

Ⅲ 土壤の改良方法

Ⅲ 土壤の改良方法

1 土壤改良方法

前項の水田や畑の農耕地土壤の改善基準を実現するための対策の概要は、表1、表2のとおりである。

表1 水田の改良対策の概要

改良要因	対策の種類	対策の概要
有効土層の深さ	客土 土壤改良	優良粘土、山土の客土 混層耕、心土破碎
表層の厚さ	深耕	15cm以上の深耕の実施
腐植 陽イオン交換容量	客土 有機物施用	優良粘土、山土の客土 堆肥等の有機物の施用
湛水透水性	排水 漏水防止	暗きよ・明きよ排水、弾丸暗きよの実施 粘土・ベントナイト・青刈すき込みの実施
ち密度	有機物施用	堆肥等の有機物の施用
塩基含量	土 づ く り 肥 料 石灰質・苦土肥料	石灰質・苦土肥料の施用
有効態リン酸含量 リン酸固定力	リン酸質肥料	リン酸質肥料、粗大有機物の施用
有効態けい酸含量	けい酸質肥料	けい酸質肥料の施用 素わらのすき込み
可給態窒素含量	有機物施用	堆肥等の有機物の施用

表2 畑の改良対策の概要

改良要因	対策の種類		対策の概要
有効土層の深さ	客土 土層改良		優良粘土、山土の客土 混層耕、心土破碎の実施
作土の厚さ	深耕		大型トラクターによる深耕
粗孔隙量 有効水分保持能	客土 有機物施用 深耕		優良粘土、山土の客土 堆肥等の有機物の施用 大型トラクターによる深耕
腐植 陽イオン交換容量	客土 有機物施用 土壌改良資材の施用		優良粘土、山土の客土 堆肥等の有機物の施用 腐植質資材、ゼオライト等の施用
塩基含量 pH 塩基飽和度	土 づ く り 肥 料	石灰質・苦土肥料	石灰質・苦土肥料の施用
有効態リン酸含量 リン酸固定力	肥 料	リン酸質肥料	リン酸質肥料、粗大有機物の施用
可給態窒素含量	有機物施用		堆肥等の有機物の施用
電気伝導度	施肥量加減		適正施肥の実施
傾斜	造成		自然傾斜の改善 テラスの造成
浸食	土壌流亡防止		テラスの造成 排水路整備 マルチの実施 防風林、防風柵、防風垣の実施

2 土壤化学性の改良

(1) pHの改良

ア 酸性土壤の改良

作物には生育に最適の土壤pHがあるので、栽培前、あるいは栽培期間中の土壤pHを最適範囲に矯正する必要がある。そのためには、土壤の緩衝曲線を求め、必要な石灰量を求めるが、この場合の必要石灰量は土壤の種類、腐植含量などによって異なってくる。表3は、各種の土性についてpHを1上げるのに必要な石灰量を示した。

表3 pHを1上げるのに必要な苦土石灰量(kg/10a)

pH (H ₂ O)	砂 土	砂壤土	壤 土	埴壤土	埴土
4.9以下	60	120	200	260	340
5.0~5.4	40	80	120	160	200
5.5~5.9	20	50	60	80	100
6.0~6.4	10	20	30	40	50
6.5以上	0	0	0	0	0

イ アルカリ性土壤の改良

施設土壤やアルカリ性頁岩土壤、石灰多施用土壤では作物の適正生育範囲を超えてpHが高い場合があり、その場合、鉄、ホウ素、マンガンなどの不溶化による欠乏障害が発生する。

土壤改良には、苦土石灰等の石灰資材の施用中止だけでなく、硫酸などの生理的酸性肥料の施用やリン酸資材に過リン酸石灰等を用いてpHを低下させる。土壤pHが高く、石灰・苦土が少ない土壤を改良する場合は、pH上昇を抑制するために、石灰資材として硫酸カルシウム、苦土資材として硫酸マグネシウム等を用いる。

積極的にpHを下げる資材には、イオウ華、硫酸がある。ただし、イオウ華は、イオウが酸化されて硫酸になるまで初夏でも2ヶ月程度かかる。また、硫酸は劇物であり、取扱いに注意が必要である。

下の表は、pHを1下げるために必要なイオウ華の1m²当たりの施用量を示した。

土壤の種類	イオウ華
埴土 (仮比重0.9)	90 g
砂土 (仮比重1.3)	42 g
泥炭土 (仮比重0.4)	600 g

ウ pH改良の目安

表4 主要な作物の好適なpH範囲

pH領域	穀類、工芸作物、牧草	野菜			花卉	花木	果樹
		葉菜	果菜	根菜			
6.5~7.5 微酸性~中性領域で生育	アルファルファ サトウキビ ビート	エンドウ ホウレンソウ			ガーベラ カスミソウ スイートピー トルコギキョウ	ハイランジア (レッド)	イチジク
6.0~6.5 微酸性領域で生育	アズキ オムギ コムギ ソルゴー ダイズ タバコ トウモロコシ ハトムギ ホワイトクローバー ライムギ レンゲ	アスパラガス ウド サニーレタス シュンキク セルリー タカナ ニラ ネギ ハクサイ パセリ ブロッコリー ミツバ ショウガ モロヘイヤ レタス	インゲン エダマメ カボチャ カンピョウ キュウリ ササゲ スイカ スイートコーン ソラマメ トウガラシ トマト ナス ピーマン メロン ラッカセイ	コンニャク サトイモ	カーネーション キク サイネリア シクラメン スイセン スターチス ストック ゼラニウム パンジー フリージア ポインセチア マダガスカル ジャスミン ユリ	バラ	ブドウ キウイ
5.5~6.5 微~弱酸性の広い領域で生育	イネ エンバク チモシー ヒエ レッドクローバー	キャベツ コマツナ サラダナ チンゲンサイ フキ	イチゴ	コカブ ゴボウ ダイコン タマネギ ニンジン レンコン	アンズリウム コスモス マリーゴールド		オウトウ モロ ウメ 萩 ナシ ミカン リンゴ
5.5~6.0 弱酸性領域で生育	イタリアンライグラス オーチャートグラス ソバ トルフェスタ			サツマイモ ショウガ ニンニク ジャガイモ ラッキョウ	セントポーリア プリムラ	シキミ	クリ ブルーベリー
5.0~5.5 酸性領域で生育	チャ				アナス シダ 洋ラン ベゴニア リントウ	アサレヤ サザンカ サツキ シャクナゲ ツバキ ツツジ ハイランジア (ブルー)	

(農業技術体系系土壌肥料編)

(2) ECの改良

ア 電気伝導度と適正窒素施用量の算出

ECは全イオン濃度の指標であるが、一般には土壤の硝酸態窒素濃度と相関が高くECが1mS/cmであれば硝酸態窒素含量は20mg/100gであると言われている。しかし、この関係は土壤によって異なることから次の式も提案されている(藤原、1996)。

$$\begin{array}{ll} \text{火山灰土壤} & y=38x-10 \\ \text{沖積土壤} & y=44x-15 \\ \text{砂土} & y=29x-5 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{但し、} y \text{ は硝酸態窒素含量 (mg/100g)} \\ x \text{ は EC (mS/cm)} \end{array}$$

