

第4章

土壌分析結果の評価と改良対策

第4章 土壌分析結果の評価と改良対策

1 土壌の改良目標

土壌の改良目標は、地力増進法の中で地力増進基本指針として定められている。水田・畑・樹園地等地目別の土壌改良目標に岡山県診断基準を考慮したものを以下に示す。

表4-1-1 水田土壌の改良目標

土壌の性質		土壌の種類		
		砂質土	壤質～強粘質土	黒ボク土
		灰色低地土、グライ土、黄色土、 褐色低地土		多湿黒ボク土 黒ボクグライ土
作土の厚さ		15～20cm		
すき床層のち密度		山中式硬度計で 14～22mm		
主要根群域の最大ち密度		山中式硬度計で 22mm以下		
湛水透水性		日減水深で 20～30mm		
pH (H ₂ O)		6.0～6.5		
陽イオン交換容量 (CEC)		乾土100g 当たり 8meq以上	乾土100g 当たり 12meq以上	乾土100g 当たり 15meq以上
塩基 状態	塩基飽和度	70～90%		60～90%
	塩基組成	石灰、苦土及びカリ含有量の当量比が (65～75) : (20～25) : (2～10) であること		
可給態リン酸含有量		乾土100g 当たりP ₂ O ₅ として 10～20mg		
可給態ケイ酸含有量		乾土100g 当たりSiO ₂ として 25mg以上 (pH6.2リン酸緩衝液抽出法) 12mg以上 (湛水保温静置法)		
可給態窒素含有量		乾土100g 当たり 5～10mg	乾土100g 当たり 10～20mg	乾土100g 当たり 10～20mg
腐植含有率		2%以上	3%以上	5%以上
遊離酸化鉄含有率		0.8～2.0%	1.0～2.0%	0.8～2.0%

※注釈

1. 主要根群域の深さは、地表下 30cm までとする。
2. 塩基飽和度は、下式により各塩基含量 (mg/100g) を当量 (meq/100g) に換算し、それらの含量を陽イオン交換要領 (CEC meq) で除して 100 を乗じる。

$$\text{Ca meq/100g} = \text{CaO mg/100g} / 28.04$$

$$\text{Mg meq/100g} = \text{MgO mg/100g} / 20.15$$

$$\text{K meq/100g} = \text{K}_2\text{O mg/100g} / 47.10$$
3. 可給態リン酸はトルオーグ法による。
4. 可給態ケイ酸は pH6.2 リン酸緩衝液抽出法及び湛水保温静置法による。
5. 可給態窒素は 30℃・4 週間の湛水培養法による。

表 4 - 1 - 2 畑土壤の改良目標

土 壤 の 性 質		土 壤 の 種 類		
		砂質土	壤質～強粘質土	黒ボク土 多湿黒ボク土 黒ボクグライ土
		黄色土、褐色森林土、褐色低地土、 灰色低地土、赤色土、暗赤色土、グライ土		
作土の厚さ		20cm以上		
主 要 根 群 域	厚さ	40cmまで		
	最大ち密度	山中式硬度計で 22mm以下		
	粗孔隙率	10%以上		
	透水係数	10^{-4} cm/秒以上		
	易有効水分含有率	5%以上		
地下水位		50cm以下		
pH (H ₂ O)		6.0～6.5		
陽イオン交換容量 (CEC)		乾土100g 当たり 8meq以上	乾土100g 当たり 12meq以上	乾土100g 当たり 15meq以上
塩 基 状 態	塩基飽和度	70～90%		60～90%
	塩基組成	石灰、苦土及びカリ含有量の当量比が (65～75) : (20～25) : (2～10) であること		
可給態リン酸含有量		乾土100g 当たりP ₂ O ₅ として20～75mg		同左20～100
可給態窒素含有量		乾土100g 当たりNとして5～15mg		
腐植含有率		2%以上	3%以上	5%以上
電気伝導度 (EC)		0.5dS/m以下		

※注釈

1. 転換畑を含む。
2. 作土の厚さは根菜類等では 30 cm 以上、特に、ゴボウ等では 60cm 以上確保する。
3. 粗孔隙は降水等が自重で透水することができる粗大な孔隙で通気・透水性に関係する。
4. 易有効水分は作物が容易に吸水することができる pF1.5～2.7 の水分である。
5. pHは概ねの目安であり、実際の適否は各作物の最適 pHを基準とする。
6. 可給態リン酸は、トルオーグ法による分析値である。露地キャベツ栽培では可給態リン酸含量が 75mg (黒ボク土では 100mg) /100g を超える場合、リン酸無施用としても減収は認められない。
7. 可給態窒素は 30℃・4 週間 (水分は最大容水量の 46%とする) の畑培養法による。

表 4 - 1 - 3 樹園地土壤の改良目標

土壤の性質		土壤の種類		
		砂質土	壤質～強粘質土	黒ボク土 多湿黒ボク土
		褐色森林土、黄色土、暗赤色土、 赤色土、褐色低地土、灰色低地土		
主要根群域	厚さ	60cm以上		
	最大ち密度	山中式硬度計で 22mm以下		
	粗孔隙率	10%以上		
	透水係数	10 ⁻⁴ cm/秒以上		
	易有効水分含有率	5%以上		
pH (H ₂ O)		5.5～6.5		
陽イオン交換容量 (CEC)		乾土100g 当たり 8 meq以上	乾土100g 当たり 12 meq以上	乾土100g 当たり 15 meq以上
塩基状態	塩基飽和度	80～100%	70～90%	60～90%
	塩基組成	石灰、苦土及びカリ含有量の当量比が (65～75) : (20～25) : (2～10) であること		
可給態リン酸含有量		乾土100g 当たりP ₂ O ₅ として 10～75mg		
腐植含有率		2%以上	3%以上	5%以上

※注釈

1. 主要根群の厚さでは樹園地では毎年耕うんできないので、目標を設定することはせず、主要根群域として60cmを確保することを目標値とした。
2. 易有効水分は作物が容易に吸水することができる pF1.5～2.7 の水分である。
3. pHは概ねの目安であり、実際の適否は各作物の最適 pHを基準とする。
4. 最近の土壤調査結果では表層土のリン酸含量は目標値を達成、もしくは過剰となっているほ場が多い。しかし、下層土のリン酸含量は目標値を下回ることが多いため、深耕もしくは改植時に下層土の改良を行うことが望ましい。
5. 果樹園の腐植含有量は概して少ない園が多いが、有機物の分解による地力窒素の肥効が果樹の生育に影響する。特に、モモなどは窒素の多少に敏感であり、「糖度の高いモモ生産のための栽培管理指標(2013)」を参考に土壤改良を行う。

表 4 - 1 - 4 施設土壌の改良目標値（高知県：一部改変）

土壌の性質		土壌の種類		
		砂質土	壤質～強粘質土	黒ボク土
		砂丘未熟土	褐色森林土、褐色低地土、灰色低地土、黄色土、赤色土、暗赤色土、グライ土	多湿黒ボク土、黒ボクグライ土、灰色低地土 下層黒ボク
作土の厚さ		20cm以上		
土壌の物理性	孔隙率	55～70%	60～70%	60～75%
	粗孔隙率	20～35%	25～35%	25～40%
主要根群域	厚さ	40cm以上		
	最大ち密度	山中式硬度計で 22mm以下		
	粗孔隙率	10%以上		
	透水係数	10^{-4} cm/秒以上		
	易有効水分含有率	5%以上		
地下水位		50cm以下		
グライ層の上端		50cm以下		
腐植含有率		2%以上	3%以上	5%以上
pH (H ₂ O)		6.0～6.5		
陽イオン交換容量 (CEC)		乾土100g 当たり 8meq以上	乾土100g 当たり 15meq以上 12meq以上 (壤質土)	乾土100g 当たり 20meq以上
塩基状態	塩基飽和度	70～90%		60～90%
	塩基組成	石灰、苦土及びカリ含有量の当量比が (65～75) : (20～25) : (2～10) であること		
可給態リン酸含有量		乾土100g 当たりP ₂ O ₅ として 30～100mg		

※注釈

1. 灰色低地土下層黒ボクは、作土にも黒ボク土が混入しているので、黒ボク土に分類した。
2. 作土の厚さは根菜類では 30cm 以上とする。
3. 粗孔隙は水が自重で降下できる粗大な孔隙で、通気・透水性に関係する。
4. pHは概ねの目安であり、実際の適否は各作物の最適 pHを基準とする。
6. 可給態リン酸は、トルオーグ法による分析値である。
7. カリの含有量は乾土 100g 当たり 15 mg 以上とする。

2 化学性の改善方法

(1) 土壌の反応

1) 土壌の pH

土壌の pH は、土壌中の物質の性質や行動に重要な影響を及ぼすだけでなく、土壌微生物の活動、植物の養分吸収に大きな影響をもたらす。作物によって生育に適した pH は異なるが、一般に中性付近が植物の生育に好適とされる。しかし、我が国のように雨量の多いところでは塩基の溶脱、流亡が生じて酸性になりやすい傾向にある。しかし、最近では家畜ふん堆肥や石灰質資材などの過剰施用により、多量の塩基類が土壌に集積してアルカリ性を示す場合がある。塩基飽和度が 100% の土壌は pH (KCl) が 6.5~7.0、80% では 6.0~6.5、60~70% では 5.5~6.0 を示すことが多く、50% 以下では 5.0 以下の強酸性を示す場合が多い。

ア. 酸性土壌による生育阻害

土壌の酸性化により、石灰・苦土・カリ等の塩基類の欠乏、アルミニウム・マンガン・鉄・亜鉛・銅等の過剰害、黒ボク土でのリン酸固定量の増大等が発生しやすくなる。

イ. 土壌酸性化の要因

酸性化の要因として、降雨による塩基類の溶脱・流亡、生理的酸性肥料の多量施用、酸性硫酸塩土壌の影響などがある。

ウ. 酸性土壌の改善

酸性土壌の改善対策として、石灰質資材の施用、生理的酸性肥料の使用中止、鶏ふん等を含む石灰含量の多い堆肥の施用等がある。また、酸性硫酸塩土壌の改良には多量の石灰質資材が必要な場合があるため、緩衝能曲線を作成し石灰施用量を求める。

エ. アルカリ土壌による生育阻害

土壌のアルカリ化は、塩基類の過剰集積による塩類障害、マンガン・鉄・亜鉛・銅・ホウ素等の欠乏障害が発生しやすくなる。

オ. 土壌アルカリ化の要因

アルカリ化の要因として、アルカリ成分を含む土壌改良資材の過剰施用、pH の高い家畜ふん堆肥の過剰施用等影響などがある。また、海成干拓地では貝殻などの影響でアルカリ化しやすい。

カ. アルカリ土壌の改善

アルカリ土壌の改善対策として、石灰質資材の使用中止や家畜ふん堆肥の施用量を削減すると共に、生理的酸性肥料(硫安、塩安、硫酸カリ、塩化カリ等)を使用する。しかし、改善を急ぐ場合や大幅に pH を低下させる必要がある場合には、硫黄華等の酸性化資材の施用を行う。下層土の pH が低い場合には深耕や天地返しも有効である。また、施設土壌では主に灌水による除塩・クリーニングクロープによる過剰成分の吸収等があるが、系外への肥料成分の流亡やクリーニングクロープの処理に注意する必要がある。

