深さ	客　　土		粘土の客土
表層の厚さ	深　　耕		大型トラクタによる深耕(プラウ耕)
有効土層の厚さ	土層改良		混層耕、心土破砕の実施
土地の湿り	排　　水		明きょ排水、心土破砕
土地の乾き	畑地かんがい		畑地かんがい施設の整備
耕うんの難易、保肥力	有機物施用		堆肥など有機質の多量施用、腐植酸質資材、ゼオライトの施用
交換性塩基含量、酸度	土づくり肥料の施用	石灰質肥料 苦土肥料	カルシウム、マグネシウムのバランスのとれた施用、カリ肥料の適正施用
可給態リン酸含量、リン酸固定力	土づくり肥料の施用	リン酸質肥料 有機質資材の施用	リン酸質肥料、有機質資材の施用
傾　　斜	傾斜の改善		自然傾斜の軽減、テラスの造成
侵　　食	侵食の防止		簡易テラスの造成、マルチ、排水路整備、草生栽培、防風林、防風棚、防風垣などの整備

（静岡県土壌肥料ハンドブック,2014）

(イ) 土壌の化学性

土壌の化学性とは、pHや石灰、苦土、カリなどの土壌に含まれる養分などをひとまとめにしたものである。土壌のpH、EC、塩基含有量等は施肥などに影響を受けてすぐに変化するが、塩基交換容量やリン酸吸収係数は短期間ではあまり変化しない。塩基の施用に関しては、塩基飽和度、塩基バランスに注意する必要がある。塩基飽和度は土壌pHと関係が強い。

a　pH、電気伝導度（EC）

表 2-22　作物別の好適 pH

作物名	好適範囲	作物名	好適範囲	作物名	好適範囲
あおうり	6.0～6.8	しろな	6.0～6.5	ねぎ（根深ねぎ）	5.8～7.0
アスパラガス	6.0～7.0	すいか	5.5～6.5	ねぎ（葉ねぎ）	6.0～7.0
いちご	5.5～6.5	だいこん	5.5～6.5	はくさい	6.0～6.5
インゲン	5.5～6.8	大豆	6.0～7.0	ばれいしょ	5.0～6.5
エンドウ	6.5～7.0	タバコ	5.5～7.5	ピーマン	6.0～6.8
かぶ	5.2～6.5	たまねぎ	5.5～6.5	ふき	5.5～6.5
かぼちゃ	5.5～6.5	ちんげんさい	6.0～6.5	ブロッコリー	5.5～6.5
カリフラワー	5.5～6.5	テンサイ	6.5～8.0	ほうれんそう	6.0～7.5
かんしょ	5.5～6.8	スイートコーン	5.5～6.5	みずな	6.0～6.5
キャベツ	6.0～6.8	トマト	6.0～6.5	メロン	6.0～6.8
きゅうり	5.5～6.5	なす	6.0～6.8	やまのいも	5.5～6.5
こまつな	5.5～6.5	なばな	5.5～6.5	ラッカセイ	5.3～6.6
さといも	5.5～6.5	にら	6.0～6.5	レタス	6.0～6.5
しゅんぎく	6.0～6.5	にんじん	5.2～6.5	れんこん	5.5～6.5

表2-23 土壌塩類濃度に対する耐性の目安

耐性	電気伝導度EC（dS/m）の範囲	野菜の種類
強い	1.0～1.5	茎葉菜類（レタス、ねぎ類を除く）、だいこん、かぶ
中程度	0.5～1.0	なす、トマト、きゅうり、ピーマン、スイートコーン、ねぎ類、にんじん、れんこん、いも類、すいか、メロン、あおうり
弱い	0.3～0.5	さやえんどう、えだまめ（黒大豆）、さやいんげん、レタス、たまねぎ、いちご

表2-24　濃度障害が発生する土壌のECと土性との関係（土１：水５，dS/m）

土の種類（土性）	適正EC値		生育障害の起こるEC値		枯死限界のEC値	
	きゅうり	トマト	きゅうり	トマト	きゅうり	トマト
砂土	0.3～0.8	0.3～0.8	1.3～1.6	1.3～1.8	1.6～2.2	1.8～2.2
沖積埴壌土	0.5～1.0	0.7～1.3	1.6～2.3	1.8～2.3	2.3～2.9	2.3～3.3
腐植質壌土	0.7～1.5	0.9～1.7	2.1～2.8	2.1～2.8	3.5～	2.8～

注）土性によっても障害が発生するEC値は異なる。

表2-25　pHおよびECによる施設土壌の類型と改良対策

		EC(1:5)	
		高い	低い
pH(H_2O)	高い	肥料や有機質資材の多施用により養分が過剰になっている。土壌診断に基づく減肥と除塩対策を実施する。	塩基成分が多く窒素が少ない場合が多い。硫酸根を含む肥料(硫安、硫酸カリなど)を用いて酸性物質と塩基類のバランスをとる。硫黄華やピートモスによる酸度矯正も可能である。
	低い	硝酸、硫酸、塩素など酸性物質が過剰となっている。石灰質肥料による酸度矯正効果は少ない(硝酸、塩素が多いときはかえってECを上昇させる)。窒素肥料が過多になっていないかに注目し、減肥、多潅水栽培、除塩の順に実施する。硫酸根は水では除去しにくいが、熱水を用いると除塩効果が高い。	全体に肥料不足となっている。塩基飽和度が低く、かつ窒素量も少ない。土壌診断に基づく施肥と有機質資材の施用が必要である。

pHの矯正には石灰質資材を中和石灰曲線やアレニウス表に基づき施用量を決定するが（第３章１(2)参照p102）、一度に多量に施用すると野菜の生育不良を起こす可能性があるので注意する。石灰資材の施用時期は、春に定植する野菜の場合は前年秋を基本とし、遅くても定植の１カ月前までに施用する。一回の施用量は200～300 kg/10aを限度とし、これ以上施用する場合は複数回に分けて施用する。定植の30日前頃に施用する場合は、一回の施用量を少なくする。

リン酸や交換性塩基（石灰、苦土、カリ）の施肥についても同様で、一年目の水田転換や遊休地を活用して野菜を生産する場合、目標とする数値に近づけるため多量に施肥しがちではあるが、野菜に悪影響を与える場合がある。石灰やリン酸、交換性塩基を一度に多量に施肥した場合、塩基間のバランス

が崩れ拮抗作用による吸収抑制が生じたり、局部的に生じる高pHによりマンガン、鉄、ホウ素などの不溶化が生じることがある。また一時的に土壌溶液の浸透圧が高まることで微生物活性が抑制され、硝酸化成速度が低下することがある。堆肥等の有機物を施用すると弊害を緩和する方向に働くが、それ以前に一度に多量の施肥をしないことが肝要である。

イ　水田転換畑における注意点

(ｱ) 水田転換畑の特徴

a　地下水位

水田はもともと地下水位が高い場合が多く、酸素要求量が大きい畑作物を栽培すると、しばしば湿害が発生する。したがって、転換畑では明きょなどの排水対策による湿害回避が必須条件となる。ほ場条件によっては、湿害に強い作物の選択や高うね栽培などが必要となる。

表2-26　野菜の適正地下水位

作　物　名	適正地下水位(cm)
れんこん	通常、湛水条件下で可。
さといも、ねぎ	20cm以下でも収量性は確保できるがサトイモでは20～40cm、ネギでは15～60cmで高収量となる。
なす、スイートコーン	25cm以下で正常に生育する。
レタス、トマト、きゅうり	30cm以下で正常に生育するが、キュウリは高いほど多収。レタスは60cm以下で玉揃いが悪くなる。トマトは60cm以下で尻腐れ果が増加する。
いんげんまめ、ピーマン、すいか	30cm以下で正常に生育する。ピーマンは地下水位が高いところほど疫病が多い。
はくさい、かぼちゃ、いちご、かぶ、 えだまめ	30cm以下で正常に生育する。
にんじん(春まき)、ばれいしょ、たまねぎ、やまのいも、キャベツ、らっかせい	40cm以下で正常に生育する。
にんじん(夏まき)、ほうれんそう、カリフラワー、かんしょ、メロン	60cm以下で正常に生育し、品質も安定する。
ごぼう、だいこん、ながいも	1m以下で正常に生育する。ゴボウ、ダイコン、ナガイモは硬盤が存在しないことも必要

(農林水産省,1987を改変)

b　物理的性質

水田では機械の大型化の影響で耕盤層が形成されていることに加え団粒構造の発達が不十分であり、畑作物の栽培においては排水性が不十分であることが多い。排水不良のほ場は明きょや弾丸暗きょの施工、心土破砕、堆肥等の有機質資材の施用により排水性を改善する。

水田からの転換により土壌は酸化的になり、その程度は転換期間が長いほど進行する。土壌中の鉄が２価から３価に変わるのに従って、土色は暗褐色から明褐色に変化する。土壌の構造は単粒構造からしだいに団粒構造に変わり、透水性、通気性が増し保水力が低下する。

c　化学的性質

水田では灌漑水からの養分の補給、還元化によるリン酸の可給態化などにより比較的肥沃である。転換畑では微生物の働きが活発になり有機物の分解が促進され、無機態窒素の増加が見られるが、放置すると地力が消耗するため肥沃度は低下に向かう。

また、塩基類が溶脱するため土壌の酸性化が急速に進む。これは肥料に含まれる硝酸態窒素や硫酸根は溶脱の際に石灰や苦土などの塩基を随伴して流亡することが原因である。土壌が酸性に傾くと鉄、マンガン、ホウ素などの微量要素が溶出しやすくなり、これらの過剰症が出やすくなる。

d　生物的性質

転換畑では酸化的条件になるので、微生物層も嫌気的な条件化の水田とは大きく異なる。転換当初のほ場では根粒菌が少ないことが多く、ダイズやマメ科作物を栽培するときは根粒菌の接種を行うか、窒素肥料の施用で補う必要がある。また、硝酸化成菌も少ないことがあるので、土壌の乾燥促進とともに堆肥の施用が効果的である。

表2-27　水田と畑の微生物相の特徴

微生物の種類	水田土壌	畑土壌
細菌	嫌気性細菌(脱窒菌、メタン生成菌など)が多い	好気性細菌(硝酸化成菌など)が多い
糸状菌	少ない	多い
放線菌	少ない	多い
センチュウ	少ない	多い
土壌病害	少ない	多い
雑草	少ない	多い

ウ　水田転換畑の土壌改良対策

水田を畑として利用するためには、排水を中心とした対策が必要であるが、転換にともなう土壌の変化や土壌の種類によって対策の内容は異なる(表2-28)。

(ｱ) 転換１年目

a　地下水位を30cm以下(対象作物によっては50cm以下)に保つため、明きょ(必要であれば暗きょ)の施工を行う。また、排水溝の整備により表面排水の促進を図る。

b　リン酸吸収係数の少なくとも2.5～3%相当のリン酸質肥料を施用する。

c　栽培品目の適正なpHになるよう石灰質肥料の施用を行う。

d　土壌の団粒化を促進するため有機質資材の施用を行うが、当初は微生物相が貧弱であるので、良質な完熟堆肥を施用する。

(ｲ) 転換２年目以降

a　年数が経過するにしたがって地力の消耗が進むので、堆肥や有機質資材を施用する。

b　塩基類の流亡が進行するので、石灰質肥料や苦土質肥料の施用を行う。

c　土壌が常に酸化状態にあるとリン酸の固定が進むので、リン酸質肥料を施用する。

d　深耕により有効土層を増加させ、通気性、排水性の改良を行う。

(ｳ) 微生物相改善の考え方

種々の微生物資材が市販されているが、自然状態での微生物相は極めて多様であり、特定の微生物の接種によって改善を図ることは困難である。通気性、土壌反応、基質の補給(微生物のエネルギー源となる有機物など)などにより、土壌条件の改善を図ることが微生物相改善の近道である。

表2-28　土壌の種類別にみた転作水田での転換対策

土壌類型	畑利用の可能性		必要な転換対策					
	個別	集団	排水溝	すき床層の軟化	捕水きょ	弾丸暗きょ	心土破砕	その他
多湿黒ボク土	可	可	必要	必要	条件付	条件付	－	高うね
黒ボクグライ土	難	可	必要	－	必要	必要	－	高うね
灰色台地土	条件付	可	必要	必要	－	必要	－	－
黄色土・赤色土	可	可	必要	条件付	－	必要	必要	－
灰色低地土	条件付	可	必要	必要	条件付	必要	必要	遮水壁
グライ土	条件付	可	必要	必要	必要	必要	必要	深耕・高うね
黒泥土	条件付	可	－	－	必要	必要	－	高うね
泥炭土	条件付	可	－	－	－	－	－	客土

条件付：　条件付で可能、もしくは条件付で必要

エ　普通畑における注意点

(ア) 土壌侵食対策

畑土壌は水田転換畑に比べ土壌侵食を受けやすい。土壌侵食には風による風食、水による水食がある。風食は３m/秒以上の風が連続して吹く条件下で起こり、北海道、岩手県、栃木県の畑作地帯で発生が多い。水食は傾斜地の畑で発生しやすく、雨水や融雪水が薄い層状に流れて表面を一様に侵食する面状侵食、小さな溝状に侵食するリル侵食、リル侵食が放置され小さな溝が谷状の溝に発達したガリ侵食がある。水食の発生と進行には気象因子（降雨の量、強度、継続時間）、地形因子（傾斜の緩急、斜面長の長短、斜面の方向）、土壌因子（雨水の浸透性、流去水の掃流力に対する抵抗力）が関連する。

風食対策には防風林や防風網の設置が有効である。傾斜畑での水食対策には、雨滴による土壌分散の回避、雨水の浸透性向上、地表を流れる流去水の制御が基本である。具体的な手法としては等高線栽培（等高線に沿って畝を立て作物を栽培する方法）、牧草帯の設置（畑作物15～20mごとに1～2mの牧草帯を設置）、作付体系の改善（侵食しやすい裸地状態を避ける）がある。牧草帯の設置や作付体系に緑肥を導入して裸地状態を避けることは、すき込み後に耐水性団粒の生成促進、地力増進にも効果がある。

(イ) 黒ボク土での注意点

黒ボク土は関東以北や九州の火山の東側に位置する台地・丘陵地などの緩傾斜地に広く分布する土壌である。本県では主に但馬に分布し、但馬では神鍋山のある豊岡市日高町、鉢伏山周辺の養父市関宮町と八鹿町、北播磨では西脇市、多可郡を流れる杉原川の河岸沖積地、西播磨では市川の上中流の神崎郡、姫路市北部、揖保川上流の宍粟市一宮町の河岸沖積地、淡路では南あわじ市三原町と南淡町の中位段丘に分布しいる。

黒ボク土は一般的に非晶質アロフェンという粘土鉱物で構成されており、ケイ酸が少なくアルミニウムが多い。表層ではアルミニウムに腐植が結合して団粒構造を形成している。軽い土壌で透水性などの物理性に優れるため野菜栽培には適しているが、リン酸を強く固定するのでリン酸欠乏が発生しやすい。土壌のリン酸吸収係数が1,500以上の土が黒ボク土に分類される（三次案）。リン酸肥料を施肥することにより土壌物理性を活かした生産性の高い畑土壌へ改良することができる。

黒ボク土は塩基成分の保持力が弱く酸性化しやすい。土壌が酸性化すると活性アルミニウムの溶出が増加してリン酸固定力が増すため、石灰質資材の施用により適切なpHを維持する。

オ　施設土壌の特徴

(ア) 化学的性質

施設栽培では高収益性の作物が連続的に栽培され、高度な土地利用が行われている。当然、施肥量や堆肥の施用量も多くなる。さらに施設内では降雨

の影響が少なく、しかも高温となって水分の蒸発散量も多くなる。これにともなって毛細管現象で土壌水分の動きは上向きとなり、土壌中の養分は溶脱することなく土壌の表層に集積しやすい。肥料や堆肥に由来する硝酸イオンや硫酸イオンはカルシウム、カリウム、マグネシウムなどの塩基類と結合して塩となり、土壌表面に析出することもある。このような土壌ではECが高く、作物の生育は不良となる。

また、施設内は換気が悪いため多量の窒素肥料や未熟有機物を施用すると、アンモニアや亜硝酸がガス化して作物に障害を与えることがある。

(イ) 物理的性質

施設土壌では物理性はあまり問題にならないが、水田埋め立てなどの造成地に作られた施設では、造成時の大型機械の踏圧により硬盤が形成されて物理性が悪化しているほ場がある。また、水田転換畑を利用した簡易施設では、水田転換畑と共通の問題点が見出される。

堆肥等の有機質資材の施用は土壌団粒の発達を促し、排水性および保水性の改善に役立つが、過剰に連用した場合は有機物中の疎水基が水をはじき生育不良となることがあるので注意する。土壌撥水による生育不良は熱水土壌消毒、太陽熱消毒の際に、土が乾きすぎることで発生しやすく、①腐植が多い、②砂質土壌では発生を助長する。土壌消毒の際に含水率15%程度に保つことで撥水による悪影響を抑制することができる。

カ 施設土壌の改良対策

(ア) 除塩対策

塩類が集積した土壌では塩類除去対策が必要となる。灌漑水量を増加する程度ではある程度の障害の軽減にはなっても根本的な解決にはならない。除塩の方法については以下のものがある。

a 水による除塩

塩類が集積しやすく、また連作により障害が発生しやすい施設栽培地帯において施設に水をためる湛水処理が行われている。湛水処理による除塩の効果は塩類の水への溶けやすさによって変わるため、成分によって効果が異なる。EC、硝酸態窒素を下げる効果が大きく、次いでカリに対して効果が大きい。リン酸、石灰、苦土に対する効果は少ない。湛水除塩では地下水などへの影響が懸念される地域では注意が必要である。

b クリーニングクロップによる除塩

土壌中に集積する塩類のうち、その大部分は作物養分でもあることから、洗い流してしまうよりは作物に吸着させる方が環境負荷の観点からは望ましい。そこで、休閑期を利用して吸肥力の強い作物を栽培し、残った成分を吸収させる方法が行われている。

最も一般的なのは、有機物源として休閑期にイネ科作物を栽培し、それを再び土壌に還元する方法である。生育が旺盛なソルゴーやトウモロコシ

などがよく用いられる。ソルゴーやトウモロコシは窒素、カリウムの吸収力が強く、クリーニングクロップとしての効果はEC、硝酸態窒素、カリにおいて現れやすく、リン酸、石灰、苦土では効果が劣る。

この方法は湛水除塩と同程度の効果が認められているが、イネ科作物の栽培期間が長く、収益性が低下してしまうなどの課題がある。

c　高炭素率有機物の施用による除塩

土壌に有機物が施用され、適当な温度と水分があると、土壌中の微生物の働きで、この有機物を分解する。このときの有機物中の成分組成は、微生物体に合成されるものとエネルギーとして消費されるものを合計すると窒素1に対して炭素15(土壌によって差がある)の比率が適当である。もしこの比率より炭素が多い時は、不足する窒素を土壌中からとるので、土壌中の窒素濃度は低下する。

ナタネかす、綿実かすなどは炭素率(窒素に対する炭素の比率)が6～7で、15よりもはるかに低い。したがって、分解により過剰の窒素は放出されることになる。これに対して、稲わらは炭素率が60前後と著しく高いために、土壌中の窒素が奪われることになる。ハウスのように土壌中に過剰の窒素が含まれているところで稲わらを施用すると大きな除塩効果が現れる。

d　天地返しによる除塩

土壌中の塩類は地表に近い層により多く集積し、作物の根に障害を与える。したがって、休閑期に深耕し、表層の塩類を下層に入れ、作土層の塩類濃度を下げる。この方法は施設内からの塩類除去には役立たないが、塩類が下層に混ざって希釈される効果は大きく、深耕によって水の縦浸透が良好となる。多量潅水した時に下層まで水が動くという副次的効果も重なって、作物の生育に好影響を与える。

e　耕土の取り替え

施設栽培での土壌管理の原点であるが、大規模経営においては、一部の温室メロン栽培などを除きほとんど不可能である。諸外国では土を動かさずに、逆にハウスそのものを動かす移動式温室も考えられているが、耕地の狭い我が国での導入は困難である。

f　熱水処理による除塩効果

最も一般的に行われている除塩技術は水によるものであるが、水温が上昇すると一般に塩類の溶解度が高くなり、より高い除塩効果が期待できる。熱水処理により、土壌のpHは高くなり、EC、硝酸態窒素、リン酸、塩素、硫酸根は低下する。土壌コロイド表面はマイナスの荷電であるため、陽イオンの養分は土壌に吸着しているが、陰イオンの硝酸態窒素などは流れやすい。熱水処理には除塩効果以外に、病害虫防除効果や雑草防除効果が期待できる。しかしながら、熱水処理により多量の硝酸態窒素などを作土層から取り除く場合には、地下水や河川等への環境汚染が懸念される。したがって、これからはその点も考慮に入れた熱水処理量の設定が必要となる。

表2-29　熱水処理が土壌の化学性に及ぼす影響

処理		土層	土壌の化学性					
温度	水量		pH	EC	硝酸態窒素	リン酸	塩素	硫酸根
℃	l/m^2			dS/m	mg/100g	mg/100g	mg/100g	mg/100g
無処理		―	6.8	1.4	28.0	7.0	14.4	244.3
90	50	上	7.2	0.58	1.1	5.9	2.1	87.9
		中	7.1	1.14	10.1	4.9	7.1	211.0
		下	6.8	1.6	67.9	6.6	17.5	266.7
90	100	上	7.4	0.22	0.24	5.8	2.4	19.2
		中	7.2	0.70	0.31	5.9	1.1	149.0
		下	7.1	1.3	0.18	4.7	10.8	255.3
90	200	上	7.5	0.16	0.00	4.6	0.39	4.0
		中	7.4	0.27	0.00	3.7	0.58	23.8
		下	7.2	0.64	0.05	2.3	0.87	78.2
80	100	上	7.4	0.23	0.33	5.7	1.1	29.6
		中	7.5	0.43	0.41	5.6	1.8	95.9
		下	7.2	0.92	0.53	4.5	7.0	242.5
30	100	上	7.0	0.59	16.0	6.6	1.9	59.0
		中	7.0	0.64	15.1	5.5	2.2	108.1
		下	7.0	1.2	14.4	4.2	10.7	283.4

使用土壌の水分含量：24.8%
土層　上：0～10cm　中：10～20cm　下：20～30cm

キ　施設土壌のガス障害

生ふん尿や未熟な堆肥、窒素成分が多い有機質肥料(鶏ふんなど)を多量に施用すると、土壌中で易分解性成分が急激に分解されて、アンモニアが生じる。土壌のpHがアルカリ性だと、アンモニアがガスとして揮散する。施設園芸ではガスの拡散が行われないため、窒素の無駄になるだけでなく作物の葉などに障害をもたらすことがある。また、露地栽培であっても畝全体にマルチングをした場合に、ガス化したアンモニアが植え穴付近から排出されて障害が発生することもある。この反応は有機物と尿素を多量に施用した場合に起こりやすい。

低温期で土壌水分が多く酸性が強い条件だと硝酸化成菌の活動が抑制され、亜硝酸ガスによる障害が出ることがある。やはり有機物と尿素の多量施用で起こりやすい。春先の施設園芸では要注意である(図2-7)。

(ア) 対　策

a　急激な分解によるアンモニアの発生は、高温期では約２週間で減少するので、C/N比が高い未熟有機物を施用した場合は播種または植付けまで充分期間をとる。これは尿素を多量施用したときも同様である。

b　土壌pHを確認するとともに未熟な有機物を施用しない。

c　亜硝酸ガスの害は施設のビニールに付着している露滴のpHを測定し(表2-30)、pHが5.4以下であれば炭カルなどで土壌の酸度矯正を行うか、硝酸化成抑制剤を施用する。

d　亜硝酸対策としては、多量の灌水などで塩類を洗い流すのも有効である。

e　アンモニアガス、亜硝酸ガスともに、換気が悪い施設内で発生する。窒素施肥の直後はとくに換気に注意し、障害の発生を未然に防止する。

表2-30　露滴のpHによる判定（高知農技研　一部改変）

露滴のpH	判　　定
7.0以上	アンモニアの発生が優勢
7.0～6.2	窒素ガスの発生がないか、アンモニアと亜硝酸が同量発生〃障害は起こりにくい〃
6.2～5.6	亜硝酸が発生し始めている恐れがある〃
5.6～4.6	抵抗性が弱い作物では障害が出始める〃
4.6以下	ほとんどの作物で亜硝酸ガス障害が発生する恐れがある〃

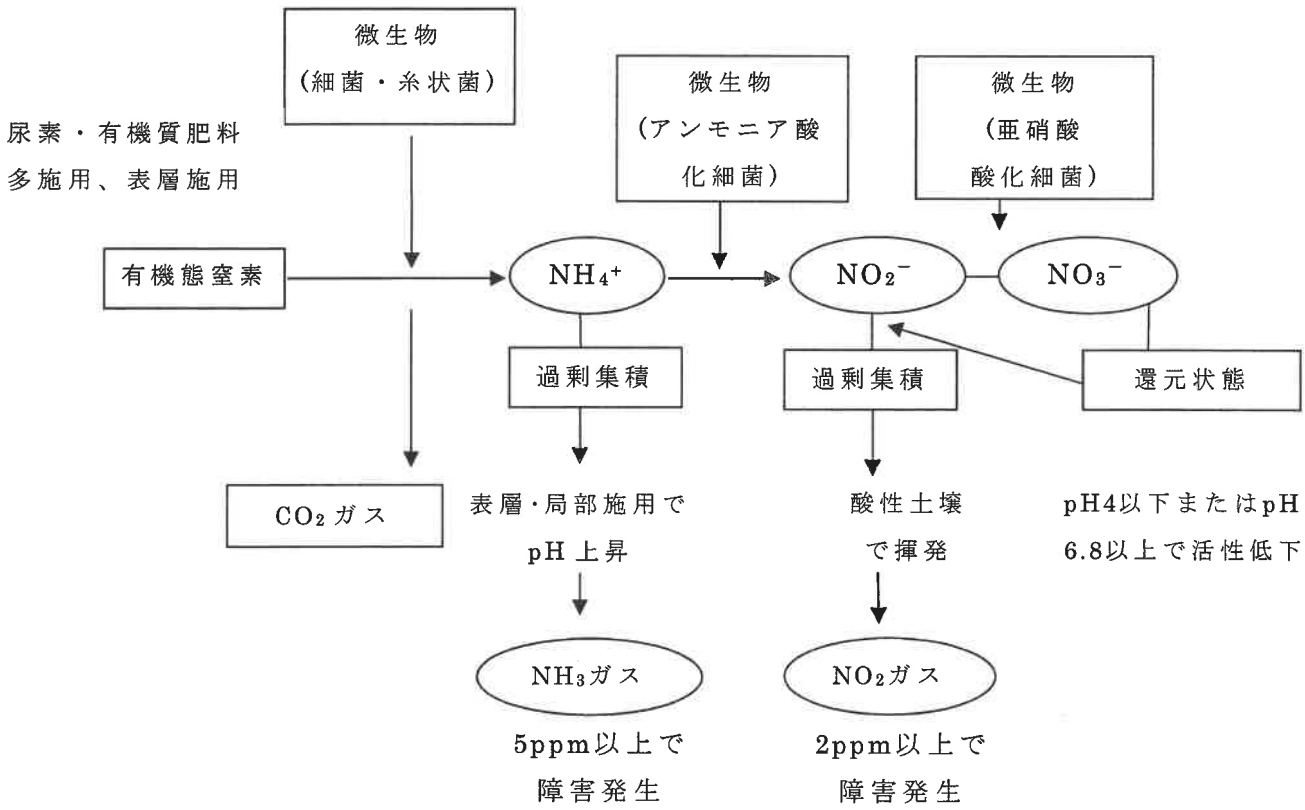


図2-7　アンモニアガス、亜硝酸ガスの発生メカニズム

(3) 果樹

ア　畑地

(ｱ) 土壌の維持すべき状態

永年作物の果樹において高品質果実を安定生産するには、それぞれの樹種の物理的、化学的に適した土壌条件を維持する必要がある。近年、気象変動が著しく、果樹の生育や収量、品質への影響も大きくなっており、土づくりの重要性が増している。

土壌の深い部分の改良は苗木の植栽前でないと十分に実施できないことから、事前に土壌調査などを行って改良しておくことが望ましい。栽培開始後は栽培者の踏圧やスピードスプレーヤー、運搬車など機械類の走行による土壌の圧密化により、経年的に物理性が不良となりやすい。このため土壌や地上部の生育状況を観察して、部分的な改良を計画的に行う。

一方、近年堆肥等の有機質資材の利用が増えていることから、土壌pHが適正値より高くなり、リン酸やカリが過剰になる事例もみられる。このため生育状況の観察や定期的な土壌診断を行い、合理的に施肥することが重要である。

表 2-31　土壌の維持すべき目標値

項　目	ぶどう	いちじく	くり	なし	かんきつ
主要根群域の厚さ（cm）	30以上	30以上	40以上	40以上	30以上
根域の厚さ（cm）	50以上	50以上	60以上	70以上	60以上
地下水位（cm）	80以下	100以下	100以下	100以下	100以下
ち密度（mm）	20以下	22以下	22以下	20以下	20以下
粗孔隙（%）	12以上	15以上	15以上	10以上	15以上
腐植（%）	2以上	3～5	2以上	3以上	2以上
pH（H_2O）	6.0～7.0	6.0～6.8	5.0～5.5	5.5～6.5	5.5～6.5
塩基飽和度（%）	70～100	80～95	35～50	50～70	50～80
石灰／苦土当量比	3～6	3～6	4～7	6～6.5	4～8
苦土／カリ当量比	2以上	2～4	2～5	2以上	2～6
可給態リン酸（Truog法）(mg/100g)	10以上	30～50	5以上	20以上	20以上

注）果樹園の土壌診断基準（果樹試験場 1985）から、イチジクの主要根群域と根域の厚さ以外は愛知県、福岡県の土壌診断基準から。

(イ) 土づくり

a　家畜ふん堆肥の施用方法

果樹園土壌における良質の家畜ふん堆肥の利用は土壌の物理性、化学性、生物性の改良に有効であり、コスト的にも望ましい。しかし、堆肥施用により施肥量が適正量を超えた場合、特に窒素過剰は新梢の徒長や果実品質の低下、病害の発生、耐凍性の低下などを招く。このため、堆肥の施用量に合わせて化成肥料などの施用量は削減する必要がある。

堆肥施用は基本的に作業時間に余裕があり、樹体の休眠期である冬季を中心に行う。堆肥中の成分の無機化は気温が上昇する夏季に盛んになるため、この時期に成熟期を迎える樹種では施用時期や量に留意する。また、施用は深耕や中耕と合わせて行い、根域土壌と混和することが望ましい。この場合、既存樹の断根量が多くならないように注意する。

表 2-32　有機質資材の施用方法

樹種	施用法	施用量	備　考
ぶどう	10～12 月	1～2t/10a	畝の肩を耕して施用後、畝を立て直し全面改良（天地返し）の場合 10t
いちじく	12 月	1～2t/10a	
くり	1～2 月	2～3t/10a	
なし	10 月下旬～11 月中旬	2～3t/10a	
かんきつ	1～2 月	2～3t/10a	