[計算例] 沖積土壤(比重0.9とする)のECが0.7mS/cmであれば、

土壤中の硝酸態窒素含量(y)は $(44 \times 0.7 - 15) \times 0.9 = 14.2 \text{ Kg/10a}$

実際の減肥は元肥に20Kg施用する場合は、この土壤残存中の硝酸態窒素量を差し引くので、 $20 - 14.2 = 5.8 \text{ Kg}$ の窒素量を施用すれば良い。

おおまかな、減肥の目安は表5のとおりである。

表5 施肥前のECによる元肥補正の目安(対基準量) (加藤、1996)

土壤の種類	EC値(mS/cm)				
	0.3以下	0.4~0.7	0.8~1.2	1.3~1.5	1.6以上
黒ボク土	基準量	2/3	1/2	1/3	無施用
粘質土・沖積土	基準量	2/3	1/3	無施用	無施用
砂質土	基準量	1/2	1/4	無施用	無施用

イ 高塩類濃度の対策

ほ場の塩類濃度が高い場合の対策は以下の手段がある。

- ① 深耕によって下層土の塩類濃度の低い土壤と混和する。
- ② 1回に100mm程度のかん水を2~3回行って、洗浄する。この場合はカルシウムやマグネシウムも流亡するので、補充する。
- ③ 客土を実施して、塩類を薄める。
- ④ 青刈り作物を植えて養分を持ち出す。

(3) 塩基(石灰・苦土・カリ)の改良

塩基の改良は、石灰・苦土比や苦土・カリ比などの塩基のバランスを考慮し、各塩基の最適な飽和度を基準として土壤改良資材の施用量を算出する。

(計算例)

改良しようとする土壤の塩基交換容量15me/100g、交換性石灰量100mg/100g、交換性苦土量が30mg/100g、交換性カリ量10mg/100gの場合、これを石灰飽和度50%、苦土飽和度20%、カリ飽和度5%に改良するには、改良目標飽和度に必要とする土壤100g当たりの各塩基の量は、

各塩基の 1me 当たりの塩基量 (mg) × 塩基交換容量 (me) × 各塩基飽和度 (%) / 100
 (石灰 28、苦土 20、カリ 47mg/me)

計算式に当てはめて計算すると、

$$\text{石灰} = 28 \times 15 \times 50 / 100 = 210\text{mg}$$

$$\text{苦土} = 20 \times 15 \times 20 / 100 = 60\text{mg}$$

$$\text{カリ} = 47 \times 15 \times 5 / 100 = 35\text{mg}$$

補給する資材量は、不足する成分量であるから

$$\text{石灰} = 210 - 100 = 110\text{mg}$$

$$\text{苦土} = 60 - 30 = 30\text{mg}$$

$$\text{カリ} = 35 - 10 = 25\text{mg} \quad \text{となる}$$

改良資材に炭酸苦土石灰 (有効石灰 30%、有効苦土 15%)、炭カル (有効石灰 53%)、硫加 (カリ 50%) を用いて、補正しようとする

最初に苦土の補正を炭酸苦土石灰により行くと、必要な土壌 100g 当たりの量は、
 $30 \times 100 / 15 = 200\text{mg}$

炭酸苦土石灰 200mg 中の石灰量は、

$200 \times 30\% = 60\text{mg}$ であるから、 $110 - 60 = 50\text{mg}$ の石灰を炭カルで補うと

$50 \times 100 / 53 = 94\text{mg}$ となる。

また、必要な硫加は、 $25 \times 100 / 50 = 50\text{mg}$

次に 10a 当たりの資材量を計算する。

深さ 15cm、仮比重 0.8 土壌量は $0.8 \times 0.15 \times 1000 \text{ m}^2 = 120 \text{ t}$ となる。

最終的な資材の量は、

$$\text{炭酸苦土石灰量} \quad 200\text{mg}/100\text{g} \times 120\text{t}/10\text{a} = 240\text{kg}/10\text{a}$$

$$\text{炭カル量} \quad 94\text{mg}/100\text{g} \times 120\text{t}/10\text{a} = 113\text{kg}/10\text{a}$$

$$\text{硫加量} \quad 50\text{mg}/100\text{g} \times 120\text{t}/10\text{a} = 60\text{kg}/10\text{a} \quad \text{となる。}$$

表 6 土壌の種類と容積比重

土 壌 の 種 類	容 積 比 重	10 a 当たり 10cm の 乾 土 重 (トン)
黒ボク土	0.7~0.8	70~80
赤・黄色土	0.8~1.0	80~100
褐・灰色低地土	1.0	100
グライ土 (細粒質)	1.0	100
グライ土 (中粗粒質)	1.2	120
砂 土	1.2~1.4	120~140

(4) リン酸の改良

表7 各土壌におけるリン酸資材の有効度

リン酸吸収係数	施用リン酸資材の有効度 (%)	適用土壌
2,000	6~10	腐植質土壌
2,000~1,500	10~15	火山灰土壌
1,500~ 700	15~20	洪積土壌
700	20~30	沖積土壌

(計算例)

改良する土壌の可給態リン酸量が 5mg/100g で、改良目標が 10mg/100g のとき、溶リン (リン酸含有率 20%) を施用する場合は、不足量が 5mg であるので、 $5\text{mg} \times 100 / 20 = 25\text{mg}$ の溶リンを 100g の土壌に施用する。

改良する土壌の深さを 15cm、仮比重を 0.7 とすると改良する土量は、 $0.7 \times 0.15\text{m} \times 1000 \text{ m}^2 = 105 \text{ t}$ であるので、 $25\text{mg}/100\text{g} \times 105 \text{ t} / 10\text{a} = 26\text{kg}/10\text{a}$ となる。ところがリン酸の固定が生じるのでリン酸吸収係数を加味し、リン酸吸収係数が 2,000 以上の土壌の場合、リン酸の有効度を 8% とすると溶リンの施用量は、 $26 \times 100 / 8 = 325\text{kg}/10\text{a}$ となる。

(5) けい酸の改良

ア 分析値から算出する方法

(計算例)

分析した可給態けい酸量が 8mg/100g の土壌で、改良目標値が 20mg/100g に高めるために、けいカル (けい酸含有率 30%) を用いた時の必要量は $12\text{mg} \times 100 / 30 = 40\text{mg}$ である。

従って、深さ 15cm の土壌を改良するには、容積比重 1.0 のグライ土では、土の重量は、 $1.0 \times 0.15\text{m} \times 1000 \text{ m}^2 = 150 \text{ t}$ となるので、けいカルの施用量は、

$$40\text{mg}/100\text{g} \times 150\text{t} / 10\text{a} = 60\text{kg}/10\text{a} \text{ となる。}$$

イ 水田におけるけい酸収支からの施用量の目安(以下は 10a 当たり)

玄米収量を Xkg とすると

- | | |
|---|----------------|
| ① 必要とするけい酸量 (玄米収量の約 20%) | 0.2Xkg |
| ② かんがい水から流入するけい酸量
(平均値 ; かんがい水量 1,500 トン × 20ppm) | 30kg |
| ③ わらまたは堆肥からのけい酸量 (平均値) | 50kg |
| ④ 補給を必要とするけい酸量 | 0.2X - 30 - 50 |