表4-2-1 作物別の好適土壌pH（岡山県農林水産総合センター）

作物名 (水田)	適正 pH	作物名 (野菜)	適正 pH	作物名 (花き)	適正 pH
水稻	5.5-6.5	サラダナ	5.5-6.5	アスター	6.0-6.5
		シュンギク	6.0-6.5	アルストロメリア	6.0-6.5
(畑)		ショウガ	5.5-6.0	カーネーション（黒ボク）	6.0-6.5
大麦	6.0-7.0	シロウリ	6.0-6.5	カーネーション（鉍質）	6.0-6.5
小麦	6.0-7.0	スイートコーン	5.5-6.5	カラー	6.0-7.0
裸麦	6.0-7.0	スイカ	5.5-6.5	キク	5.5-6.5
大豆	5.5-6.5	セルリー	5.5-6.5	キンギョソウ	6.0-6.5
黒大豆	5.5-6.5	ソラマメ	6.0-7.0	キンセンカ	6.0-7.0
小豆	5.5-6.5	ダイコン	5.5-6.5	クジャクソウ	6.0-7.0
ソバ	5.5-6.5	タマネギ	6.0-7.0	グラジオラス	5.5-6.5
アワ	5.5-6.5	チンゲンサイ	6.0-7.0	クレマチス	5.0-6.0
チャ	4.5-5.5	トウガン	5.5-6.5	ケイトウ	6.0-6.5
タバコ	5.5-6.5	トマト	6.0-7.0	シクラメン	5.5-6.5
		トレビス	6.0-7.0	シャクヤク	6.0-7.0
(果樹)		施設ナス	6.0-7.0	宿根カスミソウ	6.5-7.0
イチジク	6.5-7.0	露地ナス	6.0-7.0	スイートピー	6.0-7.0
ウメ	5.5-6.5	ナツパ類	6.0-6.5	スターチス	6.0-6.5
オウトウ	5.0-6.0	ナバナ	6.0-7.0	ストック	6.0-7.0
カキ	5.5-6.5	ニラ	6.0-6.5	ストレリチア	6.0-7.0
クリ	5.0-6.0	ニンジン	5.5-6.5	セントポーリア	6.0-7.0
ナシ	5.5-6.5	ニンニク	5.5-6.5	ソリダゴ	6.0-7.0
露地ブドウ	6.0-7.0	ネギ	6.0-7.0	チューリップ	5.5-6.5
施設ブドウ	6.0-7.0	ハクサイ	6.0-7.0	ツバキ	4.5-5.5
ブルーベリー	4.5-5.5	パセリ	5.5-6.5	デルフィニウム	6.0-6.5
ミカン	5.5-6.5	バレイショ	5.5-6.0	トルコギキョウ	6.0-7.0
モモ	5.5-6.0	ピーマン	6.0-6.5	バラ	5.5-6.5
リンゴ	5.5-6.5	フキ	5.5-6.5	パンジー	6.0-6.5
		ブロッコリー	5.5-6.5	ヒマワリ	5.5-6.5
(野菜)		ホウレンソウ	6.0-7.5	ブプレウラム	6.0-7.0
アスパラガス	6.0-6.5	ミズナ	6.0-7.0	フリージア	6.0-6.5
イチゴ	5.5-6.5	ミツバ	6.0-6.5	ブルーレースフラワー	6.0-7.0
インゲン	5.5-6.5	メロン	6.0-6.5	マリーゴールド	5.5-6.5
ウド	6.0-6.5	ヤマノイモ	6.0-6.5	ユリ（アジアティック系）	5.5-6.0
エダマメ	6.0-6.5	ラッカセイ	6.0-6.5	ユリ（オリエンタル系）	5.5-6.5
エンダイブ	6.5-7.0	ラッキョウ	5.5-6.5	ユリ（テッポウユリ）	6.0-6.5
エンドウ	6.0-7.5	レタス	6.0-7.0	ラクスペー（チドリソウ）	6.0-7.0
オクラ	6.0-6.5	レンコン	5.5-6.5	リンドウ	5.0-5.5
カブ	5.5-6.5	ワサビ	6.0-7.0		
カボチャ	5.5-6.5			(牧草)	
カリフラワー	5.5-6.5			アルファルファ	6.0-7.5
キャベツ	6.0-7.0			イタリアンライグラス	5.5-6.5
キュウリ	5.5-7.0			エンバク	5.5-6.5
ゴボウ	6.0-7.0			オーチャードグラス	5.5-6.5
コマツナ	6.0-6.5			グラス類	5.5-6.5
サツマイモ	5.5-6.5			クローバ	6.0-7.5
サトイモ	5.5-6.5			ソルガム	5.5-6.5
				チモシー	5.5-6.5
				デントコーン	5.5-6.5
				トールフェスク	5.5-6.5
				ライムギ	6.0-7.0

2) 土壌の電気伝導度 (EC : Electric Conductivity)

pHと並んで最も基本的な土壌診断の化学性の項目のひとつが電気伝導度 (EC) であり、一般的には土壌中の塩類の濃度の指標として用いられている。EC値は、土壌中の肥料成分や肥料の副成分等の塩類が多い場合に大きくなる。しかし、一般的に畑地や樹園地では、EC値は硝酸態窒素含量との相関が高い (図4-2-1)。

露地栽培では降雨の影響で塩類の溶脱や流亡によりECが極端に高くなることはまれであるが、施設栽培では塩類が集積しECが高くなり易く、高すぎると作物の生育を阻害する。

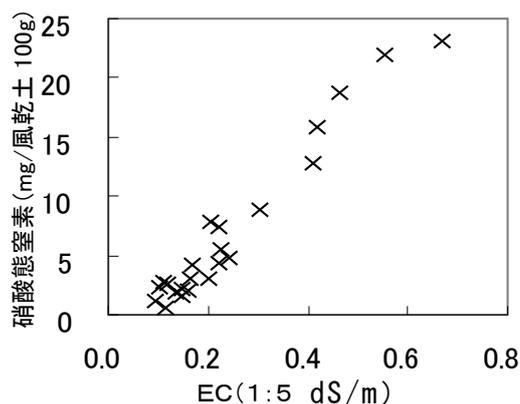


図4-2-1 施設ブドウ園土壌の硝酸態窒素とECの関係
(岡山県農林水産総合センター)

また、海水の影響によりECが高くなった場合には、土壌中の塩素濃度とECとの間に高い相関が見られる (図4-2-2)。

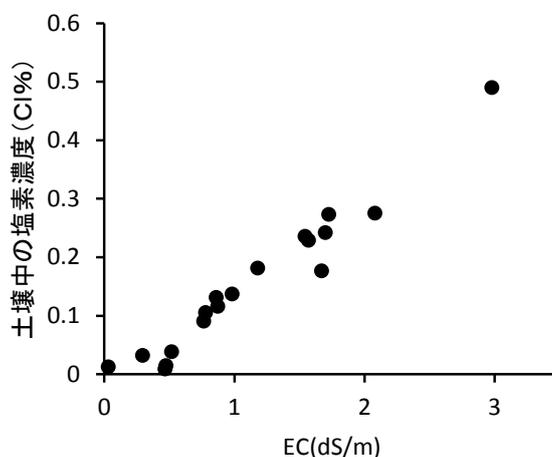


図4-2-2 海水の影響を受けた時の土壌の塩素濃度とECの関係
(岡山県農林水産総合センター)

ア. ECが高い場合の対策

アルカリ土壌の改善と同様、灌水による除塩・クリーニングクロープによる過剰成分の吸収等があるが、系外への肥料成分の流亡やクリーニングクロープの処理に注意する必要がある。また、表面に塩類が集積している場合には、その部分を除去する。施肥量の削減を行うと共に、硫酸根や塩素等の副成分が入っていない肥料を用いる。表4-2-2 (次頁) に作物の耐塩性を示す。

表 4 - 2 - 2 作物の耐塩性（適範囲の上限）

耐塩性	EC目安 (1:5) dS/m	作物名				
		普通作	野菜	果樹	牧草(飼料作)	その他
強	1.5以上	大麦	ホウレンソウ ハクサイ アスパラガス ダイコン		大麦(乾草) ナタネ イタリアンライグラス	ナタネ
中	0.8~1.5	水稻 小麦 ライ麦 大豆	キャベツ カリフラワー ブロッコリー ネギ ニンジン パレিশヨ サツマイモ トマト カボチャ スイートコーン ナス トウガラシ	ブドウ イチジク	スイートクローバー アルファルファ スーダングラス オーチャードグラス トウモロコシ ソルガム ライ麦(乾草) 小麦(乾草)	
やや弱	0.4~0.8		イチゴ タマネギ レタス	リンゴ ナシ モモ オレンジ レモン プラム アンズ	ラジオクローバー レッドクローバー	タバコ イグサ
弱	0.4以下		キュウリ ソラマメ インゲン			

農林水産省HPより引用(単位の標記を改変、一部作物を除外)

http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/h19-3-2-3.pdf

(2) 土壤改良資材の施用量算出方法

1) 土壤の緩衝能

水に酸あるいはアルカリを加えると pH が著しく変化する。しかし土壤ではこれらの物質を加えても pH の変化は図 4-2-3 に示すように緩やかである。この様に急激な pH の変化を抑制する作用を緩衝能という。土壤の緩衝能は土壤の種類により異なり、陽イオン交換容量 (CEC) の大きい黒ボク土等で緩衝能が高い。また、緩衝能の低い土壤ほど土壤 pH が変化しやすいため、堆肥、腐植質資材、優良な粘土鉱物等を投入し緩衝能を高めることも重要となる。土壤の酸性及びアルカリ性を矯正するために要する資材の施用量は土壤の緩衝能の違いにより増減する。

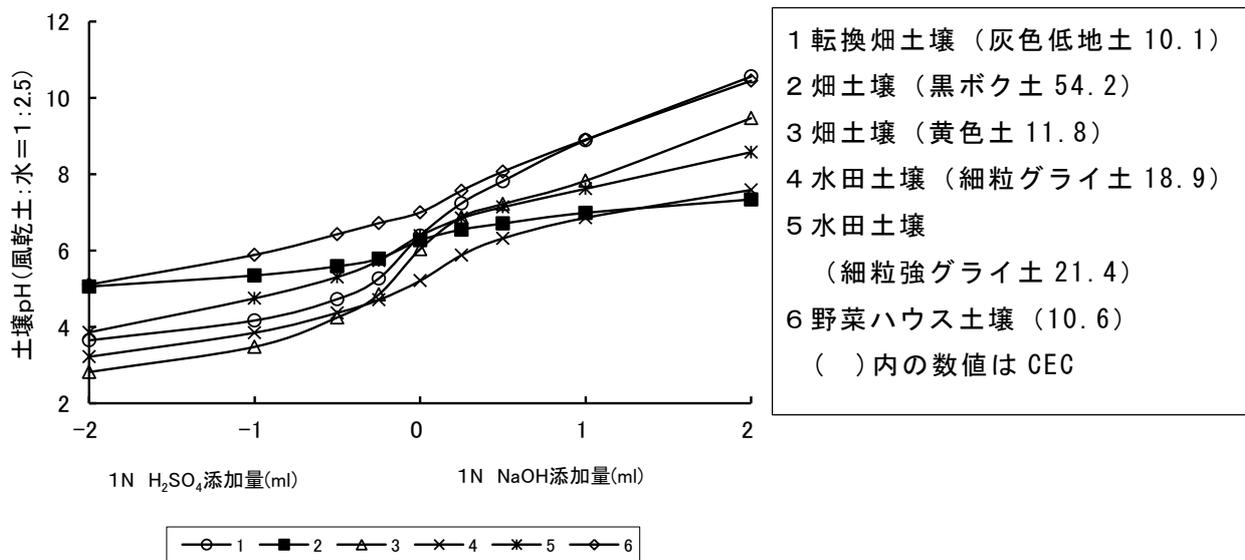


図 4-2-3 各種土壤に酸、アルカリを添加したときの pH の変化
(岡山県農林水産総合センター)