注）牛糞堆肥の施用を基本とし、他の資材の場合は成分含量、肥効率を考慮して施用量を決める。

【留意事項】

家畜ふん尿にオガクズを混合した場合は、十分に腐熟して堆肥化したものを施用する（6 か月程度堆積発酵したものがよい）。

鶏ふんは肥料効果が高いので、土づくり資材よりむしろ肥料として利用する。

注）果樹園の土壌診断基準（果樹試験場 1985）から、イチジクの主要根群域と根域の厚さ以外は愛知県、福岡県の土壌診断基準から。

b　草生栽培

樹冠下に特定の草種や雑草を生育させることにより、その有機物の土壌への還元と草の根群により物理性の改善を図る。また、傾斜地に多い果樹園では雨による土壌、特に表層の肥沃な土壌の流亡防止にも役立つ。

反面、果樹との養水分の競合や病害虫の発生を助長する事例もあり、注意して管理する必要がある。その対策として樹冠下や樹幹周辺を清耕として他を草生とする部分草生を行い、刈草等を樹冠下にマルチする方法がある。

写真 2-2a 生育期のナギナタガヤ

写真 2-2b 枯死後のナギナタガヤ

表 2-33　草生栽培の主な草種の特徴

草種	草高（cm）	乾物生産量（kg/10 a）	管理	特徴
イタリアンライグラス（イネ科）	高	400～600	播種 3～4 月および 9 月中旬～11 月上旬、播種量 3～4 kg/10 a	低温や多湿でも生育、倒伏しにくい。
ナギナタガヤ（イネ科）	中	400～500	播種 9 月中旬～10 月下旬、播種量 2～3 kg/10 a	5 月頃枯死し、倒伏、マルチ状となるが滑りやすい。
ヘアリーベッチ（マメ科）	中	300～600	播種 9 月中旬～11 月上旬、播種量 3～5 kg/10 a	窒素固定（10～15 kg/10 a）、アレロパシーで雑草抑制、日陰でも生育、湿害に弱い、つる性で作業の妨げとなる場合もある。アザミウマ類の発生に注意する。

注）草高：（中）30～50 cm（高）50 cm以上

c　深耕の実施（有効土層の確保）

降水量の変動が著しい気象条件で高品質安定生産を図るには、各樹種に必要な有効土層を確保、維持することが重要である。逆に岩盤や鍬床等があり根群が浅い場合には干ばつの影響を受けやすい。また、造成地では不透水層があり、地下水位が高い部分では生育が不良となり果実収量や品質も劣る。そのため深耕により土壌を軟らかくし、孔隙率（気相＋液相）の高い状態を維持して、根群の発達を促す。

植付け前には十分に深耕を実施できるが、定植後は既存樹の根を多く切断すると生育への影響が大きくなるので、数年計画で部分的（タコツボ状、放射状、条溝）に実施することが望まれる（図 2-8）。また、深耕の効果を維持するには有機質資材や改良資材（パーライトなど）も投入する。

深耕はトレンチャー、油圧ショベル、オーガーなどで行う。なお、水の確保が可能であれば動力噴霧機（25kgf/cm²以上）と専用ノズルを用いたボーリング処理が排水性の確保等に効果的である（樹冠面積１㎡当たり１穴、処理後は改良資材を投入する）。

写真 2-3 ボーリング処理

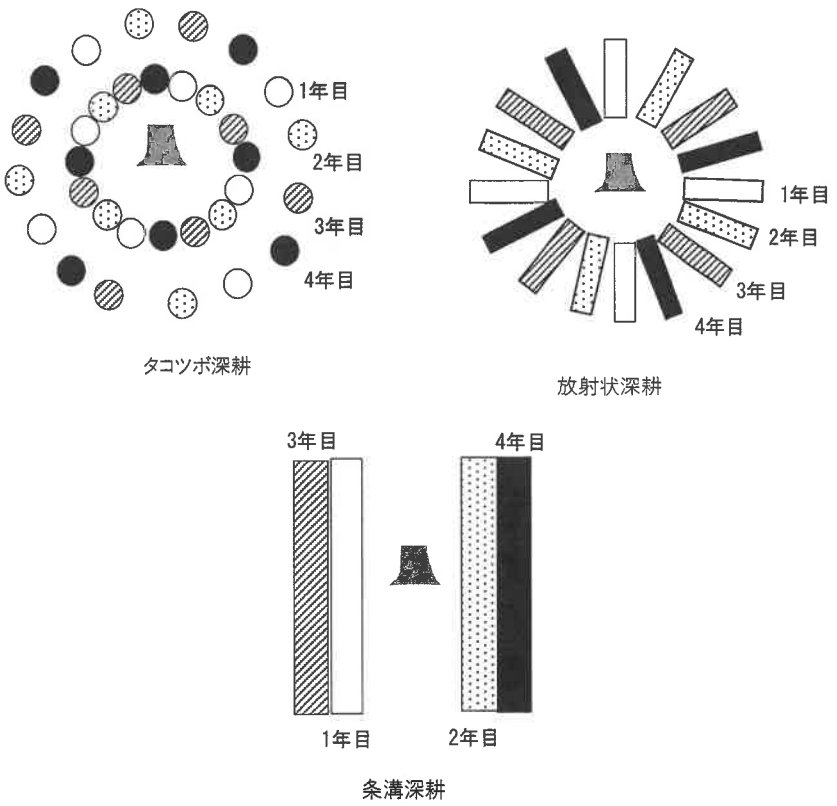


図 2-8　深耕の方法（例）

d　排水対策

畑地や山林でも部分的に排水不良の場所や伏流水が地表近くを流れる場合がある。また、造成地では場所により岩盤があり、重機による圧密化で不透水層ができる場合があり、排水対策が必要な場合がある。排水対策は、次の水田転換園の項を参考に実施する。

イ　水田転換園

果樹園土壌としての重要条件は、排水がよく適度の保水性があり、根が深くかつ広範囲に分布できることである。果樹の生育や生産性は表土の種類や性質より、下層土の状態に左右され、ほとんどの果樹は排水不良、すなわち湿害に弱い。そのため、湛水することを前提に鋤床層を突き固めた水田土壌は、基本的に果樹栽培に不向きである。しかしながら、いちじくのようにそのほとんどが水田転換園に植栽されている種類もあり、増加する転作や各地の地域活性化の動きの中で、果樹園としての取り組みが必要とされる事例も数多く出てきている。こうした中、安定生産のためには、できる限りの排水対策を取ることが重要である。

(ｱ) 排水不良の原因とチェックポイント

a　土壌の性質による排水不良

土壌は種類によって透水性が異なる。一般に粘土質土壌は排水が悪く、砂質土壌は排水がよい。表 2-34 は触感による土壌種類の判断基準を示したものである。砂土、壌土では、ほ場周囲の排水条件を整備すればよいが、粘質の埴壌土、埴土では、直接ほ場に何らかの排水対策を取らなければならない。粘質土の多い兵庫県ではこのような条件がかなり多く、果樹園の開園には何らかの排水対策が必要である。

表 2-34　土壌の種類と触感判断

種類	触感判断
砂土	ざらざらとした触感があり、粘りがない
砂壌土	ざらざらしているが粘りもある
埴壌土	粘りが多く、指間に抵抗を感じる
埴土	こねるとひも状に細長くなる

b　地形による排水不良

干拓地などの標高の低い水田は概してほ場の地下水位が高く、排水が悪い。これに対して傾斜地水田は下流に自然排水できる地形であるため、一般に排水がよい。しかし、伏流水が地下にある場所などでは湧水がひどく、排水が悪くなる。山に囲まれた谷地田などでよく見られる。

c　周りのほ場条件による排水不良

ほ場の周囲が水田に取り囲まれ、周囲の水田から水が浸入してくる場合がある（写真 2-4）。また、ほ場に接した排水路の水位が高い場合や、極端な場合では流れ出る水路が全くなく、排水が不可能なほ場もある。周囲のほ場もよく観察しておく。

写真 2-4　上段の水田から園内に浸入した漏水

d　基盤整備による排水不良

基盤整備時の各種機械の走行による土壌の踏み固めやキャタピラ、車輪による土壌の練り返しは、物理性と透水性を悪化させる。ほ場基盤整備後、すぐに開園する場合には特に注意を要する。

(イ) 排水対策の種類と留意点

水田転換園における排水方法を検討する場合、まず、園内の水が速やかに園外に排出されることが基本である。園外の周囲に必ず排水路が確保できるか、園の排水口の高さより低い位置（20cm 以下）に排水路があるかを十分に確認する。水田転換園の排水口は稲作用では浅すぎる。園の畝の谷や排水溝、明きょの深さに合わせて排水口を作り直す必要がある。

写真 2-5a 園外縁部に掘られた明きょともにいちじく園

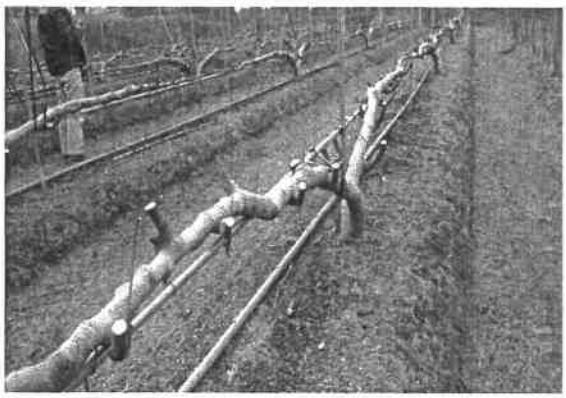


写真 2-5b　高畝栽培の例

まわりが水田で囲まれていると、伏流水によって地下水位が上がる。水の浸入を遮断する明きょ（承水溝）を園の外縁部に掘っておく（写真 2-5a）。さらには高うねとし、うねの谷も排水路として使用する（写真 2-5b）。粘土質のほ場で、排水不良となりやすい地域では特にうねを高くし、客土するなど有効土

層の確保に努める。

再度水田に戻すことが視野にある場合には、これらの高うね、明きょのみで対応するが、そうでない場合にはできるだけ暗きょを設置しておきたい（写真2-2(3)の7)。

暗きょの設置は、まず溝を各うねの直下にトレンチャーなどでまっすぐに勾配をつけて掘り、そのまま園外に水が排出できるようにする。深さは排水路の水位にもよるが、うねの表面から60～80㎝程度欲しい。溝の底には砕石を敷き詰め、その上に排水管を並べる。排水管に使用する資材は直径５～10㎝程度のコルゲート管や塩ビ･ポリ有孔管が耐久性に優れる。排水管のまわりには目詰まりしないように砕石や荒砂を敷き詰め、さらに土壌改良資材を入れた真砂土などで埋め戻す。

一般的にはまず明きょによるほ場排水を検討し、それでも不十分な場合に暗きょ排水を考える。しかし、排水の悪い本県のような土壌では、最初から暗きょを設置することが望ましい。また、明きょや暗きょの効果を高めるためには、地域排水の取り組みも重要である。果樹においてもほ場を団地化することが望ましい。

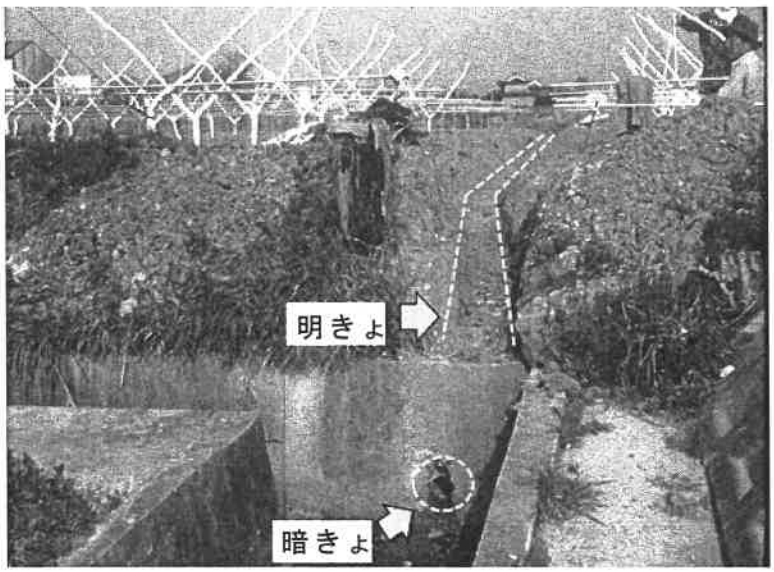


写真2-7 暗きょ、明きょを整備したイチジク園

(ｳ) その他の留意点

ａ　開園前の土壌管理

植え付け後の土壌改良は困難なので植え付け前の11～12月に10ａ当たり３～10ｔの完熟堆肥と苦土石灰を10ａ当たり200～300㎏、ようりんを100㎏程度すき込む。なお、ブルーベリーは酸性土壌を好むため、これらの資材は施用せず無調整ピートモス（pH4.0前後）を株当たり約100L、土壌pHが６以上なら硫黄華を10a当たり60㎏程度施用する。

完熟堆肥の投入はカキなどでは多めでもよいが、徒長しやすいいちじく、

大粒系ぶどう、ももなどは施用しないか控えめにする。これらの樹種では鶏糞などの窒素肥料も避ける。

水田転換園の場合、開園時には乾土効果により地力窒素の発現量が顕著に増加するため、多くの樹種は開園後数年間、徒長気味の生育をすることが多い。そのため、石灰質資材以外の肥料はほとんど不要である。

再度水田に戻さなければ水田の耕盤を破り、60 cm程度に有効土層を深めておく。これを「床破り」といい、明きょ、暗きょの施工時にあわせて行う。床破りには大型バックホーを使用するが、ブルドーザーは心土が締まるので不適当である。また、下層土は酸性土壌のため苦土石灰、ようりんはやや多めに施用する。上層の作土と下層の心土を反転することは、生育が悪くなりやすいので避けるべきである。

b　開園後の土壌管理

(a) マルチ

水田転換園の果樹は総じて根が浅くなりやすいため、敷わらなどでマルチする。敷わらは土壌の乾燥防止、夏季の地温上昇の抑制による根の老化防止、雑草抑制、雨滴のはね返り防止による病害の発生予防、有機物の補給などの効果がある。ただし、あまり早春からマルチすると地温の上昇抑制による生育遅延、凍害を招く。また、根がさらに浅くなり、かえって乾湿の変動に弱くなる危険性もある。近年稲わらの確保は難しいが、できれば 1.5～２t/10a程度は投入したい。

(b) 客土

有効土層が少ない園や樹勢の衰えた園では、山土を客土する。冬季、基肥施用後に 10～20t/10a 程度、畝の上に投入する。これを３年程度継続する。山土は森林の表土など粗大有機物の多い場合は、白紋羽病などの危険があるので利用を避け、代わりに真砂土などを使う。これらの土壌も酸性である場合が多いため、苦土石灰を 10ａ当たり 200～300 kg、ようりんを 100 kg程度すき込む。

(c) 表面耕起

いちじくなどは断根への影響を懸念してあまり中耕は行われないが、栽培年数が経つにしたがって畝が踏み固められ、土壌の物理性は悪くなる。また、石灰の施用によって表層のみ pH が高くなる。そこで樹勢の衰え始めた園を対象に、休眠期の 11 月下旬～２月、畝の肩の部位を中心に表面耕起を行い、完熟堆肥（２～３t/10a）、腐熟した稲わら（マルチ材料）や土壌改良資材（苦土石灰約 100 kg/10a、ようりん約 40 kg/10a）を同時にすき込む。

耕起する深さは 10 cm程度とし、主幹近くは太い根を傷めるので避ける。太い根を切った場合は、せん定バサミで切断面を切り戻し、なめらかにして新根の再生を促す。畝の片側を２年に１回交互に耕起し、１樹当たりの断根量は 20%程度にとどめる。耕起後は再度谷上げを行って元の高畝に戻す(図2-9)。

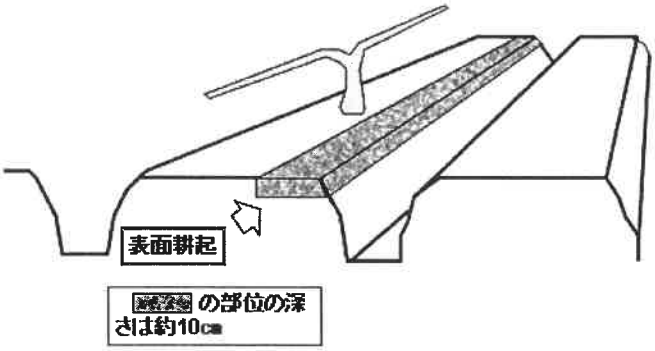


図 2-9　表面耕起による土づくりの例

c　かん水施設の整備

排水対策とは一見相反する事項であるが、硬い耕盤、高い地下水位などが原因で水田転換園の果樹は総じて根が浅い。このため、梅雨明け後の急激な高温乾燥に弱く、他の果樹園より干ばつを受ける危険性が高い。かん水方法は、畝間かん水よりもパイプやチューブかん水（写真 2-8）が効率よく、かつ効果的に行うことができる。

写真 2-8　いちじく園のチューブかん水

d　樹種、台木の選択

耐水性のある樹種、台木を選択する。果樹の根は生育期に過剰な土壌水分状態が続くと通気不良となり、生育が著しく阻害される。根の耐水性は果樹の種類や台木によってかなり異なる。かき、ぶどうは耐水性が強く、なし、りんごも比較的強い樹種とされているが、りんごのM系台木(わい性台木)は耐水性が弱い。いちじく、もも、おうとう、かんきつ類は耐水性の弱いグループに属する。各樹種間の耐水性は表 2-35 のとおりである。

表 2-35　果樹の樹種間の耐水性比較（板倉 1956）

調　査　者	耐水性の強弱
藤村ら（1934）	モモ＜ナシ
森(1946)	モモ＜カラタチ台温州＜日本ナシ
小林ら(1949)	モモ･イチジク＜ナシ＜ブドウ･カキ
森田(1949)	モモ･オウトウ･イチジク＜ナシ＜カキ･カラタチ･ユズ
須佐ら(1952)定森ら(1952)	マメガキ＜ミツバカイドウ＜マルバカイドウ＜ブドウ
林ら(1953)	モモ＜イチジク＜ナシ＜ブドウ・カキ
大畑(1953)松本(1951)	ユズ＜カラタチ
細井(1953)	ヤマナシ＜マンシュウマメナシ

e　クリの凍害対策

クリの凍害は幼木期に発生しやすく、気象条件とともに園の土壌条件により発生程度が大きく異なる。水田転換園や造成地のように土壌の排水性が劣る場合、凍害発生のリスクが高まることから、新植前には土壌改良を徹底する。詳しくは「クリ凍害の危険度判定指標と対策技術マニュアル」（県立農林水産技術総合センターのホームページ（下記アドレス）を参照する。

http://hyogo-nourinsuisangc.jp/kuritougai/index1.html

第３　土づくり資材の特徴（施用方法）

(1) 有機質資材（堆肥等）・肥料

有機質資材と有機質肥料を明確に分ける境界線はないが、ここでは、従来から土づくりのために施用されてきたもの、及び堆肥化の材料として使われてきたものを有機質資材とする。一方、無機化学肥料に代わって肥料として施用されるものを有機質肥料とする。例えば、鶏ふんは、堆肥製造時に混入する場合は資材であり、直接基肥や追肥として施用する場合は肥料として扱う。

ア　有機質資材の施用効果と必要性

良質な有機質資材の施用は土づくりの基本であり、表 2-36 に示したように多面的な効果が知られている。

表2-36　多面的な効果特性からみた有機質資材の種別

施用効果		効果の高い有機質資材
①肥沃度向上(有機物増加)		乾燥牛ふん、馬ふん堆肥、オガ牛ふん堆肥、オガ鶏ふん堆肥、稲わら堆肥
②物理性改善		オガ牛ふん堆肥、馬ふん堆肥、バーク鶏ふん堆肥、オガ鶏ふん堆肥、バーク堆肥、ピートモス
③生物性改善	・微生物活性	乾燥豚ぷん、乾燥牛ふん、稲わら、小麦稈、スイートコーン残渣
	・リゾクトニア病抑制	乾燥牛ふん、オガ鶏ふん堆肥、小麦稈、スイートコーン残渣
	・センチュウ害抑制	乾燥豚ぷん
④作物の生産性		乾燥牛ふん、乾燥豚ぷん、馬ふん堆肥、オガ鶏ふん堆肥、(いちご)稲わら、稲わら堆肥、(トマト)バーク堆肥、オガ牛ふん堆肥

(注)地域重要新技術研究(1984～1988)成果から

肥沃度向上効果とは、作物が要求する窒素、リン酸、カリ及び微量要素を土壌中に供給する効果である。特に土壌有機態窒素として土壌に集積した窒素は地力窒素としての効果が大きく、作物の生育に応じた力強い肥効を示す。

物理性改善効果とは、土壌の団粒化を促進し、孔隙量の増加により通気性、透水性、保水性などを向上させる効果である。

生物性改善効果とは、作物根周辺の土壌微生物をバランス良く増加活動させることにより、有機物の分解から始まる物質循環を円滑にして、土壌養分の有効化を進め、作物が病虫害の被害を受けにくい健全な土壌にする効果のことである。

これらの効果の相乗作用として、保肥力も増強する。また、様々なストレスに対する作物への悪影響を和らげる緩衝機能も増加する。さらには、残留農薬

等土壌中に残留する化学物質等の分解促進にも効果を発揮する。そして総合的に、作物の生産性が高水準で安定するという効果が期待できる。

このように有機質資材施用効果の特徴は、「多面的」という一言でまとめられるが、資材の種類によりその効果特性は、表 2-36 のようにかなり異なる。このことは、それぞれの資材の長所、短所を熟知して上手に施用する必要があることを示している。

有機物は土壌中では微生物の活動に応じて絶えず分解していくので、常にその補給が必要であり、地力の維持増強には有機質資材の施用は欠かせない。しかしながら、実際の施用にあたっては有機質資材の種類、施用量、施用時期を十分に検討しないと作物に障害が発生したり、周辺の環境に悪影響を及ぼしたりすることもある。例えば、未熟な有機物を施用すると土壌中で急激に分解して、ガス障害や根腐れの原因にもなる。また、土づくりを急ぐあまり、一度に多量施用すると窒素過多による障害を引き起こしたり、逆に堆肥の種類によっては、分解過程における窒素吸収により作物が窒素飢餓を起こし減収を招くこともある。

21 世紀は資源リサイクルの時代といわれる。有機質資材を健全な土壌をつくる材料としてみれば、地域内で発生する家畜ふん尿、稲わら、作物の収穫残さ、生ゴミ等はまさに貴重な資源である。豊かな農村環境をはぐくむためにも、これらの有機質資材を合理的かつ有効に利用して、効率的な土づくりを推進する必要性が益々高まると考えられる。

イ　主な有機質資材・肥料の特性

土づくりに使用される有機質資材の種類は多く、成分含量も変化に富んでいる。また、土中での分解の仕方も種類によって大きく異なる。表 2-37 に主な有機質資材の成分組成の例を示した。表 2-38 には、有機質資材の種類による土壌中における分解特性と施用効果を示した。

各種有機質資材は堆肥化して施用するのが望ましく、その主な堆肥の品質を表 2-39 に示した。ここでは、兵庫県における主な有機質資材の特性と利用法の概略について紹介する。

表 2-37　有機質資材の有機・無機組成

有機質資材の種類	乾物当たり（%）							
	T-C	T-N	C/N	灰分	ｾﾙﾛｰｽ	ﾘｸﾞﾆﾝ	粗脂肪	P_2O_5
稲わら	42.8	0.90	47.6	13.4	31.4	15.1	1.77	0.30
小麦稈	43.1	0.29	148.1	9.3	35	11.3	-	0.12
青刈りソルゴー	42.5	1.46	29.1	8.6	31.6*	-	1.03	0.60
スイートコーン残さ	45.9	1.85	24.8	8.4	23.6	8.1	-	0.93
稲わら堆肥	32.4	2.25	14.4	-	-	-	-	1.48
乾燥牛ふん	37.2	2.35	15.8	21.5	22.3	27.1	0.35	2.28
乾燥豚ぷん	41.7	4.24	9.8	17.1	6.3*	-	5.44	4.70
馬ふん堆肥	21.2	1.27	16.7	22.7	9.6*	-	0.21	1.42
ｵｶﾞｸｽﾞ入り牛ふん堆肥	39.6	2.31	17.1	19.9	39.8*	-	0.29	3.10
ｵｶﾞｸｽﾞ入り鶏ふん堆肥	37.5	1.08	34.7	26.3	29.4	24.5	-	2.45
オガクズ入り豚ぷん堆肥	39.0	2.90	13.4	-	-	-	-	4.43
バーク入り鶏ふん堆肥	44.3	1.45	30.6	9.9	30.3	33.3	-	1.24
バーク堆肥	45.8	2.32	19.7	-	-	-	-	0.71
ピートモス	45.4	1.24	36.6	-	-	-	-	0.24

有機質資材の種類	乾物当たり（%）				乾物当たり（ppm）		
	K_2O	CaO	MgO	Fe	Mn	Cu	Zn
稲わら	2.64	0.28	0.27	0.06	574	2.4	24.2
小麦稈	1.67	0.42	0.13	-	-	-	-
青刈りソルゴー	2.58	0.36	0.33	0.05	110	8.0	16.6
スイートコーン残さ	2.91	0.32	0.28	-	-	-	-
稲わら堆肥	5.16	2.39	0.51	0.23	2,275	-	88
乾燥牛ふん	1.79	2.27	0.99	0.43	724	16.8	103
乾燥豚ぷん	1.99	2.97	1.23	0.73	300	1,613	582
馬ふん堆肥	1.61	1.40	0.8	1.27	557	28.6	128
ｵｶﾞｸｽﾞ入り牛ふん堆肥	2.71	4.14	1.06	0.35	350	126.4	312
ｵｶﾞｸｽﾞ入り鶏ふん堆肥	0.16	11.31	0.36	-	-	-	-
オガクズ入り豚ぷん堆肥	3.27	3.31	1.31	0.58	323	290	459
バーク入り鶏ふん堆肥	0.82	3.53	0.30	-	-	-	-
バーク堆肥	0.64	2.01	0.45	0.39	323	-	76
ピートモス	0.46	0.62	0.25	0.45	130	-	26

（注）地域重要新技術研究(1984～1988)で使用した資材
セルロースのうち＊印は粗繊維を示す。

表 2-38　有機質資材の分解特性による群別と施用効果

分解（速度）特性		有機質資材の種類	施用効果	
炭素の分解	窒素の放出		肥料的効果	有機物集積
速	速（多）	乾燥豚ぷん	大	小
	初期取込（少）→ 速（中）	青刈りソルゴー、スイートコーン残さ	初期マイナス → 小	小
	初期取込（中）→ 遅（中）	稲わら	初期マイナス → 小	小
	取込（極多）→極遅（少）	小麦稈	初期マイナス大 → 極小	小
中	中	乾燥牛ふん	中	中
		稲わら堆肥	小	中
緩	中	馬ふん堆肥	小	大
	中→緩	オガ牛ふん堆肥	小	大
	初期大→取込→緩	オガ鶏ふん堆肥 バーク鶏ふん堆肥	初期大→小	大
	初期取込→緩（少）	バーク（尿素）堆肥	小	大
極遅	初期取込（少）→極少	ピートモス	極小	極大

表 2-39　堆きゅう肥等有機質資材の品質（農蚕園芸局農産課、1982）

種類	点数	水分 %	乾物当たり（%）							
			T-C	T-N	C/N 比	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	SiO_2
堆肥	100 前後	74.6	28	1.64	18.7	0.77	1.76	1.99	0.55	32.5
きゅう肥（牛ふん尿）	150 〃	66.0	33.3	2.10	16.5	2.06	2.19	2.31	0.99	20.8
〃（豚ぷん尿）	70 〃	52.7	35.4	2.86	13.2	4.31	2.23	3.96	1.35	11.4
〃（鶏ふん）	50 〃	38.5	29.3	2.89	12.5	5.13	2.68	11.3	1.36	12.4
木質きゅう肥（牛ふん尿）	300 〃	65.4	38.5	1.66	24.6	1.59	1.70	1.91	0.75	9.0
〃（豚ぷん尿）	180 〃	55.7	36.5	2.11	19.3	3.37	1.84	3.35	1.08	7.3
〃（鶏ふん）	70 〃	52.4	33.8	1.93	19.8	4.09	2.14	9.12	0.96	7.2
木質資材堆積物	100 〃	60.7	40.1	1.21	36.0	0.84	0.72	2.72	0.42	14.6
もみがら堆肥	40 〃	55.4	32.4	1.12	44.3	1.24	1.04	1.53	0.32	17.0
都市ゴミコンポスト	10 〃	46.5	38.9	1.63	27.0	1.02	0.88	4.43	0.48	6.2
下水汚泥堆積物	60 〃	58.4	24.9	3.58	7.9	5.18	0.32	10.4	1.23	8.4
食品残渣	30 〃	62.7	34.9	3.65	11.3	2.80	0.95	4.71	0.74	13.4

(ｱ) 牛ふん、牛ふん堆肥

生牛ふんを堆肥舎やハウス内で、水分 50～60%の生乾きにして堆積発酵させると、適度に乾燥した臭気の少ない乾燥牛ふんにすることができる。また、水分 60%程度で、１か月程度堆積発酵させるとほぼ完熟し、炭素率 15～20 となり、取り扱いやすくなる。

窒素成分は豚ぷんや鶏ふんに比べて少なく、肥効は緩やかである。注意すべきは、カリやナトリウム含量である。尿が多く混入しているとナトリウム含量は高い。

水稲に対して牛ふん堆肥を施用すると、堆肥として投入した窒素量の 15～20%が６～７月中に吸収される。したがって、その分だけ基肥や分げつ肥の施肥量を減ずることができる。堆肥を連用しているほ場では、堆肥として施用する年間窒素量の 30～35%が水稲に吸収されるので、その分だけ施肥量の削減が可能である。

水稲に対する牛ふん堆肥の肥効は８月以降はあまり期待できない。したがって、穂肥は水稲の生育に応じて施用する必要がある。

牛ふん堆肥は兵庫県の代表的な有機質資材である。その土壌改善効果はバランスの良い優れたもので、作物の生産性向上に大きく寄与する。貴重な資源として有効利用を推進する。

(ｲ) 豚ぷん、豚ぷん堆肥

豚ぷんの水分を 50～70%に調節すれば、１か月程度の堆積発酵でほぼ完熟化する。わらやオガクズを混入したものは、２～３か月を要する。

豚ぷんの肥料成分量は、牛ふんと鶏ふんの中間程度である。また、微量要素が多く含まれる。豚ぷんを施用すると、土壌微生物活性が急激に高まり、微生物による障害やガス障害など作物への影響が懸念される。また、土壌中にリン酸や銅、亜鉛などの含有量が高まる傾向がある。そのため、生、堆肥化物共に多量施用や連用には注意が必要である。豚ぷんの特性を活かすためには、土壌微生物性を変化させる資材として、あるいは微量要素の補給資材としての利用が望ましい。また、牛ふんなど他の資材との混合施用も効果的である。

(ｳ) 鶏ふん、鶏ふん堆肥

乾燥鶏ふんは、有機質肥料として古くから使われてきた。その肥料成分量は牛ふんの３倍、豚ぷんの 1.5 倍と高く、低度化成肥料と同程度である。一般に、窒素の肥効の現れ方は、なたね油かすよりやや早く、リン酸は熔リンよりやや早く、カリは速効性である。鶏ふんは他の家畜ふんと比べ窒素含量が高く肥効が高いので、施用時期や施用量には特に注意が必要である。乾燥鶏ふんは、緩効性の低度化成肥料という認識で肥料的に使用するのが無難である。また、鶏ふんには石灰やリン酸も多く含まれており（特に採卵鶏ふん）、石灰の補給ができるものの、多量施用や連用はリン酸の集積を招く恐れがある。鶏ふん単独では土づくり効果が低いので、単一で堆肥化されることは少なく、オガクズ、もみがら、バークなど分解が遅い副資材との堆肥化を促進する窒素源として混合して使用される。