10a 当たりのけいカル施用量 (kg) を計算すると、
けいカル kg/10a = $(0.2X - 80) \times 100 / 30$ となる。

注) 30 はけいカル中の SiO₂ 含量%

(6) 酸性硫酸塩土壌の改良

ア 酸性硫酸塩土壌の生成

湖沼、河川、池などの水底で安定な還元状態にある土壌が、浚渫され、客土により空気にさらされると、次第に強い酸性を示し、作物に生育障害を及ぼす場合がある。これは、海水などから供給された硫酸イオンが周囲に繁茂していたヨシなどの植物遺体と微生物作用による還元環境下で、土壌中の2価鉄と反応してパイライト（黄鉄鉱、 FeS_2 ）が生成され、これが酸化されることで酸性硫酸塩あるいは硫酸となって酸性硫酸塩土壌が生成され強酸性を示す。

イ 酸性硫酸塩土壌の判定と定量

① 塩化バリウム液による簡易判定

定法によりpH、ECを測定後、No.6ろ紙でろ過したろ液に5%塩化バリウム液を1ml程度加え、白色の硫酸バリウムの沈殿の有無を確認する。

② 過酸化水素水による強制的酸化による定量

風乾細土1gに30%過酸化水素水10mlを加え湯煎上で加温し、反応が収まったら定容し、イオンクロマトで硫酸イオン（硫黄）を定量する。

ウ 酸性硫酸塩土壌の改良

定量した硫黄を中和する炭カル（ CaCO_3 ）の量は次式で求める。

$$\text{炭カル（CaCO}_3\text{）の量（kg/10a・10cm）} = \text{硫黄量（mg）} \times 100 / 32$$

エ 改良の手順（水田）

- ① 耕耘により未酸化の硫黄を空気にさらして、硫酸イオンに酸化を進める。→
- ② 灌漑水を入れ、水溶性の硫酸イオンを溶脱させる→③ 中和作業は、改良する深さまで確実に炭カルが混合するように耕耘する。→④ 中和作業から3ヶ月程度経過後、pHの確認を行う。また、定期的にpHの確認が必要である。

オ 酸性硫酸塩土壌による障害事例と改良後のpH推移

泥炭土水田の土壌改良を行う際に、池の底土を客土して、小麦を冬に播種したところ、生育が当初から不良で、翌年4月頃から萎凋、枯死した（客土の厚さは20~30cmで腐植が富む粘質な壤土）。障害土壌を酸化状態にするために中和作業の約4ヶ月前に耕起し、水溶性の硫酸イオンを灌漑水で溶脱させた後、炭カル1,300kg/10aで矯正し、その後水稻を作付けした。次の図は、pHを2年間、追跡調査したものである。

酸化耕起前に4.1だったpHは、矯正後5.3となり、水稻収穫後、6.1となった。水稻を2回作付け後も6.2と安定した状態にあり、水稻の生育・収量も問題なかった。

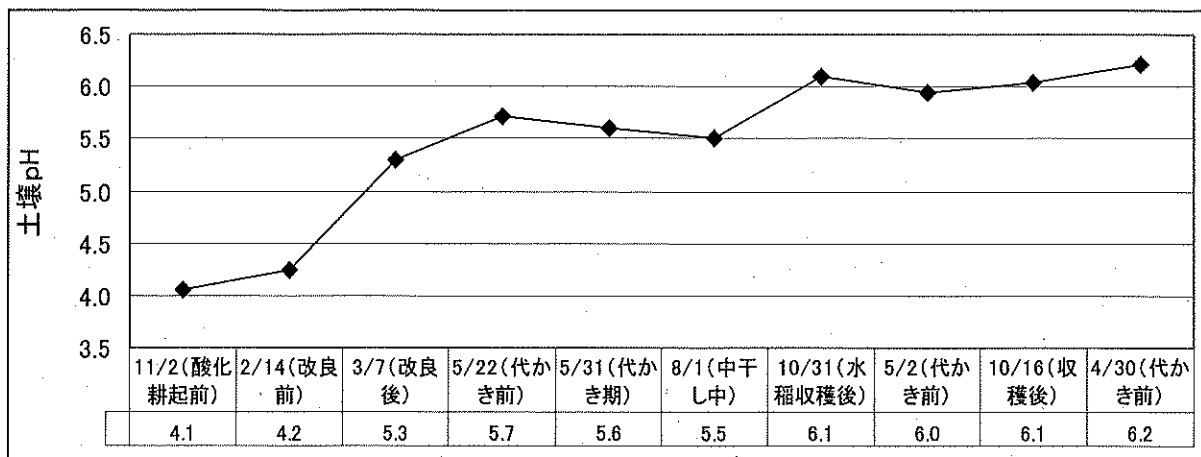


図1 泥炭土水田の土壤改良後のpH推移

3 土壤物理性の改良

(1) 作土の深さの改善

ア ロータリーで減速耕耘して深耕する。必要があれば、深耕用のロータリーまたはプラウを用いて耕耘する。

イ 急激に作土を厚くすると、不良な下層土が混入して、生育不良を生ずる恐れがあるので、必要に応じて堆肥や土づくり資材を施用する。

(2) ち密度・粗孔隙の改善

【水田の場合】

ア ち密度が非常に大きい場合は、心土耕などによって、すき床層を破碎する。

イ 排水不良によって、ち密度が非常に小さい場合は、ほ場内小排水溝(明きよ)や、弾丸暗きよを設置して作土層を乾燥する。

【畑の場合】

ア ち密度が非常に大きくて粗孔隙が小さい場合は、心土耕などを行う。

イ 堆肥や有機物を施用して、土とよく混和して土壤の団粒化を図る。

表8 ち密度とその区分

硬度計測定値	区分	親指による判定
10mm 以下	極疎	ほとんど抵抗なく指が貫入する。
11~18mm	疎	やや抵抗はあるが貫入する(11~15mm)。またはかなりの抵抗があるが第一関節以上は貫入する(15~18mm)。
19~24mm	中	第一関節まで貫入する(19~20mm)。またはかなりの抵抗があり、貫入せずへこむ程度(20~24mm)。
25~28mm	密	指跡はつくが貫入しない。
29mm 以上	極密	指跡もつかない。

(土壤調査ハンドブック改訂版：日本ペドロジー学会編より一部改変)

正式な密度は土壤硬度計で測定する。測定は平滑に整えた土壤断面に対して直角に土壤硬度計を押し当て、その円錐部のつばが土壤断面に密着するまでゆっくりと押し込み、その貫入の深さをmm単位で読み取る。この操作を同一層位で場所を変えて数回行い、最大頻度を代表値とする。親指の貫入程度によっても、ある程度土壤の硬さの判定が可能であり、その目安を表8に示した。

また、土壤硬度は土壤断面で測定するが、穴を掘らずに下層土壤の硬さを測定できる機器にSR-II型貫入抵抗測定器がある。なお、SR-II型による計測単位はkg/cm²であり、ち密度(mm)と異なるので注意が必要である。

(3) 湛水透水性の改善(水田の場合)

- ア 不透水層によって透水性が非常に小さい場合は、心土耕などを行う。
- イ 周辺の地下水位が低いにも関わらず、透水性が非常に小さい場合は、ほ場内小排水溝(明きょ)や弾丸暗きょを設置して、土壤の乾燥化を図る。
- ウ 透水性が大きい場合は、床締めや代かきを十分に行う。必要があれば、ベントナイトなどの土壤改良資材を施用する。