(3) 緩衝曲線の作成方法

土壌が酸性あるいはアルカリ性の場合に、適正 pH に矯正するのに必要な資材量を明らかにする必要がある。土壌は緩衝能を持ち、資材施用量と土壌 pH の変化程度は土壌によって異なるため、土壌ごとに緩衝曲線を作成する必要がある。そして、この緩衝曲線から資材施用量を算出する。

1) 中和石灰量の算出方法（酸性硫酸塩土壌を除く酸性土壌）

酸性土壌の改良に必要な中和石灰量を算出する場合、炭酸カルシウム (CaCO₃) を用いて緩衝曲線を作成する。

ア. 器具 100ml 容ポリビン、振とう機、エアーポンプ、細口ガラス管

イ. 試薬 炭酸カルシウム (CaCO₃)

ウ. 操作

(ア) 6 個の 100ml 容ポリビンにそれぞれ風乾土 20 g を採取し、炭酸カルシウム粉末を添加する。

(イ) 添加量は 0、20、50、100、200、400 mg の 6 区分とし、必要に応じて適宜追加する（黒ボク土壌では 0～500 mg の 7 区分とする）。

(ウ) 脱塩水 50ml を加え、よく混ぜてから常温で 24 時間静置したのち 5 時間振とうする。

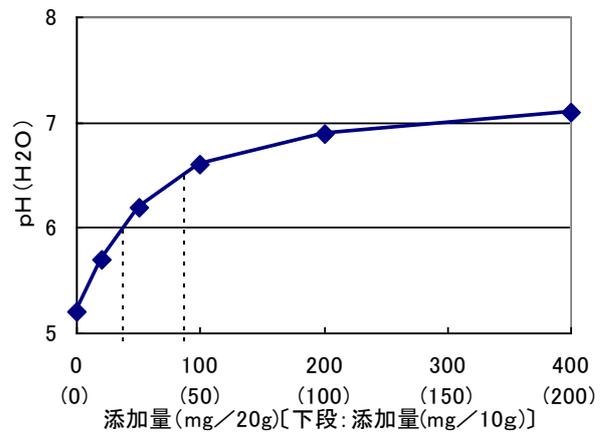


図 4-2-4 緩衝曲線の作成例

(エ) 細口のガラス管を通じてエアーポンプなどにより毎分 2 L の割合で 2 分間空気を土壌懸濁液に吹き込み過剰の二酸化炭素を追い出す。

(オ) 通気後直ちに土壌懸濁液の pH を測定し、緩衝曲線を作成する。

(カ) 作図した緩衝曲線から目的の pH まで改良するために、必要な炭酸カルシウム量（風乾土 10 g 当たり mg）を読みとる。

エ. 中和石灰量の計算方法

仮比重 b 、土層 d cm の土壌 pH を矯正するのに必要な 10 a 当たり炭酸カルシウム投入量は次式で計算される。

○ 必要な炭酸カルシウム量 (kg/10 a)

$$= \frac{1000 \text{ (m}^2\text{)} \times d \text{ (cm)} / 100 \times b \times 1000 \times X \text{ (mg/10g 風乾土)} \times 10^{-3} / 10}{W_s}$$

ただし、X : 土壌 10 g を目標 pH に矯正するのに必要な炭酸カルシウム量 (mg)

d : 土壌改良深 (cm)

b : 仮比重 (g/ml) 通例、近似的に 1 を代入する。

W s : 10 a 当たり深さ d cm、仮比重 b の土壌重量 (kg)

(ア) 注意事項

仮比重 b 、土層 d cmの土壌 pHを矯正するのに必要な 10 a 当たり炭酸カルシウム投入量は次式で計算される。

ア) 緩衝曲線は実際に施用する石灰質資材を用いて作成するのがよい。

イ) 改良目標 pH (H_2O) は対象作物に最も適した pHとすること。

ウ) 実際に使用する資材が炭酸カルシウムと異なる場合は、使用する資材・肥料のアルカリ分(石灰と苦土の石灰換算値との和)に応じて次式により換算することもできる。

○必要な資材量 (kg/10 a) = 必要な炭酸カルシウム量 (上記) $\times A_{CaCO_3} / A_f$

ただし、 A_{CaCO_3} : 炭酸カルシウムのアルカリ分 56%

A_f : 使用資材・肥料のアルカリ分

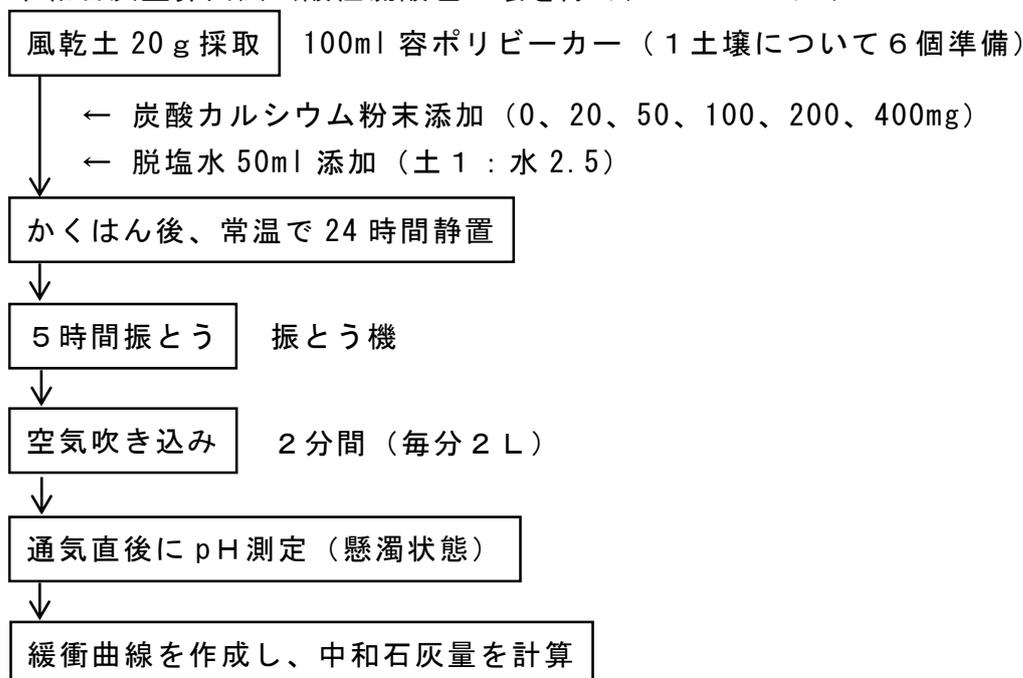
表 4-2-3 主な石灰質資材・肥料のアルカリ分

資材・肥料名	アルカリ分	資材・肥料名	アルカリ分
生石灰 CaO	100	苦土石灰	130
消石灰 $Ca(OH)_2$	132	水酸化苦土 $Mg(OH)_2$	104
炭カル $CaCO_3$	178	炭酸苦土 $MgCO_3$	130

注) アルカリ分とは石灰 (CaO) と苦土 (MgO) の石灰換算値の和である。

苦土の石灰換算 = 苦土含有量 $\times 56/40$

オ. 中和石灰量算出法 (酸性硫酸塩土壌を除く) のフローチャート



2) 酸性化資材施用量の算出方法（アルカリ性土壌）

アルカリ性土壌を改良するのに必要な酸性化資材施用量を算出する場合、硫酸鉄やピートモスを用いて緩衝曲線を作成する。

ア. 器具 100ml 容ポリビン、振とう機

イ. 試薬 硫酸鉄資材、ピートモス

ウ. 操作

(ア) 6個の100ml容ポリビンにそれぞれ風乾土20gを採取し、資材を添加する。

(イ) 添加量は0、10、20、50、100、200 mgの6区分とし、必要に応じて適宜追加する。ピートモスでは0、100、200、300、500、1000 mgの6区分とする。

(ウ) 脱塩水50mlを加え、よく混ぜてから常温で24時間静置した後、5時間振とうする。

(エ) 土壌懸濁液のpHを測定し、緩衝曲線を作成する。

(カ) 作図した緩衝曲線から目的のpHまで改良するために、必要な資材量（風乾土10g当たりmg）を読みとる。

エ. 酸性化資材施用量の計算方法

前項の計算方法を参照。

オ. 注意事項

(ア) 緩衝曲線は実際に施用する資材を用いて作成する。

(イ) ピートモスはpH矯正していないものを用いる。

カ. 酸性化資材施用量の算出法（アルカリ性土壌）のフローチャート

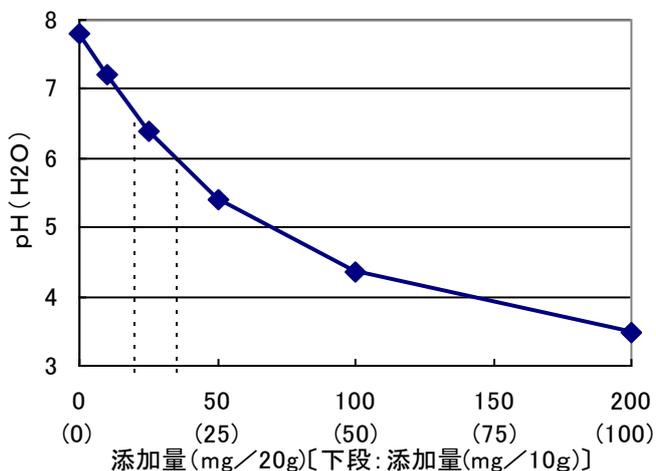
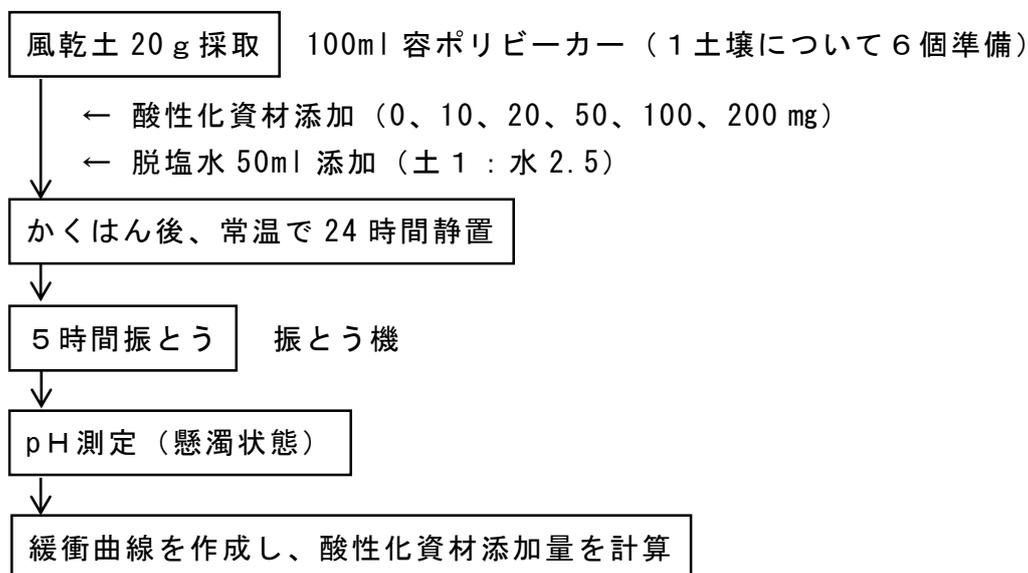


