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・・・

（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。

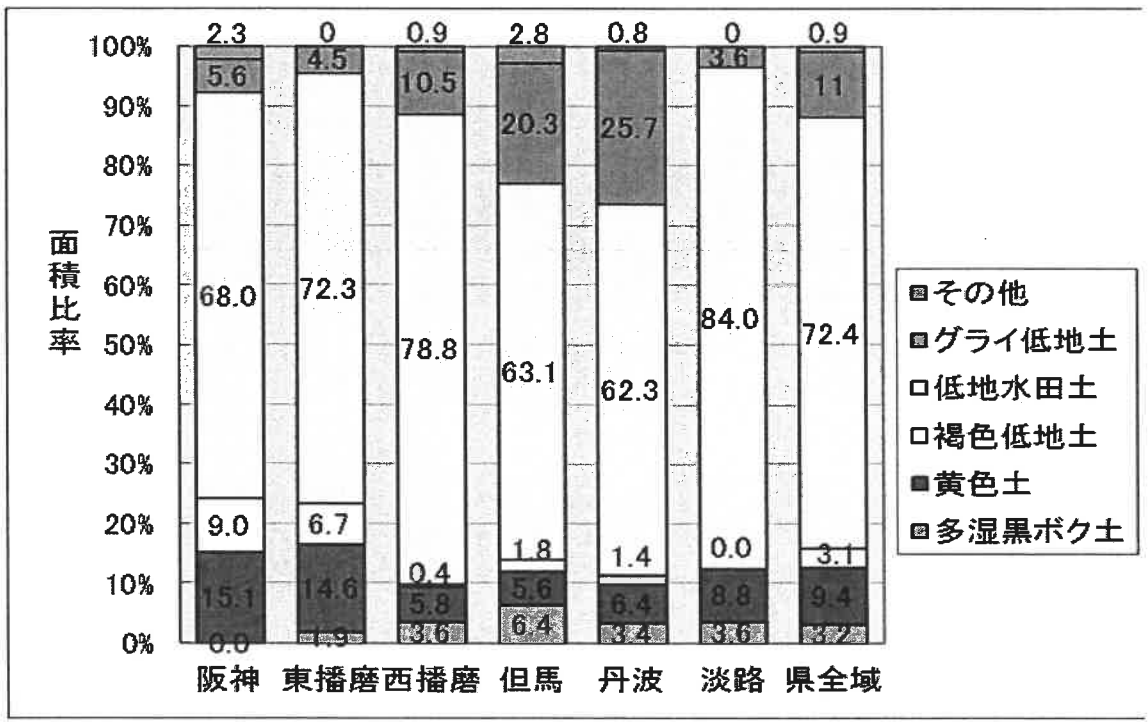


図 1-1　兵庫県の地域別、土壌群別水田面積の比率
（「兵庫県下の耕地土壌の種類とその市町別分布面積」1987 年３月）

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	CEC	交換性塩基			塩基飽和度	可給態[1] リン酸	可給態[2] ケイ酸	可給態窒素
					(H_2O)		CaO	MgO	K_2O				
	*		%	%		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。

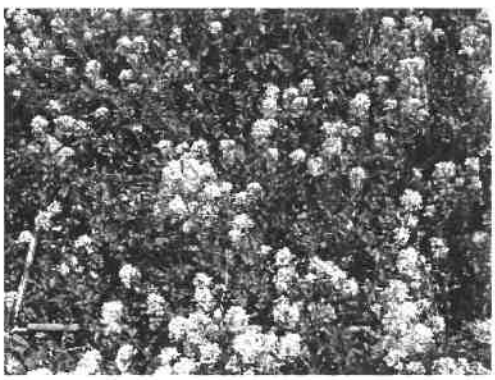
(c) シロガラシ

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

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

○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%

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

＜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。

(I) 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

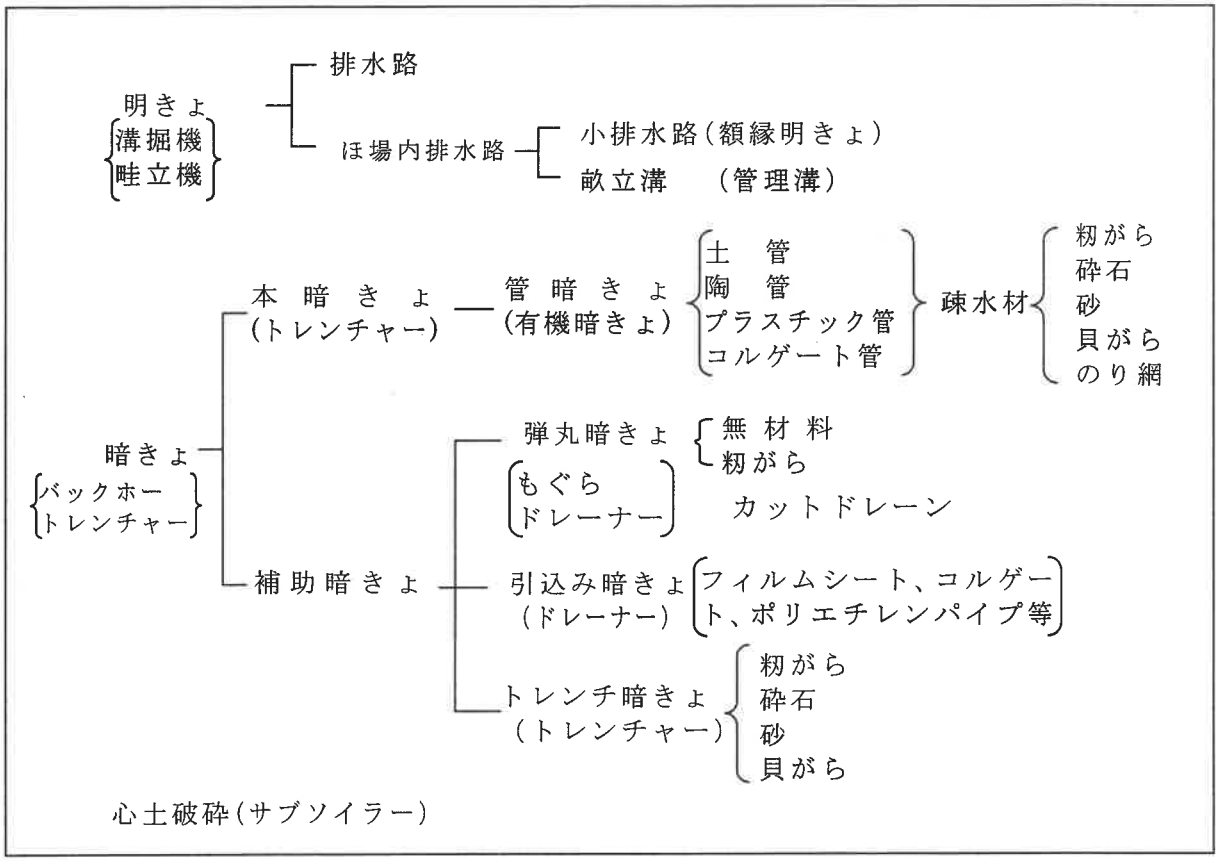
表 2-11　排水の目標

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）