(4) 有効水分保持能の改善(畑の場合)

- ア 粗孔隙が小さくて易有効水分保持能が小さい場合は、有機物や堆肥を施用する。また、保水力に富むパーライトなどの土壤改良資材を施用する。
- イ 逆に、粗孔隙が大きすぎて易有効水分保持能が小さい場合は、ベントナイトなどの粘土質の土壤改良資材、または、保水力に富む泥炭、パーライトなどの土壤改良資材を施用する。

4 茶園土壤改良方法

生産性の高い茶園を作るために、茶樹の根の生育に適した土壤環境を確保することは重要である。水分や養分を十分吸収できる根群域を「主要根群域」という。茶樹の根は土壤条件が良ければ容易に伸長し1m以上の深さまで分布する。静岡県茶園土壤改善基準では主要根群域の深さを60cm以上確保することとしている。

土壤改良は根の生育に適した土壤環境を確保することで幅広い主要根群域を維持し、チャの生産性を高めるために行うもので、好適な土壤の物理性、化学性、微生物性の維持を目的として実施する。開園前の調査・改良と定期的な調査(土壤診断)に基づく改良がある。

(1) 開園前に行うべき土壤改善

造成にあたっては、土層、土性等の状態を調査し、造成後の畑面が良好な土壤となるよう、良質な表土の確保、排水対策、定植後では難しい土壤改良の実施等に力を入れる必要がある。

ア 良質な表土の確保

(7) 風化断面調査：地形修正を伴う基盤整備においては、茶園の耕土となる良質な表土を確保することは、植え付け後のチャの生育を左右する重要なポイントである。工事に先立って、茶園の表土となる良質な土壤が必要量確保できるよう、植生や地形条件

をふまえて植物根の分布や層位別の土性、礫含量、pHなどの土壤理化学性を調査する。

(イ)表土扱い：茶園の耕土となる表土を、いったん造成地内の一角に集積し、基盤造成後に集積した表土を基盤面に戻す作業などを表土扱いという。風化断面調査等に基づき、下層にある理化学性の不良な土壤が混入しないよう注意して行う必要がある。この作業は、大型重機で実施し、多量の土が攪拌、圧縮や練り返しされることから著しく物理性を不良にするおそれがある。このため、降雨直後の水分の多い状態での工事を避けるなど土壤物理性の悪化防止に配慮する。

イ 土層改良

(ア)土層改良の方法：基盤整備や造成時には、大型重機の走行による圧縮や練り返しにより土壤が緊密化しやすく、特に、腐植に乏しい新規造成地では、土壤構造が悪化しやすいため、土層改良対策に十分留意する必要がある。土層改良手順の一例を図1に示す。造成でできた基盤面は、排水性等の改良を目的として、60cm以上の深さで、リッパ付ブルドーザにより基盤破碎を行う。次に表土厚1mで表土戻しを行った後、ブルドーザで畑面の整地を行い、畑面に堆肥等の土壤改良資材を全面に散布する。このあと畑面暗きよを埋設し、暗きよを埋め戻しながらバックホウなどで混層耕を行い、畑面を完成させる。土層改良は、茶園造成工事の中の一環として工事の最終段階で施工するのが一般的で、その結果は直接土地生産性と結びつけられ、事業の最終的な成否にもかかわるものである。

(イ)排水対策：茶は過湿には弱い作物である。過湿により生育阻害を受けた根は根量が少なく表層に分布する。このため、湿害だけでなく夏の干ばつ害や冬の寒干害等の気象災害を受けやすく、生育不良をきたす大きな要因となる。永年性の茶樹では定植後に排水性を改善することは技術的にも困難であることから、定植後に茶樹の根が湿害を受けないよう、基盤整備に当たっては排水対策を施すことが重要である。排水不良の原因は、①茶園の周囲から雨水や浸透水が浸入して停滞水が生じる、②下層に不透水層がある、③土壤がち密化して透水性が悪い、などが考えられる。排水対策は深さ1m以内の滞水層を排除し、地下水位を1.5m以下にすることが望ましく、明きよ

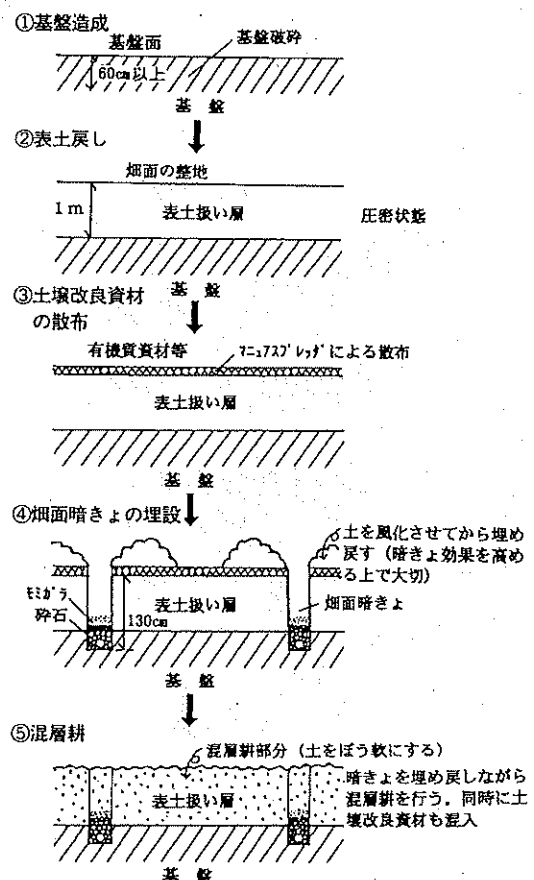


図2 地形修正を伴う茶園造成での表土扱い層の土層改良の手順

による地表排水と暗きよによる地下排水の連係のとれた配置とすることが望ましい。明きよには一般にU字溝を用いるが、山側からの地下水浸透が予想される場合は、明きよと暗きよの併設が効果的である。暗きよは一般には10m間隔に設置するが多いが、周囲から地下水が浸入したり、透水性の悪い土壌では間隔を狭めるなど、地形や土性等の状態を考慮して設置する必要がある。定植後は、抜本的な物理性の改善が困難であるので、造成時に不透水層の破壊や暗きよの設置等を完全に施工しておく。図2は畑面暗きよ断面(設置例)を示したものである。

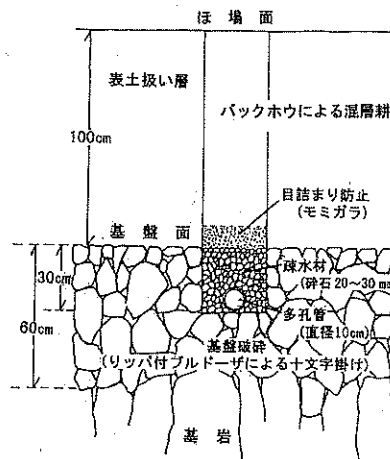
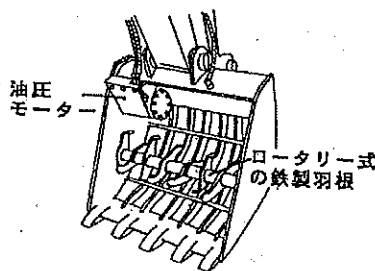