図 4 - 2 - 5 緩衝曲線の作成例

3) 硫黄華施用量の算出方法（アルカリ性土壌：培養法）

アルカリ性土壌を改良するのに必要な硫黄華施用量を算出する場合、培養法によって微生物反応終了後、pHを測定して緩衝曲線を作成する。

ア. 器具

100ml 容ポリビン、振とう機、50～100ml 容メスシリンダー、筋目ロート

イ. 試薬

硫黄華

ウ. 操作

（ア）最大容水量の簡易測定

- ①風乾土を 100℃で 5 時間乾燥した乾土 20 g を準備する。
- ②100ml のメスシリンダーに筋目のあるロートを乗せる。
- ③直径約 110 mm のろ紙（No. 2）を置き、ろ紙中に乾土 20 g を入れる。
- ④土壌表面から 20ml の水を静かに注ぎ、ろ液の滴下終了を確認する。
- ⑤別に土を加えない空試験を行ってろ紙による吸水量を求めておき、メスシリンダーへの滴下水量から求めた土壌に保持された水量を最大容水量とする。

（イ）培養方法

- ①6 個の 100ml 容ポリビンにそれぞれ風乾土 20 g を採取しする。
- ②土壌水分が適湿（最大容水量の 50%）になるように脱塩水を添加して調節する。
- ③硫黄華粉末を添加する。添加量は 0、5、15、30、50、100 mg の 6 区分とし、必要に応じて適宜追加する。
- ④ポリエチレンフィルム（厚さ 0.02mm）と輪ゴムで覆いをする。
- ⑤全体の重量を測定後、30℃で 4 週間保温静置する。培養中、わずかではあるが水分が蒸発するので、2 週間目に全体の重量を測定し、必要があれば蒸発した水分を補給する。

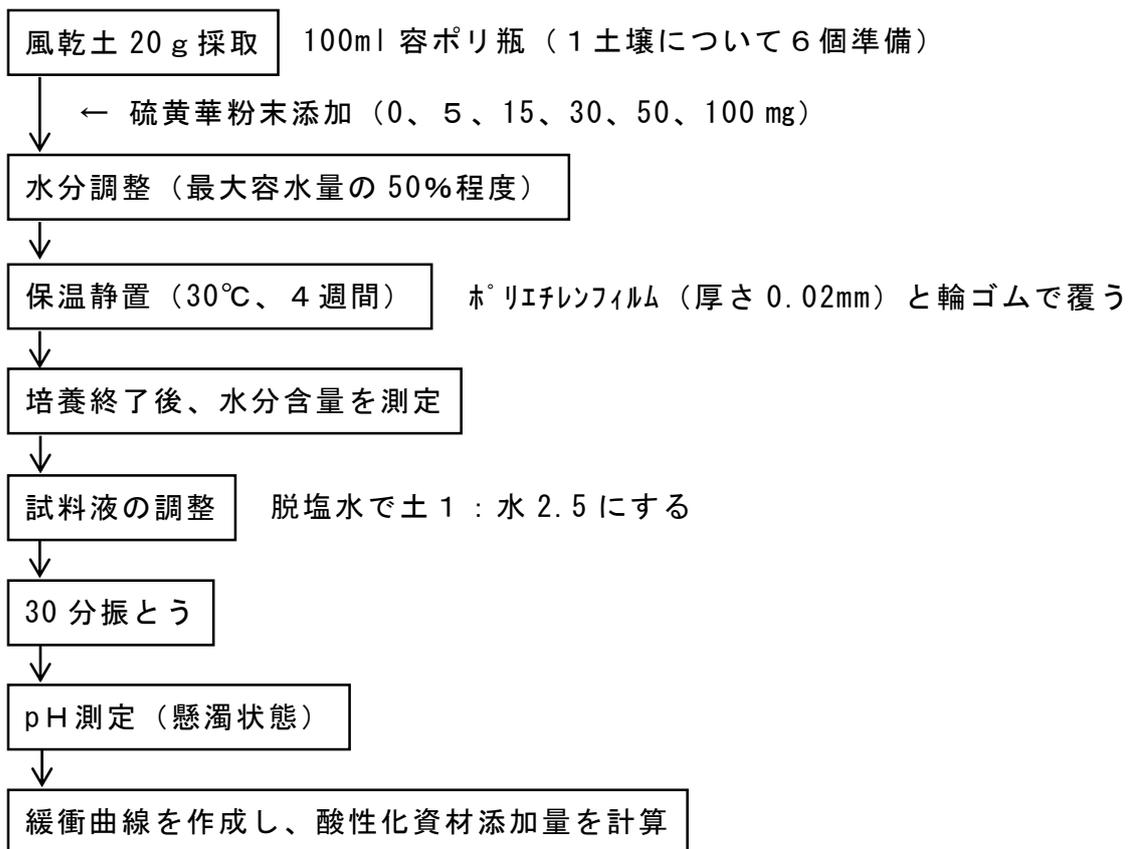
（ウ）試料液の調整と pH の測定

- ①インキュベーション終了後、全体の重量を測定し水分量を求める。
- ②乾土 1 に対して脱塩水が 2.5 になるように加水し、30 分間振とうする。
- ③土壌懸濁液の pH を測定し図 4-2-5 のような緩衝曲線を作成する。
- ④作図した緩衝曲線から目的 pH に改良するのに、必要な硫黄華量（風乾土 10 g 当たり mg）を読みとる。

エ. 硫黄華施用量の計算方法

前々項の計算方法を参照。

オ. 硫黄華施用量の算出法（アルカリ性土壌：培養法）のフローチャート



4) pH (H₂O) 値から簡易的に中和石灰量を求める方法

それぞれの土壌について緩衝能曲線を作成して中和石灰量を求めることが理想であるが、作成に時間と労力を要するため、アレニウスが作成した酸性矯正のための中和炭カル施用量（表4-2-4）が目安に出来る。ただし、この表はあくまで目安であって、絶対的なものではない。

表4-2-4 アレニウス表による酸性矯正炭カル施用量(kg/10a)

土性	腐植	pH4.0	pH4.2	pH4.4	pH4.6	pH4.8	pH5.0	pH5.2	pH5.4	pH5.6	pH5.8	pH6.0	pH6.2	pH6.4
砂壤土	含む	424	390	356	323	289	255	221	188	154	120	86	53	15
	含む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26
	すこぶる含む	986	908	829	750	671	593	514	435	356	278	199	120	41
壤土	含む	634	581	533	480	431	379	330	278	229	176	128	75	26
	含む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34
	すこぶる含む	1268	1166	1065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
埴壤土	含む	844	776	709	641	574	506	439	371	304	236	169	101	34
	含む	1054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41
	すこぶる含む	1549	1425	1301	1178	1054	930	806	683	559	435	315	188	64
埴土	含む	1054	971	885	803	716	634	548	465	379	296	210	128	41
	含む	1268	1166	1065	964	863	761	660	559	458	356	255	154	53
	すこぶる含む	1830	1684	1538	1391	1245	1099	953	806	660	514	368	221	75
腐植土		2063	1898	1733	1568	1403	1238	1073	908	743	570	413	248	83

注1) 矯正目標6.5、10a、深さ10cm当たり

注2) 火山灰土の場合は比重が軽いので、この量より30%程度削減した方がよい。

5) 各種肥料・土壌改良資材を施用したときのpHとECの変化

各種肥料や土壌改良資材を通常量施用したときの、土壌の種類別pH、ECの変化を表4-2-5、6に示した。なお、本指標は土壌に肥料及び改良資材と水を加え、24時間放置後に5時間振とうしてpHとECを測定し作成した。このため、溶解度の低い資材は実際の圃場では時間の経過で更に変化する場合がある。

表4-2-5 各種肥料・土壌改良資材を施用したときの

土壌の種類別pH、ECの変化（岡山県農林水産総合センター）

資材名	黄色土		赤色土		グライ土		資材名	黄色土		赤色土		グライ土	
	pH	EC	pH	EC	pH	EC		pH	EC	pH	EC	pH	EC
粒状過リン酸石灰	3	1	3	1	3	1	ミネラルG	1	3	2	3	2	3
紛状過リン酸石灰	3	1	2	1	3	1	酸化肥鉄	1	3	2	3	1	3
34%粒状重過石	3	3	2	2			炭カル	1	2	2	3	1	2
苦土過リン酸	3	2	2	3	2	3	消石灰	1	2	1	3	1	2
苦土重焼リン	2	3	2	3	2	3	生石灰	1	2	1	3	1	3
BM苦土重焼リン	2	3	2	3	2	3	マグカル	1	3	2	3	1	3
リンスター	2	3	2	3	2	3	アヅミン苦土石灰	1	3	2	3	1	3
BMリンスター	2	3	2	3	2	3	ニッカ	1	2	1	3	1	3
腐植リン	2	3	2	3	2	3	セルカ	1	2	2	2	1	2
BM溶リン	2	3	2	3	2	3	水酸化マグネシウム	1	2	1	3	1	3
溶リン	2	3	2	3	2	3	硫酸マグネシウム	2	1	2	1	3	1
塩化加里	3	1	2	2	2	2	アヅミン	2	3	2	3	2	3
硫酸加里	2	2	2	3	2	2	粒状みつかね	2	3	2	3	2	3
ケイ酸加里	2	3	2	3	2	3	FTE	2	3	2	3	2	3
ケイカル	2	3	2	3	2	3	ボロンセブン	2	3	2	3	2	3
パワーセブン	1	3	2	3	1	3	カルエクス	2	2	2	2	2	2
ミネカル	1	3	2	3	1	3	ケミカルン	3	2	2	2	2	2

通常の施用量で

pHが0.3以上上昇した資材を	1
pHがほとんど変化しなかった資材を	2
pHが0.3以上低下した資材を	3

通常の施用量で

ECが0.2以上上昇した資材を	1
ECが0.1~0.2上昇した資材を	2
ECがほとんど変化しなかった資材を	3

表 4-2-6 各種肥料・土壌改良資材を施用したときの
土壌の種類別 pH、EC の変化（岡山県農林水産総合センター）

資材名	黒ボク土		黄色土		灰色低地土	
	pH	EC	pH	EC	pH	EC
とれ太郎	2	3	1	3	1	3
ニューエコマグ	2	3	1	2	1	3
マルチサポート 2号	3	2	3	1	3	1
ミネカル	2	3	1	2	1	3
ミネラルG	2	3	1	3	1	3
ミネGスーパー	1	3	1	2	1	2
ケイ酸加里	2	3	1	3	2	3
粒状ケイカル	2	3	1	3	1	3
スーパーインエルギー	2	3	2	3	2	3