水稲に施用する場合の注意事項を表 2-40 に示した。堆肥化したものを遅くとも植付け 1 週間前までには施用し、施用量は 300 kg/10a 程度にとどめる。基肥は基準より 30%程度減肥して分げつ肥は施用しない。500 kg～1t/10a の堆肥施用事例もみられるが、その場合は、基肥、分げつ肥とも窒素肥料は無施用とし、穂肥は生育診断により調節する。加えて、倒伏しやすい品種を栽培する場合には、疎植（15 株以下/㎡（株間 22cm 以上））栽培で、間断灌水を行い、強い中干しを避けるのが望ましい。乾燥鶏ふん等副資材を含まないものを施用する場合には、秋すき時（年内）に 2t/10a までとし、散布後土と良く混和しておくが、土づくり効果を高めるため、稲わらやもみがら等とともに混和するのが望ましい。

表 2-40　水稲での鶏ふんの施用量及び注意事項

形態	施用時期	施用量 (t/10a)	化学肥料の施用量及び注意事項
乾燥	植付け４～５か月前まで	2	施肥は基準どおり。散布後土と良く混和しておく。
堆肥	植付け４～５か月前まで	2	施肥は基準どおり。散布後土と良く混和しておく。
	植付け２か月前まで	1	基肥は基準より 20%程度減肥して分げつ肥は施用しない。穂肥は生育診断により調節する。
	植付け１週間前まで	0.5～1	基肥、分げつ肥とも窒素肥料は施用しない。穂肥は生育診断により調節する。
		0.3	基肥は基準より 30%程度減肥して分げつ肥は施用しない。穂肥は生育診断により調節する。

(ｴ) オガクズ入り家畜ふん堆肥

オガクズは吸水性と脱臭性に優れているため、家畜の敷料としてよく使われる。その成分は、樹種及び混合割合、堆積期間により異なるが、一般に、炭素率が高く、セルロース、リグニンなど分解しにくい有機物が多く含まれる。さらに、タンニン、フェノール類など有害物質も含まれており、溶出して作物に障害を及ぼすことがある。したがって、未熟な資材の施用は禁物である。堆肥化のポイントは、オガクズの混合割合を減らすこと、有害物質を減少させるために高温を伴う好気性発酵を最低３か月以上継続させることである。その後、数か月の堆積期間があれば良質の堆肥となる。よく腐熟した木質は分解されにくい腐植となり、土壌の保肥力を高めるとともに物理性の改善に大きな効果を発揮する。

(ｵ) バーク堆肥

広葉樹または針葉樹の樹皮に鶏ふんなどの窒素源を加えて切り返しながら、半年程度堆積発酵させてタンニンやフェノール類を分解させたものである。樹

皮は広葉樹の方が針葉樹より優れ、堆肥化しやすく製品も良い。一般に、バークに対して添加された鶏ふんの窒素源が多く、また、堆積期間の長いものほど高品質である。原木が長く海水に漬かっており、堆積期間の短い堆肥を施用した場合、塩化ナトリウムによる塩害が出ることがある。バーク堆肥には、土壌の膨軟化、透水性向上、保肥力の増大などの土壌改善効果がある。しかし、未熟堆肥を施用すると窒素飢餓を引き起こすので、腐熟度に十分注意する必要がある。全窒素含量1.5%(乾物当たり)以上、炭素率 30以下で、樹皮がよく崩壊している堆肥を用いる。

(ｷ) 稲わら、もみがら

稲わらの生産量は、10a当たり乾物で約600kg、全窒素含量は、乾物当たり約0.6%、炭素率は 約60である。稲わらは、コンバイン収穫時に全量ほ場へ還元される場合が多い。稲わらのすき込みは水田の地力維持向上に役立つ。毎年稲わらが全量還元される水田では、稲わら由来の窒素が10a当たり1.5kg程度水稲に吸収されるので、その分だけ施肥窒素量の減肥が可能である。

もみがらの生産量は、10a当たり乾物で約120kg、全窒素含量は、乾物当たり約0.3%、炭素率は約120である。また、ケイ酸が約20%含まれる。腐熟が遅いため、土壌の通気性、透水性など物理性改善に効果を発揮する。家畜ふん堆肥製造時の水分調整材としても好適である。近年では、もみがら粉砕機を設置したライスセンターも増加している。粉砕もみがらは、かさばらないため施用しやすく、また分解も早いが、炭素率は変わりなく高いため、多量施用する場合は、窒素飢餓等を引き起こさないような配慮が必要である。

稲わらやもみがらは、かつては最も身近で貴重な有機質資材であった。

しかし、水稲の収穫から出荷までの作業が機械化、システム化され、農家の生活様式も変化した現代では、廃棄物的に扱われる場合も多い。従来から、マルチ資材、家畜の飼料や敷料、堆肥の材料、燻炭としての利用等、農業生産や土づくりに関わる様々な用途で利用されてきた。その価値を再認識して有効に活用したいものである。

(ｸ) 有機質肥料

有機質肥料は肥料取締法の普通肥料あるいは特殊肥料である。あくまで、作物の栄養を補給するためのものなので、土づくりより、まず第1に肥料として適切に施用することが大切である。次に、付随する土づくり効果を配慮したその後の土壌管理が重要になる。一般にこの付随効果は土壌の化学性、物理性、生物性全般にわたるもので地力の維持、培養効果が期待できる。ここでは、表2-41で油かす類や骨粉等一般的な有機質肥料の成分と窒素無機化率を示した。併せてこれらの有機質肥料の全般的な特徴について記述する。

a　植物油かすの窒素成分は５～８%のものが多い。カリ含量は１～２%で低い。骨粉類のリン酸含量は10%以上で高く、窒素含量は５%程度あるが、カリは１%以下で低い。魚肥類の窒素は６～10%、リン酸は４～10%、カリは１%前後で低い。

b　有機質肥料は微生物により分解され、無機化してから作物に吸収される。1作(12週間)の無機化率は種類により異なるが、ほぼ6～8割である。無機化率はC/N比、温度、土壌水分、土壌pHに影響される。無機化率(窒素)は高温で高く、低温では低くなる。全無機化量の1/2が無機化する日数は10℃で4～8日、26℃では4日以内と比較的早い。無機化速度は初期が早く、全窒素量の30%前後が1週間以内に無機化する。その後遅くなり、30～40日頃から非常に緩慢となる（表2-41参照）。

c　窒素は主に蛋白態であるが、その他アミノ酸態等の形態でも存在する。1作目の窒素肥効は60～70%程度であるが、2作目以降は残効がみられ肥効は高まる。動物質のリン酸は作物の根が吸収しにくい形態のものが多い。植物質のリン酸は土壌中では比較的容易に分解し、作物に利用されやすい形態に変化する。カリは比較的早く吸収されるが、含量が低いものが多い。

d　有機質肥料は三要素だけでなく、微量要素を含み、肥効は緩効的で濃度障害を生じにくく、土壌の理化学性、生物性の改善に効果がある等の優れた性質があるが、化学肥料より肥効がやや低い、肥料の種類が多く品質が不安定、単位成分当たりの単価が高い等の欠点もある。

表2-41　有機質肥料の成分と窒素無機化率　(藤沼・田中 1973)

肥　料	肥料の成分						Nの無機化率(注)			
	試料水分 %	T-N %	P_2O_5 %	K_2O %	CaO %	MgO %	10℃ %	50%D 日	26℃ %	50%D 日＊
大豆油かす	7.4	7.0	1.5	2.5	0.44	0.15	66	4～8	78	＜4
なたね油かす	12.6	5.0	2.6	1.4	0.90	0.34	68	8～15	88	4～8
ひまし油かす	10.8	6.1	2.5	1.3	0.53	0.53	66	4～8	85	＜4
綿実油かす	9.2	6.3	3.0	1.9	0.30	0.36	68	8～15	85	4～8
米ぬか	11.8	2.4	5.8	2.0	0.08	0.74	48	15～30	83	15～30
肉骨粉	8.6	6.6	15.0	0.3	24.6	0.31	61	4～8	80	＜4
蒸製骨粉	9.0	5.1	20.8	0.2	28.2	0.38	60	4～8	72	＜4
イワシかす	11.5	9.1	4.1	1.2	2.7	0.08	76	4～8	88	＜4
荒かす	10.9	11.3	3.6	0.9	2.5	0.04	78	4～8	86	＜4
鶏ふん	12.6	2.1	6.8	2.4	18.8	0.34	40	＜4	70	15～30
糖蜜加工鶏ふん	4.0	3.3	5.4	5.1	13.6	0.88	55	＜4	73	4～8
(対照)硫安		20.0					110	＜4	102	＜4

注)培養条件
土壌水分：最大容水量の60%、温度：10℃および26℃、
乾土（埼玉園試沖積土)50gにN25mgを添加 、培養期間12週で84日目の分析値である。
＊ 50%D：全無機化量の1/2が無機化する日数

(ｹ) 天然資材を原料とした肥料（石灰質等）

a　貝化石肥料（普通肥料）

貝化石粉末を造粒したものをいい、アルカリ分35%以上を含む。また、苦土肥料を混合して造粒したものは、アルカリ分の他、ク溶性苦土１%以上を含む。

b　貝化石粉末（特殊肥料）

過去に生息した貝類、また、貝類とひとで類、その他の水生動物類とが混在して地中に埋没堆積し、風化または化石化したものの粉末をいう。通常可溶性石灰30～50%を含む。

c　貝殻肥料（特殊肥料）

貝または貝がらを粉砕したもの若しくは貝灰をいう。主成分は炭酸カルシウムで可溶性石灰 30～50%であり、貝の粉末は若干の窒素を含む。

・製法・性質

貝化石とは、貝やひとでなどが化石となったもので、貝化石層を形成して全国に散在している。一般には、採掘し土砂を分離して、貝化石粉末として販売されており、主成分は炭酸石灰で、良質のものはアルカリ分が40～45%と高い。富山県から産出されるアルカリ分35%以上の良質の貝化石粉末は、造粒され、貝化石肥料として、公定規格が定められている。貝がら粉末は主としてカキ殻を粉砕したもので、アルカリ分は約40%前後、貝化石と同様に土壌酸性の改良材として用いられている。

・特徴

酸性中和能力：酸性土壌を中和するための反応性は粒径の影響を受ける。粒子が大きくなれば反応しにくくなるが、カキがら粉末では炭カルより粒子が大きくても、炭カルと同程度の中和効果を発揮する。

過剰中和障害の軽減:酸性土壌を中和する場合、一番問題になるのは過剰施用により、土壌pHが上昇しすぎて微量要素欠乏等の生育障害が生じることである。カキがら粉末肥料では、炭カル等より、pHは上昇しにくく、過剰障害は少ない。微量要素も含まれている。

・施用量

良質なものでも炭カルよりアルカリ分が低い(炭カルの約80%)ので、炭カル施用量の20%増くらいを目安に、できるだけ良質のものを選んで施用する。

d　カニがら等甲殻類のかす

甲殻類のカニやシャコ、エビなどの殻を原料としたもので、乾燥・粉砕したものは普通肥料の登録がとれ、粉砕しないものは特殊肥料に指定される。動物質であるため、窒素分とカリ分を数%含み、普通肥料では窒素４%以上、リン酸１%以上の成分が保証されている。成分は製品によりばらつきが大きく、５～６%以上のリン酸を含むものもある。カニがらにはキチン質が多く、土壌に施用すると放線菌を増殖させ、フザリウム菌を抑制する働きがある。カニがら粉末肥料は無機化が遅いグループに属し、２週間

で20%であり、８週間でやっと50%程度である。無機化速度は米ぬかとほぼ同じである。

ウ　堆肥の熟度判定法

土づくりをするためには、有機質資材を堆肥化して土壌に施用する。施用する堆肥が栽培する作物や土壌環境さらには周辺環境にまで悪影響を及ぼさないことを確認する必要がある。ここでは、現場で使える簡易な堆肥の品質評価法を紹介する。

(ｱ) 良い堆肥とは

農家が自前のわらや家畜ふんを材料として自給的に堆肥をつくっていた時代とは異なり、現在では堆肥は、食品残渣や木質系資材等様々な材料が混合されて大量に製造されている場合が多く、その品質も多様になっている。また、堆肥施用にあたっては、地力を高めて作物生産を安定化させるという本来の目的に加えて、周辺の環境に配慮して適量を合理的に使用することが必要となっている。したがって、現在における「良い堆肥」は①十分に腐熟している。②病原菌や雑草種子が少ない。③含水率が50%程度で、取り扱いやすい。④窒素、リン酸、カリ等肥料成分の含量がわかっている。⑤重金属等の有害成分の含量が少ない。という条件を満たす必要があると考えられる。

(ｲ) 現場における良い堆肥の判定法

現場で堆肥を施用する際に最も大切なことは、作物に生育障害を引き起こさないことと周辺環境に異臭等の悪影響を及ぼさないことである。未熟堆肥を施用すると作物に窒素飢餓を引き起こしたり、病原菌や雑草種子を拡散する恐れがある。また、バーク等木質を含む未熟堆肥では、フェノール物質を含む場合もあり、発芽障害の原因にもなる。家畜ふん等動物質に由来する未熟堆肥は、窒素過剰害、アンモニア等のガス障害、悪臭等が問題になる。これらの諸問題は、十分に腐熟した堆肥を用いることにより回避できる。現場では、堆肥の腐熟度を判定することが大切である。あらゆる種類の堆肥に適応する統一的な腐熟度判定方法は確立されていないが、ここでは比較的簡単にできる手法を３例示す。

a　現場観察法

現物の堆肥を観察して、感覚で判定する。

- 触覚（手でもむ）→ 手でもみきれる → 完熟度が高い
- 視覚 → 暗褐色を帯びている → 完熟度が高い
- 臭覚 → あまり臭いがしない → 完熟度が高い
  → 刺激臭、アンモニア臭、カビ臭 → 完熟度が低い

b　発芽試験法

堆肥の種類を問わず、生育障害を引き起こすかどうかを判定する手法として最も優れている。特に、バークやオガクズに含まれるフェノール等の生育阻害物質の有無を調べるのに適する。

風乾堆肥５ｇをビーカーに入れる
↓ ←　温水(60℃)100ml
湯煎(60℃で３時間)
↓
ろ過(ガーゼ)
↓
ろ液 10ml を ろ紙(No６)を２枚敷いたシャーレに入れる
↓
播種(こまつな※種子 25 粒を播き、ろ紙１枚で覆う)
↓　　※だいこん、ちんげんさい等も適する
３日間静置後、発芽率と子葉の異常を調べる

☆ 判定 ･･･ 蒸留水を用いたものを対照として、対比 90%以上で良好とする。なお、土壌を用いてポット試験で検討する場合は、施用ほ場の土壌：施用堆肥＝５：１(現物重量比)で混和後に播種する。このとき、堆肥無施用のポットにも同様に播種して、対照とする。

c　採点法

次表に基づき、現場での観察と聞き取り調査結果を数値化して評価する。家畜ふんのおおよその熟度が判定できる便利で簡易な手法である。

表2-42 家畜ふん腐熟判定基準（草地試験場1984）

項目	評価と配点　　( ) 内の数値は点数を示す
色	黄～黄褐色(2)、褐色(5)、黒褐色～黒色(10)
形状	現物の形状をとどめる(2)、かなり崩れる(5)、ほとんど認めない(10)
臭気	ふん尿臭強い(2)、ふん尿臭弱い(5)、堆肥臭(10)
水分	強くにぎると指の間からしたたる…70%以上(2) 強く握ると手のひらにかなりつく…60%前後(5) 強く握っても手のひらにあまりつかない…50%前後(10)
堆積中の最高温度	50℃以下(2)、50～60℃(10)、60～70℃(15)、70℃以上(20)
堆積期間	家畜ふんのみ…20日以内(2)、20日～２か月(10)、２か月以上(20) 作物収穫残渣との混合物…20日以内(2)、20日～３か月(10)、３か月以上(20) 木質物との混合物…20日以内(2)、20日～６か月(10)、６か月以上(20)
切り返し回数	２回以下(2)、３～６回(5)、７回以上(10)
強制通気	なし(0)、あり(10)

☆ 判定 ･･･ 合計点数　30点以下－未熟、31～80点－中熟、81点以上－完熟

(2)緑肥作物

緑肥作物とは、作物そのものを収穫して利用するのではなく、地力培養、有機物の補給などを目的として栽培される作物のことをいう。近年では、化学肥料や農薬に頼った農業により、地力の消耗や、連作障害を招いて、産地の収量低下が生じている。このため、堆きゅう肥等の有機物の補給が必要となっており、緑肥作物が見直されてきている。緑肥作物は堆きゅう肥のような臭気がないことから都市近郊でも利用しやすく、連作ほ場を輪作体系化することができる。

また、緑肥作物には、重粘土壌や土層の改良、連作障害の改善、塩類集積の改善、土壌侵食防止、景観形成等の効果を持つものもある。さらに、非作付期間に緑肥を栽培して、裸地状態にしないことで肥料成分の流亡を防ぎ、環境負荷を軽減する効果もある。以上の特徴から、今後、環境創造型農業を推進する上で、益々重要性が高まるものと思われる。

ア　緑肥作物の種類の選定

土壌改良の目標、方法を明確にし、それにあった種類を選択しなければならない。

「イネ科作物」は、深根性により土層改良や、ほ場外への持ち出しにより除塩対策にも使われる。C/N 比（炭素率）が高いため、すき込み後の分解は遅れるが、繊維質が多く、根量が多いことなど地力増進効果が高い。土壌有機物を高め、微生物による分解過程で多糖類が生成して土壌を団粒化し、土壌の物理性、化学性、生物性を改善する。すなわち物理性では、透水性、保水性が改善され、耕うんが容易になる。化学性では、腐植が増え、陽イオン交換容量(CEC)が増大する。

「マメ科作物」は根粒菌による空中窒素固定を行うため、窒素肥料の施用が必要でない。炭素率が低いため、すき込み後の分解が早く、速効性の窒素質肥料と同じような効果が期待できる。一般に土壌の深い層まで根が到達し、耕うん効果がある。下層に溶脱した石灰や苦土等の塩基類を吸収して表層土壌に還元する働きもある。

以上の他、①栽培が容易で、短期間の収量が多い、②土壌中で有機物の改良効果が持続する、③前後作の作物と同じ科のものにしない、④共通の病害虫が少ない、⑤種子が安価で入手しやすいことなどの条件を考慮すること。

表 2-43　用途別緑肥作物一覧

用途	緑肥作物名
肥料的効果	レンゲ、ヘアリーベッチ、クローバ、ダイズ、アルファルファなど
土壌物理性の改善	ソルゴー、トウモロコシ、セスバニア、クロタラリアなど
地力培養（有機物補給）	ソルゴー、トウモロコシ、エンバク、ライムギなど
除塩	ソルゴー、トウモロコシなど
マルチ（雑草防止、浸食防止）	エンバク、ライムギ、ナギナタガヤ、ヘアリーベッチなど
連作障害回避	エンバク、ネギなど
センチュウ対策	エンバク、クロタラリア、マリーゴールド、ギニアグラスなど
景観形成	ナタネ、シロガラシなど

イ　緑肥作物栽培上の留意点

・水田跡地へ導入する場合は、周囲に溝を切り、排水をよくする。また、適期適量の播種を行う。播種が遅れたり、播種量が少ないと雑草に負けることがある。

・緑肥のすきこみは、乾物(肥料的効果を期待する場合は窒素)の生産量が最大で、しかも分解が速い時期を選ぶことが大切である。すきこんだ後の分解が速いのは、マメ科では開花期まで、イネ科植物では出穂期までである。この時期をすぎるとC/N比が高くなって窒素飢餓がおきやすくなり、また分解しにくいセルロースやリグニンの含量が高くなる。茎が木質化する作物については、すき込み、整地作業が困難になるため、木質化するまでにすき込む方がよい。

・未熟有機物のため、後作への悪影響が出やすい。このため、すき込みから作物植付けまで20～30 日の期間を確保する。水稲では還元状態で緑肥が嫌気性分解されるため、初期生育が抑制されることがある。早めにすき込んで良く分解させておくとともに、浅水管理や中干しの徹底で障害の解消を図る。

・炭素率（C/N比）の高い緑肥（例：ソルゴー）をすき込むときは、窒素飢餓を防ぐため、石灰窒素の施用を行い、細断処理や深めのすき込みを行う。

・炭素率の低い緑肥（例：ヘアリーベッチ）の場合、すき込み後すぐに後作を播種すると、ピシウム菌が増えて発芽生育障害を生じやすい。そのため、分解が落ち着くまで、3週間程度の腐熟期間を設け、この間に数回のロータリー耕を行い、分解を早める方がよい。

・後作物に好結果を期待するためには、緑肥作物の収穫量、成分量、分解速　度からすき込み量及びすき込み時期を決定する必要がある。一般に後作物のは種、定植はすき込みの約1ヶ月後が無難である。

・緑肥作物の後作に対する施肥は、供給された養分量と肥効発現を考慮すべきである。一応の目安として、水稲は2～5割減肥し、間断かんがいを早めるなど水管理に注意する。

・緑肥作物は、1年のみの導入より、2年連続して栽培する方が地力増強効果が高い。

・養蜂関係者は蜜源とするためレンゲ等のすき込みをできるだけ遅くすることを望んでおり、必要に応じてすき込み時期に配慮する。

表 2-44　緑肥すき込みの後作物の窒素減肥可能量（北海道農政部,1994）

緑肥のC/N比（全窒素%）	緑肥の乾物収量（kg/10a）			
	200	400	600	800
10（4.0～4.4）	5.5	11.0	16.0	－
15（2.7～2.9）	2.5	5.0	7.5	9.5
20（2.0～2.2）	1.0	2.5	3.5	4.5
25（1.6～1.8）	0.5	1.0	1.5	2.0

注）例えば、乾物収量で500kg、C/N比が20であれば、窒素の減肥量は、(2.5+3.5)／2=3kgとなる。

ウ　緑肥作物別の特徴と利用法

以下に代表的な緑肥作物の特徴と栽培指針の例を記載する。

(ｱ) ソルゴー

イネ科で、耐暑性、耐旱性に強く、播種後約２ヶ月で草丈２ｍ以上に達し、根群も深く入り、サツマイモネコブセンチュウの密度を抑制する。

青刈りすき込みは容易で、草丈 1.5m を目安にプラウ、ロータリー耕で２～３回行う。分解はやや難で窒素の取り込みが大きいため、石灰窒素を施用して分解促進を図る。根群発達は中程度。すき込み後 20～30 日後に後作の播種定植を行う。

(ｲ) イタリアンライグラス

耐寒性の強い秋まきのイネ科作物で、初期生育はエンバク、ライムギにやや劣る。土壌被覆性が良好で根群発達は極大。土を膨軟にするが、耕耘しにくく、青刈りすき込みは難しい。分解は容易で窒素の取り込みは少～中。

(ｳ) エンバク

イネ科で初期生育と耐寒性はライムギに劣るが収量は高い。青刈りすき込み、分解とも容易で、窒素の取り込みは少から中。根群発達は中程度。

(ｴ) ライムギ

耐寒性が強いイネ科作物で、初期生育が旺盛。青刈りすき込み、分解とも容易で、窒素の取り込みは少～中。根群発達は中程度。

(ｵ) ヒエ

イネ科で初期生育が良く、短期栽培に向く。青刈りすき込み、分解とも容易で、窒素の取り込みは中程度。根群発達は大。

(ｶ) レンゲ（p.15 参照）

(ｷ) ヘアリーベッチ（p.16 参照）

(ｸ) セスバニア

熱帯性のマメ科作物で、草丈は３～４ｍに達する。直根性の根は１ｍ以上も深く入り、硬盤破砕効果があり、土壌の排水性、通気性を高め、団粒構造を形成する。重粘土質土壌や湿害の発生しやすいほ場に適している。品種ロストアラータでは窒素固定する根粒の他、茎粒が着生する。すき込みは茎が木質化しないよう、草丈２ｍを目安にプラウ、ロータリー耕で縦横に２～３回行う。

(ｹ) クロタラリア

マメ科一年生作物で初期生育が良好、播種後２ヶ月近くで草丈 1.5～2m に達する。サツマイモネコブセンチュウに特異的に密度抑制効果がある。直根性の根は１ｍ以上伸び、根粒菌による窒素固定能力で地力増進に適している。すき込みは茎が木質化しないよう、開花始期を目安にプラウ、ロータリー耕で縦横２～３回行う。後作物の窒素施肥は 10～20%減肥する。マメコガネが発生することがある。

(ｺ) 赤クローバー

マメ科短年草で耐寒性は強いが、耐暑性が弱く、暖地では越年生利用のみ。地力増進、透水性改善効果が高く、ダイズシストセンチュウ対策にもなる。後

作の約１ヶ月前にすき込む。

(ｻ) シロガラシ（p.17 参照）

表 2-45　代表的な緑肥作物の栽培指針の例

作型	作物名	播種期（月）	播種量 kg/10a	すき込み期（月）	乾湿の別	乾物量 kg/10a	C/N 比	全窒素（%）
春まき	エンバク	3～5	10	6～7	乾	800～	15～30	1.5～2.8
	イタリアンライグラス	3～5	4	6～7	乾	600～	20	0.9
	ヘアリーベッチ	2～3	3～5	6～7	乾	500～	10～30	3.0～4.0
夏まき	ソルゴー	5～8	4	7～10	半乾	1500～	30～40	1.0～1.4
	ヒエ	5～7	3	7～10	湿	1000～	40～90	0.9
	クロタラリア	5～8	4～5	7～10	乾	1000～	14～26	1.6～2.9
	セスバニア	6～7	4～5	8～10	半乾	1500～	25	1.5～3.0
夏晩まき	エンバク	8～9	10	10～12	乾	800～	15～20	2.0～2.8
秋まき	エンバク	9～11	10	4～5	乾	800～	15～20	2.0～2.8
	ライムギ	9～11	8～10	4～5	乾	1000～	15～25	1.7～2.8
	イタリアンライグラス	9～11	8～10	4～5	乾	600～	20	0.9
	レンゲ	9～11	3～4	4～5	乾	500～	15	2.0～3.0
	ヘアリーベッチ	9～11	3～5	4～5	乾	500～	10～13	3.0～4.0

ソルゴー　　ｲﾀﾘｱﾝﾗｲｸﾞﾗｽ　　セスバニア　　クロタラリア　　赤クローバー

写真 2-9　緑肥の写真

(3)土壌改良資材（土づくり資材）

広義の土壌改良（土づくり）資材は、土壌の持つ多面的な機能のいずれかを高めたり、欠陥を修正する物質・資材の総称である。土づくりに関する「肥料」や「資材」の呼称が紛らわしいので、肥料取締法と地力増進法に基づき、用語の使い方を下図のように整理する。ここでは、土づくり肥料と指定土壌改良資材についてその特徴を記述する。

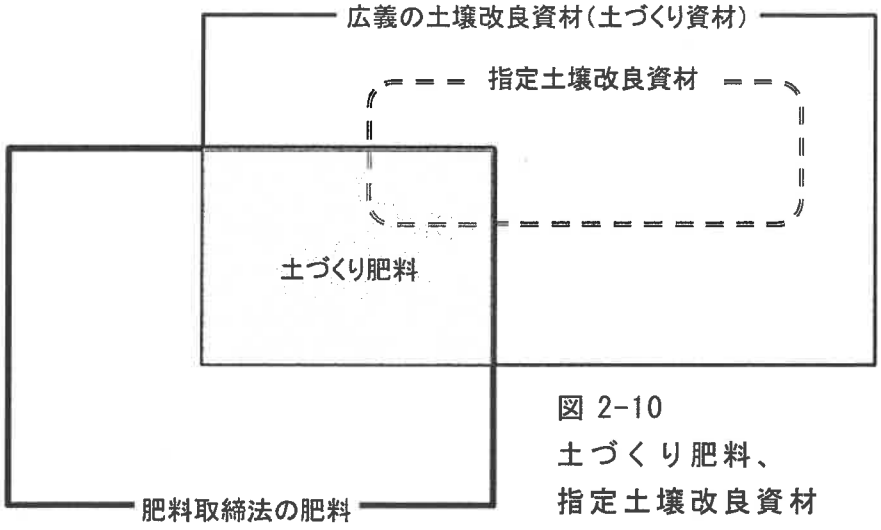


図 2-10
土づくり肥料、
指定土壌改良資材
の位置づけ

ア　土づくり肥料

肥料であるが、土壌改良にも役立つものを特に土づくり肥料と呼ぶ。主に土壌の酸度矯正、特定成分の補給など、土壌の化学性の改良のために施用される。

(ｱ) 必要性

耕地土壌の養分は、補給がなければ、作物による吸収と溶脱により徐々に減少する。このため、地力増強を図り良質かつ安定多収の作物栽培を継続していくためには、堆肥等有機質資材の施用とともに、塩基類（石灰、苦土、カリ）、リン酸及びケイ酸等の養分補給が必要になる。

肥料成分の中には、石灰のように土壌 pH 維持の為に作物の吸収量以上の施用が必要なものや、リン酸のように土壌に吸着されて作物が吸収しにくくなる成分がある。そこで、作物を栽培しやすい土壌条件を維持、増進するためには、基肥や追肥の施用以外に肥料等資材の施用が必要となってくる。

兵庫県は、耕地面積 74,200ha のうち 91%が水田である（平成 29 年度農林水産統計）。その水田は田畑輪換や二毛作等により高度に利用され、水稲だけではなく、麦、大豆、野菜等多種類の作物が栽培されている。したがって、本県土壌の土づくりには特に、多様な栽培品目を考慮した計画的な土づくり肥料の施用が肝要である。これら資材の施用は、10a 当たり 100 kg前後と量が多く作物栽培中の施用は困難であり、作業効率等省力化も考慮して、基肥や追肥とは別に「土づくり」として行う必要がある。

(ｲ) 施用時の留意点

・土づくり肥料の施用に当たっては、土壌診断（土壌診断基準(維持すべき目標値)参照）の結果に基づいた適正な施用が重要である。
・土壌の交換性石灰、苦土、カリ含量の不均衡は、生理障害の発生原因になるので、量的なバランス（当量比）の維持に注意する。
・作物には、リン酸過剰症は出にくいが、土壌リン酸の多量集積は、生理障害の誘発要因になることがあるので、リン酸の適正施用に留意する必要がある。