図3 畑面暗きよ断面(設置例)

暗きよは深さ130cm、幅30cm程度で掘削、直径10cmの多孔管(ポリエチレン製)を埋設し、疎水材として長径20~30mmの碎石を30cm厚で投入、その上に目詰まり防止をかねてモミガラを厚さ15cmで敷き詰めたものである。なお、目詰まり防止材は化学合成繊維や天然繊維などを材料としたものも使われている。

排水を良くするには物理性の改良も大切である。特に、粘土質土壌では、混層耕や有機質資材の投入により、土壌の密化を防ぎ透水性のよい土壌に改良が必要である。なお、豪雨の際には畑面の土壌流亡や園地及び法面の崩壊まで発生することがある。したがって、茶園の排水対策は茶樹の湿害防止とともに、豪雨時の災害対策も含めて対策を講じる必要がある。



バケット容量 0.9 m³
全幅 1.4 m
回転羽根 8枚
回転数 150rpm

図4 ロータバケット

(ウ) 混層耕

重機の走行等で圧密となった土壌をぼう軟にする目的で混層耕を行う。埋設した暗きよを壊さないよう、ムラなく、かつ畑面暗きよの排水効果が高まるよう丁寧に行う必要がある。茶園造成では一般にバックホウ等により行うが、ロータバケットを装着して行う方法もある。ロータバケット混層耕は、バケット混層耕に比べて、茶園造成工事の際、大型重機の走行等により圧密、固結した土壌をぼう軟にし、未風化の軟岩をロータの回転により破碎するなど、表土扱い層の土壌構造を平準化する上で役立つ。また、土壌改良のために施用する有機質資材や肥料成分等を比較的均一に混合、攪拌することが可能である。

(2) 土壌診断

土壌診断は、土壌管理のための調査と施肥管理のための調査に大別されるが、各種

項目で相互に関係し合っている。チャの良好な生育を確保するためには、適切な判断指標に基づく土壌管理及び施肥管理の実施が不可欠であり、そのためには定期的な土壌診断の実施が必要である。チャの生育を妨げている要因（土壌の生産力阻害要因）には、化学分析でわかる化学性（養分の過不足や保肥力）のほか、通気性、透水性、保水性、硬さなどの物理性、さらに礫層の有無や地下水の高さ、地形など多くの項目があり、これらについて総合的に診断し、土壌改善の必要性とその方法を決定し改善対策を講ずる。県内の土壌定点調査や土壌診断の結果からは、土壌化学性については土壌の酸性化、濃度障害、特定養分の溶脱、養分間の拮抗作用や相乗作用など養分アンバランスに起因する欠乏症や過剰症、有機質肥料の多量施用によるリン酸過剰などが見受けられ、これらの結果が、茶園における大筋の土壌管理及び施肥管理の方向性を示している。チャの生育は土壌の化学性よりも、物理性に影響されている場合が多いので、うね間を深さ 100cm 程度まで掘り、有機物の混合状態、硬さ、保水性などの土壌の状態や根の分布状況を調査することも必要である。

施肥管理のためには、定期的（可能ならリアルタイム）に土壌中の肥料成分（主に窒素成分）の動態を把握し、取得したデータを解析して、今後の施肥管理対策を図る必要がある。

ア 土壌管理のための調査

(ア) 茶園土壌の改善基準

土壌診断のもとになる改善基準は、適切な有効土層、透水性など物理性の項目と化学性の項目などが示され、化学性については土壌の種類により基準値が異なる。土壌の種類は、黒ボク土、細粒土壌（褐色森林土、赤色土、黄色土、灰色台地土）及び中粗粒・礫質土（褐色森林土、赤色土、黄色土、灰色台地土）の 3 つに分類されている。

（P 261 参照）

(イ) 土壌管理のための調査方法

うね間土壌の化学性を調査するためには、出来るだけ施肥の影響が少ない時期（7～8 月、苦土石灰類施用前）を選び採土する。採土位置は、うね間を中心に 30～40cm 幅とし、この部分の土壌を深さ 20cm 程度まで掘り取りよく混合してから一定量を採取する。一つの茶園から数カ所採土したものを混合し、日陰で乾かし、軽く土塊を砕き 2 mm の円形ふるいを通った土（風乾細土）を化学分析に用いる。

物理性調査については、その目的により採土位置、必要採取点数が異なるが、基本的にはうね間の有効土層（～100 cm）範囲の掘削を行い、各層別にコアサンプラーを用いて非破壊の採土を行い、三相分布や透水性について調査を行う。また、山中式硬土計や土壌貫入抵抗測定器（SR-II）による土壌硬度調査で土壌ち密度等を測定し、層別の物理性について判断する。

(ウ) 施肥管理のための調査

施肥管理は土壌の化学性調査の中でも行うが、これとは別に、現在、土壌埋設型センサーによる無機態窒素の測定法が普及技術として確立されている。この方法は、土壌埋設型センサーを活用することによって、土壌中の養分濃度や水分、地温などをリアルタイムで把握することができ、また、継続的な調査によって土壌中の養分濃度の

変化を把握することができるため、適正な施肥管理を可能とする調査方法である。

(3) 土壌管理

茶園の生産を安定的に持続させるためには、土壌の物理性、化学性さらに微生物を含む土壌生態系を茶樹に適した条件に保つことが重要である。そのためには、土壌診断に基づき、それぞれの茶園において理化学性改善に取り組む必要がある。その手法としては、苦土石灰等による酸性の矯正と養分補充や、堆肥等の有機物施用、うね間深耕、しき草施用等が重要である。また、茶園では定植後における全面的な物理性の改善は不可能であるため、新改植時に暗きよの設置、全面耕起、有機物の施用などを、茶園土壌の望ましい理化学性条件に則した形で、必ず実施しておく必要がある。

ア 土壌化学性の改善

(ア) 土壌酸度 (pH) の矯正と石灰、苦土の補給：茶園土壌における適正 pH (H₂O) の範囲は、4.0~5.0 である。うね間の pH が 4.0 以下の強酸性土壌になると生育が劣るだけでなく施肥成分の溶脱が多くなるため、苦土石灰等のアルカリ資材を使って土壌酸度を矯正する。土壌酸度の矯正における資材の施用量は、pH 調整と、不足した塩基を補充し適正量にすることの両面から決定し、その方法は、土壌緩衝曲線から算出する方法、CEC に基づく塩基算出法などがある。年間の石灰や苦土の溶脱量は、土壌の種類や施用量により異なるが、ライシメーターによる調査では 10a 当たり窒素 54kg 施用では、石灰 45kg、苦土 12kg、また窒素 108kg 施用では石灰 80kg、苦土 25kg であり、一般の茶園でもこれと同程度の石灰や苦土の溶脱が考えられるので、溶脱量に見合う石灰や苦土を補給し、酸性を矯正する必要がある。これらの量を苦土石灰に換算すると普通成木園で 10a 当たり 100~150kg となる。アルカリ資材は土壌と混ぜなければ施用効果は低く、窒素肥料との共存でアンモニアを揮散させることがある。そのため、施用時期は深耕により土壌とよく混和するよう 7 月下旬から 8 月中下旬までの深耕前が一般的であるが、酸度矯正効果と溶脱抑制を考慮して、夏期の深耕前と早春期の施肥前に 2 度に分けて行うこともある。深耕しない茶園でも苦土石灰類を施用した後は、少なくとも 5~10cm は耕して土壌と混合する。