表 4-2-5 で用いた元の土壌の pH、EC (dS/m) は黄色土 pH5.95、EC0.05、グライ土 pH6.98、EC0.18、赤色土 pH7.18、EC0.25 である。

表 4-2-6 で用いた元の土壌の pH、EC (dS/m) は黒ボク土 pH5.08、EC0.04、黄色土 pH5.70、EC0.05、灰色低地土 pH5.94、EC0.05 である。

一方で、土壌 pH の低下資材について、その効果はピートモスに比べ、イオウ華やフェロサンドで大きい。しかし、イオウ華やフェロサンドは同時に EC も上昇するため施用には注意を要する。また、矯正する土壌の塩基飽和度が 150% を超えると資材による矯正効果が発揮されない場合が多い。各種資材を利用するときの注意点を下記に示す。

ア. イオウ華

イオウ華は土壌中の微生物の作用により硫酸となつてはじめて酸性化効果が現われる。そのため、夏期の高温期間には急速に効果が発現するが、微生物の活性が低下する冬期にはその効果はほとんど期待できない。

イ. フェロサンド

フェロサンドは硫酸第一鉄を主成分とした酸性物質で、水溶性のマンガン、鉄を含むため、土壌 pH を低下させると共に、交換性マンガン及び可給態鉄の補給効果が認められる。ただし、施用に伴う EC の上昇と可給態リン酸の減少に注意する必要がある。

ウ. ピートモス

ピートモスは有機酸を含むため本来酸性を示すが、市販品には石灰を添加し中性のものがある。このため、pH 低下のためには石灰無添加のものを利用する。また、ピートモスは陽イオン交換容量が大きいために塩基類の過剰を緩和することにより土壌 pH を下げる作用がある。しかし、他の資材に比べて多量施用が必要なことから大面積の改良には向かないが、保肥力・保水力を向上させるなど土づくり効果もある。

図4-2-6にイオウ華、フェロサンド、ピートモスを各種土壤に施用したときの、土壤pHとECの変化の例を示した。

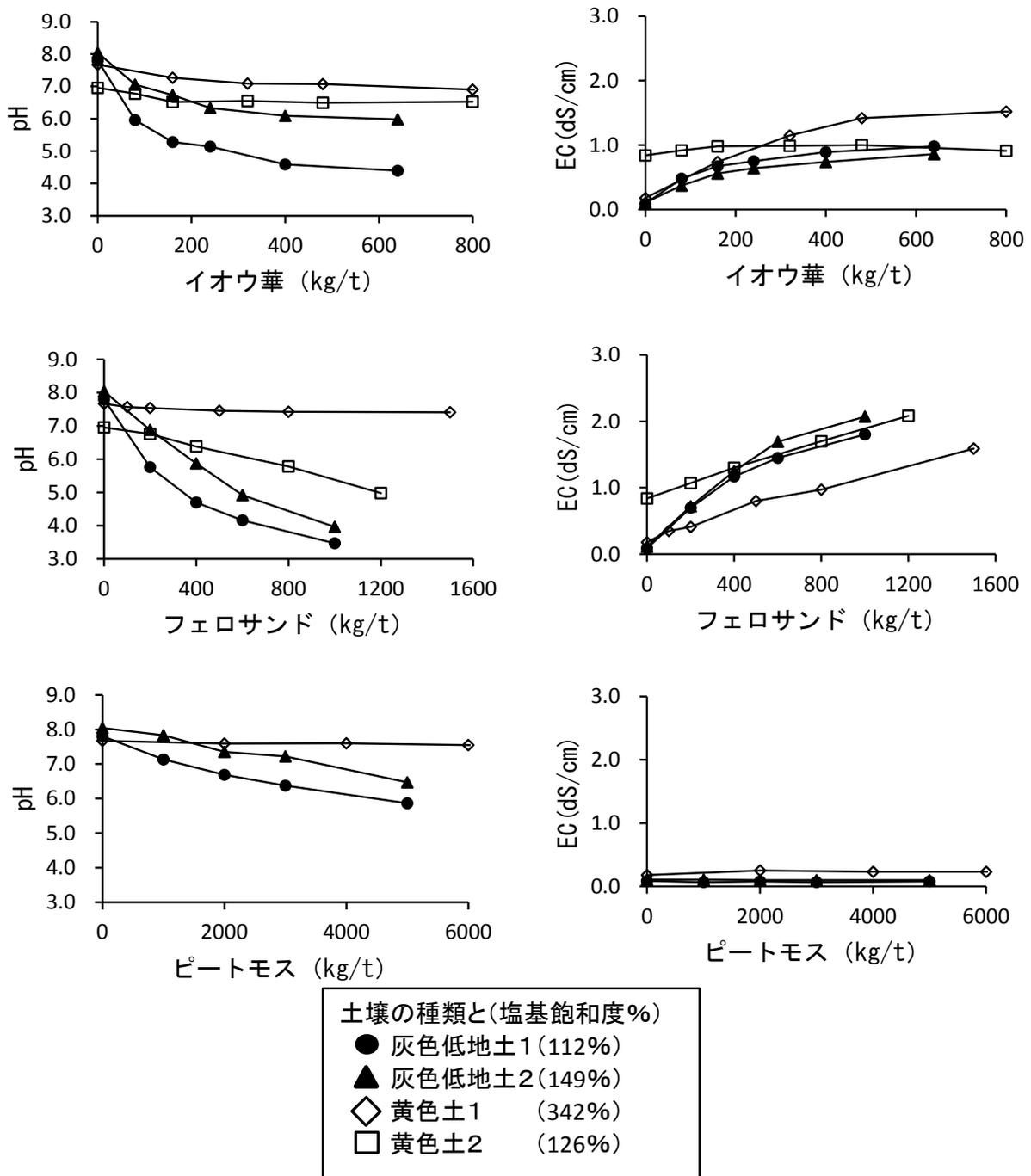


図4-2-6 イオウ華、フェロサンド、ピートモスを各種土壤に施用したときの、土壤pHとECの変化例（岡山県農林水産総合センター）

(4) 陽イオン交換容量 (CEC : Cation Exchange Capacity)

CECは土壌が石灰やカリなどの陽イオン（後述）を吸着保持する能力の大きさを示すもので、大部分は粘土や腐植といった土壌コロイドが関係している。一般に粘土質土壌や腐植質土壌ではCECは大きく、逆に砂質土壌では小さい。また、火山灰土壌ではCECが大きい塩基類の吸着力は弱い傾向がみられる（表4-2-7）。単位は乾土100g当たりのミリグラム当量（meq）で示す。

1) 改良目標

CECは基本的に土壌固有の特性としての意味合いが強く、その増強には堆肥連用などによる腐植の集積により効果が現れるものである。CECが大きい土壌はpH変化の緩衝能が高く、保肥力が強い。そのため施肥管理が容易であるが、一部の果樹や果菜類では開花、結実期に肥料を切る必要があり、この場合CECの大きい土壌では逆に施肥管理が困難となるため、注意が必要である（表4-2-7）。

地力増進基本指針（2008年）にはCECの改善目標が土壌の種類別に示されており、砂壤質土では10meq/100g、火山灰土では15meq/100g、非火山灰土の粘質土では12meq/100gをCECの改善目標値の下限として設定している。

表4-2-7 土壌の種類とCECの代表値

土壌の種類	CEC (meq/100g)
砂丘未熟土	3~10
淡色黒ぼく土	15~25
腐植質黒ぼく土	20~30
多腐植質黒ぼく土	30~40
褐色森林土	10~25
黄色土	10~15
赤色土	15~30
灰色台地土	15~25
灰色低地土	15~25
褐色低地土	15~30
黒泥土	20~35
多湿黒ぼく土	30~40

（土壌診断の方法と活用、1996）

2) 改良方法

ア. 土壌改良資材・客土

ゼオライト、ベントナイトあるいは赤土を漏水田に投入する（表4-2-8）。ゼオライトは保肥力の増加と酸性の中和、ベントナイトは漏水防止と保肥力の増加、赤土客土は漏水防止と鉄分補給および保肥力の増加により増収効果が得られたものと考えられる。

表4-2-8 漏水田におけるゼオライト、ベントナイト、赤土投入効果（宮城農試）

試験区名	水稻玄米収量比					備考
	1960	1961	1962	1963	平均	
無処理	100	100	100	100	100	各資材は初年度のみ施用
ゼオライト 0.6t/10a	118	104	102	101	106	土壌: 黒ボク土混入漏水田 粘土含量1%以下
ゼオライト 1.2t/10a	121	112	109	106	112	
ゼオライト 1.8t/10a	125	111	110	116	116	
ベントナイト 1t/10a	114	107	96	97	107	
ベントナイト 2t/10a	122	110	99	109	110	
赤土客土 4t/10a	110	117	106	117	113	
無処理区収量(kg/10a)	425	432	478	421	439	

イ. 有効土層の拡大と有機物施用

堆肥など有機物にはCECを高める成分が含まれており、継続的な施用と土壌混和による有効土層の拡大により、保肥力を高めることが望ましい。腐植含量を高めることでCECが向上することが示されている(図4-2-7)。腐植は有機物であるため徐々に微生物分解するので継続的な施用が必要である。

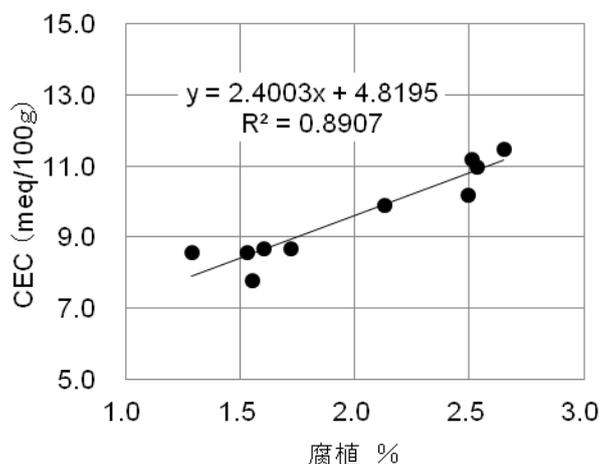


図4-2-7 CECと腐植の関係(小河ら、2004)

(5) 交換性塩基

1) 石灰(CaO)

石灰は土壌の物理性(粘土粒子の分散)、土壌の反応(pH)、他の無機成分の有効度にも関係がある。土壌中の石灰量の多少は土壌の肥よく度にも関係し、多いものは肥よく度も高い。粘土含量が少ない土壌では、陽イオン交換容量が小さいので石灰含量も少ない。土壌からの石灰の年間の損失量は水田で35 kg程度、畑で6.8 kg/10 aといわれる。