(ｳ) 主な土づくり肥料の施用効果

a　ケイ酸質肥料

・土壌の酸性を矯正する以外にケイ酸、石灰及び苦土等の養分を補給する。
・茎葉を丈夫にし、水稲や畑作物の病害虫への抵抗性を高める。
・水稲の受光体勢を良くし、光合成能を高める。
・「土壌中の可給態ケイ酸含量(pH4 酢酸緩衝液法)が 25mg/100g 未満のほ場」、湿田、いもち病常発田、窒素過多田で施用効果が高い。

b　含鉄資材

・根腐れ、ごま葉枯れ病の発生を軽減する。
・礫質土壌等の漏水田や秋落ち田では、施用効果が高い。
・「土壌中の遊離酸化鉄含量 0.8%未満のほ場」で施用効果が高い。
・含鉄資材にはケイ酸が含まれているので、施用した場合には、ケイ酸質資材の施用を控える。

c　リン酸質肥料

・根の発育を促し、稔実を良くし、品質を向上させる。
・豆類では、根粒の着生促進効果がある。
・リン酸肥沃度が低い土壌では、初期生育が低下する。
・リン酸質肥料は、石灰、苦土及びケイ酸等多くの有用な成分が含まれているので、これらを考慮して資材を選択することが大切である。

d　腐植酸質資材

・養分の過剰集積による障害の発生を軽減する。
・腐植含量を高め、保肥力の増大、土壌の物理性の改善向上に効果がある。
・「土壌中の腐植含量 2.5%以下のほ場」に施用する。

e　窒素肥料（石灰窒素）

・石灰により土壌酸度を矯正する。
・窒素の供給により粗大有機物の腐熟を促進させる。
・農薬としての効果も期待できる。（農薬登録のある製品を使用。）

(エ) 主な土づくり肥料の概要

表 2-3(3)-1　主な土づくり肥料

資材の分類	資材の名称	内　容　成　分	備　　考
ケイ酸質肥料	ケイカル	可溶性ケイ酸 30%、 く溶性苦土 3%、アルカリ分 45%	ケイ酸及び塩基類の補給 酸性改良
	粒状ケイカル	可溶性ケイ酸 27%、 く溶性苦土 3%、アルカリ分 45%	ケイ酸及び塩基類の補給 酸性改良
含鉄資材	転炉サイ (ミネカル)	酸化鉄 25～30%、 可溶性ケイ酸 13～16%、 く溶性苦土 3～7%、 く溶性石灰 40～45%、 く溶性マンガン 2～4%、 アルカリ分 45～50%	鉄、ケイ酸及び塩基類等の補給 酸性改良 ケイ酸質肥料と併用しない
リン酸質肥料	リンスター	く溶性リン酸 30%、 く溶性苦土 8%	リン酸、苦土の補給
	ようりん	リン酸 20%、苦土 12%、 ケイ酸 25%、アルカリ分 45%	リン酸、苦土、ケイ酸の補給、 酸性改良
	ＢＭようりん	リン酸 20%、苦土 13%、 ケイ酸 20%、ホウ素 0.5%、 マンガン 1%、アルカリ分 45%	リン酸、苦土、ケイ酸、ホウ素、マンガンの補給 酸性改良 FTE との併用を避ける
	苦土重焼リン	く溶性リン酸 35%、 く溶性苦土 4.5%	リン酸、苦土の補給
腐植酸質資材	アヅミン	腐植酸 50～60%、 く溶性苦土 3%、全窒素 3%、 ケイ酸 4%、鉄 2%	腐植及び苦土の補給 ＊指定土壌改良資材でもある。
窒素肥料	石灰窒素 (粉状・防散) (粒状)	窒素 21%、アルカリ分 50% 窒素 20%、アルカリ分 50～55%	石灰補給、酸性改良 粗大有機物腐熟促進 殺虫、殺菌、殺草効果

イ　指定土壌改良資材

昭和59（1984）年に制定された地力増進法の中で指定された土壌改良資材で、施用効果がはっきりしており、材料や成分、品質も保証されている。平成29年現在、12種類が指定されている。うち11種類は、主に土壌の透水性や保水性の改善など土壌の物理性の改良に用いられる資材である。残り1種類は有用微生物の施用による土壌微生物相の改善など土壌の生物性の改良に用いられる資材である。

(7) 主に物理性の改良を目的とする資材の特徴

表 2-47　主に物理性の改良を目的とする資材の特徴

種　類	原材料の表示例及び	用　途	施用効果・留意点等
泥　炭 (ピートモス)	北海道産みずごけ (水洗ー乾燥)	土壌の膨軟化 保水性の改善 保肥力の改善	肥料効果はほとんどない。 ピートモスそのものは酸性なので中和済みであるかを確認する。 中和していなければ石灰で中和する。 乾かすと水をはじくので湿気を保つ。 使用数時間前から十分水になじませる。
バーク 堆肥	広葉樹の樹皮を主原料(85%)として牛ふんを 加えて堆積腐熟させたもの	土壌の膨軟化	バークの樹種は針葉樹よりも広葉樹の方が堆肥化されやすい。 全窒素を 1.5%ほど含むが C/N 比が 25～40 と高く、分解が遅い。 樹種や生産方法に差が大きいので袋に記載された使用方法を確認する。 C/N 比が高いものは果樹や樹木のマルチ資材とするか、窒素肥料を添加して使う。 バーク堆肥の規格(注１)にあっていても、時として生育障害等が発生することがあるので、ミミズの生育を確認するか種子の発芽状況を確認する方がよい。
腐植酸質 資材	亜炭を硝酸で分解し、炭酸カルシウムで中和したもの	保肥力の改善	堆肥と違い易分解性有機物が少なく、微生物の活性化促進は期待できない。
木炭	広葉樹の樹皮を炭化したもの	通気性の改善 透水性の改善	ミネラル成分を多く含み、pH8～10 のアルカリ性を示す。原料、炭化条件により理化学的性質が異なる。　木炭の炭素は土壌中で分解されにくく微生物の繁殖の役にたたないが、多数の細孔があり微生物の住処となりうる。 透水性の改善効果は、土壌に対して容積比 5%程度で認められる。
けいそう土 焼成粒	けいそう土を造粒(粒径 2mm)して焼成したもの	透水性の改善	化学成分は乏しく、pH は中性付近である。 粘土分の多い土壌では効果が高い。効果も長期に持続する。平均粒径が２mm のものが土壌改良に用いられ、土壌に対する容積比 10%で透水性が約 20%改善した報告がある。
ゼオライト	大谷石(沸石を含む凝灰岩) CEC120～160 pH7.2～7.5	保肥力の改善	CEC が高いがﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄのような膨潤性はない。土壌の CEC を増加させるためには１t 以上/10a 施用する。 堆肥や有機質肥料と混用すると、保肥力がさらに向上する。

種　類	原材料の表示例及び成分例	用　途	施用効果・留意点等
バーミキュライト	中国産ひる石 (粉砕－高温加熱処理)	透水性の改善	多孔質で軽量。重さで約６倍の吸水能力とCEC40～140meq/100gに相当する陽イオン吸着力を示す。 土壌改良効果を見るためには、土壌容積の２割程度以上を施用する必要があるため、あまり用いられない。 育苗底土等鉢用培養土には土壌１に対し0.2～0.5の混合割合で混合するのがよい。
パーライト	真珠岩 (粉砕－高温加熱処理) pH7.4～7.8	保水性の改善	多孔質で透水性、通気性に優れる。最大吸水能力は重量の２～３倍。 土壌に対する容積割合で10～30%混合すると改良効果がみられる。 経済的な使用方法としては作条施用または定植穴施用とする。 ピートモスと肥料を混用した園芸用培土資材として広く用いられている。
ベントナイト	山形県産ベントナイト(膨潤性粘土鉱物) 200メッシュ CEC 115～180 pH7.8～8.3	水田の漏水防止 保肥力の改善	膨潤性を活かして漏水田の改善に用いる。CECが高く保肥性が向上する。ケイ酸資材としても有効。 １～２t/10aを耕起または荒代前に全面施用し、作土とよく混合する。 土壌のCECを上昇させるためには、単独施用より堆きゅう肥や化学肥料との混合施用が効果的である。
ポリエチレンイミン系資材	アクリル酸・メタクリル酸ジメチルアミノエチル共重合物のマグネシウム塩とポリエチレンイミンとの複合体	団粒形成促進	EB-aの複合体の持つプラス荷電と粘土コロイド表面のマイナス荷電とがイオン結合することにより粘土の凝集・架橋作用が働き、団粒形成が進むと考えられる。原液は水で数10倍～数100倍に希釈し、乾土に対して0.1%以上相当量を施用する。
ポリビニルアルコール(PVA)系資材	ポリビニルアルコール(ポリ酢酸ビニルの一部をけん化したもの)	団粒形成促進	非イオン系高分子化合物であり、高分子鎖の水酸基が粘土表面のケイ酸層の酸素と水素結合し、炭化水素鎖で粘土表面を疎水性にすることにより、土壌粒子を凝集し、団粒化する。 PVAによる団粒形成は、土壌に添加したPVAを溶解させて土粒子間に十分浸透させてから土壌をいったん乾燥させることで完成する。 団粒化促進には土重の0.2%まで施用する。施用量が多いほど効果がある。

注１）バーク堆肥の品質基準（日本バーク堆肥協会、全国バーク堆肥協会）
有機物含有量：70%以上、全窒素：1.2%以上、C/N比：35以下、リン酸全量0.5%以上、カリ全量：0.3%以上、pH：5.5～7.5、陽イオン交換容量70meq/100g以上、水分：60±5%、幼植物テスト：異常なし

注２）バーク堆肥および腐植酸質資材は、肥料取締法の肥料でもある。さらに腐植酸質資材は土づくり肥料でもある。

(イ) 生物性の改良を目的とする資材の特徴

表 2-48　生物性の改良を目的とする資材の特徴

種　類	原材料の表示例及び成分例	用　途	施用効果・留意点等
ＶＡ菌根菌資材	ＶＡ菌根菌をゼオライトに保持させたもの	土壌のリン酸供給能の改善	微生物資材で唯一指定。幅広い作物と共生するが、アブラナ科植物等、共生しにくいものがある。 根の表面から伸びる菌糸が吸収する養分や水分を宿主も利用できるため、リン酸吸収促進の他、乾燥ストレスの軽減、微量要素の欠乏や過剰症を軽減する効果がある。

第３章　土壌の診断方法と対応

第１　土壌の性質

(1) 土壌の物理性

ア　三相分布

土壌の固体（固相＝主に土）、液体（液相＝主に水）、気体（気相＝主に空気）の比率を三相分布という。

土壌の三相分布は、固相率 40～50%、液相率、気相率は 20～30%程度が良いといわれている。耕耘が浅くなったり有機物が不足すると固相率が上昇して土壌硬度（ち密度）が高くなり、孔隙率（液相率＋気相率）の割合も低くなると、通気性や透水性が低下する。対策として、適切な有機質資材の施用、ゆっくり深く耕す（深耕、心土破砕）等がある。

＜三相分布の測定法＞

三相分布は、採土管（100ml 容積コアサンプラー）で採取した試料を、三相計、電子天秤、乾燥機等を用いて、次の手順で測定する。

・採土管の重量Ｅ（ふた込）は予めまたは測定後、計測する。
・採取した土壌試料の乾燥前重量Ｆ（採土管、ふた込み）を測定する。
・採取した土壌試料の実容積Ｇを三相計で測定する。
・土壌試料を乾燥（105℃、概ね 48 時間以上）する。
・土壌試料の乾燥後重量Ｈ（採土管、ふた込み）を測定する。
・計算方法

実容積Ｇ＝固相Ａ＋液相Ｂ
気相Ｃ＝100－実容積Ｇ（固相Ａ＋液相Ｂ）
液相Ｂ＝Ｆ－Ｈ
固相Ａ＝実容積Ｇ（固相Ａ＋液相Ｂ）－液相Ｂ（Ｆ－Ｈ）

イ　土壌硬度

(ｱ) 土壌硬度（ち密度）

土壌の断面調査における土層の土壌の詰まりかた（粗密の程度）を示す指標として用いる土壌硬度（ち密度）測定は、植物根の伸長の難易や透水性・通気性の程度、農業機械の走行性に影響を及ぼす地耐力（土壌の支持力）の判定などの参考となる。

例えば、土壌硬度が指標硬度の読みで 20～25mm を超えると、根の伸長阻害や透水性不良が起こりやすくなり、また 10 mm 以下であると機械の走行には軟弱とされる。

＜土壌硬度（ち密度）の測定法＞

（山中式土壌硬度計またはプッシュコーン（大起理化工業(株)製）

土壌断面調査において土壌硬度計による土壌硬度は、次の手順で測定する。

・土壌の断面を削り垂直かつ平滑にする。

・遊動指標（土壌硬度の表示部、山中式硬度計は胴体側面、プッシュコーンは円錐部の反対側）が０の位置になっていることを確認する。
・硬度計の円錐部を土壌断面に対して垂直にゆっくりと、つばが土壌面に密着するまで確実に押し込む。この時、山中式硬度計では胴体側面の遊動指標がスライドする溝に土壌が入らないように溝のある面を側方に向ける。
・遊動指標が動かないように静かに円すい部を引き抜き、数値を読み取る。
・円錐部に付着した土壌を取り除き、遊動指標を０の位置に戻して次の測定を行う。
＊測定は同一層位に対して数回行い、その平均値を土壌硬度として採用する。
＊水分状態により土壌硬度は変化する点に留意する。

(ｲ) 土壌貫入抵抗（貫入式土壌硬度計）

貫入式土壌硬度計は、試坑を掘らずに機械の走行性に関連する地耐力のほか、作物根の伸長に対する土壌硬度の可否判定や耕盤層の確認にも利用できる。

農作業の機械化や圃場整備による大型機械の走行にともない、土壌のち密化による作物の生育阻害や機械の作業性に関連して土壌の硬さ「ち密度」が問題になる。水田において、ち密度が高すぎる場合は、プラウ耕や心土破砕耕によってすき床層を破砕するが、その際は減水深を目安として透水過多を招かないよう、すき床層の機能を維持するように留意する必要がある。ち密度の改善には心土破砕耕や深耕を行う。水田の心土破砕耕は、土壌水分が少ない時に施工すると効果が大きく、効果の持続期間も長い。

＜土壌貫入抵抗の測定法＞

自動記録式の貫入式土壌硬度計は、通常深さ 60cm まで貫入抵抗の測定ができ、測定範囲は 150～2,500kPa である。ロッドの継ぎ足しとドラムの調整により深さ 90cm まで測定が可能で、次の手順で測定する。
・ドラムに記録紙をとり付ける。
・地面に対しロッドを垂直にし、おもりをロッドの先端(地表面)まで降ろす。
・ペンの先端が記録紙の０点を指すようにする。
・円錐を毎秒１cm のほぼ一定の速度で垂直に貫入する。ドラムの回転とバネの伸縮によって、貫入抵抗値が連続的に記録される。
・目的の深さまで貫入したら記録ペンを横に倒し、静かにロッドを抜き取る。
・ロッドや定位置おもりに付着した土壌・土砂をふき取り、ペンの色を変えて測定を反復する。
＊土壌が非常に湿潤な場合を除くと、貫入速度の多少の変動は貫入抵抗－深さ曲線に大きく影響しない。測定時にロッドが垂直でなかったり、ロッドに土壌・土砂が付着したりして貫入孔 側壁とロッドが接触すると貫入抵抗は増加する。

なお、近年、記録紙を用いないデジタル貫入式土壌硬度計が販売されている。

写真 3-1　土壌調査に用いる主要な道具

①検土杖
②シャベル
③土壌硬度計（プッシュコーン）
④検土器および折尺
⑤標準土色帖
⑥α，α’-ジピリジル試薬（活性二価鉄の検出用）
　＊試薬別名：　2，2’-ビピリジル等
⑦水（触感土性判定用）
⑧採土管（試料円筒）および、封をするためのビニルテープ
⑨ナイフおよびワイヤブラシ（採土用）
⑩採土補助器
⑪ハンマー
⑫布ケース（採土管用）

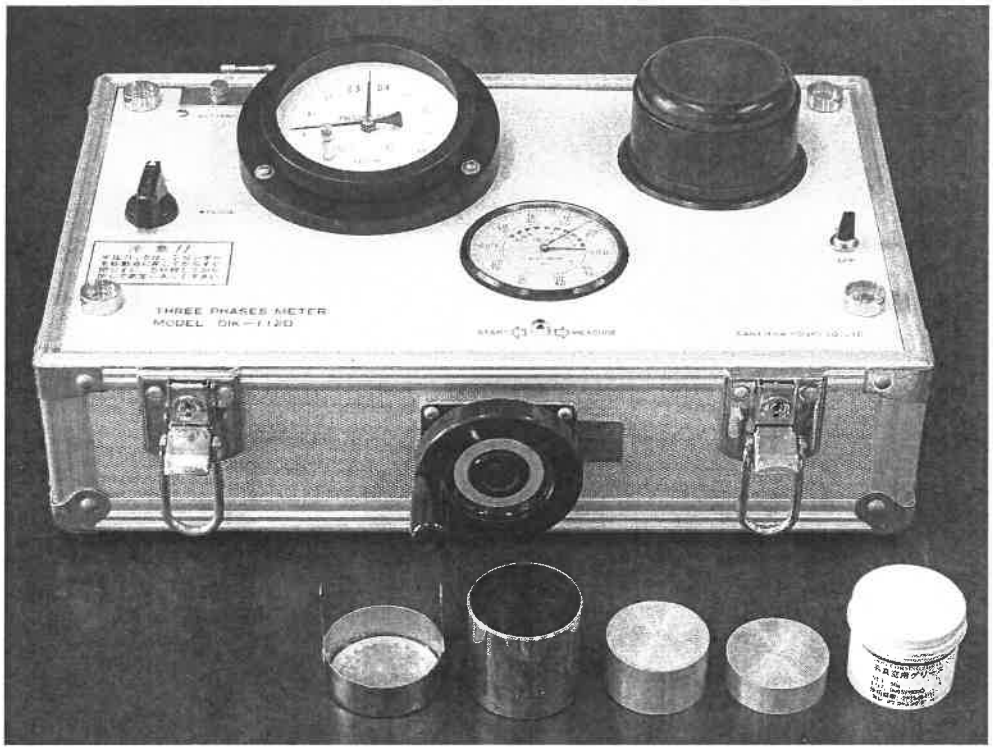


写真 3-2　土壌三相計（例：㈱大起理化工業 DIK-1120）

手前は左から、受皿(アミ板入り)，100mL 採土管，テストピース 50mL，同 30mL，シリコングリス

ウ　保水性

土壌または土層が水分を保持する能力を保水性、もしくは保水力という。土壌中の水は吸着力や毛管力などによって保持されているが、土壌の種類、含水量などによって保持する力の程度が異なる。

一般に保水性は、植物の生長に必要な易効性有効水を保持する能力によって評価され、主根圏域の土層の深さあたりの易効性有効水を保持しうる深さで表わす。保水性が低い土壌は干害を受けやすい。

保水性が低いほ場の改良対策としては、客土が一般的である。ただし、保水性が増すと地温の上昇が妨げられるので、高温性作物（スイカ、ラッカセイなど）が対象の場合は注意が必要である。また、火山灰土では深耕を行うと保水力が低下しやすい。

エ　排水性（透水性）

排水性の問題には排水性が良すぎる場合と悪い場合とがあり、一般に、畑地では排水不良が問題になり、水田では排水が良すぎる漏水田が問題になる。透水性の表し方は、透水係数と減水深の二通りあり、前者は畑地で、後者は水田で用いられることが多い。

＜透水性の改良目標＞

畑地では飽和透水係数 10^{-4}cm/秒以上、降下浸透量 50mm/日以上、水田ではそれぞれ 10^{-4}～10^{-5}cm/秒、15～20mm/日である。水稲では降下浸透量を「減水深」と呼ぶ。

＜飽和透水係数＞

孔隙が水で飽和された状態における土壌の透水性の良否を表す数値のことで、20℃における１秒間あたりの流速 cm（K_{20}、cm/秒）で表示される。孔隙の大小や連続性など、孔隙の質および量、腐植や粘土含量等により決まる。暗渠を設置する場合は飽和透水係数をもとに設置間隔が決められる。

＜透水性の改善＞

深耕による耕盤破壊と暗渠の設置を行い、漏水田では優良粘土（ベントナイト等）の客土や床締め（鎮圧）を行う。施用効果は４～５年持続するといわれている。

＜地下水位の改善＞

地下水位の高さは作物の生育に大きな影響を与えるが、作物によって適した地下水位は異なる。一般的に、普通畑作物では 50～60cm、永年作物では 60～100cm 程度必要である。また、地下水位は梅雨期や秋雨期に上がるので注意する。地下水位が高くなりすぎると、根域土壌の空気量が少なくなって作物の生育を害するので、高畝や暗渠、明渠などの排水対策を実施する。また、作土層が過湿になりやすい場合は、籾殻等の粗大有機物を施用するとよい。

作物に適した地下水位は、p.9 表 1-5 作物の訂正地下水位参照。

＜排水性の測定法＞

採土管で採取した土壌試料の透水性を実験室で測定する方法、圃場に金属の筒（シリンダー）を打ち込んで圃場の透水性を想定する方法（シリンダーインテークレート法）等があるが、降雨後、何日（何時間）で畝の水がなくなったか、何日後に耕耘可能になったか等が、排水性の良、不良の指標として有効である。

なお、排水対策の詳細については、p.34(ｳ)排水対策事例、「稲・麦・大豆等栽培指針(平成29年3月兵庫県農政環境部刊行)　p.74　排水対策事例」等を参照。

(2) 土壌の化学性（pH, EC, CEC）

ア　土壌試料の採取法および調製法

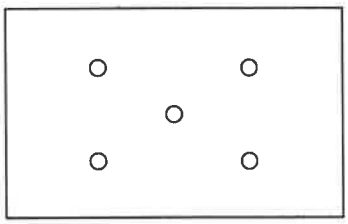
土壌の分析・診断の全体を通じて、試料採取過程の影響はきわめて大きい。したがって問題点の解明が目的であれば、対象となる項目が十分に反映され、ほ場間またはほ場内での比較が容易になるような採取時期・採取方法を心がける。一般的な土壌状態の確認であれば、化学性が安定している作物収穫期から次作準備前の土壌を採取することが多い。

ほ場全体（またはその１区画）としての作土層の傾向を調べる場合は、通常、図 3-1 のように対角５地点から作土を均等に採取し、混和する（土壌の均質性が低いと思われる場合は適宜、地点数を増やす）。その際、農機が転回・踏圧する枕地などはなるべく避け、生土で計 500～1,000 g 程度を採取する。施設土壌では表層に養分集積を生じることが多いため、土壌採取深度を明確にしておき、必要に応じて深度ごとに別個に採取する。また果樹の場合は部分施肥位置と同じく、細根が多い樹冠の縁の下～やや内側からの土壌採取を基本とし、状況に応じて調整する。

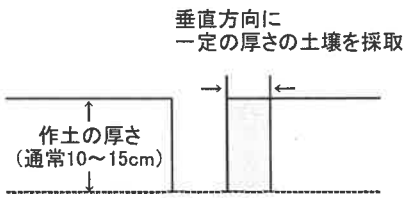
＊調査や診断では原因と結果とを逆に見誤るおそれもあるため（例：土壌養分は十分／吸収されずに残存）、土壌採取時には現地の観察を十分に行う。土壌の一般化学性の分析には、通常、上記の生土を陰干しまたは通風乾燥（30～40℃）してφ2 mm の篩にかけた風乾細土（均質化・保管とも容易）を用いる。しかし簡便性を重視する後述の迅速養分テスト法では生土分析を基本とする。マンガン(Mn)はほ場状態（生土）ではマンガン酸化菌により不溶化されやすく、風乾土にするとそれらが可溶化するため、作物への利用度のうえでは生土による迅速な分析が望ましい。なお pH(H_2O)も現地実態をよく反映するのは生土分析であるが、試料の比較を行う場合に前提となる均質化は容易でなく、風乾細土が用いられることが多い。

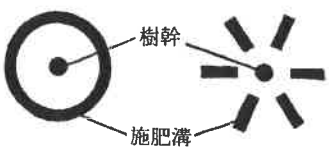
＊一般的にφ2 mm 以下の部分が「土壌」とされ、それより大きいレキ等と区分される。

＊生土は迅速な分析が望ましい。しばらく保管する場合は密封して 3～5℃で冷蔵する。



ほ場（ハウス）内の土壌採取地点





〈参考〉果樹の輪状施肥（左）と
放射状施肥（右）
栽培総説，千葉弘見・山田晴美共著，農業図書株式会社 1985，p. 97 より

図 3-1　土壌の採取方法

イ　土壌の pH

(ｱ) pH の基礎と概要

pH は土壌等の化学的性質を表す基本的な指標で、水溶液中の水素イオン（H^+、反応性が高い）の濃度に基づき、以下のように定義される。

$pH = -\log_{10}[H^+] = \log_{10}(1/[H^+])$

$[H^+]$ ：溶液中の水素イオン濃度（mol/L = M）

pH は通常 0～14 の数字で表され、pH 値が低いほど水素イオン濃度が高い。

例：理論値では 0.1M（10^{-1}M）塩酸で pH 1、0.01M（10^{-2}M）塩酸で pH 2 となる。

土壌 pH は養分の挙動や植物の生育、土壌病害の発生等に影響する。作物生育に適した土壌 pH は、有害なアルミニウムイオン等が溶出しにくく、微量要素が不可給化（または酸性下のホウ素のように流亡過多）しにくく、特定の病原菌の活動が活発化しにくいといった複数の条件をほぼ同時に満たす pH であり、一般的には pH 6.0～6.5 程度とされる。その主な測定法には、水浸出による pH (H_2O)と 1 M 塩化カリウム（KCl）浸出による pH (KCl)の２つがある。浸出液が違う以外は操作は同じであり、いずれも正式には土液比 1：2.5（土量 g：液量 mL）の土壌懸濁液により測定を行う。

pH (H_2O)：植物の生育に直接関わる土壌溶液の酸性（活酸性）の強弱を反映する。

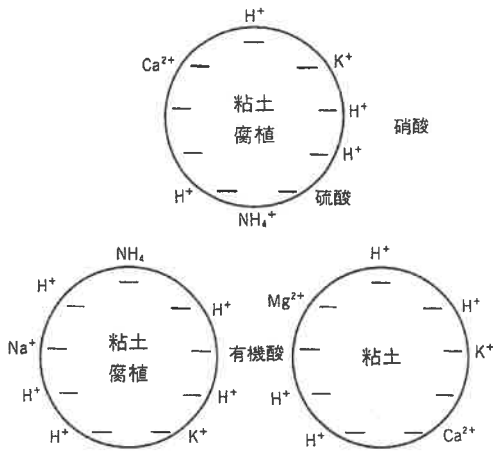
pH(KCl)：土壌粒子に吸着されている水素イオンやアルミニウムイオンが交換・浸出された場合の酸性、つまり土壌の潜在的な酸性（潜酸性）を示す。pH (H_2O)と異なり施肥による水溶性塩類の影響を受けにくく、酸性土壌では pH(H_2O)よりも 0.5～1.0 程度低い値を示す。

【pH に関する留意事項】

・EC(後述)が低い場合、その pH はあまり安定的なものではないことに留意する。

・生土容積法(後述)では簡便性を重視し、pH 測定は土液比 1：5 で行う。

・育苗培土等はかさ比重の差異が大きいため、その pH 測定には統一的な土液比の指定はない。したがって比較する試料を適宜同じ土液比として pH を測定する。



硫酸・硝酸・有機酸は土に混ざっているだけなので、土の 2.5 倍量の水を加えて測定する･･･pH(H_2O)

土の粒子表面の H^+ は土に保持されているので、土の 2.5 倍量の KCl 溶液を加えて交換された H^+ を測定する･･･pH(KCl)

図・説明文とも基礎シリーズ栽培環境入門，角田公正・松崎昭夫・松本重男編著，実教出版株式会社 1998，p.67 より

図 3-2　土壌 pH の測定法と反映される内容の違い

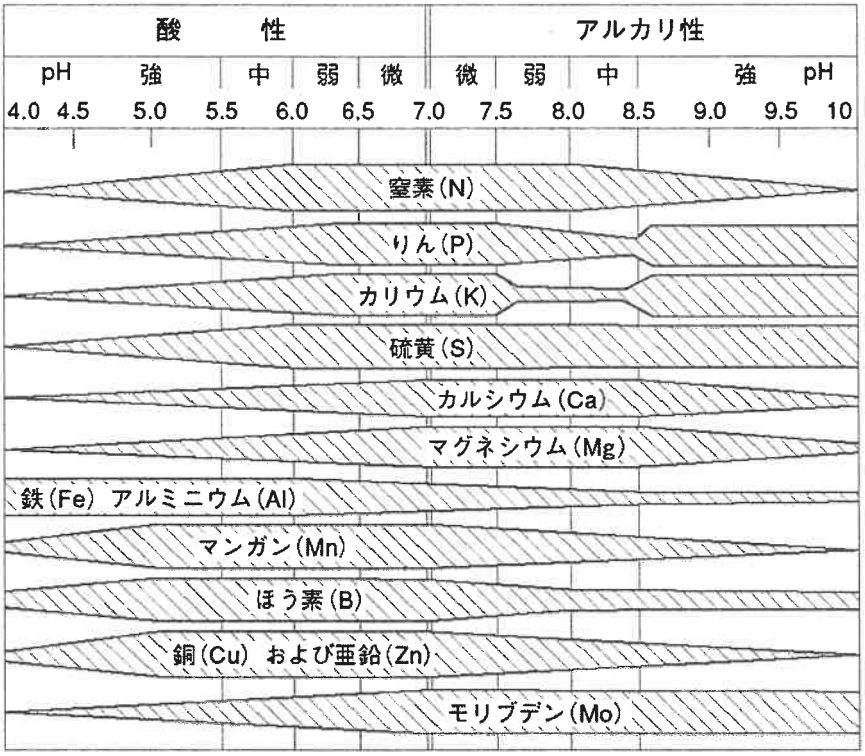


図 3-3　土壌 pH と 肥料要素の 溶解・利用度
土づくり肥料の Q&A（改訂 5 版），土づくり肥料推進協議会 2008, p.3 より（原典：Truog 1949）

(イ) pH の測定および pH メータの保守

pH の測定は基本的に pH メータ（ガラス電極式）によるが、現地では万能指示薬（p.141 参照）や pH 試験紙の使用も有効である。pH メータは測定前に標準液（通常 pH 7, pH 4）で校正を行う。比較電極内部液は補充口の少し下まで満たし、1 ヵ月に 1 回程度、全て交換する。一般的な pH 電極には比較電極内部液により、主として以下の 2 種類がある。