(イ) 陽イオン交換容量の改善：茶園土壌では、改善資材が投入されている 0~20cm の表層は大半が改善基準以上であるが、ほとんど管理されていない 30cm 以下の土層になると改善基準値以下の茶園が多くみられる。基準以下の茶園では、敷草、堆肥などの有機物資材やゼオライト、フミン酸などの改善資材を投入し、改善を図る必要がある。

(ウ) リン酸施用量と土壌管理：配合肥料等による窒素の増肥に伴うリン酸の増施や、リン酸を多く含む有機質肥料の施肥割合の増加に伴い、既に多くの茶園土壌で有効態リン酸量の過剰が認められている。リン酸は窒素やカリと異なり、土壌中を移動することはほとんどなく、施肥位置に蓄積する傾向がある。土壌診断を行って過剰にならないようにするとともに、根域の各層に均一に供給できる土壌管理を心掛ける必要がある。有効態リン酸が多い土壌ではリン酸施用量を削減する。リン酸吸収係数が高い土壌（黒ボク土壌）で有効態リン酸量が低い場合には必要に応じてリン酸を増施する。

イ 土壤物理性の改善

(ア)堆肥の投入：堆肥は、茶園土壤の腐植増加にともなう保肥力の向上や、透水性及び保水性の向上などによる土壤物理性の改善を目的として施用する。堆肥はリン酸やカリなどの肥料成分を含むためこれらの補充に用いることができる。堆肥は十分に腐熟化させたものを使用する。腐熟が不十分な場合、木質堆肥の精油類など有害成分が残存し、茶樹の生育に悪影響を及ぼすことがある。やむを得ず未熟のものを用いるときには、秋から春の時期にうね間に施し、分解が進んでから浅く土壤と混合する。堆肥は保水力が高いので施用方法によっては逆に土壤が過湿になり通気性を悪化させることがある。堆肥に含まれる成分は、原料や腐熟程度により水分、肥料成分、炭素率などのバラツキが大きいいため、土壤に施用する場合堆肥の特性を把握して用いる必要があり、施用量も10a当たり1t程度までとする。施用された肥料成分は、年間施肥量として換算する。

(イ)深耕作業：深耕は、土壤を深さ30cm前後まで耕すことで、摘採や防除などの作業によって踏み固められた土壤をやわらげ、孔隙率、透水性、保水性、硬度、通気性を良好にすることが主目的であるが、同時に、①苦土石灰などの酸度矯正資材を土壤と混ぜること、②腐った敷き草や堆肥をすきこむこと、③土壤中で移動しにくいリン酸を下層に入れることを目的としている。深耕の是非については試験結果においてもまちまちである。これは試験の場所、時期、条件などが異なることもあるが、深耕作業により切断された根のその後の回復状況によることが大きいと考えられる。断根後の土壤状態が、乾燥の継続などの茶樹生育にとってマイナス要因にならないことが、深耕のプラス効果を生み出すと考えられる。このため茶園のどのような点を改良したいかを熟慮したうえで、深耕を行うかどうかを決定する必要がある。深耕の時期は、根の発育が盛んになる前の夏秋期が望ましく、7月中下旬～9月上旬頃である。10月に入ってからこの時期の深耕は切断された根が回復できずかえって地上部の生育が抑制されるので注意が必要である。

(ウ)中耕、しき草：中耕は土壤表面を柔らかくし、チャの根に必要な酸素を土壤に供給するとともに肥料のすき込みや雑草の発育防止を目的に行う。中耕の深さは10cm前後とし、夏期は細根の切断を避けるためやや浅めとする。しき草は根を保護し、傾斜地における土壤流亡に対してもその効果は大きい。但し、地形あるいは土壤により過湿になりやすい茶園では、しき草は薄く敷く必要がある。耕うん機を使用する茶園では、株元に敷込むか、切りわらを用いる。

(4) 施肥管理

施肥管理は、まず、①現時点での土壤の施肥成分状態を把握し、②その後の茶樹の生育（肥料吸収特性）や気象変動（地温、降水量の推移）を推定し、③肥料選択、施肥量、施肥時期を決定して実施する必要がある。多くの農家では年間の施肥設計に基づく慣行的な作業となりつつあり、土壤診断結果を反映していない肥料の種類や量の選択、浅耕等の基本作業の未実施などにより肥効の低下を招いているおそれがある。そのため、効率的な施肥管理手法について示す。

ア 電気伝導度(EC)による診断

電気伝導率 (EC) は土壌の塩類濃度の指標として使われる。土壌中の可溶性塩類による濃度障害が起きないように施肥量を調節して、EC (土壌 : 水 = 1 : 5) を 1ms/cm 以下で管理する。EC は土壌中の硝酸態窒素と関係が深いことから、一回の窒素施肥量 (緩効性肥料や肥効調節型肥料以外の肥料を用いた場合) は、窒素成分で 10a 当たり 10kg 以内とする。

イ 肥料資材による肥効発現の違いと肥効発現予測

茶樹に施用した肥料は主に無機態 (窒素の場合は、硝酸態窒素及びアンモニア態窒素) の形態で土壌中に溶出し根から吸収されると考えられている。このため、各種肥料資材の無機態までの分解過程を理解することが重要である。肥料資材の無機化や溶出には温度・水分・微生物等が関与し、その条件によって異なる。肥効発現を予測する場合にはこのことを理解した上での資材を選択することが重要である。一部の肥料資材や市販肥料はシミュレーションにより無機化や肥料成分の溶出等による肥効発現予測が可能である。

ウ ECセンサーを用いた施肥改善

茶樹では 4 月から 9 月まで窒素の吸収が高いことから、この期間の土壌中無機態窒素濃度を茶樹の最適な吸収濃度に維持することが望ましいと考えられる。EC センサーを用いた施肥管理システムを活用し、土壌中の無機態窒素濃度発現の予測シミュレーションを用いて施肥設計や栽培期間中の施肥の必要性の有無や施肥量等を決めることができる。シミュレーションにおける値は、施肥窒素が深さ 20cm の土壌中で無機態窒素として土壌溶液中へ溶出した濃度を示すものである。同じ施肥を行っても、肥料の種類、施肥時期、土壌の種類、気象条件によって無機態窒素濃度の発現は異なってくる。また、EC センサーで測定した無機態窒素濃度が同じであっても、土壌の保水性や根の深さなどによっても吸収利用率などは異なってくる。年間を通じた定期的な測定によって茶園土壌中の無機態窒素濃度とその推移が把握でき、茶樹の生育、収量、品質と結びつけることで、施肥設計の見直し、適正な肥培管理が可能になると考えられる。

エ 環境制御型施肥管理手法

施肥された肥料は、降雨と地温によりその溶出・分解、根圏への移動が制御され、その肥効が決定されている。そのため、施肥した肥料が根の施肥成分の吸収利用を妨げず、年間を通じて安定した濃度範囲で発現するような肥料の種類、施肥方法、またその管理を行っていく必要があるものの、従来のうね間施肥管理では、降雨や地温変化等の自然環境に依存し、自らコントロールができないことから、年間を通じて安定した効果を得ることは難しい状況にある。そのため、従来の自然環境依存型の施肥法から、自然環境制御型の施肥法への模索が行われており、近年技術開発が進められている。その手段としては、適正な肥料濃度を根圏域で維持・管理する樹冠下液肥施用法や局所施肥法などがあげられる。