作物で石灰欠乏症が発生した場合、土壌中の石灰不足のほかに三要素(窒素、リン酸、カリ)の過剰施肥、または苦土の過剰などによる作物の石灰吸収率の低下が原因となっている場合が多い。このため、他の塩基成分とのバランスを保つことが重要である。

石灰質肥料(炭酸カルシウム、苦土石灰等)の施用にあたっては、土壌pHの矯正を主目的に行い、土壌とよく混和する。ただし、比較的溶脱しにくいいため、過剰な連用は土壌のアルカリ化、窒素や腐植の分解促進、微量元素の不可給態化などによる欠乏症を生じることがある。なお、海成土などのナトリウム含量の多い土壌ではpHが高くても石灰は少ない場合がある。

2) 苦土(MgO)

土壌中の苦土含量は、蛇紋岩、滑石、輝石などに多く含まれ、一般的な栽培土壌では乾土100 g当たり15~40mg含まれており欠乏することは少ないが、過度の酸性土壌、石灰、カリ、リン酸の多施用土壌では欠乏症状が発生することがある。また老朽化水田でも発生することがある。

マグネシウムは作物の葉緑素の構成成分であるとともに生体反応を維持する酵素の活性を補う役割を担っている。欠乏すると作物は下葉から葉が黄化する。ブドウではトラ

葉と呼ばれる欠乏症を生じることから欠乏させないことが重要である。

代表的な苦土質肥料としては硫酸苦土、水酸化苦土（水マグ）がある。硫酸苦土は生理的酸性肥料であるため pH の高い土壌、水マグはアルカリ性肥料であるため、酸性土壌の改良時の施用に適している。苦土質肥料を過剰に施用すると石灰の吸収を防げるので、土壌 100 g 当たり 25～30 mg（25～30 kg/10 a）程度とする。施用に際しては、石灰、カリとの吸収拮抗があるので土壌中の石灰、カリとの比率を正しく管理する必要がある。

3) カリ（ K_2O ）

土壌中でカリは雲母類、長石類、角閃石類などに多く含まれている。土壌中のカリ含量は土壌の母材、鉱物組成、気象条件、耕作管理方法等で大きく異なり、特に降雨や灌水により溶脱しやすい。このため土壌診断により土壌中の存在量を確認して、適正値を保つよう管理する必要がある。過剰症は発生しにくい、欠乏した場合には古い葉の葉縁部での白化などが主な症状である。作物内では生体触媒や物質の化学的移動に関与している。

主なカリ肥料は硫酸カリと塩化カリであるが、有機物や堆肥等に多く含まれているので、これらを積極的に利用したい。水溶性のため溶脱しやすいので、少量を数回に分けて追肥したり、土壌に十分混和したりすることが望ましい。土壌中の交換性カリの存在量は作物が吸収するカリウム量と高い相関が認められている。

4) 塩基飽和度

一般的な塩基飽和度の改良目標値は、水田・畑・樹園地を問わず、黒ボク土では60～90%、それ以外の土壌では70～90%である。しかし、CECが低い砂丘未熟土などの場合、塩基類の絶対量が不足するため、塩基飽和度は常に100%を保つように追肥で補う必要がある、一般にCECが低くなるほど飽和度を高く保つような施肥管理が作物の生育には望ましい(図4-2-8)。

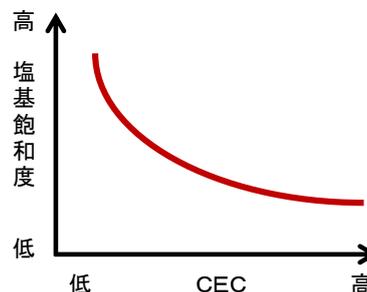


図4-2-8 CECと適正塩基飽和度の概念図

5) 塩基飽和度とpH、塩基飽和度の関係

植物は養分として陽イオンを吸収する際に水素イオンが放出する。このため、土壌中の塩基は減少してpHは低下する傾向にある。このため土壌分析でpHと塩基飽和度には正の相関が見られる。(図4-2-9)。

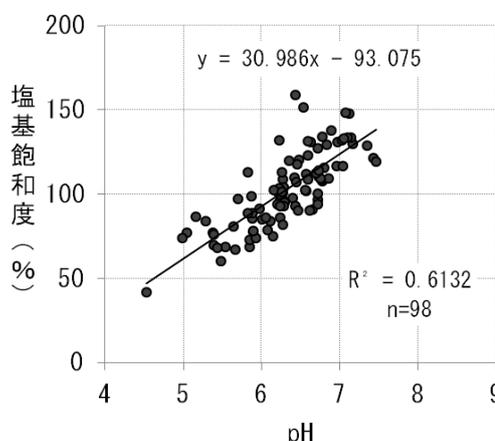


図4-2-9 ピオーネ簡易被覆栽培におけるpHと塩基飽和度の関係

(岡山県農林水産総合センター)

6) 塩基バランスと改良

土壌診断においては石灰・苦土・カリの含有量だけでなく、そのバランスも大切である。塩基間のバランスは、土壌や作物の種類により若干の違いはあるものの、石灰と苦土の当量比(Ca/Mg)で2～8、苦土とカリの当量比(Mg/K)で2～6が望ましいとされる。

一般に適正なpHが保たれば塩基類のバランスは良好に保たれる場合が多いものの、過度に塩基飽和度を超過した場合やバランスが大きく崩れた場合、過剰な元素が他の元素植物への吸収を阻害する作用(拮抗作用)や互いに移動や吸収を助ける作用(相乗作用)が知られている。

塩基バランスが大きく崩れた場合、まず過剰な塩基の施用を中止する。土壌への吸着性が低

拮抗作用	カリ過剰	⇒ 石灰、苦土の吸収が抑制される
	石灰過剰	⇒ 土壌pH上昇によりモリブデン以外の微量元素の不溶化(吸収抑制)
相乗作用	カリ、窒素	⇒ マンガンの吸収・移動を助ける
	リン酸	⇔ 苦土の吸収・移動を互いに助ける

図4-2-10 養分の拮抗・相乗作用

い塩類では除塩によりバランスを取る。最終的に不足する塩類がある場合にはそれを施肥や土づくりにより補充する順でバランスを取ることが重要である。

(6) リン酸

施肥したリン酸の多くは土壌中のカルシウム、鉄、アルミニウムと結合して不溶化する。このようなリン酸の不溶化は黒ボク土で顕著である。このため黒ボク土が広く分布する日本では土壌のリン酸肥沃度は元々低かった。しかし、現在では長年継続してきた土壌改良の結果、県内では黒ボク土を含め、リン酸が不足する圃場はほとんど無い。一方、畑や施設を中心にリン酸が過剰に蓄積している圃場が多く認められ、その原因は慣行的なリン酸資材の施用のほか、家畜ふん堆肥等の多投入にあると考えられている。その結果、一部の圃場ではリン酸過剰と考えられる障害が発生するようになった。

リン酸肥料の原料は全て輸入で、世界的にも限られた資源のため合理的利用が望まれる。また、土壌中の水溶性リン酸が増加すると圃場から流出しやすくなり、河川や湖沼の水質汚濁の原因になるため、必要最小限の施用による効果的な利用が求められている。

1) 土壌中のリン酸含量の実態

ア. 水田

地力増進基本指針では、水田土壌の可給態リン酸含量は乾土 100 g 当たり P_2O_5 として 10mg 以上と定められている。2011 年に調査した県内全域の水田 50 圃場のリン酸含量は、乾土 100g 当たり 10mg 未満の水田が 6%、10~20mg が 34%、20mg 以上が 60%であり、ほとんどの水田で指針値を上回っており、リン酸の減肥が可能と判断された(図 4-2-11)。また、一般的にリン酸が欠乏しやすいと言われている黒ボク土地帯でも指針値以上のリン酸含量となっていた。

なお、水稻栽培における具体的なリン酸の減肥指針については第 9 章に示した。

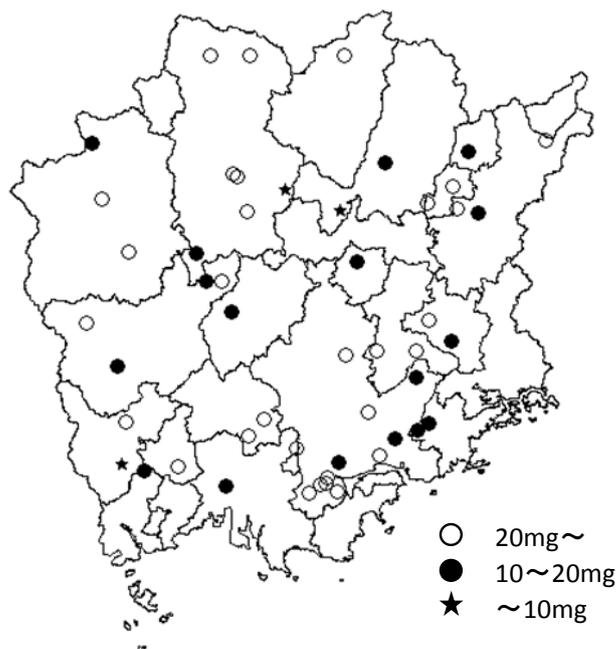


図 4-2-11 県内水田土壌の可給態リン酸含有量
(P_2O_5 mg/100g、岡山県農林水産総合センター)

イ. 畑・樹園地

地力増進基本指針では、畑土壌の可給態リン酸含量は乾土 100 g 当たり P_2O_5 として 10mg 以上 75mg 以下（黒ボク土は 100mg 以下）、樹園地では 10mg 以上 30mg 以下と定められている。

2008～2012 年に実施した県内の野菜畑 198 圃場の調査結果では、73%の圃場で可給態リン酸が過剰となっており、不足する圃場はわずか 4%であった。同じく樹園地 172 圃場の調査では 48%で過剰、不足は 3%であった。このことから、畑・樹園地ではリン酸は過剰対策が必要である。

リン酸過剰害の一例として、県内のキュウリ産地で行った土壌分析結果では、大半の圃場でリン酸が適正値を超えており、一部の圃場ではリン酸過剰障害と見られる葉の白斑症状や葉脈間の黄化症状が見られた（図 4-2-12）。障害発生葉のリン酸含量は未発生葉より高く、土壌中のリン酸含量は 300mg/100g を超えていた。このような圃場では鶏ふんが多量投入されていた。また、鶏ふんの高投入は土壌 pH を高め、微量元素の欠乏を助長することがあるため注意を要する。

なお、夏播きキャベツにおけるリン酸減肥基準の具体例について第 9 章に示した。

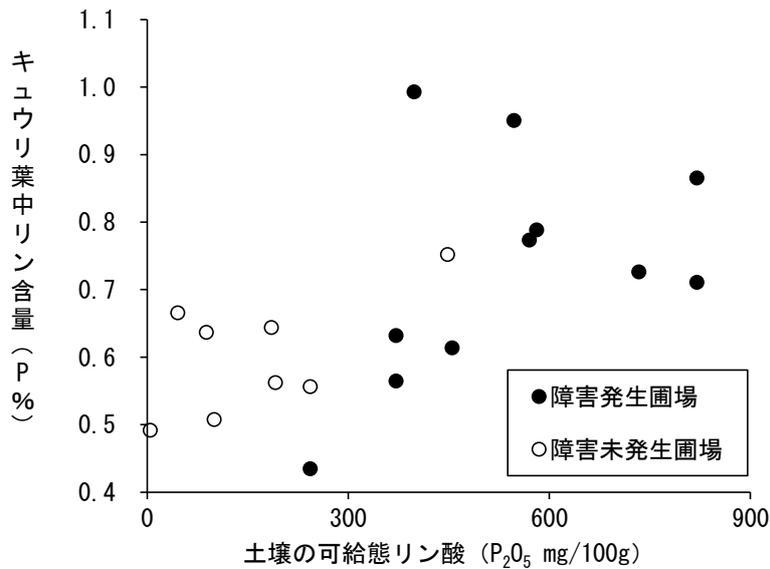


図 4-2-12 土壌のリン酸含量とキュウリ葉中のリン含量の関係
(岡山県農林水産総合センター)