①内部液に塩化カリウム(KCl)の飽和溶液を用いるもの。液中に析出した塩化カリウムの結晶が見えれば使用に問題はない。

②塩化カリウムの 3.3 M 溶液を用いるもの。近年多いタイプで、通常、電極内部に内部液の濃度低下を知らせるフロートがついている。

土壌 pH の測定は、上澄み液ではなく懸濁状態で行う。測定時には、電極の液絡部（セラミック等でできた微細な通液部）が試料液に浸かっていることを確認し、比較電極内部液の補充口の蓋を開けて液絡部からの内部液の浸出を促す（この浸出・連絡が安定した比較電位を得るための試料液との電気的な接点となっている）。

pH 電極の感知部は薄いガラス膜なので、衝撃を与えないよう注意する。測定後は電極を蒸留水等で洗浄し、説明書に沿った方法で管理する（通常は蒸留水に浸漬する）。

【pH メータの数値が安定しない場合】

機器の管理・調整面では、標準液や内部液の劣化、それらの極端な温度差、電極の汚れや破損などが考えられる。測定反復の差が大きい場合は試料の均質性を疑う。

【pH 測定の留意点】

・土壌 pH は懸濁液で測定する。土壌粒子の沈降程度により数値が変化するため*、測定直前にも軽く振とうして、上澄み部分があまり分かれないうちに測定する。

・電極の使用、洗浄、保管方法は各製品の説明書にしたがう。不使用時の電極の保管方法(内部液補充口の開閉など)は製品や目的とする測定精度により異なる。

・pH 標準液は一般的に pH 9（通常は不使用）＞pH 7＞pH 4 の順に劣化が早い。

・理化学用ガラス器具で主流のホウケイ酸ガラスはアルカリ分の溶出が少ないが、ごく一般的なガラス（ソーダ石灰ガラス）はアルカリ分が溶出しやすい。

＜＊サスペンション（懸濁液）効果＞

電極を土壌懸濁液の上澄み部に入れたときと沈降部に入れたときとで、pH 指示値が異なる現象。一般的には土壌コロイドの影響により、沈降部で pH 値が低くなる。

ウ　土壌の電気伝導度（Electric Conductivity、EC）

(ｱ) EC の基礎と概要

EC は電気の通りやすさの指標で、土壌の水溶性塩類の総量を反映する。純粋な水はほとんど電気を通さず、主に溶け込んだイオン類を介して電気が通じることから、肥料成分等が多いと土壌の EC も高くなる。EC が極端に高い場合は土壌溶液の浸透圧が高いため、作物の吸水が抑制される。EC の変化には土壌の緩衝能が影響し、同等の施肥を行った場合、EC は一般的に砂質土壌で上昇しやすく、陽イオン交換容量（CEC、後述）の大きな土壌では上昇しにくい。また資材施用に関して、近年の堆肥は環境への配慮から、基本的に雨よけ施設内での製造であり、EC が上昇傾向にあるので注意する。

(ｲ) 土壌の EC の測定

EC の測定には、EC メータ（電気伝導度計）を用い、土壌懸濁液(土液比 1：5)で測定する。水溶液の EC は一般的に温度にほぼ比例し、温度が上昇すると EC も高くなるため、25℃温度補正値とする（EC メータの温度補正をオートにしておく）。測定後は電極を蒸留水等で洗浄し、蒸留水に浸けておく。

【EC に関する留意事項】

・単位は近年、dS/m（ﾃﾞｼ･ｼﾞｰﾒﾝｽ/ﾒｰﾄﾙ）がよく用いられるが、表示が異なる EC メータもあるので注意する（1 dS/m＝1 mS/cm＝1,000 μS/cm＝100 mS/m）。

・電極の使用、洗浄、保管方法は各製品の説明書にしたがう。電極の浸漬の深さや、測定容器内面からの電極の距離について指定がある場合がある。

・EC 標準液の一例として 0.01 M 塩化カリウム溶液（高純度 KCl 0.7456 g/L）があり、その EC は 25℃で 1.41 dS/m である。標準液やチェック液は市販されている。

(エ) ECに基づく土壌診断の留意点

かつて土壌のECは、硝酸態窒素含量との相関関係が全国的に散見され（図3-4）、簡易分析機器もあまり一般的でなかったため、窒素施肥の診断に利用されることもあった。しかしECには各種イオン濃度とそれらの活動度が総合的に反映されるため、硝酸態窒素含量のみと相関が高いわけではない（一例、表3-1）。したがってECは土壌塩類濃度の指標にとどめ、施肥調整のための診断ではpH, EC, 硝酸濃度（RQフレックス）などをセットで行い、土壌の養分状態を把握することが望ましい（→ p.134のフローチャート参照）。

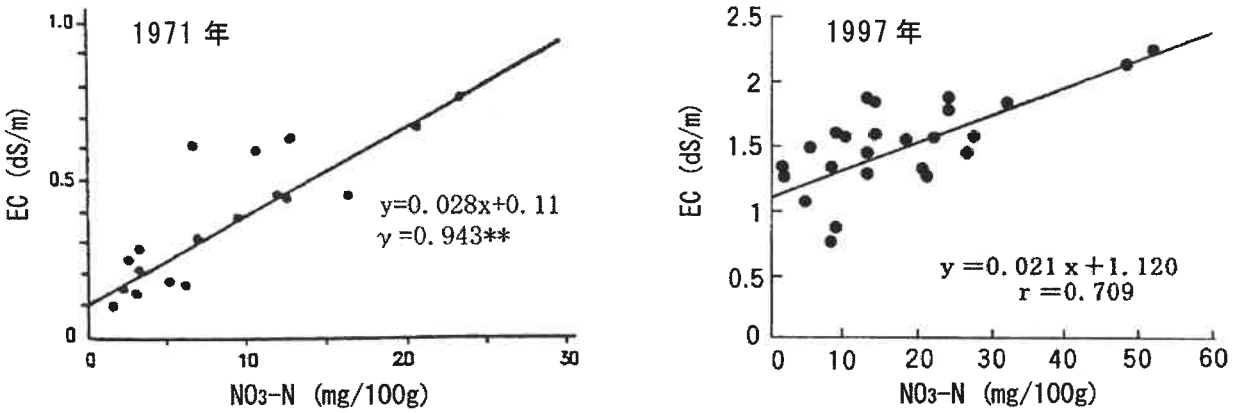


図3-4　土壌のECと硝酸態窒素との相関の変化（県内の同じ施設葉物野菜産地）

土壌の養分集積が進みECが高い1997年の例では相関はあまり高くなく、ECによる圃場単位での硝酸態窒素の推定は困難とみられる。

表3-1　土壌抽出液（1：5）のECと陰イオンとの単相関係数

硝酸態窒素 (NO_3-N)	リン酸 (P_2O_5)	硫酸根 (SO_4^{2-})	塩素 (Cl^-)
0.511*	0.164	0.866*	0.772*

＊は1％有意（＝相関が認められる。）

エ　土壌の望ましくない状況とその対策

(ア) 土壌の pH,EC が作物に与える影響

土壌が pH 4.0 以下になると水素イオンが直接、植物根の働きを阻害する。pH 5.0 以下では植物に有害なアルミニウムイオンが土壌から溶け出し、土壌溶液中の濃度が 1 ppm（1 mg/L）を超えると一般的な作物では生育が阻害される。

アルミニウムイオンの増加はまた、リン酸と結合してその肥効を低下させる。酸性化により、窒素やリン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウム、ホウ素、モリブデンなどの養分が利用されにくくなり欠乏症を起こしたり、マンガンや鉄、銅、亜鉛などの微量要素が多く溶け出して過剰症を起こすこともある。逆にアルカリ化すると、マンガンや鉄、銅、亜鉛などの微量要素は吸収されにくくなり、欠乏症を生じることがある。

土壌の EC が高くなると、品目によっては土壌中成分の過剰や浸透圧の上昇により、塩害を生じる。

(イ) 土壌の pH,EC 対策の基本的な考え方

以下に土壌の pH, EC に基づく基本的対策、および pH の矯正の方法を記す。特に露地ほ場では、降雨による塩基類の流亡や生理的酸性肥料の施用によって土壌の酸性化を招きやすい。しかし pH が低くても、一時的な硝酸態窒素の集積が原因のこともある（表 3-2）。したがって EC や簡易分析のデータも考慮した、総合的な診断を基本とする。土壌の pH と EC の対策は連動しているが、特に pH は要因が複雑で、短期間での適正範囲への矯正が難しいことが多い。そこで pH 対策を中心に以下に述べる。

表 3-2　土壌 pH と EC に基づく診断と対策（主に施設土壌を想定）

土壌のタイプ	考えられる原因と対策
高 pH･高 EC	肥料成分が概して過剰。 除塩対策を行い、減肥・無肥料栽培を検討する
低 pH･高 EC	硝酸、硫酸などの陰イオンが集積しており、石灰質資材の施用による解決は困難。 まず、窒素施肥の過多を疑い、除塩を検討する。
高 pH･低 EC	塩基成分、特に石灰が多く、窒素肥料が少ないことが多い。 硫安、硫酸カリなど、硫酸系肥料の使用を検討する。
低 pH･低 EC	全体的に肥料成分の不足の傾向。 肥料や有機質資材の施用を増やす。土壌改良は比較的容易。

土壌診断の方法と活用，農文協 1996 に基づき作成

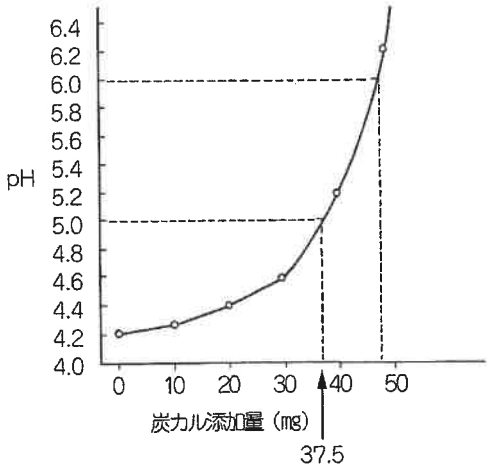
(ｳ) 土壌 pH が作物の適正値より低い場合

塩基類の不足が低 pH の主因の場合はアルカリ資材の施用を要するが、土壌の種類によってその効果は異なり、緩衝能の大きな土壌では pH 矯正に多量の資材を要する。特に黒ボク土は緩衝能が大きく、酸性化が進行すると pH 矯正が難しい。アルカリ資材の施用にあたっては、矯正後の塩基バランス（石灰/苦土比，苦土/カリ比）にも留意し、交換性苦土の乏しい土壌では苦土を含む資材を用いるとよい。

a　中和石灰量の測定（緩衝曲線法）

10 g 相当量の風乾細土（注：黒ボク土のように吸湿性が高い土壌もある）に粉状炭酸カルシウム（以下「炭カル」、試薬ではアルカリ分 56%）を 0、10、20 mg などと添加し、蒸留水を加えて 1 日以上放置したのち pH を測定する。その際、土壌懸濁液中に毎分約 2 L、2 分間空気を吹き込み（エアポンプ等を使用）、発生する二酸化炭素を追い出したのち直ちに pH を測定する。グラフの横軸に資材添加量、縦軸に pH をとり、目標とする pH と曲線の交点を垂直に下げ、必要な炭カル量を求める。次いで、実際に用いる資材のアルカリ分に基づき、その施用量を算出する。現場対応的には投入予定の資材を用いて同様に操作し、必要量を算出してもよい。その場合、粒状資材は事前に乳鉢ですりつぶして反応性を高め、また資材によっては炭カルと同様、二酸化炭素の発生に注意する。

作土深 10 cm、仮比重 1 と仮定すると 10 a 当たりの土量は 100 t となる。pH 矯正に必要な資材量が 10 g 当たり 50 mg とすると、10 a に要する資材量は 500 kg となる。



注：この図では、pH 4.2の土壌をpH 5.0に上げるためには土壌20 g に37.5mgの炭酸カルシウムが必要である。10 a、深さ10cmの土壌100 tに対しては187 kgの施用量となる。この緩衝曲線は同じ土壌にはそのまま使えるので、測定した pH が5.0であった場合、これを6.0まで上げるためには、48.0−37.5＝10.5 mg、10 aの土壌に対しては52 kgとなる。

図 3-5 緩衝曲線の例と炭カル施用量の求め方（この例では未風乾土 20 g の供試を想定）

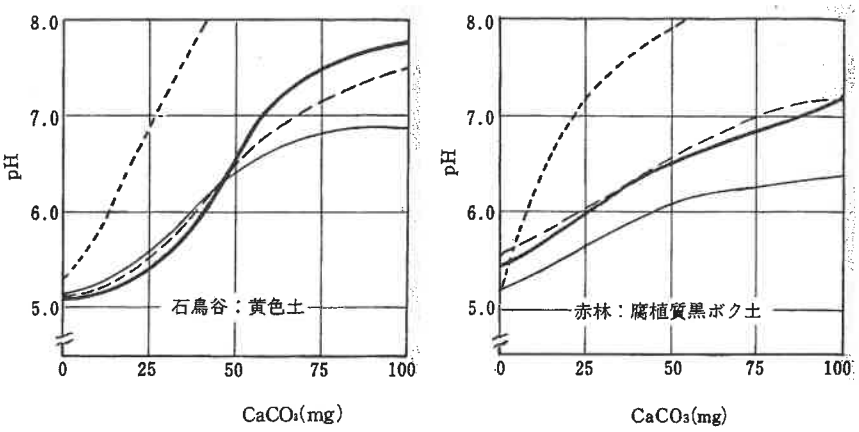
図・説明文とも施肥診断技術者ハンドブック，ＪＡ全農肥料農薬部 1999，p. 194 より

＜アルカリ分＞

資材に含まれる（石灰質資材では 0.5M 塩酸可溶の）石灰と苦土のアルカリ総量を酸化カルシウム(CaO)の重量％に換算した数値（酸度矯正力の指標）。

アルカリ分(%)＝ CaO% ＋(MgO%×56/40) 〔分子量：CaO=56, MgO=40〕

前記の試薬炭カルの場合は、アルカリ分(%)＝($CaO/CaCO_3$)×100



図Ⅴ-1　各分析法による緩衝曲線（千葉・新毛，1977）

——インキュベート法　　——炭カル添加法

ー ー炭カル添加・通気法（2分間）　----水酸化ナトリウム添加法

図 3-6　各分析法による緩衝曲線の例

同じ炭カル添加法でも、通気（CO_2の追い出し操作）の有無により曲線が大きく異なり、通気なしではpH上昇効果が過小評価されている。

土壌環境分析法，土壌環境分析法編集委員会編，博友社 1997，p.200 より抜粋

b　中和石灰量の目安：アレニウス表換算法

簡便法としてアレニウス表によるアルカリ資材量の算出法がある。主として畑土壌の改良に用いられ、pHを6.5に矯正するときの炭カル施用量が示されている。

表3-3　アレニウス表による酸性矯正用炭カル施用量 (kg/10a)

（矯正目標 pH6.5（H_2O）10a 深さ 10cm 当たり）

土性	pH / 腐植	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	記号 土性
砂壌土	含む	424	390	356	323	289	255	221	188	154	120	86	53	15	SL
	富む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26	
	すこぶる富む	986	908	829	750	671	593	514	435	356	278	199	120	41	
壌土	含む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26	L
	富む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34	
	すこぶる富む	1,268	1,166	1,065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53	
埴壌土	含む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34	CL
	富む	1,054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41	
	すこぶる富む	1,549	1,425	1,301	1,178	1,054	930	806	683	559	435	315	188	64	
埴土	含む	1,054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41	C
	富む	1,268	1,168	1,065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53	
	すこぶる富む	1,830	1,684	1,538	1,391	1,245	1,099	953	806	660	514	368	221	75	
腐植土		2,063	1,898	1,733	1,568	1,403	1,238	1,073	908	743	570	413	248	83	H

注1：消石灰施用の場合は0.75を乗じた量を施用する。
注2：火山灰土の場合は普通土壌よりも比重が軽いので、この量より30%内外を減じたほうが良い。

施肥診断技術者ハンドブック，ＪＡ全農肥料農薬部 1999，p.195より

例：腐植含量「含む(2～5%)」の壌土のpHを、pH5からpH6へ1上げる場合、
炭カル必要量＝379-128＝251（kg/10a）
兵庫県下の農用地土壌には腐植含量2～5%のものが多い（図3-1(2)の6参照）。

(ｴ) 土壌pHが作物の適正値より高い場合

施設土壌では塩類集積により土壌がアルカリ化しやすい。本来は定期的な土壌診断等により顕著なアルカリ化を未然に防ぐべきであるが、アルカリ化が進んでしまった土壌では土壌pHを下げる必要がある。

- 土壌のpH，ECがともに高い場合には、まずアルカリ資材の施用を中止する。また生理的酸性肥料（硫安、塩安など）の使用を検討する。
- 比較的短期間に土壌pHを矯正するには、pHを下げる改良資材や硫黄華（硫黄の粉末。酸化され、硫酸になってから効果が発現する）を施用する（表3-1(2)の4）。その効果は製品や土壌の種類により異なるため、前記の中和石灰量の算出方法と同様、各土壌における資材施用量とpHの低下程度との関係を事前にチェックすることが望ましい。

a　硫酸の散布

ポリ容器に多量の水(180倍程度の希釈量)を準備し、濃硫酸を静かに注ぐ(逆の注加は危険・厳禁)。発熱が止まったらジョウロ等で均一に散布・土壌混和し、しばらくしてからpHを確認する。硫酸は劇物であり、トラクタ等を傷めるおそれもあるため、一般生産者には推奨できない。

b　硫黄華の施用

表3-4を参考に所定の硫黄華を均一に散布し、土壌とよく混和する。硫黄華は微生物作用により酸化され、硫酸になってからpHが低下するので、効果の発現には春から夏の期間でも2～3ヵ月を要する。

c　ピートモスの施用

ピートモスは有機酸を含みpHが3程度と低いので、酸度無調整のものはpH降下材として使用できる。多量に施用しないと効果が現れにくく、大面積の施用には向かないが、培養土の調整等に利用されている。

d　深耕，天地返し等

下層土のpHが低い場合には有効である。

表 3-4　土壌 pH を 1 下げるのに要する資材量の目安（1 ㎡当たり）

土壌の種類	硫黄華	濃硫酸
埴　土（仮比重 0.9）	90 g	270 mL
砂　土（仮比重 1.3）	42 g	123 mL
泥炭土（仮比重 0.4）〈参考〉	600 g	1,750 mL

＊濃硫酸(18M=36N)は0.1M(0.05N)程度に水で希釈して使用する。
安全のため、希釈方法は本文を参照。

農水省HPの「Ⅲ 土壌の改良方法」より一部改変。

(オ) 土壌 EC が高い場合の具体的対策

→ 施設土壌の改良対策（除塩対策）p.51 を参照。内容の多くは露地圃場にも適用可能。

作物別の好適 pH

以下、表 3-5a, 3-5b に一般的とされる品目別の適 pH を示す。
野菜類の適 pH は p. 45（表 2-22）参照。

表 3-5 a　　麦類，豆類，飼料作物等の適 pH

作 物 名	好適pH	作 物 名	好適pH
小麦	6.0～7.5	ｲﾀﾘｱﾝﾗｲｸﾞﾗｽ	6.0～6.5
大麦	6.5～8.0	ｵｰﾁｬｰﾄﾞｸﾞﾗｽ	5.5～6.5
ライ麦	5.5～7.0	チモシー	5.5～7.0
エン麦	5.5～7.0	トールフェスク	5.0～6.0
大豆	5.5～7.0	ソルガム	5.5～7.0
小豆	6.0～6.5	アカクローバ	6.0～7.5
トウモロコシ	5.5～7.5	シロクローバ	6.0～7.2
ソバ	5.0～7.0	アルファルファ	6.0～8.0

表 3-5 b　　茶，桑，果樹の適 pH

作　物　名	好適pH	作　物　名	好適pH
茶	4.5～6.5	かき	5.5～6.8
くわ	5.0～6.5	ぶどう	6.0～7.0
かんきつ類	5.5～6.5	いちじく	6.0～6.8
なし	5.5～6.5	くり	5.0～5.5
りんご	5.5～6.0	ブルーベリー	4.0～5.0
もも	5.5～6.0		

注）地力増進基本指針(1984 年 9 月)，
　　果樹園の土壌診断基準（果樹試験場 1985）等より作成。

土壌診断の基準値

以下、表 3-6 に、圃場区分による一般的な土壌の維持すべき目標値を記す。

表 3-6　土壌診断の基準値（維持すべき目標値）

区分 / 項目		水田（水稲）	畑（転換畑の園芸作物も含む）		樹園地
			露地	施設	
作土の厚さ(耕起後)（cm）		15～18	20以上	25以上	—
主要根群域のち密度（mm）		—	10以下	10以下	15～20
有効土層（cm）		50以上	40以上	40以上	60以上
地下水位（cm）		—	60以下	60以下	80以下
pH（H_2O）		6.0～6.5	6.0～7.0	6.0～7.0	6.0～6.5
陽イオン交換容量(CEC)（me/100g）		12以上	12以上	15以上	12以上
塩基飽和度（%）		70～ 90	70～ 90	70～100	70～90
交換性塩基類（mg/100g）	石灰（CaO）	200～250	200～250	250～300	200～250
	苦土（MgO）	25～ 35	25～ 35	35～ 50	25～ 35
	カリ（K_2O）	20～ 30	20～ 30	30～ 50	20～ 30
石灰/苦土（当量比）		3～ 6	3～ 6	3～ 6	3～ 6
可給態リン酸（P_2O_5）（mg/100g）		10～ 30	30～ 50	50～100	30～ 50
可給態ケイ酸（SiO_2）（mg/100g）		25	—	—	—
遊離酸化鉄（Fe_2O_3）（%）		0.8以上	—	—	—
腐植（土壌有機物）（%）		3～ 5	3～ 5	3～ 5	3～ 5

注１）有効土層は通常、礫層や地下水位が出現せず、根の伸長を妨げない深さとされる。土壌硬度29 mm以上かつ厚さ10 cm以上の土層がない、との条件が追加されることもあるが、土壌硬度は土壌の水分状態等により変わりやすいことに留意する。

注２）可給態リン酸はトルオーグ法による。グライ土の水田では 10 mg でも問題はない（鉄の還元により鉄型リン酸が可給化しやすい）。

注３）可給態ケイ酸はいくつかの測定法が提案されており、目的に応じて使い分ける（p.142参照）。測定法により数値は大きく変化するため、必ず方法を明記する。ここにはデータの蓄積の多いpH4酢酸緩衝液法による、本県での目標値を記した。

オ　陽イオン交換容量（Cation Exchange Capacity, CEC）

(ｱ) CECの基礎と概要

土壌が陽イオンを吸着できる最大量（土壌の陰荷電の総量）を示す数値。土壌中の粘土や腐植は電気的にマイナスの性質をもち、陽イオンであるカルシウム，マグネシウム，カリウム，アンモニウムイオン等を吸着する。その交換保持される強さは、一般的に以下の順序を示すことが多い。

〔 $H^+ > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > NH^{4+} > K^+ > Na^+$ 〕。

CECの単位は乾土100 gあたりのミリグラム当量(me/100g)として示し、数値が大きいほど保肥力が高い土壌とされる。ただし黒ボク土の場合は、pH依存性の変異荷電が主のため、CECの値は大きいが吸着力は弱く、雨水により陽イオンが流亡しやすい（pHが下がるとCECも下がる）。

【CECに関する留意事項】

・一般的なCECの目標値は12～15 me/100g以上であるが（本指針の各表参照）、実際には土質等により矯正が困難な場合も多い。それらを考慮した場合のCECの改良目標は、非黒ボク土で12 me/100g以上（ただし中粗粒質土壌では8 me/100g以上）、黒ボク土で15 me/100g以上、岩屑土や砂丘未熟土で10 me/100g以上とされる（地力増進法基本指針）。

・meはmeqとも書き、ミリイクィバレンスと読む。

・CECの近年の単位としては $cmol_c/kg$（ｾﾝﾁﾓﾙﾁｬｰｼﾞ・ｷﾛｸﾞﾗﾑ）やcmol(+)/kgも使用されるが、同じ数値のまま読み替えができる(1 me/100g = 1 $cmol_c$/kg)。

・土壌にはpH依存性のプラス電荷による陰イオン交換容量(Anion Exchange Capacity, AEC)もある。しかし黒ボク土（火山灰土）を除くとその影響はごく小さい。

(ｲ) CECと塩基飽和度

CECは土壌の塩基飽和度（CECの何%が交換性陽イオンで満たされているか）の算出に必須である。塩基飽和度は塩基を保持できる土壌の余力の手がかりとなるほか、一般的にその数値が大きいと土壌pHが高く、小さいとpHが低くなることから、栽培環境の重要な指標の一つとなっている（表3-1(2)の7）。計算は次式による。

塩基飽和度(%) ＝ （交換性陽イオン総量(me)/CEC (me)) ×100

CECの測定は繁雑であるが（後述）、県下の土壌については調査データが蓄積されている。それによると通常の腐植含量（2～5%）では10～15 me/100g前後のことが多く、粘質な軽埴土など（土粒子が小さく表面積が大きい）では数値が若干高くなる。また腐植含量が高くなると概してCECも高くなる（以上、図3-7）。

表 3-7　一般的に望ましい塩基飽和度

	塩基等	塩基飽和度（%）		
		下限	好適	上限
塩基	CaO	35	40	50
	MgO	7	15	20
	K_2O	3	5	10
	合計	45	60	80
塩基バランス（me比）	CaO/MgO	5	3	3
	MgO/K_2O	2	3	2

施肥診断技術者ハンドブック，JA全農肥料農薬部1999，p. 39 より一部改変

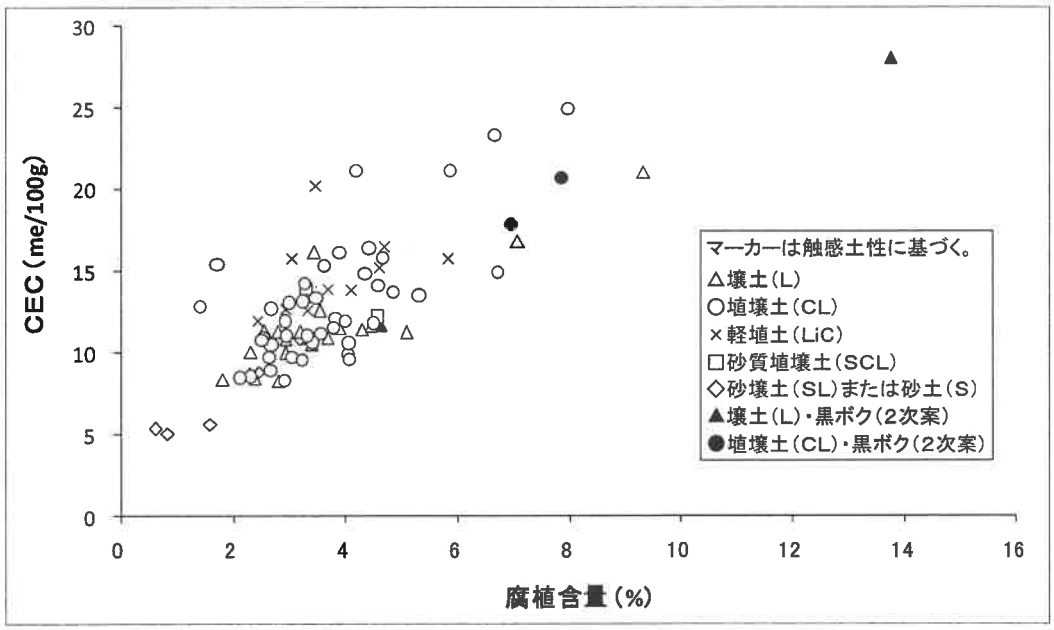


図3-7

兵庫県下の農用地土壌（作土）におけるCECと腐植含量，触感土性との関係

平成11～14年度土壌機能モニタリング調査成績書、兵庫農総セ2004より作図。
腐植含量の目安：あり ＜2%、含む 2～5%、富む 5～10%、すこぶる富む 10～20%、有機質土層 ≧20%
〈参考〉表層多腐植質黒ボク土（２次分類案，調査事例2）：
腐植含量31～35%、CEC 43～44 me/100g（作図からは省略）。

【塩基飽和度の計算例】

塩基の原子量（または分子量）を原子価で割った値をmgで表したものを1 mg当量という。例えばCEC 10 me/100gの土壌100 gは、カルシウムイオン（原子量40，荷電数2）を最大で(40/2)×10= 200 mg（CaO換算で280 mg）保持できる。
注）土壌肥料分野では成分表示と同様、酸化物換算で示すことが多い。

主な塩基（酸化物換算）の1mg当量はCaO 28 mg，MgO 20 mg，K_2O 47 mgである。乾土100 g（CEC 20 me/100g）中にCaO 280 mg、MgO 80 mg、K_2O 94 mgが含まれる場合、me数はCaO 10，MgO 4，K_2O 2となり、その合計は16 me、塩基

飽和度は(16/20)×100= 80% となる。また、石灰/苦土比は10/4= 2.5、苦土/カリ比は4/2= 2となる。

(ｳ) 低CEC土壌への対応

塩基飽和度の適正域とされる60～80%は、主にCECが20～40 me/100gの土壌における試験結果に基づく（出典：図3-8に同じ）。したがって低CECの改善が困難な砂質土壌などでは、塩類濃度障害に注意し、周辺環境に配慮しつつ塩基飽和度を80%以上（さらには100%以上）とした方が作物生育によい場合もある。またCECを高めるには、ゼオライトやベントナイトの施用が有効とされている（効果は通常、ゼオライト＞ベントナイト）。ただしこれらの資材の化学的組成は産地や製品により大きく異なるほか、効果の程度や持続性には土壌条件の影響も大きいとみられるため、効果確認は現地試験を基本とする。

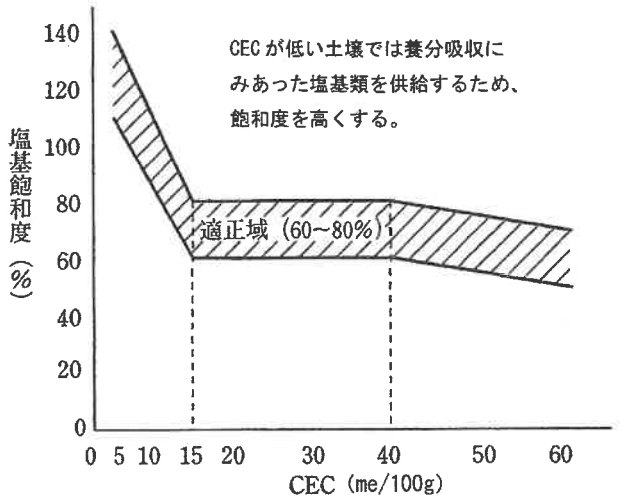


図 3-8
CECと適正塩基飽和度との関係
土壌診断の方法と活用，藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎著，農文協 1996, p.129 より一部改変。

(ｴ) CECの測定法

一般的なセミミクロショーレンベルガー法では、まず土壌の交換性陽イオンを酢酸アンモニウム（酢安）中のNH_4^+で交換･浸出し、余剰の酢安をエタノール液で洗い流す。ついで土壌に吸着･飽和したNH_4^+を塩化カリウム液で浸出し、このNH_4^+をホルモール法や水蒸気蒸留法により定量してCECを算出する。

〔操作の一例〕 ＊遠心分離器が使用できる場合。各種変法もある。
風乾細土2 gをポリエチレン製蓋付遠沈管に採取
→1 M酢安(pH 7.0) 25 mLを注加し、1時間振とう
→遠心分離し、上澄液を捨て（または交換性塩基の分析用に保存）、
残さに80%エタノール液（pH 7.0) 20 mLを注加
→振とうして残さを分散させ、遠心分離ののち上澄みを捨てる
→同様のエタノール液による洗浄を計３回行う
→残さに10%塩化カリウム（pH 7.0) 25 mLを注加して分散させ、1時間振とう
→ろ過ののち、ろ液をホルモール法によりTB指示薬を用いて0.02 M NaOHで滴定し、アンモニア態窒素（NH_4-N）の量を定量

【CECの測定に関する留意事項】

・酢安液とエタノール液の濃度「1 M」と「pH 7」は正確に調整する（測定への影響が大きい）。

・NH_4^+の滴定に用いるNaOHは、空気中のCO_2を吸収して力価が変わりやすいので注意すること。

(3) 土壌の生物性

これまでの土壌診断は化学性、物理性が中心であり、生物性については未知の部分が多かった。近年、連作障害など土壌の生物性の悪化による問題が増えており、土壌の生物性が注目されてきている。