樹冠下液肥施用法は降雨の影響の少ない樹冠下へ設置したかん水チューブ (散水タイプ、点滴タイプあり) から、水に溶かし根に障害を与えない適正濃度に調整した液

体肥料を、根圏域へリアルタイムで供給することにより、茶樹根圏での安定した施肥成分の吸収が可能となる。ポット試験等で確認される茶樹根圏での適正窒素濃度域（窒素濃度 50～100ppm）は、高くないことから、茶樹根での濃度障害の発生を考慮し、液肥濃度の設定には注意する。年間を通じた管理方法によって異なるが、利用には安定した水源の確保が必要となる。

(5) 要素欠乏

肥料成分の内、窒素、リン酸、カリ、石灰及び苦土については施肥を行うが、その他の養分は、①肥料の付随物として含まれている②堆肥の施用や整枝などにより供給される③本来土壌に含有しているなどの理由によりあえて施用しない。しかし、一部では、土壌の酸性化や排水不良による微量元素の可溶化、それに伴う他の要素の不溶化、さらには頁岩に代表される特殊な土壌に由来する微量元素欠乏もみられる。本県で見られる主要な要素欠乏は亜鉛欠乏、鉄欠乏、苦土欠乏等である。

(6) 茶園転換における酸度矯正と土づくり

近年、茶園他作物に転換する事例が増加しているが、茶園土壌はpHが低く、土壌改良が必要である。平成26年度に県内4ほ場において転換作業の調査を行なった際、pHは3.3～5.6であった。また、pHは深さ30cmまでほぼ変わらなかった。

表9 抜根前のpH

所在地	土壌の種類	抜根前pH（うね間）	
		深さ0-15cm	深さ15-30cm
浜松市天竜区春野町領家	黒ボク土	3.4	3.7
富士市神戸	黒ボク土	4.7	4.6
御前崎市新野	黄色土	3.4	3.6
菊川市川上	褐色森林土	3.4	3.5

※春野町及び菊川市のpH深度は、深さ0-10cm、20-30cmを記載

よって、転換後に作付けする作物の好適pH範囲（p.270 表4参照）と転換茶園の現状を確認した上で、表3の「pH4.9以下」を参考にして矯正に必要な苦土石灰量を算出する。しかし、表3に示す苦土石灰量は、10a・10cm当りの必要量であるため、転換後の作物の根の伸長深度を考慮して、矯正が必要な深度に対する必要な資材量とする。

苦土石灰の施用量は多くなることが予想されるため、分施することが望ましい。しかし、pHが4以下の場合、それでも短期間での改良は困難と考えられるため、複数年かけて改良する必要がある。

なお、茶園土壌は、多くの場合交換性石灰、苦土が不足していたため、家畜ふん堆肥の併用も有効である。

さらに、茶園土壌ではうね間と樹冠下で土壌化学性が不均衡となっているが、抜根・整地・pH矯正作業により解消されるため、均質化のための作業は必要ない。

表 10 石灰施用量と pH 矯正による土壌 pH の変化

所在地	施用月日	種類	石灰施用量 (kg/10a)	pH		備考
				抜根整地前	矯正後	
春野町	9月10日	苦土石灰	700	3.9	6.8	豚ふん堆肥 1 4t/10a 施用
		消石灰	500		5.3	
富士市	10月6日	苦土石灰	500	4.8	5.5	
	10月8日	消石灰	800		5.5	
御前崎市	8月8日	苦土石灰	286×2+143	3.3	4.2	3回に分け て施用
	8月18日	消石灰	222×2+111		3.8	
	9月6日					
菊川市	8月2日	苦土石灰	500	3.7	5.3	
		消石灰	400		5.6	

※抜根整地前の pH は、うね間・樹冠下・各深度を含む平均

5 果樹園の開園・改植時の土づくり

果樹園では、成木園になると、深層改良作業の実施が困難になる。開園改植時は絶好の機会であるから、この際に徹底して行う。

カンキツ栽培では高糖度果生産を優先するため、秋季において樹体の水分ストレスが求められ、その時に細根分布域の土壌乾燥が必要となる。そこで、根群域を浅い層 (30~40cm) に抑えるとともに、深層の排水性を良好にすることが必要である。果樹の種類によって要求される根域の深さが異なるので、ここでは、カンキツ栽培の場合について記述する。

なお、他の果樹については、農耕地土壌の改善基準の、エ 果樹園土壌 (根域の深さ) を参照する。

(1) 排水性の改善

ア 耕起の深さは 30~40cm 前後とし、それより深層にある不透水層や盤層についても破碎する。

イ 土壌が過湿になる場合は排水施設を設置する。

(ア) 明きよ 流去水が流れ込む場合

(イ) 暗きよ 地下の排水が不良の場合

(ロ) 空井戸 下層に礫層がある場合は暗きよの水を誘導排水する。

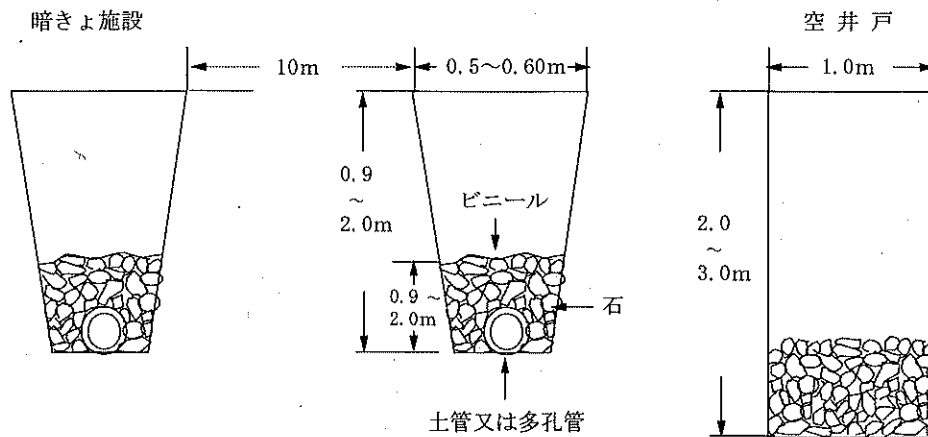


図5 暗きよ、空井戸の作り方

(2) 物理性の改善

ア 深耕

ブルドザーなどの機械により深さ30~40cmを目安に深耕する。可能な限り、表土は下層へ、下層土は表層にくるように反転する。なお、改植時には忌地現象を避けるため、伐採した枝葉、古根を園地外に持ち出す。

イ 有機物の施用

10a 当たり 5t 前後のバーク堆肥を深さ30~40cmまで混合する。有機物の施用は土壌を膨軟にし、通気・保水などを向上させ、根の生育が良好になる。また、土壌の陽イオン交換容量も増加し、地力を増進させる。苗木定植後は毎年2t/10aを目標に施用する。