(9) ケイ酸

1) ケイ酸の効果

ケイ酸は水稻による吸収量が多く、以下に示すように耐倒伏性、病虫害抵抗性、根腐れ抵抗性などを高めることによって水稻の健全な生育に役立っている有用元素である。しかし、最近ではケイ酸資材の投入量の減少や農業用水中ケイ酸濃度の低下によって、水田へのケイ酸供給量は減少している。特に、粗粒質の沖積土壌水田はケイ酸供給力が低いとされており、土壌診断によってケイ酸補給が必要な水田を明らかにし、適正量を施用する指導が必要となる。

- ① 維管束が太くなり耐倒伏性が向上する。
- ② 珪化細胞が形成されて病虫害抵抗性が向上する。
- ③ 葉が直立して受光態勢が良くなる。
- ④ 根の酸化力が高まり根腐れが軽減される。
- ⑤ 上記の総合的な効果として、玄米収量の増加と米の品質向上

2) 土壌ケイ酸の評価法

土壌中のケイ酸の評価には様々な方法があるが、これまでの酢酸緩衝液抽出法はケイ酸資材が投入された土壌のケイ酸供給力を過大に評価するという問題があった。そこで、新しい評価法としてリン酸緩衝液抽出法や湛水保温静置法が考案されている。岡山県の普及指導センターで採用しているのは湛水保温静置法である。

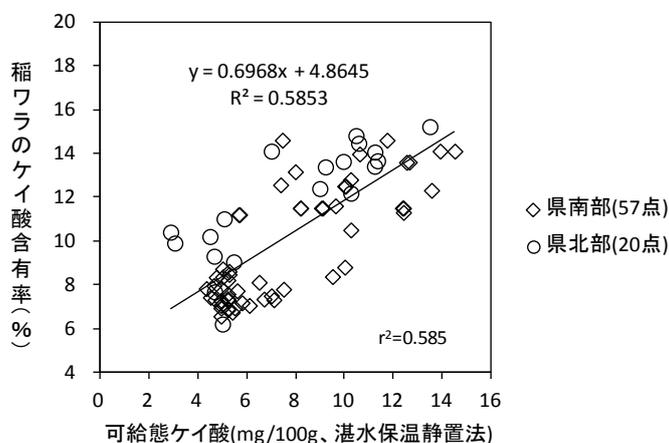


図 4-2-13 土壌の可給態ケイ酸含量と稲わらのケイ酸含有率

- 1) 可給態ケイ酸は湛水保温静置法による
- 2) 稲わらは成熟期に採取
- 3) 岡山県農林水産総合センター (2005年)

水稻が健全に生育するためには成熟期の稲わらのケイ酸含有率が 11%以上あることが望ましく、そのための土壌の可給態ケイ酸含量の目標値は、pH6.2 リン酸緩衝液抽出法では約 25mg/100g 以上、湛水保温静置法では約 12mg/100g 以上である。

3) ケイ酸の施用量と施用法

水稻のケイ酸吸収量は玄米収量 100kg に対して約 20kg といわれており、玄米収量 600kg の水稻では約 120kg のケイ酸が吸収されることになる。このケイ酸量はケイカル 400kg/10 a に相当するが、実際には灌がい水や水田に毎年還元される稲わらからの供給量もかなりあるので、一般的な施用量は 120~200kg/10 a でよい。

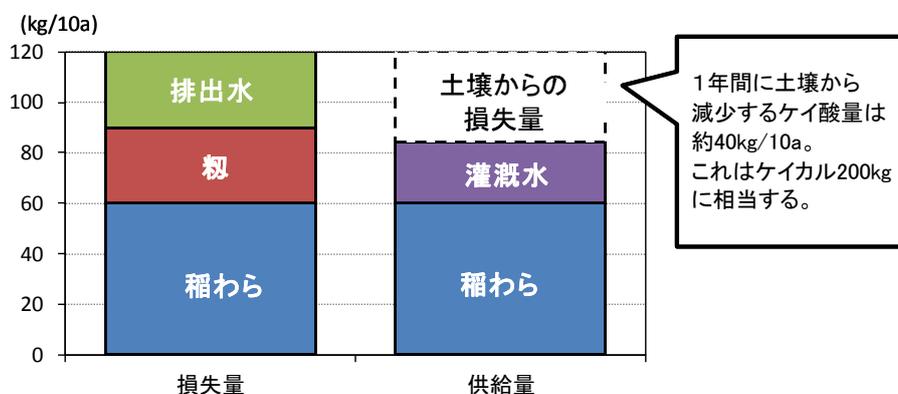


図 4-2-14 水田におけるケイ酸の収支

水稻の吸収量	稲わら	60kg/10a (乾物 600kg、SiO ₂ 10%)
	稲	30kg/10a (乾物 600kg、SiO ₂ 5%)
排出水 (溶脱量)		30kg/10a
灌がい水 (自然供給量)		24kg/10a (1500 t /10a、SiO ₂ 16mg/L)

ケイ酸資材は、稲わらと一緒にすき込むと稲わらの腐熟が促進される効果があることから、労力配分の観点からも秋から冬にすき込むのがよい。

4) ケイ酸資材の特徴

近年、ケイ酸の溶解度が高い資材が開発されており、従来のケイ酸資材に比べて少量で同様の効果が得られるとの報告もある。

ア. 鉱さいケイ酸肥料 (ケイカル)

ケイ酸の他に鉄、マンガンを含むため、老朽化水田における改良効果が高い肥料である。また、アルカリ性で酸性矯正効果も期待できることから、稲麦二毛作水田の酸性対策にも利用したい資材である。

イ. 軽量気泡コンクリート粉末肥料

建築用壁材の粉末を肥料としたもので、可溶性ケイ酸の割合が高く水稻の吸収利用率が高いこと、強アルカリ性であることから、標準施用量は 60~120kg/10 a である。

ウ. シリカゲル肥料

シリカゲル乾燥剤を肥料として使用するもので、可溶性ケイ酸を 80%以上含みアルカリ分を含まないため、育苗箱に施用して苗質を高めたり、本田へのケイ酸の流し込み施用に利用される。

(10) マンガン

マンガンの土壌の酸化・還元状態や pHによって挙動が異なることが知られている。土壌 pHがアルカリ化すると不可給化しやすく植物が吸収できなくなる。逆に土壌の酸性化、湛水や未分解有機物の多投入による還元状態、あるいは、蒸気消毒した土壌では、吸収されやすくなり、過剰障害が起こることがある。マンガンは苦土、ホウ素と同様に欠乏症状や過剰症を起こしやすく、作物の生育や果実の品質に与える影響は大きい。作物によって異なるが、植物体内の適正值の下限は 10～30mg/kg 程度と考えられている。

表 4-2-9 土壌中のマンガン欠乏が植物に及ぼす症状と対策

原因	症状	対策
・土壌のアルカリ化によるマンガンの不可給化	・植物体内での移動が遅いため、新葉など新しい組織で発生	・硫酸マンガンを溶液の葉面散布 (0.2-0.3%、10日おきに2-3回程度)
・土壌中マンガンの不足	・葉脈間が淡緑化～黄化、小斑点 ・葉の黄化 ・水稻、麦では下葉で発生する場がある ・ブドウ果実のまだら熟れ (ゴマシオ症)	・土壌pHの矯正 (酸性肥料、pH降下資材の使用) ・マンガン入り肥料の施用 ・堆肥利用による土壌緩衝作用の強化

表 4-2-10 土壌中のマンガン過剰が植物に及ぼす症状と対策

原因	症状	対策
・土壌の酸性化 (過剰吸収)	・下葉から障害が発生しやすい	・排水対策 (還元状態の解消)
・土壌の還元状態 (過剰吸収)	・葉脈の褐変化	・土壌pH矯正 (石灰質資材等の施用)
・マンガンを多く含む肥料、堆肥の過剰施用	・葉に褐色の小斑点 ・根の変色	・マンガンを含む有機物、肥料を施用しない ・堆肥施用 (緩衝作用の向上)

(11) 遊離酸化鉄

1) 水田土壌中の鉄

水田作土中の鉄は、大部分遊離状態で存在しており、土壌の酸化、還元状態の変化、温度の変化等の影響を受けて、溶けやすい酸化鉄、水和鉄となっている。

水田土壌では、硫酸イオンが微生物によって還元されて有害な硫化水素が発生し、根腐れ、養分の吸収阻害、耐病性の劣化等を引き起こす恐れがあるが、土壌中に鉄が多ければ硫化水素は硫化鉄となって不溶化し、害がでない。水稻は、鉄欠乏による障害を受けることはないが、土壌の還元によって発生する硫化水素による障害を防ぐために遊離酸化鉄（土壌中で比較的自由的な状態にある鉄）が必要である。

2) 土壌中の鉄含量の診断と改良対策

水稻に対する鉄含量の診断は、遊離酸化鉄含量を測定する。

一般に鉄の溶脱が激しい土壌は老朽化水田と呼ばれ、砂質～砂壤質で作土が浅い水田では作土の鉄含量が少ない。遊離酸化鉄含量が 0.8%以下になると硫化水素の発生量が増える。一般的には遊離酸化鉄 1.5%以上が適量とされている。遊離酸化鉄の改良目標値（表 4-2-11）は水田土壌にのみ設定されており、目標値に達しない場合は含鉄資材を荒起こし前に 200～300kg/10 a 程度施用する。

市販されている含鉄資材の成分量を表 4-2-12 に示した。転炉さいや電炉さいは、鉄の他にもケイ酸、石灰、苦土なども含んでおり、総合的な土づくり肥料としても利用できる。ケイ酸を多く含むため、土壌のケイ酸が極端に少ない場合を除いて、転炉さいに加えてケイ酸肥料を施用する必要はない。

表 4-2-11 鉄の改良目標

診断項目	砂質土	壤質～強粘質土	黒ボク土
遊離酸化鉄含量 (%)	0.8～2.0	1.0～2.0	0.8～2.0

表 4-2-12 転炉さい（含鉄資材）の成分例（単位：%）

肥料の種類	鉄	アルカリ分	苦土	ケイ酸	ホウ素	マンガン
A	13～18	40～44	2～4	17～20	0.1	—
B	23～26	40	2	10～13	—	2