ア　土壌生物の種類

土壌中には多種多様な生物がすんでおり、それぞれの生活過程を通じてさまざまな物質変換に関わっている。農業の場面においても腐植の集積、窒素固定、作物養分の供給など有益な側面と、動物による食害、虫害、土壌病害、脱窒、硫酸還元作用による水稲根の根腐れなど有害な側面がある。主要な土壌生物の種類と特徴を表3-8に示す。

表3-8　土壌生物の種類と特徴

種類	特徴
土壌動物	1) **ミミズ**：土壌とともに植物遺体を食べ分解する。ミミズの活発な活動は土壌の通気性を改善するとともに腐熟化促進の効果がある。好気性で土壌が圧密されると少なくなる。酸性に弱くpH4.5以下では見られない。 2) **センチュウ類**：草食性で植物根に寄生するものや捕食性でほかの土壌動物などを食べて生育するものもいる。深さ5～10cmの根圏に多く分布する。 3) **トビムシ・ダニ類**：腐植層の上部に生息し、粗大有機物や糸状菌の菌糸を食べ分解する。土壌腐植の生成に役立っている。 4) **原生動物**：土壌動物の中では最も数が多く、土壌粒子を取り囲む薄い水膜中で生息する。多くは捕食性で細菌などを食べる。
藻類	クロロフィルなどの色素を持ち、光エネルギーを利用できる光合成的無機栄養生物を藻類として分類している。土壌中の藻類は、けい藻、緑藻、らん藻が主で、水田土壌に多い。らん藻類の中には窒素固定能を持ったものがある。
糸状菌	カビやキノコのような菌糸を作る菌類で、担子菌類（キノコ類）も含まれる。外見の大部分は糸状の「菌糸」と菌糸から伸びる「分生子柄」とその先にできる「分生胞子」からなる。有機物分解の中心的役割を担っており、粗大有機物の骨格となるセルロースやリグニンを分解し、そのあとの細菌による分解を促進する。好気性で畑地土壌に多く、水田土壌では比較的少ない。
放線菌	細菌と糸状菌の中間的な性質を持つ微生物で、偽菌糸を作るものが多い。各種の抗生物質を生産するものや特有のにおい（土の独特のにおい）を出すものがある。病原性を持つものもあるが、多くは腐植の生成や分解、土壌病原菌増殖抑制などで有益な働きをしている。
細菌	バクテリアともいい、土壌生物の中では最も小さく形状としては球菌、桿菌、らせん状のものがある。大きさは0.5μm～４μm程度で鞭毛、線毛をもつものもある。さまざまな有機物および無機物をエネルギー源として利用し、環境中の酸化還元、物質循環に寄与している。

イ　土壌生物の生態と働き

土壌生物の量は、一般的な畑土壌では生菌体で10a当たり約700kg、乾燥菌体で約140kg存在すると言われている。このうち70～75%が糸状菌、20～25%を細菌が占め、土壌動物は通常5%以下である。菌数は糸状菌より細菌が多いが、生体重では糸状菌の割合が大きい。

畑と水田では存在する土壌微生物の種類が異なる。水田では土壌が酸素の少ない嫌気条件下となるので、嫌気条件で活動できる細菌が大部分を占め、酸素を多く必要とする糸状菌は少ない。また、田面水には微小藻類や原生動物が多い。

畑は水分が少ないので、微小藻類や原生動物が少なく、糸状菌と細菌が大部分を占めるが、乾燥に強い糸状菌の割合が最も大きい。

(ｱ) さまざまな土壌微生物

多くの土壌微生物の中には、農業上大変重要な働きを持ったものがいる。

a　アンモニア化成菌

有機物を分解し、アンモニア態窒素を放出する菌群の総称で、土壌にすむ多くの糸状菌、放線菌、細菌など有機栄養微生物がそれにあたる。

b　硝酸化成菌（アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌）

土壌中のアンモニア態窒素を亜硝酸に変える働きを持つ菌群をアンモニア酸化細菌、亜硝酸を硝酸に変える働きを持つ菌群を亜硝酸酸化細菌という。畑状態では２週間程度でアンモニアから亜硝酸を経て硝酸が生成する。通常は、アンモニアから亜硝酸が生成されると速やかに硝酸に酸化される。

c　脱窒菌

土壌中の硝酸態窒素が嫌気的条件下で還元され、窒素ガスとなって空気中に揮散する反応を「脱窒」といい、この反応に関与する微生物の一群を脱窒菌という。酸化還元電位が250mV程度に下がると脱窒反応が開始する。なお、通気状態やpHなどによっては亜酸化窒素が生ずることがある。

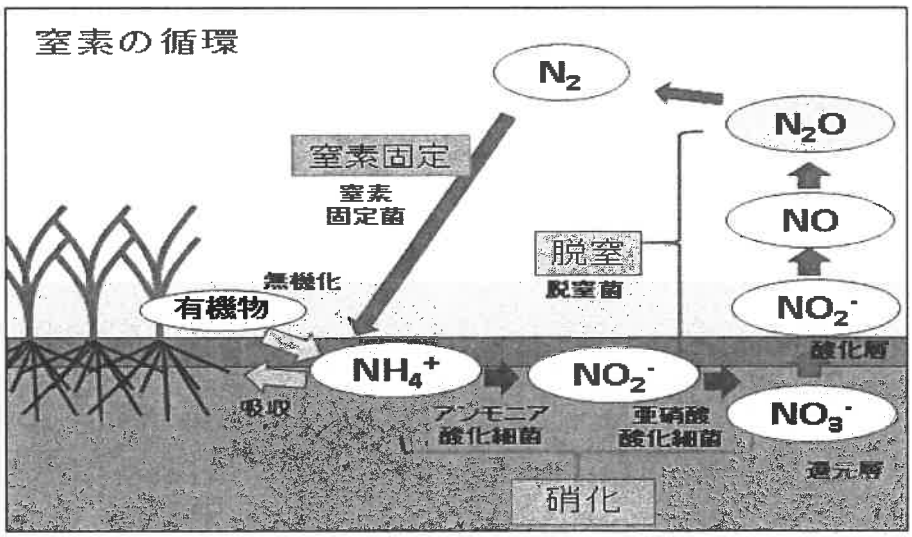


図3-9　窒素循環の模式図

窒素固定菌、硝酸化成菌、脱窒菌などが窒素循環に関与している

d　鉄酸化菌

強酸性下(pH２～３)で２価鉄を３価鉄に酸化し、その時に発生するエネルギーを利用して活動する菌。pHが中性に近い時はこの反応は化学的に進行するが、強酸性下では微生物が担っている。

e　鉄還元菌

水田において湛水条件下で３価鉄は有機物の存在下で２価鉄に還元される。この過程に関与する微生物を鉄還元菌という。

f　硫酸還元菌

嫌気条件下で硫酸根を硫化水素まで還元する反応に関与する。水田では稲の根に有害な硫化水素を発生させるため、有害菌として認識されている。未熟有機物の施用で活動が促進される。硫化水素の害を防止するには、無硫酸根肥料の利用、鉄分の補給、完熟堆肥の施用などが必要である。

g　硫黄細菌

硫黄や無機硫黄化合物を酸化し、そのエネルギーを利用して炭酸同化作用を行う菌群の総称である。土壌中や淡水、海水中に広く分布する。硫酸還元菌と逆のはたらきをし、自然界で硫黄の循環サイクルに関与している。

h　光合成細菌

細菌のうち体内にクロロフィルもしくはバクテリオクロロフィルを持ち、光エネルギーを利用して生育するものを光合成細菌といい、その大半は窒素固定能を持つ。

i　窒素固定菌

空気中の窒素をアンモニアに変化させ、自己の生育に必要なアミノ酸やタンパク質を合成できる微生物の総称。窒素固定を触媒する酵素ニトロゲナーゼは酸素により活性を阻害されるため、窒素固定は一般的に嫌気条件下で行われる。窒素固定菌には下のような種類がある。

(a) 根粒菌

植物の根に入り、根粒を作って共生する微生物で、マメ科の根粒菌がよく知られている。根粒菌は好気性微生物であるが根粒中で赤色を示すレグヘモグロビンが窒素固定系を酸素から保護している。根粒は乾燥、過湿ともに弱い。

そのほかハンノキなどの木本類からも根粒が発見されている。

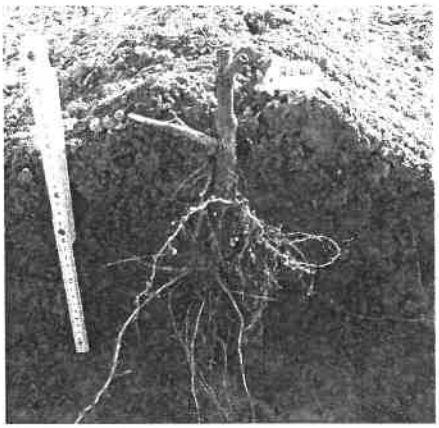


写真3-1　黒大豆の根粒

(b) らん藻類

ノストックとアナベナの２属が確認されており、無機栄養生物であるが、いずれも他の植物と共生することができる。アナベナは水生シダのアゾラ（アカウキクサ）と共生し、高い窒素固定能力を有するため水田での利用が研究されている。

ウ　連作障害

連作障害とは同じ種類の作物を同じ畑に連作したときに、連作に伴ってその作物の収量・品質が低下する現象である。作物が連作されると、その植物体に侵入できる菌が植物体内で増殖し、残渣内で生き残り、そこから新しい植物体に感染して増殖するというサイクルを繰り返して病原菌が集積していく。

作物の収量・品質低下の要因として連作障害が問題となった背景には次のような営農体系、土壌環境条件の変化があげられる。

(ア) 単一作物が連作されるようになってきたこと

(イ) 肥料の過剰投入などによる養分バランスの崩れや有機物の不足による地力低下など作物が健全に生育しにくい土壌環境のほ場が多くなってきて、病原菌に対する抵抗力が弱まってきたこと

(ウ) 水田転作が推進される中で病原菌が繁殖しやすい排水不良ほ場でも野菜等を栽培される場合が増えてきたこと

(エ) 大型農業機械の普及で踏圧による耕盤ができ、根張りの悪いほ場が多くなってきているとともに、機械に付着した土壌によって病気の伝搬が加速したこと

(オ) 病原菌側でも作型の多様化や品種の変化等に対応して、新しい環境条件にも適応できる病原菌が出現してきたこと

エ　土壌病害のタイプと病原菌

土壌微生物の中には、植物の防御機構を突破して植物体内に侵入し、増殖して病気を起こす菌がいる。土壌伝染性病害の種類は、柔組織病、導管病、肥大病に分けられる。

柔組織病は、地下部の茎、根などに感染した病原菌で、組織が壊死（ネクロシス）を起こす。導管病は根などから感染した病原菌が導管で増殖し、導管の閉塞などで水の上昇が妨げられ、地上部が萎凋する。肥大病は感染組織の細胞が異常に分裂、肥大するためこぶ状の肥大を起こす。

これらの病気を起こす土壌伝染性病原菌の種類には糸状菌、細菌、放線菌、ウイルスがあるが、中でも糸状菌による病気が70～80%を占めている。

オ　土壌病害の発生と土壌の化学性

肥料養分の過剰施肥による根へのストレスなどで、病原菌の感染が起こりやすくなる。また、根粒菌などの共生菌、有用微生物の感染阻害と多様性の貧弱化、植物体内の共生菌の減少と多様性減少、軟弱徒長による病害抵抗性の減少が生じることがある。

土壌の化学性については特にpHと土壌病害の発生について関連が深い。糸状菌による病害は概して酸性で多発し、アルカリ側では少なくなる傾向がある。糸状菌の病気でもアブラナ科の根こぶ病はpHの影響が大きく、pHを7.2～7.4に調整することにより遊走子の鞭毛が動けなくなり感染しにくいと言われている。土壌pHが極端にアルカリ側になるとモリブデン以外の微量要素が不可給態化し、微量要素欠乏が発生しやすくなるので、注意が必要である。ジャガイモのそうか

病はアルカリ性で発病が激しくなるので、pHを5.5～6.0に調整する。

また、窒素やリン酸の過剰でも病気に罹りやすくなるため、適正な施肥が必要である。

カ　土壌病害の発生と土壌の物理性

土壌微生物の活動には土壌中の水分、酸素の多少、耕盤形成などの物理性も影響する。水分が多く、水田など酸素の少ない嫌気的条件では嫌気性細菌が増え、畑地など酸素の多い好気的条件では乾燥に強い糸状菌が優占してくる。ただし、疫病菌、根こぶ病菌など多湿土壌で増殖しやすい糸状菌も存在する。

耕盤が形成されると根張りが浅く、排水不良になりやすい。根張りが浅いと病原菌の菌数が同じであっても、病原菌に侵される割合が高く被害が大きくなる。また、耕盤形成により排水不良で多湿になると、多湿条件を好む病原菌が増殖しやすくなるとともに、根腐れを起こして作物の抵抗力が低下する。排水不良土壌では暗渠、明渠、高畝などの対策が発病抑制につながる。

団粒構造が発達した土壌は透水性、通気性、保水性に優れ作物の生育に適した土になるが、団粒形成には土壌微生物が関与している。微生物の生産した粘質物質が粘土粒子、腐植、細菌細胞などを結合させ、微小団粒を形成している。団粒構造が発達すると様々な直径の孔げきが存在し、これが多様な微生物の共存を可能としている。

キ　各種有機質資材と土壌微生物の種類

一般的に有機質資材の組成と土壌微生物相との関係は、粗脂肪、可溶性無機窒素物、カリウム、炭素が多く、C/N比が高い資材は糸状菌が増殖しやすく、灰分、リン酸、石灰が多い資材は放線菌が増殖しやすく、タンパク質が多い資材は細菌の増殖が著しい。

有機質肥料をはじめとした有機質資材や無機資材が土壌微生物相に与える影響を分類すると次のとおりとなる。

(ｱ) 硫安などの無機肥料、ゼオライトなどの無機資材、オガクズなどの易分解性物質が少ない有機物は微生物数に大きな影響は与えない。

(ｲ) 魚かす、蒸製毛粉などの動物質肥料、なたね油かす、米ぬかなどの植物質肥料、もみ殻、コーヒーかすなどの植物質資材は糸状菌の増加が著しい。

(ｳ) 蒸製骨粉、鶏ふんなどは、糸状菌、細菌、放線菌が比較的均等に増加する。

(ｴ) カニがら、ハム・乳製品工場活性汚泥、ニカワ、ゼラチンなどのタンパク質、消石灰などのアルカリ資材などは細菌、放線菌の増加が著しい。

ク　微生物資材の活用

作物の健全性を維持するためや生物相の改善を図る資材として微生物資材が販売されている。微生物資材がうたっている効果としては生物性改善、作物の健全化、有機物の分解促進、作物の品質向上などがあるが、微生物資材でうたっている効果が本当に表れるのか、例え効果があったとしても資材中の微生物の効果なのか、添加物、肥料養分の効果なのか不明である場合がある。微生物資材の使用に当たっては、資材中の含有微生物の種類、菌数、担体（米ぬか等の有機物やバーミキュライト、ゼオライト等の多孔質物質）の種類、化学的性状（pH、肥料成分等）、使用法などを把握して、目的に応じて資材の選択をする必要がある。

(4) 作物の必須元素

ア　各元素の働き・生育障害とその回避法

(ｱ) 植物の必須元素

植物の身体は、炭水化物(セルロース、でんぷん、糖など)、たんぱく質、脂肪、ペクチン、リグニン、核酸、リン脂質、アミノ酸、色素などの有機物と水、無機塩類(灰分)から成り立っている。このうち水は植物体の70%以上含まれる。植物体から見出される元素は40種類を超えているが、そのうち植物の生育に不可欠で、欠乏すると生育が抑制され、あるいは停止する元素を必須元素という。

必須元素には表に示す17種類(ケイ素を除く)が知られており、そのうち植物体内に多量に存在し、組織の構成に関わるものを多量要素という。それに対し、植物体内にごく少量存在し、酵素中心や色素などに欠かせないものを微量要素という。各必須元素の生理作用を表に示す。

表3-9　植物の必須元素一覧

要素	多量要素									
元素名(記号)	水素(H)	酸素(O)	炭素(C)	窒素(N)	リン(P)	カリ(K)	カルシウム(Ca)	マグネシウム(Mg)	硫黄(S)	ケイ素(Si)
要素	微量要素									
元素名(記号)	鉄(Fe)	ホウ素(B)	塩素(Cl)	銅(Cu)	マンガン(Mn)	モリブデン(Mo)	亜鉛(Zn)	ニッケル(Ni)		

a　肥料三要素

植物が必要とする元素のうち、炭素・水素・酸素は大気中の二酸化炭素、あるいは水から供給されるため、通常は肥料として施用することはない。窒素・リン・カリウムは、土壌中で不足することが多く、肥料として施用したときの効果も現れやすいので肥料三要素という。

b　二次要素

カルシウム・マグネシウム・硫黄は、三要素に次いで植物の要求性が高いことから、これを二次要素という(特殊成分ということもある)。

カルシウムは、植物養分として施用するよりは、土壌の酸性矯正のための資材としての役割が大きい。硫黄は植物養分としては重要であるが、肥料要素と随伴して施用されることが多い(硫酸アンモニウム、過リン酸石灰、硫石灰、硫酸カリウムなど)。また、アルカリ化した土壌のpHを下げるため、硫黄華(いおうか)を施用することがある。

c　微量要素

現在、鉄、ホウ素、塩素、銅、マンガン、モリブデン、亜鉛、ニッケルの８元素が微量要素として認められている。このうち塩素は肥料の随伴成分として施用されることが多く(塩化カリウム、塩化アンモニウムに多い)、また天然供給量も多いことから肥料の主成分としては認められていない。

ホウ素・マンガンは野菜・果樹などで欠乏となる事例が多いので、肥料の主成分として認められている。

d　植物体内で見出されるそのほかの元素

植物体内には必須元素以外に多数の元素が見出される。これらの中には、植物にとっては必須ではないが、動物の栄養には必須な元素がある。

ケイ素は、なくても植物は生育することができるため必須元素としては認められていない。しかし、水稲のように多量のケイ素を含む植物があり（ケイ酸植物）、またケイ素を多く含む水稲は生育にプラスになる（水分生理の変化、受光態勢の改善、耐倒伏性、病害虫に対する抵抗性など）ことから、肥料の主成分として認められ有用要素といわれている。

ナトリウムは動物では必須であり、塩性植物やシュガービートでも必須といわれ、その施用で収量が増加することがある。しかし、すべての植物にとって必須であると証明されてはいない。動物ではヨウ素、コバルト、セレンも必須であり、クロム、バナジウムなどについても必須性が議論されている。

一方、汚染などによって土壌中などの含量が高まると、植物が吸収する元素があり、カドミウム、ヒ素などがその例としてあげられる。分析法が進歩すると検出される元素の数は増加する。これらは微量元素というが、植物栄養上での意義がまだ不明のものもある。希土類元素の中には植物生育を促進するといわれる元素があり、植物に対する刺激作用が考えられている。

表3-10　植物必須要素一覧（多量要素）

元　素		主な吸収形態	主な生理作用
	炭素 (C)	CO_2 , HCO_3^-	1　全ての有機化合物(炭水化物・タンパク質など)の構成元素。 2　大気から二酸化炭素を吸収・同化(光合成作用)。 3　最終分解産物として二酸化炭素を生成し呼吸作用により放出。
	水素 (H)	H_2O, H^+, OH^-	1　全ての有機化合物(炭水化物・タンパク質など)の構成元素。 2　水をつくり、植物内の生理作用に関与。 3　葉緑体内で水を分解してつくられ、合成系に供給される。
	酸素 (O)	H_2O, CO_2, O_2	1　炭水化物、タンパク質、脂肪など植物構成成分を構成する元素。 2　水、二酸化炭素の構成元素。 3　呼吸作用において不可欠。
三要素	窒素 (N)	NH_4^+, NO_3^-	1　タンパク質、核酸、葉緑素、ホルモン物質などの主要植物成分の構成元素。 2　タンパク質は原形質の主要成分であり、各種酵素として生理作用に関与。核酸は遺伝子を形成し、細胞分裂などにも関与する。 3　生育を促進し、養分吸収、同化作用などを盛んにする。
	リン (P)	HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$	1　核酸、酵素などの植物成分の構成元素となり、生理作用に関与し、遺伝子を形成。 2　光合成、呼吸作用、糖代謝などの中間産物をつくる。 3　ATP、ADPをつくり、植物体内のエネルギー代謝の中心的な役割を果たす。 4　植物の生長、分げつ、根の伸長、開花・結実を促進する。
	カリウム (K)	K^+	1　浸透圧の調節、pHの安定化に関与 2　多くの酵素の活性化、膜透過、気孔の開閉に関与 3　細胞の膨圧維持により水分調節に関与(冷害抵抗性を高める)。 4　硝酸の吸収、体内での還元、タンパク質の合成に関与。 5　光合成産物の果実や根への転流を促進する。日照不足時などに施用効果が大きい。
二次要素	カルシウム (Ca)	Ca^{2+}	1　ペクチン酸と結合し、植物細胞壁の形成と強化に関与。 2　有機酸などの有害物質の生体内での中和。炭水化物の代謝にも必要といわれる。 3　根の生長を促進する。不足すると、トマトの尻ぐされなど特有の欠乏症状を発現。
	マグネシウム (Mg)	Mg^{2+}	1　葉緑素の構成元素であり、光合成に関与。 2　炭水化物、リン酸代謝などに関与する多くの酵素の活性化に関与。一部の酵素を構成。 3　リン酸の吸収、体内移動に関与する。 4　欠乏すると葉脈間が黄化する。
	硫黄 (S)	SO_4^{2-}	1　タンパク質、アミノ酸(システイン、メチオニンなど)、ビタミンなどの構成元素。植物体内での酸化・還元、生長の調整などの生理作用に関与。 2　植物の特殊成分(からしのからみ成分であるシニグリンなど)を形成する。 3　葉緑素の生成、炭水化物の代謝に間接的に関与。

表 3-11　植物必須要素一覧（微量要素、有用要素）

元　　素		主な吸収形態	主な生理作用
微量要素	鉄 (Fe)	Fe^{2+}, Fe^{3+}	1　鉄ポルフィリン(ヘムタンパク質)として、チトクローム、カタラーゼなどの酵素をつくり、体内の酸化還元反応、光合成などに関与。 2　葉緑素の前駆物質であるポルフィリンの合成に関与。 3　植物体内で銅、マンガンなどと拮抗作用をもつ。 4　欠乏すると葉が黄白化（クロロシス）する。
	マンガン (Mn)	Mn^{2+}	1　葉緑素の形成に関与し、光合成過程における水の光分解と酸素の発生に関与。 2　酸化還元酵素の活性化に関与。 3　ビタミンCの合成に関与。
	ホウ素 (B)	$H_2BO_3^-$	1　細胞壁生成に重要な役割を持つ。リグニン、ペクチンの形成に関与し、細胞膜や通導組織を形成･維持する働きがある。 2　水分･炭水化物･窒素の代謝に関係し、酵素を活性化する。糖の移行に関与する。 3　花粉の発芽や花粉管の育成に関与し、欠乏すると不稔になる。 4　動物・微生物では必須ではない。
	亜鉛 (Zn)	Zn^{2+}	1　葉緑素、β-インドール酢酸(IAA)の生成に関係。欠乏すると節間が伸長しなくなり、叢状になるのも、IAAの生成または分解に関係するためである。 2　オーキシンの前駆物質トリプトファンの生成に関与。 3　各種の酵素の構成元素または賦活剤になる。鉄、マンガンと拮抗。 4　細胞の水分平衡にも関係し、欠乏すると吸水が増加し、細胞の浸透圧が高くなる。
	銅 (Cu)	Cu^{+}, Cu^{2+}	1　チトクロームａ、アスコルビン酸酸化酵素、チロシナーゼ、ラッカーゼなどを構成。 2　葉緑素の形成、タンパク質の代謝、傷の保護作用などに関与。 3　鉄、亜鉛、マンガン、モリブデンと相互作用がある。銅過剰は鉄の吸収・移行を阻害。
	モリブデン (Mo)	MoO_4^{2-}	1　硝酸還元酵素、ある種の酸化還元酵素を構成。 2　根粒菌による窒素固定に関与。 3　ビタミンCの生成に関与。
	塩素 (Cl)	Cl^-	1　光合成の際の水分解に関与。 2　アミラーゼの活性化など、デンプン、セルロース、リグニンなどの植物体内構成成分の合成に関与。
	ニッケル	Ni_2^+	1　尿素をアンモニアに分解する酵素ウレアーゼの構成元素。 2　植物体内で発生する尿素の代謝、再利用に関与。
有用要素	ケイ素 (Si)	$H_3SiO_4^-$, 低分子のコロイド状ケイ酸	1　イネ科植物、特に水稲の葉にケイ化細胞が増加し、組織の強化(耐倒状性)、耐病虫害性を付与する。 2　葉からの水の蒸散を抑制し、水分代謝を調節。

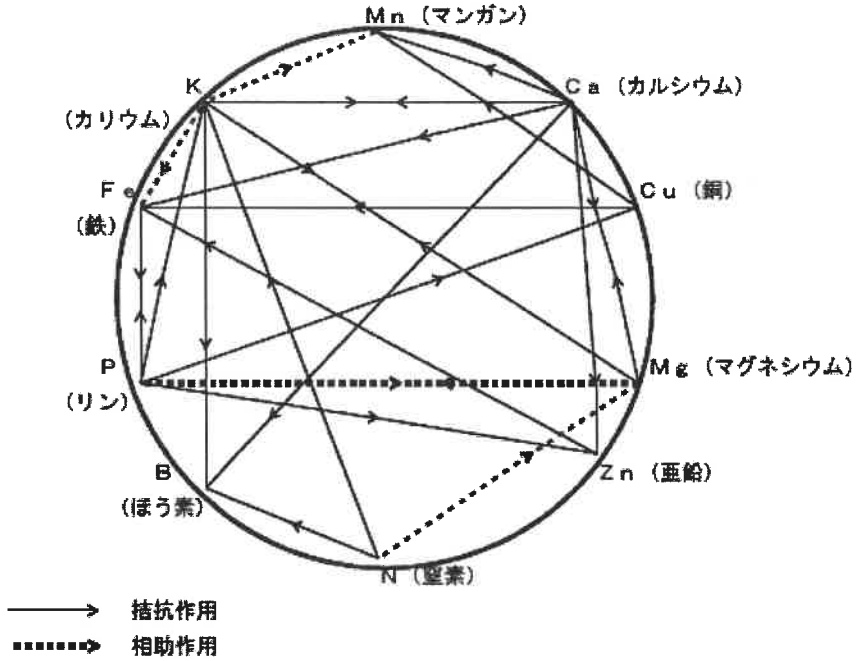


図3-10　要素の相互作用（Schutte　1964）

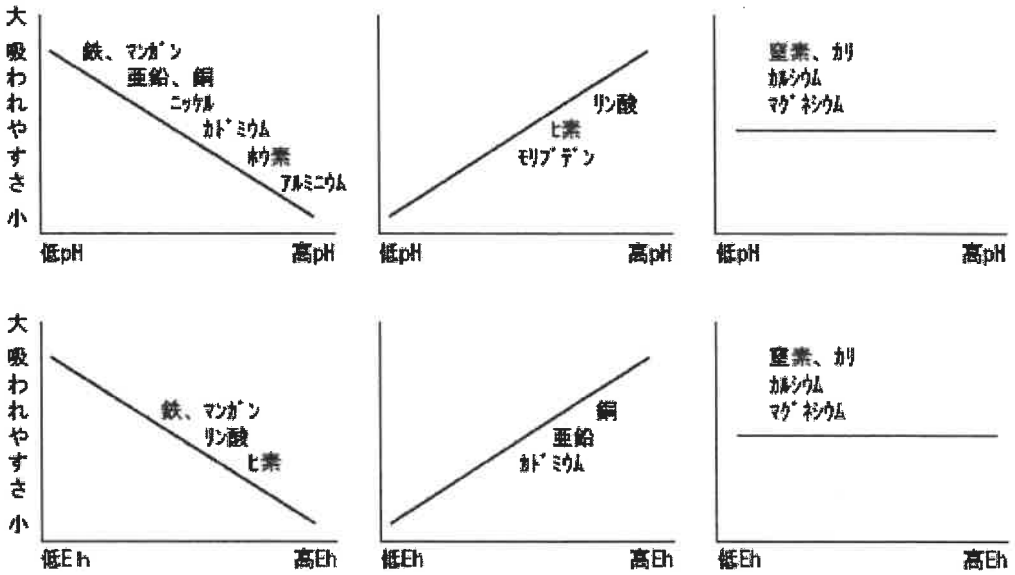


図3-11　土壌診断２つのポイント、pH・Ehと各元素の作物への吸われやすさ

（pHの高低は、通常作物が栽培されている範囲で４～８程度、Ehは、水稲栽培も考慮した範囲で＋600～－200 V程度）

Eh（酸化還元電位）とは、酸化状態（酸素が多い状態）および還元状態（酸素が少ない状態）をあらわす指標で、ミリボルト（mV）で示す。Ehは酸化状態で高く、還元状態では低くなる。

(イ)　生理障害診断技術

a　生理障害とその原因

農業の高度化により、開墾地でみられるような単純な元素の欠乏、過剰症が少なくなっているが、分類すると現場で問題となる障害は以下のように分けられる。

・栄養障害
・病害虫による障害
・薬剤による障害
・環境異常による障害

最近問題となっている生理障害の原因は、元素の欠乏・過剰症ともに外因、誘因、内因の各要因が複雑に絡み合い、一つに限定することは難しい。各要因を整理すると以下のとおりである。

表3-11　外因（主として作物の外に位置する要因で、物質として障害発生に関与するもの）

土壌及び養液等培地の化学性に起因	pHの異常、高塩類濃度、各種養分の欠乏・過剰、有害元素の存在、異常還元
土壌の物理性に起因	過乾、過湿、通気性不良、高ち密度、浅耕土
薬剤に起因	殺菌、殺虫剤の使用ミス、ホルモン剤の障害、除草剤の残留
農業用資材・装置に起因	未熟堆肥、ビニール可塑剤、暖房機の不完全燃焼
環境汚染に起因	亜硫酸ガス、オゾン、フッ化水素、大気汚染物質、窒素化合物、重金属元素、有害有機化合物

表3-12　誘因　（主として自然条件に起因し、外因の作物への働きかけを助長するもの）

気象環境に起因	低日照、日中と夜間温度の異常格差、少雨、長雨、晩霜
土壌基盤に起因	地形、土壌型

表3-13　内因　（主として作物の内に位置する要因で、障害発生程度に関与）

品種に起因	生理障害の発生しやすい品種、接ぎ木・台木の不親和性
栽培方式に起因	不適正な作型、栽植密度、不備な整枝、せん定、摘果

b　診断手順

土壌肥料面から土壌や作物体の分析ばかりしていると、障害が発生した際に、すべてが土壌肥料的要因によるものと考えてしまう傾向がある。そこで、大切なのは栽培履歴の確認等を含めたほ場観察である。

(a) ほ場での発生状況

① 病害

同一ほ場内における障害に集団性が認められたり、各作物個体の障害程度に顕著な差が認められる。症状が時間の経過とともにひどくなったり、降雨、曇天の続いた後に急速に蔓延したりする場合は、伝染性病害の疑いがある。