3) 施用効果

水稻に対する転炉さい（含鉄資材）の施用効果を表 4-2-13, 14 に示した。

試験場所はいずれも砂質秋落水田であり、土壌の遊離酸化鉄含量、ケイ酸含量が少ない。

表 4-2-13 は毎年転炉さいを施用した結果であるが、3年目まで増収効果が認められている。表 4-2-14 は稲わらまたは堆肥に転炉さいを併用した場合の効果をみたものであるが、いずれにおいても増収効果が認められ、土壌中の遊離酸化鉄、ケイ酸が高まり、水稻のケイ酸含有率及び吸収量も増加している。

表 4-2-13 転炉さいの施用効果①（岡山県農林水産総合センター，1984～1986 年）

試験区名	1984年	1985年	1986年	平均
対照（無処理）	100	100	100	100
転炉さい300kg	111	106	116	111
転炉さい300kg+ようりん40kg	119	111	119	116
対照区玄米重（kg/10a）	465	506	502	491

- 1) 試験地：瀬戸内市（旧邑久町、砂壤土乾田）、品種：アケボノ
 2) 転炉さい、ようりんは毎年施用

表 4-2-14 転炉さいの施用効果②（島根農試，1985 年）

試験区	玄米重 (kg/10a)	同左 指数	ケイ酸含有率(%)		ケイ酸 吸収量 (kg/10a)	跡地土壌	
			もみ	わら		遊離 酸化鉄 (%)	有効態 ケイ酸 (mg/100g)
稲わら	522	100	3.2	8.8	77	0.54	9.4
稲わら+ 転炉さい300kg	545	104	4.3	9	93	0.58	11.1
堆肥	506	100	3.4	8.5	78	0.58	8.7
堆肥+ 転炉さい300kg	561	111	3.8	9.3	89	0.64	12

- 1) 試験地：出雲市上島町（砂壤土乾田）、品種：コシヒカリ
 2) 稲わら施用量：600kg/10a、堆肥施用量1,000kg/10a

4) 県内水田土壌の鉄含量

県内の実態調査結果（図 4-2-15）によると、全体の 7 割の圃場が改良目標をクリアしており、これらの圃場では直ちに硫化水素による根腐れの発生は少ないと考えられるが、鉄が溶脱しやすい砂質土壌では定期的な含鉄資材の施用が必要である。また、硫化水素の発生が増える遊離酸化鉄含量 0.8%未満の圃場が全体の 3 割を占めており、これらの圃場では健全なイネづくりのためにも含鉄資材の施用により根腐れ等の障害発生を防止する必要がある。

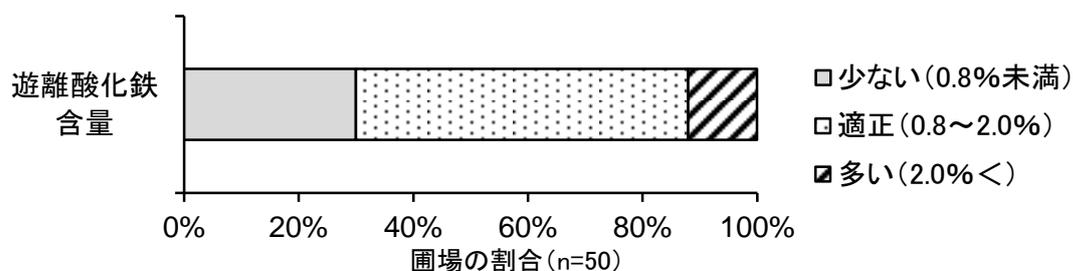


図 4-2-15 水田土壌の遊離酸化鉄含量の圃場割合
 （岡山県農林水産総合センター、2012 年）

(12) 可給態窒素

1) 土壤中の窒素の形態と可給態窒素

土壤中の窒素は、そのほとんどが有機態の状態が存在しており、そのままでは植物に吸収されにくい。微生物の働きによって次第に植物に吸収されやすい形態に変化する。この窒素を可給態窒素といい、一般的には風乾した土壌を 30℃ の条件で 4 週間培養したときに発現する（無機化する）窒素量を測定し、窒素肥沃度の指標として用いている。土壌条件等によって異なるが、可給態窒素量は全窒素量のうちの 1～8% 程度である（図 4-2-16）。

農作物の 1 作あたりに土壌から発現する窒素量を可給態窒素量から試算すると、作土の深さを 10cm、土壌の仮比重を 1 とした場合、一般には湛水状態で 10 a 当たり約 8～20kg、畑状態では約 1～9 kg 程度である。

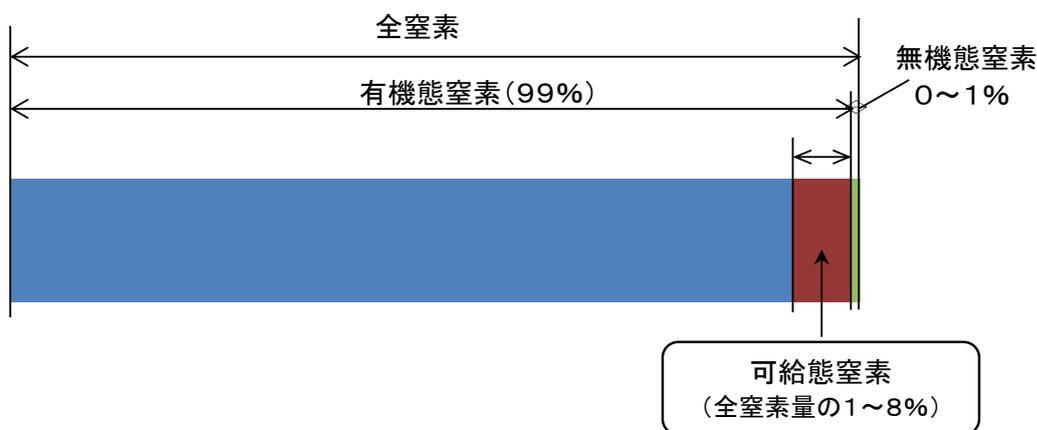


図 4-2-16 土壤中の窒素形態のイメージ

2) 可給態窒素の診断と施肥改善

可給態窒素は、風乾土壌を 30℃（水田は湛水条件、畑は土壌水分が適湿な条件）で 4 週間培養したときに生成する無機態窒素量を測定する。ただし、4 週間を要するため迅速な診断が難しい。最近、農業研究所では近赤外分光光度計を用いて短時間で測定する手法を開発し、おおまかな診断に対応できるよう運用を試行している。

診断基準は、水田と畑で改良目標値（100g 当たり mg）が設定されている。水田では 10～20mg、畑では 5～15mg 以上を改良目標としている。可給態窒素の測定自体が煩雑なため、これまで診断技術が普及していないが、近年、土壌窒素を施肥設計に反映させることが重要視され、実用化にむけた取組が進められている。

水稻栽培（食用米）における診断の目安と改善対策について表 4-2-15 にまとめた。

表 4-2-15 水稻栽培（食用米）における診断の目安と改善対策

可給態窒素量	10mg/100g未満	10～20mg	20mg以上
生育・収量への影響	窒素不足による減収の可能性が大きい	（改良目標範囲） 安定生産するには窒素成分の施肥調節が必要	窒素の過剰吸収により倒伏の危険性が大きい
改善対策	堆肥等の有機物施用、地力増強、窒素の増施		家畜ふん堆肥の施用中止、窒素減肥

また、発酵粗飼料用の水稻栽培では可給態窒素量に基づいた詳細な窒素施肥方法が示されている（表4-2-16, 17）。

表4-2-16

たちすずかの窒素施肥量(kg/10a)

		堆肥からの窒素無機化量(kg)					
		0	1	2	3	4	5
可給態窒素 (mg/100g)	8	22	21	20	19	18	17
	9	21	20	19	18	17	16
	10	20	19	18	17	16	15
	11	19	18	17	16	15	14
	12	18	17	16	15	14	13
	13	17	16	15	14	13	12
	14	16	15	14	13	12	11
	15	15	14	13	12	11	10
	16	14	13	12	11	10	9
	17	13	12	11	10	9	8
	18	12	11	10	9	8	7
	19	11	10	9	8	7	6
20	10	9	8	7	6	5	

表4-2-17

他のWCS用品種の窒素施肥量(kg/10a)

		堆肥からの窒素無機化量(kg)					
		0	1	2	3	4	5
可給態窒素 (mg/100g)	8	18	17	16	15	14	13
	9	17	16	15	14	13	12
	10	16	15	14	13	12	11
	11	15	14	13	12	11	10
	12	14	13	12	11	10	9
	13	13	12	11	10	9	8
	14	12	11	10	9	8	7
	15	11	10	9	8	7	6
	16	10	9	8	7	6	5
	17	9	8	7	6	5	4
	18	8	7	6	5	4	3
	19	7	6	5	4	3	2
20	6	5	4	3	2	1	

3) 県内の水田土壌及び野菜畑土壌における可給態窒素量の実態

県内の水田土壌（561 圃場）と野菜畑土壌（214 圃場）について、可給態窒素量の測定結果を示した（図4-2-17, 18）。水田では、改良目標範囲の圃場が全体の55%、過剰圃場が14%、不足圃場が31%であった。また、野菜畑では、改良目標を達成している圃場が全体の33%、不足圃場が53%、過剰圃場が14%であった。

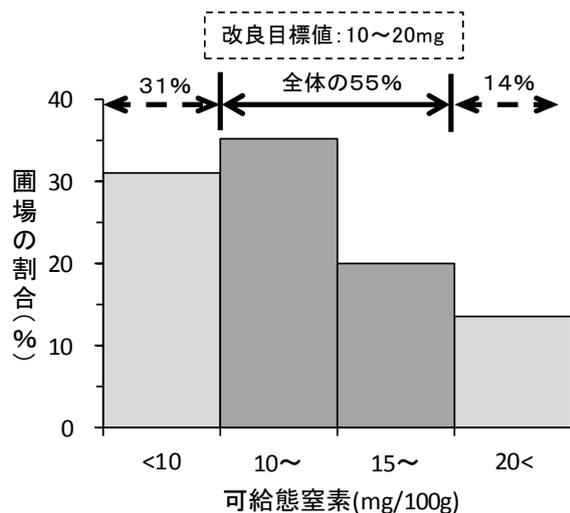


図4-2-17

水田土壌の可給態窒素量
(岡山県農林水産総合センター、
2006~2010年, n=561)

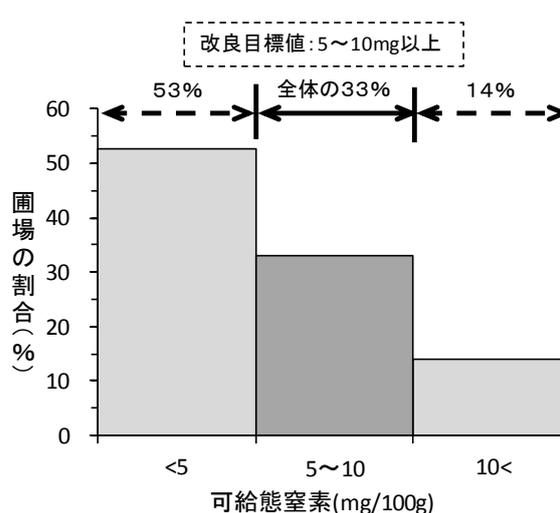


図4-2-18

野菜畑土壌の可給態窒素量
(岡山県農林水産総合センター、
2006~2010年, n=214)