② 栄養障害等

一ほ場に均一に同じような障害が生じているときは、肥料成分の欠乏、過剰またはバランスの崩れによる栄養障害、除草剤等薬剤の害による障害と考えられる。

③ 気象災害等

多種類の作物または特定の作物が同時に同じような症状を示す場合は、冷害、風害等の気象災害または煙害などの公害が考えられる。

(b) 養分の欠乏、過剰症状の特徴

① 萎凋(しおれ)症状は示さない

土壌の水分不足、病害虫被害、過湿による根ぐされなどと異なり、元素の欠乏や過剰症が原因でしおれを示すことは少ない。

② 伝染性がない

葉と葉が接触してその障害が伝染することはない。

③ 異臭がしない

野菜類の軟腐病、チューリップ の球根腐敗病(エステル臭)等病害部位は一般に異臭がすることが多いが、元素の欠乏、過剰症が原因で臭いがすることは少ない。

例外としてCa欠乏も一因とされているメロンの発酵果は臭いがある。

④ 障害部位は湿潤状態を示すことは少ない

元素の欠乏、過剰症が原因による障害部分の水分は、正常な組織と同じか、乾燥気味である。

⑤ 導管はあまり褐変しない

ほ場現場で観察される元素の欠乏、過剰症で導管が褐変することはほとんどない。例外として、だいこんのホウ素の欠乏症に認められる程度である。

⑥ 作物体の半身だけが障害を示すことは少ない

ナスの半身萎凋病、いちごの萎黄病などは半身だけが黄化したり、片側だけが奇形になることがある。しかし、元素の欠乏、過剰症では半身だけが異常を示すことは少ない。

(c) 元素の欠乏、過剰症と誤りやすい害虫被害

最近、生長点の奇形、発育不良等の萎縮症状の農家からの持ち込みが多く、生理障害及びホルモン障害ではないかと疑われる場合が多い。しかし、よく観察するとダニ類の虫害による場合も非常に多い。以下に元素の過不足と虫害のまぎらわしい例を示す。

表3-14　障害の部位や症状から予想される生理障害・害虫

障害部位	症　状	予想される元素の過不足	予想される害虫
生長点	心どまり	ホウ素(B)欠乏	ヒラズネヒゲボゾウムシ（ヒバ、スギ類）
	心どまり・奇形	ホウ素(B)欠乏、ホルモン障害	チャノホコリダニ（ピーマン、ナス、いんげん）
	ちぢれ		アブラムシ
	奇形・発育不良	石灰(Ca)欠乏	ケナガコナダニ（すいか、ナス、はくさい、ミズナ）
	萎縮	石灰(Ca)・ホウ素(B)欠乏	メセンチュウ（いちご）
花	色抜け	ホウ素(B)欠乏	チューリップサビダニ
葉	葉脈間の黄化	苦土(Mg)欠乏	ハダニ
	ひきつれ・反り返り・ひだ葉	ホルモン障害	ネギアザミウマ（こまつな）
根	肌荒れ	ホウ素(B)欠乏	ネグサレセンチュウ

表3-15　元素の欠乏・過剰障害の地上部の典型的症状

症　状		欠乏元素	過剰元素
クロロシスを生じる	上位葉から	鉄(Fe)・硫黄(S)・[亜鉛(Zn)・マンガン(Mn)・銅(Cu)]	銅(Cu)・亜鉛(Zn)・ニッケル(Ni)・マンガン(Mn)・カドミウム(Cd)
	下位葉から	窒素(N)・カリウム(K)・苦土(Mg)・[リン酸(P)・亜鉛(Zn)・マンガン(Mn)・銅(Cu)]	ホウ素(B)
上位葉の生長停止		ホウ素(B)・石灰(Ca)	
斑点症状	大型	カリウム(K)	
	小型		マンガン(Mn)・ニッケル(Ni)・リン酸(P)
奇形・亀裂	葉に	モリブデン(Mo)	
	茎に	ホウ素(B)・石灰(Ca)	
葉縁から枯死		カリウム(K)	ホウ素(B)・[リン酸(P)]

注）表中［　］内の元素は、症状が現れにくい場合がある。

最近土壌の化学性を分析してみると、野菜産地では養分過剰な土壌が多く見られる。しかし、十分に養分が満たされている土壌で栽培しても、欠乏症状を呈することがある。

例えば、しゅんぎくの心枯れ症は土壌中に十分なCaが存在するのにCa欠乏となっている。これは土壌中にリン酸が過剰に存在するため、Caの吸収が抑制されることに起因している。このように養分が十分存在するほ場では、単なる欠乏・過剰といっても様々な要因が関与し、生理障害の原因究明を困難なものにしている。しかし、このような状況の中でも、土壌に主要因があると予想される生理障害の診断は、作物の良好な生育や健全な土壌を維持するためになくてはならないものである。

表3-16　作物別要素欠乏症発現の難易一覧

作物名	N	P	K	Ca	Mg	B	Mn	Fe	Zn	Mo
水　稲	◎	○	○	☆	○	☆	○	○	○	☆
陸　稲	◎	○	○	☆	○	☆	○	◎	○	☆
麦　類	●	◎	◎	☆	●	☆	◎	○	☆	☆
キュウリ	●	○	◎	○	◎	○	☆	○	☆	☆
トマト	◎	○	○	●	●	◎	○	○	☆	○
ナス	◎	○	○	☆	●	○	☆	○	☆	☆
ピーマン	◎	○	●	◎	◎	☆	☆	☆	☆	☆
スイカ	●	○	◎	○	◎	○	☆	☆	☆	☆
イチゴ	○	○	◎	○	◎	○	☆	☆	☆	☆
キャベツ	◎	○	●	◎	○	○	☆	☆	☆	○
ハクサイ	◎	—	◎	●	●	◎	☆	☆	☆	☆
タマネギ	○	○	○	◎	○	○	☆	☆	☆	☆
レタス	○	—	○	◎	◎	◎	☆	☆	☆	◎
ホウレンソウ	◎	○	◎	●	●	◎	○	○	☆	○
シロナ	◎	○	○	○	●	○	☆	☆	☆	☆
セルリー	◎	○	◎	○	●	●	☆	☆	☆	☆
ネギ	◎	○	○	○	○	☆	○	☆	☆	☆
アスパラガス	◎	○	○	○	◎	◎	☆	☆	☆	☆
カリフラワー	◎	◎	○	○	●	◎	☆	☆	☆	◎
ブロッコリー	◎	◎	○	○	◎	◎	☆	☆	☆	◎
ダイコン	◎	○	◎	○	●	◎	○	☆	☆	○
ニンジン	◎	○	○	☆	◎	○	☆	☆	☆	☆
ジャガイモ	◎	○	●	○	◎	◎	☆	☆	☆	☆
サツマイモ	○	○	◎	○	◎	○	☆	☆	☆	☆
ダイズ	○	○	◎	○	◎	☆	○	☆	☆	☆
ナタネ	○	●	○	○	●	◎	○	○	☆	○
ミカン	○	☆	○	○	●	◎	◎	○	◎	○
リンゴ	○	☆	○	☆	◎	◎	○	☆	○	☆
カキ	○	☆	○	☆	○	☆	☆	☆	☆	☆
ナシ	○	☆	◎	☆	◎	○	○	☆	○	○
ブドウ	○	☆	◎	☆	●	◎	○	☆	○	☆
モモ	○	☆	●	☆	●	○	○	☆	☆	☆
ウメ	○	☆	○	☆	◎	○	○	☆	☆	☆

●非常におこりやすい　◎おこりやすい　○おこる　☆ほとんどおこらない　(高橋・吉野・前田,1980)

第４章　参考資料

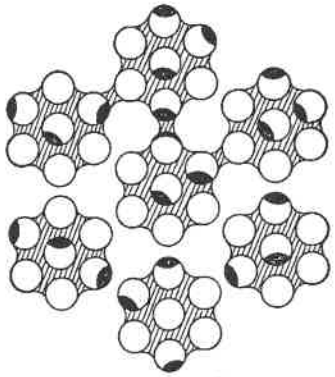
第１　現場で活用できる分析測定法

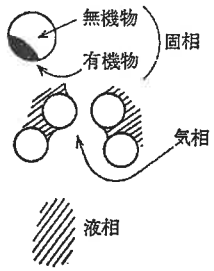
(1) 三相分布

ア　三相分布の概要と実容積の測定

三相分布は土壌の固相，液相，気相をさし、その比率は土壌・根圏環境（排水性・保水性・微生物活動等）のうえで重要である。採土管にとった土壌から土壌三相計を用い、実容積（固相，液相の容積の合計＝気相以外の部分）を測定できる。また土壌を乾燥して水分重量を量ることで、液相率，固相率を算出できる。

以下に実容積法（実容積計）の基本原理等を示す。機構はやや異なるが土壌三相計もこれと同じ原理を利用している。測定操作は各製品の説明書に従うこと。





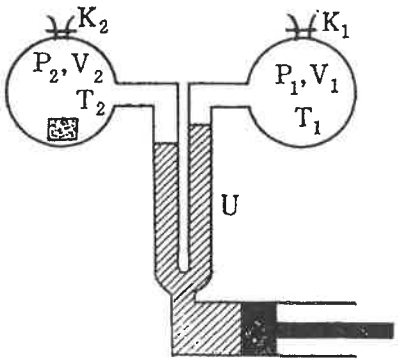


図 4-1（上左）土壌三相の模式図
土壌学概論，犬伏和之・安西徹郎編，朝倉書店 2001，p. 6 より
図 4-2（上右）実容積法・実容積計の原理
土壌物理性測定法，土壌物理性測定法委員会編，養賢堂 1972，p. 4 より

【基本原理（図 4-2）】

気体の圧縮に関するボイルの法則を利用。左右のセルの容積は同じで、圧力(P)，温度(T)が一定のとき（P1=P2，T1=T2）、気相容積(V)が V1＞V2 であれば、ピストンを左に動かす圧縮過程で常に P1＜P2 となり、連通管の水面は当初の容積の大きい V1 側が高くなる。コック(K)を開いて水面が高い側のセルに水を加えて密閉・再圧縮し、水面の高さを合わせると、添加水量から最初の容積差を測定できる。

【土壌三相計に関わる注意点】

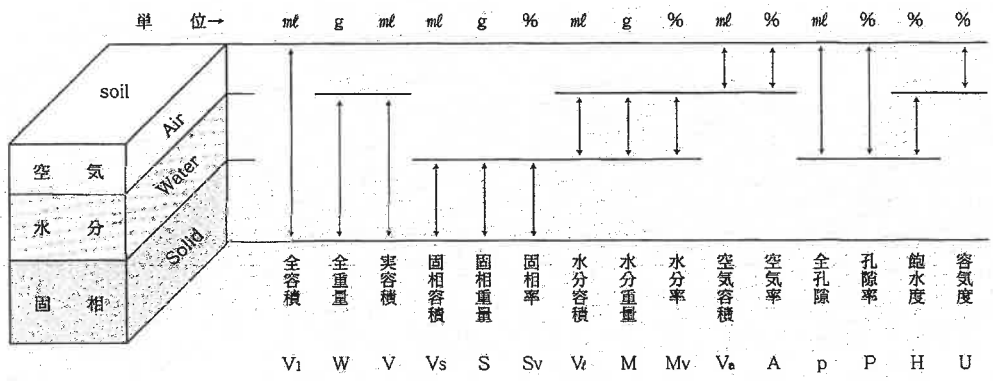
・土壌採取の詳細は別項参照。各種分析に対応できるよう、通常は採土管の上下を現地土壌の上下に合わせる。採取後は実容積の測定まで衝撃は厳禁とする。
・土壌試料の採取と測定にあたっては十分な反復をとる。
・実容積法はその原理から、一連の操作がほぼ一定温度下で行われることを前提とする。また土壌孔隙の気相がすべて大気と連続しているという仮定に基づくため、水分の多い粘質土壌などでは測定誤差を生じやすい。
・試料室の気密性が重要なため、密着部にシリコングリスを塗布する。
・アナログ機種のボリュームゲージの長針値は、短針目盛間の達観値に等しい。

イ　実容積測定後の操作と計算（全容積 100 mL の場合）

土壌試料の実容積（V）の測定後、秤で全重量（W）を測定する。
続いて乾燥機で 105℃、24 時間乾燥し、全重量を測定する。

＊ここでは乾燥前後の重量差（＝水分重量）が重要。したがって上蓋を外して試料円筒ごと乾燥し、全重量も上下蓋付き（土の落下や乾燥･吸湿の防止にもなる）の測定でよい。なお採土管のみを秤量しておくと固相重量が分かり、仮比重のほか，土壌母材の特性が反映される真比重も算出できる。

乾燥前後の重量差ｇ ＝ 水分重量ｇ(M)＝ 水分容積 mL(Ｖｌ)＝ 水分率%(MV)
固相率%(ＳＶ)＝ 固相容積 mL(Ｖｓ)＝ 実容積 mL(V)－ 水分容積 mL(Ｖｌ)
空気率%(A)＝ 空気容積 mL(Ｖａ)＝ 100 － 実容積 mL(V)
孔隙率%(P)＝ 100 － 固相率%(ＳＶ)
注）近年は液相率，気相率にかわり水分率，空気率の用語が使われることが多い。



①空気容積 Va =100-V
②空 気 率 A =Va
③固相容積 Vs =(W-V)/(d-1)
④固 相 率 Sv =Vs
⑤水分容積 Vℓ =V-Vs
⑥水 分 率 Mv =VL
⑦水分重量 M =VL
⑧固相重量 S =W-M
⑨孔 隙 率 P =100-Vs
⑩含 水 率 Mm =M/W×100
⑪含 水 比 Mo =M/S×100
⑫飽 水 度 H =Mv/P×100
⑬容 気 度 U =100-H
⑭真 比 重 d =S/Vs
⑮仮 比 重 da =S/100
⑯実 比 重 dm =W/V
⑰水分固相率 Ls =VL/Vs
⑱全 容 積 Vt =100

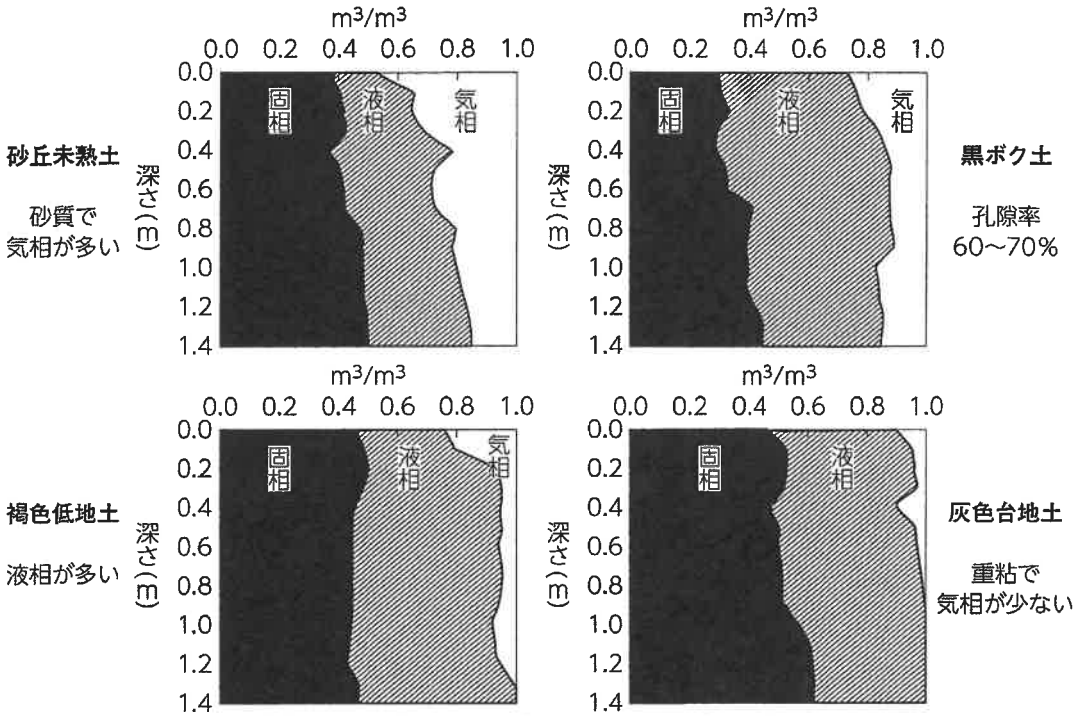
(株)大起理化工業製品案内資料より

ウ　望ましい三相分布と測定例

表 4-1　作物生育に望ましい土壌種類別の三相分布（pF 1.5）

土壌の種類等	固相（%）	液相（%）	気相（%）
砂土（S）	50	10	40
埴土（C）	40	20	40
重埴土（HC）	40	30	30
火山灰土	30	30	40
（湿害）	－	増大	減少
（干害）	－	減少	増大

施肥診断技術者ハンドブック，JA 全農肥料農薬部 1999，
p.28 より抜粋・一部改変



三相分布はもともとの土質によるところも大きい。

土と施肥の新知識，渡辺和彦・後藤逸男・小川吉雄・六本木和夫著，
農文協 2012，p. 23 より

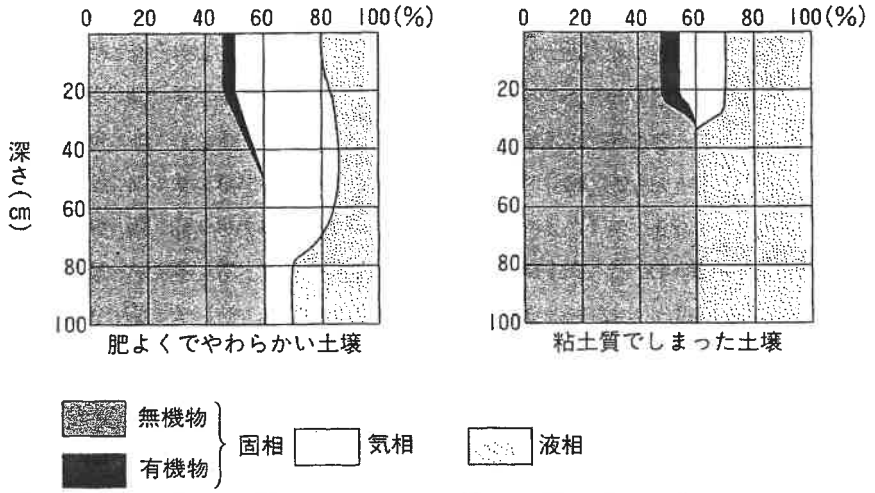


図 4-5　膨軟な土壌としまった土壌の三相分布の例

基礎シリーズ栽培環境入門，角田公正・松崎昭夫・松本重男編著，実教出版株式会社1998，p.64 より

（引用元：川口桂三郎ほか，土壌学 1980）

エ　三相分布の改善方法

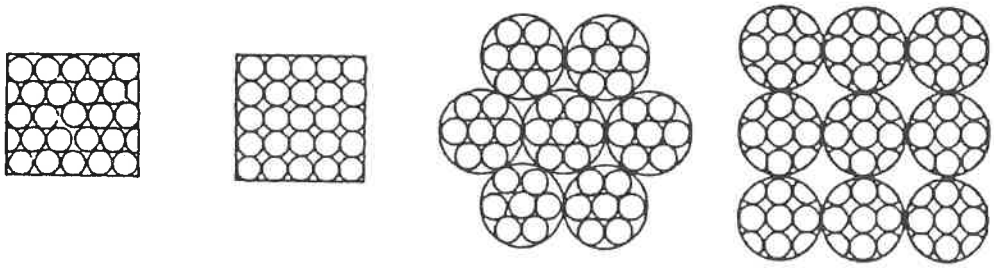
三相分布はもともとの土質による差異が大きく、改良目標は地域や土質ごとに異なる（改良処理の有無によるほ場間比較が主になる）とみられるが、対策としては以下のようなものがある。

〈ち密→適正〉堆肥施用等による土壌の団粒化の促進，深耕，心土破砕など

〈膨軟→適正〉過度な堆肥施用の中止など

以下の模式図（図 4-1(1)の 6）に示すように、土壌の単粒構造から微小団粒、さらには微小団粒が集合して団粒化が進むと孔隙率が増加する。ここに示した図は同じ粒径の土壌粒子を基本として配置も単純化したモデルであるが、団粒の配置がランダムになるとさらに孔隙率は増大する。団粒構造が発達し、大小様々な孔隙ができると、作物栽培のうえで適度な排水性，保水性，通気性を兼ね備えた土壌となる。直径 0.2 mm 程度以上を団粒と呼ぶことが多いが、一般的に農用地で理想とされる団粒の大きさは直径 1～5 mm 程度とされている。

団粒構造の形成においては、腐植や土壌生物相由来の高分子有機物が接着剤の役割を果たしているほか、ミミズなど土壌動物の排泄物の寄与も大きい。形成を人為的に促進するには、有機物施用のほか石灰分の施用も有効とされる。団粒は生成と崩壊とを繰り返しているが、崩壊の要因としては、土壌の過度の乾燥や湿潤、有機物の分解・消耗、降雨、過度の耕うん、農機による踏圧などがある。



(a)　密につまったままの単位　(c)　密につまった団粒が密につまった場合
(b)　粗につまったままの単位　(d)　粗につまった団粒が粗につまった場合
団粒構造になると孔隙の量は多くなる。

図 4-6　土壌粒子のつまり方と孔隙率との関係

新版土壌肥料，岡崎正規・安西徹郎・加藤哲郎，
社団法人全国農業改良普及協会 2001，p. 7 より（原典：川口 1974）

(2) RQ フレックス

ア　RQ フレックスの概要

ドイツのメルク社が開発した小型反射式光度計であり、専用の発色試験紙を用いて検液中の各種イオン濃度を測定できる。原理は特定イオンに対して発色する各種試験紙に試料溶液を滴下し、一定時間発色させたのち LED 光を当て、反射光の特定波長の強度からイオン濃度を測定する。測定精度を高めるため、試験紙の発色部は２区画（２反復）となっている。測定可能なイオンとしては、アンモニウム，アスコルビン酸，カルシウム，塩素，グルコース，鉄，マグネシウム，硝酸，亜硝酸，リン酸，カリウム等があるが、測定操作は様々であり、説明書の操作手順を遵守する。なお RQ フレックスの精度を維持するための製品として、補正用の「RQ リキャリブレーションセット」や機能確認用の「RQ チェック」がある。

表 4-2　窒素に関連するＲＱフレックスの測定条件

（2017 時点、2013 年更新の製品情報をもとに作成）

測定イオン〔試験紙〕	イオン濃度 (mg/L)	N 濃度 (mg/L)	液温、反応時間	備考	換算係数〔イオン→N〕
硝酸イオン (NO_3^-)	3～90	0.7～20.3	15～30℃、60 秒	亜硝酸イオン (NO_2^-) 0.5mg/L 以上では所定の前処理が必要。	0.226 (N/NO_3＝14.01/62.01)
	5～225	1.1～50.8	15～30℃、60 秒		
亜硝酸イオン (NO_2^-)	0.03～1.0	0.009～0.304	15～30℃、60 秒	試薬にヒドロキシルアミン（劇物）含む。	0.304 (N/NO_2＝14.01/46.01)
	0.5～25.0	0.2～7.6	15～30℃、15 秒	N-(1-ナフチル)-エチレンジアミンによる発色。試薬に毒劇物を含まない。	
アンモニウムイオン (NH_4^+)	0.2～7.0	0.16～5.4	20～30℃、480 秒	インドフェノールによる発色。試薬に毒劇物を含まない。	0.776 (N/NH_4＝14.01/18.05)
	5.0～20.0	3.9～15.5	20～30℃、240 秒		
	20～180	15.5～140	15～25℃、15 秒	ネスラー反応。試薬によう化水銀（毒物）、水酸化ナトリウム（劇物）含む。	

※これ以外にも測定上の注意事項は多い。説明書に記された内容を遵守すること。

【RQ フレックスの留意点】

・目的物質の濃度が測定レンジ内であるか、あらかじめチェックする。
・窒素(N)濃度は、直読値であるイオン濃度と間違えないよう、注意する。
・機器の安定や各種反応（発色反応など）は、一般に高温下で早く低温下で遅くなる。したがって同時測定でない場合、数値の細かな比較は難しい（RQ フレックスに限らない）。
・試料液の液温範囲や pH レンジ、反応時間、測定に影響する夾雑物質の除去法等の指定に注意し、必要に応じて所定の方法で前処理を行う。
・試験紙の有効期限に注意し、使用・保管方法等は説明書に従う。
・測定時の試験紙に滲んだような模様がある場合や、測定後のホワイトスタンダードが発色液で汚れている場合は、測定ミスの可能性が高い（水滴過多による発色液の流下、および測定条件の変化）。
・高電圧タイプの電池には対応していないので注意すること。通常の電池でも液漏れによる破損例は少なくないため、使用後はなるべく電池を外しておく。

【エムクァント シリーズ（メルコクァント テスト）】

試験紙の色をカラースケールと比較して判定する。RQ フレックスの測定前のレンジ確認にも利用できる。

硝酸イオン(NO_3^-)　0～500 mg/L、亜硝酸イオン(NO_2^-)　0～80 mg/L、アンモニウムイオン(NH_4^+)　0～400 mg/L

(3) 迅速養分テスト（兵庫方式の簡易分析法）

ア　迅速養分テストの概要

圃場の観察や聞き取りに、これから述べる本県で開発された迅速養分テスト法（各種試薬による発色から目視で判定）を組み合わせると、栽培上の問題点をかなり絞り込むことができる（p. 134 のフローチャートを参照）。以下に土壌、作物体の順で個別の操作手順を記す。水抽出による分析項目には RQ フレックスで測れるものもあるが、迅速養分テスト法には、試薬類とごく一般的な器具があれば、長期にわたって実用的な分析環境を自身で整えられるというメリットがある。なお RQ フレックス，迅速養分テストとも、一部に毒劇物や特定化学物質を使用するものがあるため、管理や廃液処理はそれらの指定に関する最新の情報に基づき、適正に行う。

表4-3　迅速養分テスト法（土壌）が得意、不得意な元素

得意な元素	NH_4, NO_3, NO_2, P_2O_5, K_2O, Mn, Al, Cl, SO_4
やや不得意で、工夫の必要な元素	CaO, MgO, Fe^{2+}
過剰でしか検出できない元素	B, Zn, Ni, Fe^{3+}

「わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き」，渡辺和彦著，誠文堂新光社2010，p.23に基づき作成。

【エムクァント シリーズ（メルコクァント テスト）】

試験紙の色をカラースケールと比較して判定する。RQ フレックスの測定前のレンジ確認にも利用できる。

硝酸イオン(NO_3^-)　0～500 mg/L、亜硝酸イオン(NO_2^-)　0～80 mg/L、アンモニウムイオン(NH_4^+)　0～400 mg/L

(3) 迅速養分テスト（兵庫方式の簡易分析法）

ア　迅速養分テストの概要

圃場の観察や聞き取りに、これから述べる本県で開発された迅速養分テスト法（各種試薬による発色から目視で判定）を組み合わせると、栽培上の問題点をかなり絞り込むことができる（p. 134 のフローチャートを参照）。以下に土壌、作物体の順で個別の操作手順を記す。水抽出による分析項目には RQ フレックスで測れるものもあるが、迅速養分テスト法には、試薬類とごく一般的な器具があれば、長期にわたって実用的な分析環境を自身で整えられるというメリットがある。なお RQ フレックス，迅速養分テストとも、一部に毒劇物や特定化学物質を使用するものがあるため、管理や廃液処理はそれらの指定に関する最新の情報に基づき、適正に行う。

表 4-3　迅速養分テスト法（土壌）が得意、不得意な元素

得意な元素	NH_4, NO_3, NO_2, P_2O_5, K_2O, Mn, Al, Cl, SO_4
やや不得意で、工夫の必要な元素	CaO, MgO, Fe^{2+}
過剰でしか検出できない元素	B, Zn, Ni, Fe^{3+}

「わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き」，渡辺和彦著，誠文堂新光社 2010，p.23 に基づき作成。

イ　土壌の迅速養分テスト

(ｱ) 生土容積法による pH, EC の測定と養分抽出

250 mL 容ふた付きのポリビンを準備し、140 mL と 162 mL の２ヵ所に印を付ける。まず 140 mL の線まで水を入れ、そこに生土を、水面が 162 mL の線にくるまで入れて５分間よく振り混ぜる（図 1）。この乾土(g)：水(mL)≒1：5 の懸濁液*を用い、pH と EC を測定する。秤を用いる場合には、水 140 mL に生土は 40 g、乾土は 28 g を入れる。＊土の真比重を 2.5（通常 2.3～2.7）と仮定。

pH の測定は正式には土液比 1：2.5 の懸濁液で行うが、1：5 の懸濁液で測定しても診断上の問題はほとんどない。この土壌懸濁液を一般的な JIS 規格 6 種のろ紙（製品番号 No.6 など）でろ過し、ろ液を次項以下の養分テストに用いる。

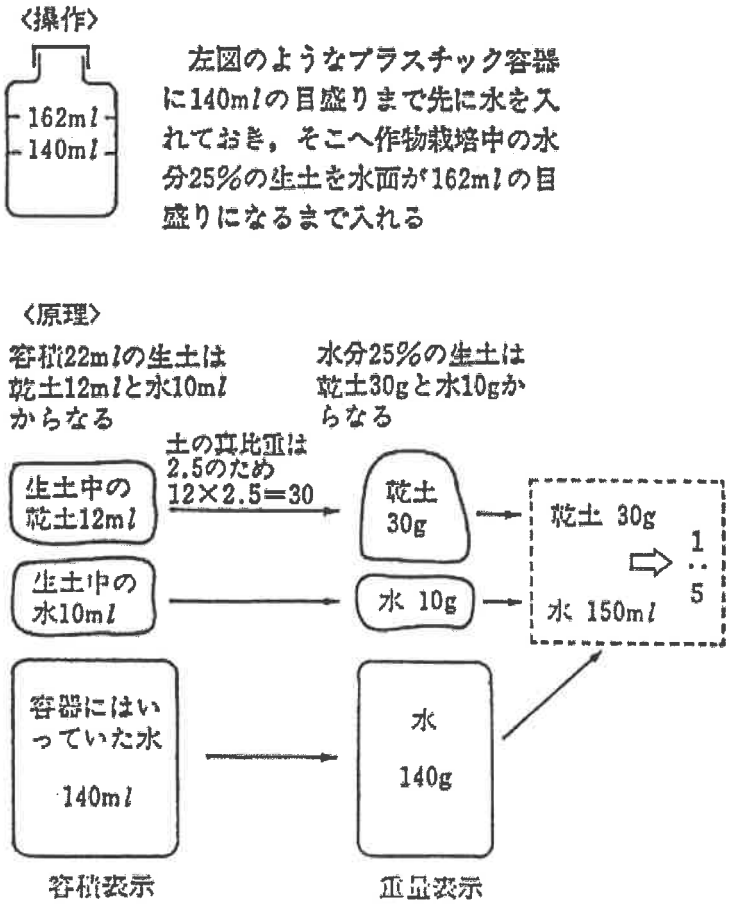


図 4-7　土壌の養分抽出の方法

＊カルシウム，マグネシウム，亜鉛，アルミニウムは水で抽出されにくい。必要に応じて抽出しやすい 10%酢酸ナトリウム液(pH 5.2)を用い、水の場合と同様に操作する。

＊土壌養分含量（mg/100g）≒（kg/10a）

（表層 10 cm の作土量を 100 t/10a として概算）

(イ) 土壌中窒素の測定・診断基準

① 操作法

ろ液約２mL を試験管にとり、下記試薬を加えて混合し、10 分後の発色を比色表と比較する。

アンモニア態窒素： ネスラー試薬（取扱注意）をスポイトで２滴（約 0.1 mL）

亜硝酸態窒素： GR 亜硝酸用試薬を耳かき１さじ（約 25 mg）添加。

硝酸態窒素： GR 硝酸用試薬を耳かき１さじ（約 25 mg）添加。

水抽出液の pH（4～10）の影響はいずれも小さい。またこれら３種とも試薬添加量の影響は小さく、基準量の１/２から２倍の範囲は許される。しかし１/４では呈色度が低下し、４倍量では色調が変化する。

②診断基準

土壌中窒素の診断基準を表 4-4 にまとめた。作物の種類や生育段階により必要な窒素量は異なるため、診断の項はおよその目安である。特に露地栽培では硝酸態窒素が雨で流亡するので、あまり多くは検出されない。一段階以上診断基準を下げる必要がある。

ガス障害の判定には、ハウス内のビニールに付着した露滴を約２mL 採取する。ハウスのアンモニアガス障害では、露滴中にアンモニア態窒素が呈色度＋４～＋５、亜硝酸態ガス障害では亜硝酸態窒素が呈色度＋５程度発色する。ふつうのハウスの露滴中にも、亜硝酸態窒素は＋１～＋２程度はよく検出されるが、これは亜硝酸態窒素の検出感度が極めて高いためである。

表 4-4　土壌中の水溶性窒素（N）の診断基準

		アンモニア態窒素 (NH_4-N)					硝酸態窒素 (NO_3-N)					亜硝酸態窒素 (NO_2-N)				
呈色度		+1	+2	+3	+4	+5	+1	+2	+3	+4	+5	+1	+2	+3	+4	+5
テスト液中濃度（ppm）		1	2.5	5	10	50	1	2.5	5	20	50	0.05	0.1	0.25	0.1	2.5
換算すれば	乾土100g当たりmg (10a当たりkg)	0.5 〃	1.25 〃	2.5 〃	5 〃	25 〃	0.5 〃	1.25 〃	2.5 〃	10 〃	25 〃	0.025 〃	0.05 〃	0.125 〃	0.5 〃	1.25 〃
	土壌溶液中濃度 (ppm)	15	37.5	75	150	750	15	37.5	75	300	750	0.75	1.5	3.75	15	37.5
	同上 (me/L)	1.1	2.7	5.4	11	54	1.1	2.7	5.4	21	54	0.054	0.11	0.27	1.1	2.7
診　断		適当		やや多い	多い	過剰	少ない		やや少ない	適当	多い	酸素不足または多肥	注　意		ガス障害危　険	

注）呈色度（+1～+5）は比色表（「原色 野菜の要素欠乏・過剰症」、渡辺和彦著）等を参照。

(ｳ) 作物体の迅速養分テスト（基本操作：p. 135 参照）

約 2 mm に細断した葉柄約 0.2 g に蒸留水または 10%酢酸ナトリウム溶液(pH 5.2) 2 mL を加え、5 分間程度よく振り混ぜたのち、各試薬を添加する。抽出液の種類と量を調整すれば、硝酸態窒素，リン酸，カリ，カルシウム，マグネシウム，マンガンは、作物体の抽出液(懸濁液)のままでテストできる。テストに用いる葉は、比較のため、なるべく同じ生育ステージで同じ葉位のものを採取する。必要に応じ、葉身や茎を利用する場合もある。作物体の養分含有率は、正常範囲であっても変動幅が大きい場合が多い。したがって診断は、正常なものと異常なものとを、同時に・同量により・同部位について比較することを基本とする。

【作物体の迅速養分テストの留意点】

硝酸態窒素：

葉身は葉緑素が多く、GR 硝酸試薬の発色阻害のおそれがあるので葉柄を用いる。

リン酸：

必要に応じ試験液を試薬添加前に希釈し、添加後 5～15 分後に比色(目視)する。

カリウム：

水溶性で多量に存在する。葉柄 0.2 g に水 10 mL を添加し、試薬は 10 滴とする。

カルシウム：

水または 10%酢酸ナトリウム(pH 5.2) 2 mL で抽出する。妨害元素は少ない。

マグネシウム：

水または 10%酢酸ナトリウム(pH 5.2) 2 mL で抽出する。試薬①の量を厳守する。

マンガン：

栽培条件による変動が大きい。正常作物でも乾物あたり数～数百 mg/kg の幅か。

注）土壌，作物体とも、各元素，イオンの標準液の発色と比較すれば、試薬の品質や調製状況にかかわらず判定が容易となる。また試薬を添加した蒸留水を対照とすることが望ましい。

【その他の注意点】pH，EC 測定，RQ フレックス，迅速養分テスト法等、全般

・試料や試薬の秤量に用いる電子天秤は静電気に弱いため、アース付コンセントの使用を基本とする。

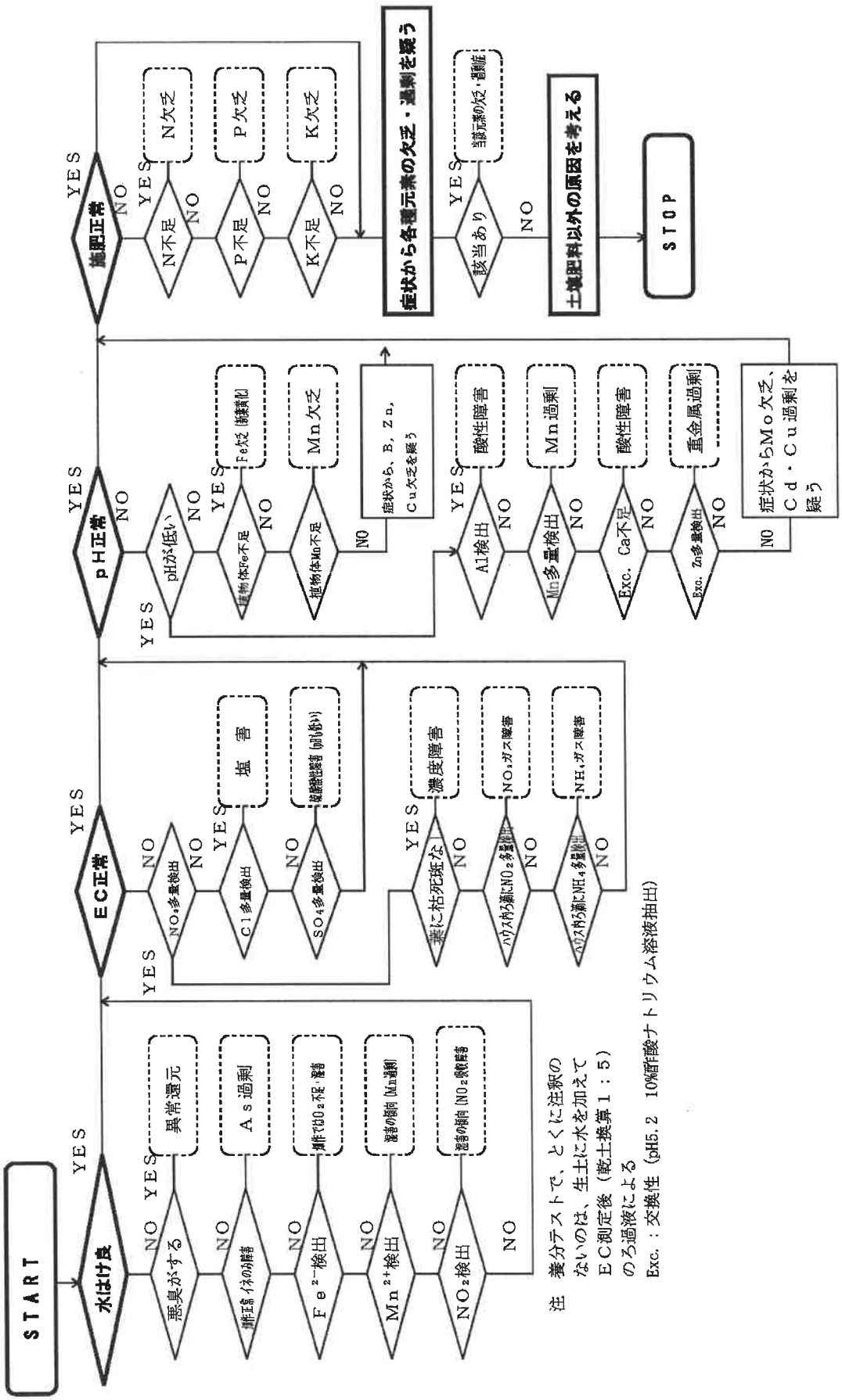
・機器の安定や各種反応（発色反応など）は、一般に高温下で早く、低温下で遅くなる。したがって同時測定でない場合、数値の細かな比較は難しい。

・各種標準液の保管に注意し、使用分は適時更新する（製品説明にしたがう）。

・通常、土壌 EC が高いと粘土粒子が分子間力により凝集しやすく、ろ液が濁りにくい傾向にある。

・土壌懸濁液を静置して上澄みをろ過すると、ろ過速度は早いがかえって濁りを生じることがある。

(I) 迅速養分テスト法を用いた簡易診断のフローチャート及び、基本操作（次ページ）



注　養分テストで、とくに注釈のないのは、生土に水を加えてEC測定後（乾土換算１：５）のろ過液による
Exc.：交換性（pH5.2　10%酢酸ナトリウム溶液抽出）

図 4-8　迅速養分テスト法を利用した分析手順

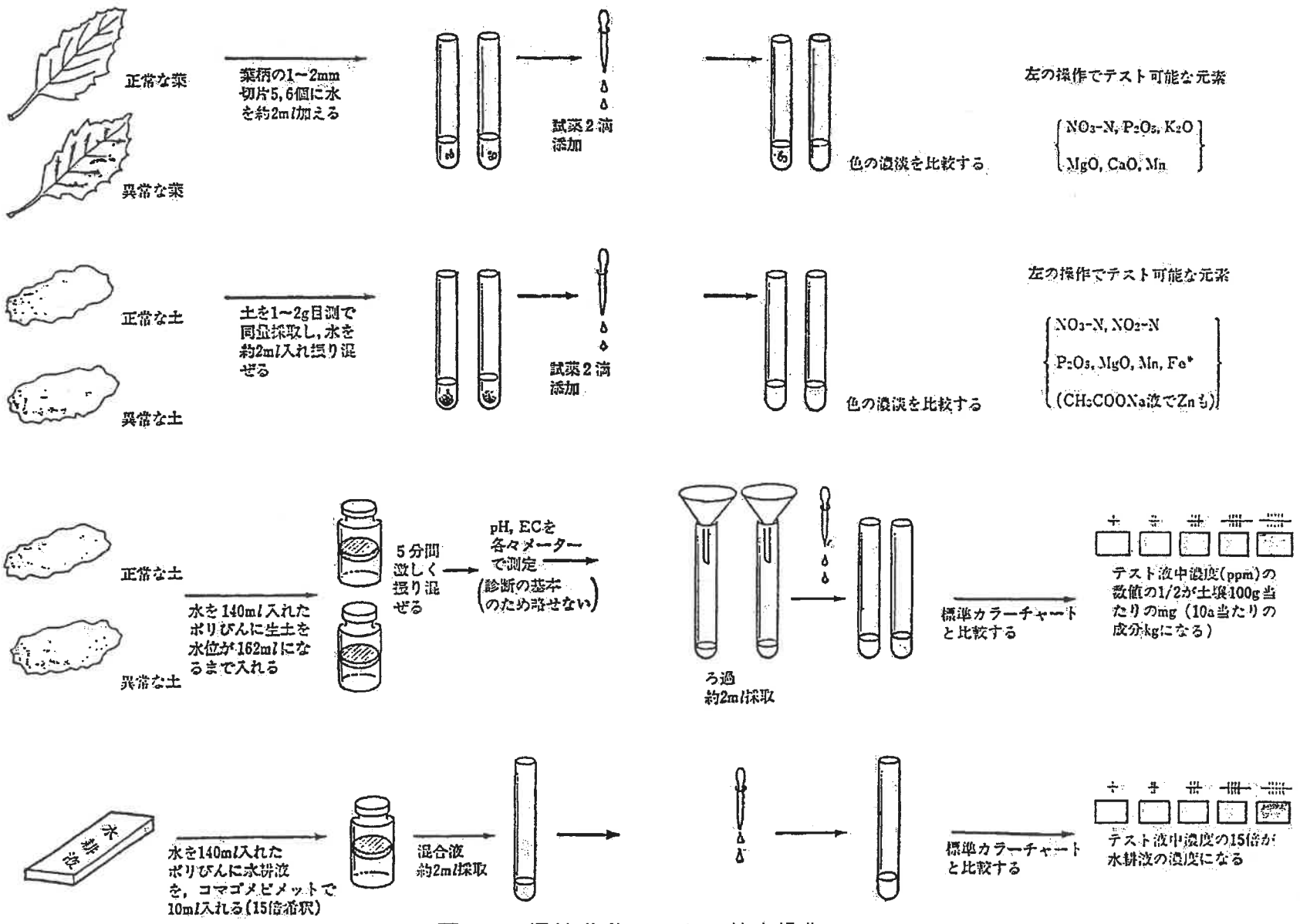


図 4-9　迅速養分テストの基本操作

(オ) 迅速養分テスト法で用いる試薬類

試薬類と操作を以下に示す。一部に毒劇物や特定化学物質を含むため、管理や廃液処理は適切に行うこと。

大半の試薬（調製したもの）は冷蔵すれば長期保存に耐える。

試験液　2mL/試験管、　試薬は必ず記載順に添加する（①→②→③）

添加量の目安：　1滴≒0.05mL,

ミクロスパーテル(以下、耳かき)1杯≒25mg

診断養分	試薬	添加量 (標準)	発色に要する 時間
NH_4-N	①ネスラー試薬 〔市販。水銀を含む毒物、注意！〕	2滴	10分
NO_3-N	①GR硝酸試薬〔市販〕	耳かき1杯	10分
NO_2-N	①GR亜硝酸試薬〔市販〕	耳かき1杯	10分
P_2O_5	①2% ﾓﾘﾌﾞﾃﾞﾝ酸ｱﾝﾓﾆｳﾑ〔$(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$〕 in 3.78M HCl	4滴	
	②5%塩化スズ〔$SnCl_2\cdot 2H_2O$〕 in 1.2M HCl　(+ 金属錫1粒，貯蔵用)	2滴	
K_2O	①5% ﾃﾄﾗﾌｪﾆﾙほう酸ﾅﾄﾘｳﾑ $Na(C_6H_5)_4B$	2滴	5分以上
CaO	①4% しゅう酸ｱﾝﾓﾆｳﾑ〔$(COONH_4)_2\cdot H_2O$〕 in 1% 酢酸	2滴	5分以上
MgO	①0.1% チタン(イ)エロー($C_{28}H_{19}N_5Na_2O_6S_4$)	2滴	
	② 2.5M NaOH	10滴	5分
Fe^{2+}	①0.2% o-フェナントロリン	2滴	5分以上
Fe^{3+}	①L-アスコルビン酸	耳かき1杯	
	②0.2% o-フェナントロリン	2滴	5分以上
Mn	①過よう素酸カリ KIO_4 飽和溶液	4滴	
	②10% 酢酸	2滴	
	③1% テトラベース (Tetramethyldiaminodiphenylmethane) in アセトン	4滴	30～60秒 〔退色が早い〕
Zn	①緩衝液 (NaOH 4.3g, KCl 18.7g, ホウ酸 15.5g/500mL)	8滴	
	②0.13% ジンコン(o-(2-(α-(2-Hydroxy-5-sulfophenylazo)benzylidene)-hydrazino)benzoic acid, Na salt) in メタノール	4滴	2～5分
Ni	①1% ジメチルグリオキシム in 1% NaOH	2滴	5分
Al	①0.2% アルミノン ($(HOC_6H_3COONH_4)_2C:C_6H_3(COONH_4):O$)	2滴	
Cl^-	①0.1M 硝酸銀 $AgNO_3$	2滴	5分以内
SO_4^{2-}	①3% 塩化バリウム $BaCl_2$	2滴	

(カ) 迅速養分テスト法の診断基準

	NH_4-N					NO_3-N				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	1	2.5	5	10	50	1	2.5	5	20	50
mg/100g, 乾土	0.5	1.25	2.5	5	25	0.5	1.25	2.5	10	25
診 断	適当		ややや多い	多い	過剰	少ない		ややや少ない	適当	多い

	NO_2-N				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	0.05	0.1	0.25	1	2.5
mg/100g, 乾土	0.025	0.05	0.125	0.5	1.25
診 断	酸素不足または多肥	注意		ガス障害の危険性	

	P_2O_5				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	1	2.5	5	10	50
mg/100g, 乾土	0.5	1.25	2.5	5	25
診 断	少ない	ややや少ない	適当	ややや多い	多い

	K_2O				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	見えるが読めない	かすかに見える	模様のようには見える	全く見えない
試験液中濃度 (ppm)	10	25	50	100	200
mg/100g, 乾土	5	12.5	25	50	100
診 断	少ない	適当	多い	多すぎる	過剰

		CaO				
比濁度		+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字		よく読める	少し読みにくい	見える	かすかに見える	全く見えない
試験液中濃度（ppm）		10	25	100	150	300
mg/100g，乾土		5	13	50	75	150
診 断		適当		多い	異常	
塩抽出＊	試験液中濃度（ppm）	50	100	175	250	400
	mg/100g，乾土	25	50	88	125	200
	診 断	欠乏				適当

＊10%CH_3COONa(pH5.2)抽出

		MgO				
呈色度		+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度（ppm）		2.5	5	10	20	50
mg/100g，乾土		1.25	2.5	5	10	25
診 断		ややや少ない	適当	やや多い	多い	過剰
塩抽出＊	試験液中濃度（ppm）	2.5	5	10	20	50
	mg/100g，乾土	1.25	2.5	5	10	25
	診 断	欠乏			少ない	適当

＊10%CH_3COONa(pH5.2)抽出

	Fe^{2+}				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度（ppm）	0.5	1	2.5	5	10
mg/100g，乾土	0.25	0.5	1.25	2.5	5
診 断	湿害注意	湿害	水田なみ		

	Mn^{2+}				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度（ppm）	0.05	0.1	0.25	0.5	1.0
mg/100g，乾土	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5
診 断	適当※		やや多い		多い

※不検出 → Mn欠乏の可能性

		Zn				
呈色度		+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度（ppm）		0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
mg/100g，乾土		0.125	0.25	0.5	1.25	2.5
診 断		多い	過剰			
塩抽出＊	試験液中濃度（ppm）	0.25	0.5	1.0	2.5	5.0
	mg/100g，乾土	0.125	0.25	0.5	1.25	2.5
	診 断	適当	やや多い		多い	過剰

＊10%CH_3COONa（pH5.2）抽出

試薬②の添加前に、試薬①で試験液のpHを8.5～9.5とする。

		Al				
呈色度		+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度（ppm）		0.5	1	2.5	5	10
mg/100g，乾土		0.25	0.5	1.25	2.5	5
診 断		過剰障害発生濃度				
塩抽出＊	試験液中濃度（ppm）	0.5	1.0	2.5	5	10
	mg/100g，乾土	1.25	2.5	6.25	12.5	25
	診 断	微量	含む	多い	多すぎる	過剰

＊10%CH_3COONa（pH5.2）抽出

塩抽出の場合、塩抽出液2mLに蒸留水8mLを加えて10mLとし、試薬10滴を添加する。

	Ni				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度（ppm）	2.5	5	10	25	50
mg/100g，乾土	1.25	2.5	5	2.5	25
診 断	過剰障害発生濃度				

	Cl^-				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	読める	見える	わずかに見える	全く見えない
試験液中濃度（ppm）	5	10	50	100	500
mg/100g，乾土	2.5	5.0	25	50	250
診 断	正常	多い	異常	生育不良	障害

	SO_4^{2-}				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	少し読みにくい	見えるが読めない	模様のようには見える	全く見えない
試験液中濃度（ppm）	50	100	200	500	1000
mg/100g，乾土	25	50	100	250	500
診 断	正常	異常			

＊迅速養分テスト法の詳細および呈色度・比濁度のカラーチャートは、
「原色　野菜の要素欠乏・過剰症」，渡辺和彦著，農文協2002を参照。
呈色度・比濁度は、各元素・各イオンの標準液を用いて実際に操作すると分かりやすい。

【参考】万能指示薬による簡易な土壌 pH の測定について

迅速養分テスト法の流れとは別個のものであるが、土壌 pH の現地測定に便利な指示薬である。試験管に 1 g 程度の土を目測で採取し、蒸留水を目測で 2～3 mL 入れて少し振り混ぜ、万能指示薬を 2 滴添加する。その上澄み液の呈色から土壌 pH を判定する（表）。

＊圃場内数カ所から採取した土壌をよく混ぜるか、地点を変えて数回確認することが望ましい。

表 4-5 万能指示薬の変色域

	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8
呈色	赤(僅橙)	赤(橙)	橙	橙～黄	黄(僅橙)
pH	6.0	6.2	6.6	7.0	7.4
呈色	黄	黄(僅緑)	黄緑	緑	青

【万能指示薬の作成方法】

①メチルレッド 40 mg＋0.1 M NaOH 1.28mL＋H_2O 98.72 mL ＝ 100 mL

②ブロムチモールブルー 80 mg ＋ 0.1 M NaOH 1.28mL ＋ H_2O 98.72 mL ＝ 100 mL

＊両指示薬とも乳鉢で細かく粉砕したのち、0.1 M NaOH によく溶かす。

③上記の①液（MR 液）と②液（BTB 液）を容積 5：6 で混合し、完成。

＊この参考事項は、「わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き」，渡辺和彦著，誠文堂新光社 2010，p. 83-85 に基づき作成。

	Ni				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度（ppm）	2.5	5	10	25	50
mg/100g，乾土	1.25	2.5	5	2.5	25
診 断	過剰障害発生濃度				

	Cl^-				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	読める	見える	わずかに見える	全く見えない
試験液中濃度（ppm）	5	10	50	100	500
mg/100g，乾土	2.5	5.0	25	50	250
診 断	正常	多い	異常	生育不良	障害

	SO_4^{2-}				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	少し読みにくい	見えるが読めない	模様のようには見える	全く見えない
試験液中濃度（ppm）	50	100	200	500	1000
mg/100g，乾土	25	50	100	250	500
診 断	正常	異常			

＊迅速養分テスト法の詳細および呈色度・比濁度のカラーチャートは、
「原色　野菜の要素欠乏・過剰症」，渡辺和彦著，農文協2002を参照。
呈色度・比濁度は、各元素・各イオンの標準液を用いて実際に操作すると分かりやすい。

ケイ酸に関する備考

水稲のケイ酸(SiO_2)吸収量は玄米収量100 kgあたり約20 kgとされ、玄米目標収量が600 kg/10aの場合、その吸収量は約120 kg/10aとなる。

稲わらやモミガラのケイ酸は結晶化したもの（プラントオパール）が多い。稲わら等を還元してもその全量がすぐに可給化することはなく、過去の還元分から少しずつ放出される。したがって適切な測定法による可給態ケイ酸の値を参考に、不足分を適時、ケイ酸質資材で補うことが望ましい。

第２　用語の説明

	用語	説明
ア	アンモニア態窒素(NH_4-N)	アンモニア基（NH_4）の形態で存在する窒素のことで、アンモニア性窒素ともいう。アンモニア基はプラスの電荷を帯びており、マイナス電荷の土壌粒子に吸着保持されるので、雨水などにも流れ去りにくく、肥効が持続する。
カ	可給態ケイ酸(SiO_2)	土壌中に含まれるケイ酸のうち、作物が吸収利用可能なものをいう。兵庫県の土壌診断の基準値は、pH4.0 酢酸緩衝液抽出法で示されている。
	可給態窒素	土壌中に含まれる窒素のうち、作物が吸収利用可能なものをいい、通常、土壌を 30℃、4 週間培養して無機化される窒素量（mg/100g）をいう。
	可給態リン酸(P_2O_5)	土壌中に含まれるリン酸のうち、作物が吸収利用可能なものをいう。兵庫県の土壌診断の基準値は、トルオーグ法で示されている。
	交換性陽イオン （置換性塩基）	腐植や粘土などの土壌膠質（コロイド）は電気的にマイナスの性質を持っているので、プラスの電気を持つ塩基や水素イオンを吸着している。これらの陽イオンは、他の陽イオンによって、容易に交換（置換）されて土壌溶液中に出てくるので、交換性陽イオンと呼ばれる。
サ	作土	土層の最上部に位置し、耕耘、施肥、灌水など、作物を栽培するために、人間が土壌に強く影響を与えている土層のことをいう。通常の営農管理が行われている土壌では、下層土に比べて膨軟で、有機物含量が多く養分に富んでいる。作物の根は大部分の養水分を根から吸収するため、作物の生育にとって作土層の理化学性は重要である。
	硝酸態窒素(NO_3-N)	硝酸根（NO_3）の形態で存在する窒素のことで、硝酸性窒素ともいう。硝酸根はマイナスの電荷を帯びており、土壌粒子には吸着保持されにくく、施設やマルチ栽培では流亡しにくいが、露地では雨水により下方へ流れ去るので、水田の基肥には適さない。
タ	地下水位	地下水には、土の孔隙を通して大気と連絡し、水面が自由に上下できる自由地下水と、不透水層があって自由な運動を妨げられている被圧地下水(宙水)とがある。ふつう、地下水位という場合は地表から自由地下水面までの深さをさす。
	電気伝導度（EC）	EC は電気の通りやすさの指標で、土壌の水溶性塩類の総量を反映する。純粋な水はほとんど電気を通さず、主に溶け込んだイオン類を介して電気が通じることから、肥料成分等が多いと土

		壌の EC も高くなる。
	当量比	当量比とは、各成分の絶対量（グラム当量）による比率。原子量（分子量）/原子価（イオン原子価）を 1 グラム当量、その 1,000 分の 1 を 1 ミリグラム当量（me）という。CaO の分子量は 56、原子価は 2 なので、56/2＝28 mgが 1me になる。CaO 200 mg は 200/28＝7.1me、同様に MgO 30 mgは 1.5me となり、当量比は 7.1/1.5=4.7 となる。
ハ	pH	pH は土壌等の化学的性質を表す最も基本的な指標で、水溶液中の水素イオン濃度に基づき、以下のように定義される。 pH ＝ −log10 [H^+] ＝ log10 (1/ [H^+]) [H+] ：溶液中の水素イオン濃度（mol/L = M） pH は 0～14 の数字で表され、pH 値が低いほど水素イオン濃度が高い。
	腐植（土壌有機物）	有機物の分解過程で、一部の低分子化合物が縮重合により、暗色無定形の分解しにくい高分子化合物が生成される。これを腐植といい、ヒューミン、腐植酸、フルボ酸などで構成される。腐植は比重が軽いため、腐植を多く含む土壌は軽くさばきやすく、水はけがよいので降雨後の作業性もよい。また、黒っぽい色をしており、土色である程度腐植の多少を判断できる。腐植は弱い電気を帯びていて、土壌粒子を結合し団粒を形成するほか、養分(塩基類)を吸着保持する機能がある。また、腐植自身も微生物によって緩やかに分解され、種々の無機栄養源となる。
ヤ	有効土層	作物根がかなり自由に貫入しうると認められる土層を有効土層という。基岩、盤層、地下水面、極端な礫層、硬度計によるち密度測定値が 29mm 以上を示す層が厚さ 10cm 以上ある層までを有効土層と考える。
	遊離酸化鉄（Fe_2O_3）	土壌中の鉄は極めて多くの形態をしており、土壌から比較的独立し緩く結合した状態の鉄を遊離鉄といい、その中で酸化物となっているものを遊離酸化鉄という。遊離酸化鉄が少ない水田では、硫化水素による硫化水素による根腐れが起こりやすい。
	陽イオン交換容量（CEC）（塩基置換容量）	土壌が陽イオンを吸着できる最大量（土壌の陰荷電の総量）を示す数値。土壌中の粘土や腐植は電気的にマイナスの性質をもち、陽イオンであるカルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム、アンモニウムイオン等を吸着する。
	陽イオン（塩基）飽和度	土壌の陽イオン交換容量（CEC）の何%が、交換性陽イオン（カルシウム、マグネシウム、カリウムイオン等）で満たされているかを示したもの。 陽イオン（塩基）飽和度(%) ＝ （交換性陽イオン総量(me)/CEC (me)) ×100(%)

ラ	リン酸吸収係数	土壌100gが吸収固定するリン酸の量をmgで表したもの。リン酸吸収係数は、リン酸肥料の施用量た肥効を評価するために、また、火山性でリン酸の吸収固定力が強い黒ボク土を他の土壌と区別するための指標となる。

執筆者一覧

第１章

第１　はじめに	農政環境部 農業改良課 環境創造型農業推進班 班長 磯崎博隆
第２ 兵庫県の耕地土壌の特徴 ・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 研究員 青山喜典

第２章

第１　土づくりの必要性 ・・・・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 主席研究員 松山 稔
第２　作物・土壌ごとの土づくり	
（１）土地利用型作物 ・・・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 主席研究員 松山 稔
（２）野菜 ・・・・・・・・・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 研究員 本田 理
（３）果樹 ・・・・・・・・・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 主席研究員 水田泰徳 農産園芸部 主席研究員 真野隆司
第３　土づくり資材の特徴	
（１）有機質資材（堆肥等）・肥料 ・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 主任研究員 桑名健夫
（２）緑肥作物 ・・・・・・・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 主席研究員 松山 稔
（３）土壌改良資材（土づくり資材） ・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 主任研究員 桑名健夫

第３章　土壌の診断方法と対応

第１　土壌の性質	
（１）土壌の物理性 ・・・・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 研究員 青山喜典
（２）土壌の化学性 ・・・・・・・・・・	県立農林水産技術総合センター農業技術センター 農産園芸部 主任研究員 大塩哲視

（３）土壌の生物性　・・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部　研究員　本田　理

（４）作物の必須元素　・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部　研究員　本田　理

第４章　参考資料
第１　現場で活用できる分析法　・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部

第２　用語の説明　・・・・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部

第３　その他　（別冊）　・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部
農業改良課　環境創造型農業推進班

編集担当者　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター
企画調整・経営支援部　専門技術員　髙澤充洋
専門技術員　福井謙一郎
専門技術員　福本宣弘
専門技術員　桂　裕之
農産園芸部　研究主幹　池上　勝
研究主幹　松浦克彦
研究主幹　山中正仁
主任研究員　大塩哲視
農政環境部　農業改良課
環境創造型農業推進班　主査　下野真喜

（３）土壌の生物性　・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部　研究員　本田　理

（４）作物の必須元素　・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部　研究員　本田　理

第４章　参考資料
第１　現場で活用できる分析法　・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部

第２　用語の説明　・・・・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部

第３　その他　（別冊）　・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター農業技術センター
農産園芸部
農業改良課　環境創造型農業推進班

編集担当者　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　県立農林水産技術総合センター
企画調整・経営支援部　専門技術員　髙澤充洋
専門技術員　福井謙一郎
専門技術員　福本宣弘
専門技術員　桂　裕之
農産園芸部　研究主幹　池上　勝
研究主幹　松浦克彦
研究主幹　山中正仁
主任研究員　大塩哲視
農政環境部　農業改良課
環境創造型農業推進班　主査　下野真喜