(3) 化学性の改善

ア 酸性の矯正

樹種毎に土壌が好適pHになるよう矯正する。深さ30cm当たりで計算した資材量を20cmの範囲に混合すると、pHが上がり過ぎるので注意する。

イ リン酸の施用

リン酸は下層に浸透しにくいので、開園・改植時に下層まで混合しておく。開園時には深さ30~40cmまでにリン酸吸収係数の5~10%相当量のリン酸を混合する。改植時に深さ30~40cmの土層が可給態リン酸の目標値20mg(鉍質土壌)となるよう施用する。黒ボク土壌では目標値を10mgとする。なお、熔りんを使用する場合はアルカリ分が50%強含有されるので、酸性矯正する場合は苦土石灰量を減らす。

6 果樹園の土づくり

カンキツ栽培の通常の管理では、以下の点に留意する。

(1) 有機物の施用

有機物の施用は、土壌を膨軟にすることによる通気性・保水性等の物理性の向上効果だけでなく、腐植を増加させて保肥力を高め、土壌微生物の活動を促して、多

量要素、微量元素の肥料成分を供給するなどの化学性の改善効果も大きい。主要な有機物資材は、剪定枝、堆肥、ワラ、ピートモス等である。施用は新根発生前の春季に行う。施用に当たり、次の点に留意する。

ア カンキツの剪定枝の施用

カンキツ剪定枝のC/N比は40~200で分解はかなり遅いので、堆肥化してから施用するか、または、土壤に鋤き込む場合は、チップ状にし窒素成分を添加して施用する。

イ 堆肥の施用

牛ふん堆肥・豚ふん堆肥はC/Nが10~20前後で分解性は良い。豚ふん堆肥（肥効率70%）、牛ふん堆肥（肥効率30%）で10a当たり1~2t施用する。なお、必要に応じて肥料の施用量を削減する。鶏ふんは乾燥鶏ふんとして販売され、窒素が3%程度含まれ、その肥効率は70%であることから、肥料的な特徴を有する資材である。

ウ ‘不知火’における土壤改良資材の効果

‘不知火’は、親品種の‘清見’や兄弟品種の‘はるみ’と比べて、根量が少ないために肥料養分の吸収力が弱く、樹勢が弱くなりやすいという欠点がある。

このため、対策の一つは細かな分施である。肥料の流亡を抑えて適期に肥効を上げるため、他品種よりも多い5回に分けて施肥を行う。詳細は施肥基準の項を参照する。

もう一つの対策は、有機物等の土壤改良資材の施用である。土壤改良資材の施用によって土壤中の気相が改善される。このことにより、根の活性が向上し伸長が促進されるため、無施用と比較して大幅に細・小根量が増加する。この効果は土壤改良資材の種類を問わず認められる。

(2) 酸性の矯正

ア 土壤が酸性になると、アルミニウムや鉄、マンガン等が土壤溶液中に溶解し、カルシウム、ホウ素、モリブデンが不足し、リンもアルミニウムと結合して不溶化する。そのため、作物の生育は著しく阻害される。

イ 主要果樹の生育に好適な土壤のpHは、ウンシュウミカン、リンゴ、ナシ、モモ等の大部分の果樹は、5.5~6.5の範囲が好適である。また、クリ、ブルーベリーはかなりの酸性を好み、ブドウ、イチジクは微酸性~中性付近を好む。

ウ 中和石灰量から算出された石灰質肥料（マグネシウムを含んでいる方が良い）を施用する。また、有機物を施用し、硫安のような酸性の化学肥料の多用を避ける。

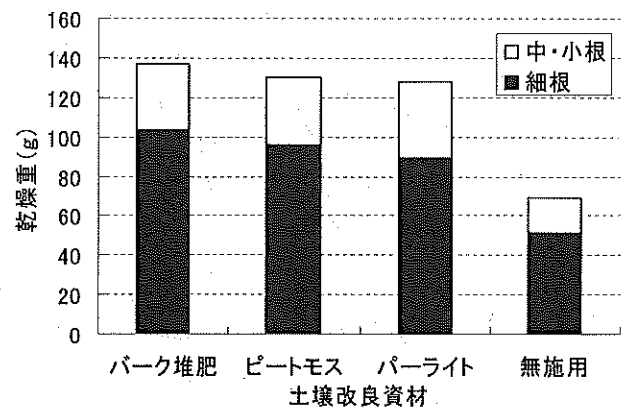


図6 各種土壌改良資材が‘不知火’の根の乾燥重に及ぼす影響（平成15年度柑橘試験場成績書）

(3) 深耕

深耕に適した時期は、断根の影響が少ない秋から冬にかけてである。その場合でも、一度に著しく断根しないようにする。

(4) 客土

客土は、細根を地表面近くに誘導して新根の発生を促進する。客土する土は作物を栽培していない新鮮な山土が良く、厚さ 3cm を限度として行う。

(5) 草生栽培

草生栽培の効果は①土壌浸食の防止②土壌物理性の改善③有機物の補給による土壌の肥沃化④地温の激変防止⑤果実品質の向上等である。樹園地で使用する草種はナギナタガヤ、クローバー、ヘアリーベッチ、センチピートグラス、ダイカンドラ、トールフェスク、チューイングフェスク、リュウノヒゲ等がある。

近年カンキツ園で面積が増加しているナギナタガヤは、9月に発芽、翌春の4~5月に草丈70cm程度に成長、6月に倒伏し敷ワラをしたような状態になる。この草は倒伏後、土壌全体を覆うことから、雑草が生育しにくいことに加え、降雨に起因するリン酸の流出を抑制する効果も認められている。しかし、幼木時や春季の養水分競合、秋季の果実品質低下等の恐れがある場合は、樹の周りを裸地にする部分草生栽培とする。

また、傾斜地では表土の流亡を防止するための土留めとしてリュウノヒゲが多く用いられている。

7 水田転作と排水対策

(1) 県下水田土壌の種類と適地

県下には水田が約 22,700ha (平成 27 年 農林水産統計) ある。

水田転作は、半湿田土壌・乾田土壌が適地であり、半湿田は非かんがい期の地下水位がかなり高く、グライ層(青灰色)が地表下 50cm 位に出現し、水分状態によっては一部の作物が栽培可能である。乾田土壌(適湿)は非かんがい期の地下水位が低く、グライ層が地表下 80cm に出現し、大部分の作物が栽培可能である。

次に立地条件に応じた排水対策の判定表(表 11)と、ほ場の土層条件に応じた細目排水対策の診断表(表 12)を掲げる。

さらに、これらの基準に基づき、主要土壌別の畑利用に必要な排水改良、土壌改良対策(表 13)を示す。

水田の転作(畑利用)に当たっては、地域的要因、ほ場要因が異なるので、基本的には土壌統群による土壌分類を参考にしつつ、ほ場毎の細密調査に基づき進めるのが望ましい。

表11 判定表

判定項目	階級値	排水対策		備考		
		地域	ほ場			
		強制排水	何らかの排水対策			
立地条件	傾斜	3° >	粘質 ○ 壤質 ○ 砂質 ○	○ ○ ○		
		3° ~ 6°	粘質 △ 壤質 △ 砂質 ×	○ ○ △		
		6° <	粘質 × 壤質 × 砂質 ×	○ × ×		
	周辺水田との比高	60cm ≤	粘質 × 壤質 × 砂質 ×	○ ○ △		傾斜地棚田の場合
		60cm >	粘質 ○ 壤質 ○ 砂質 ○	○ △ △		
	排水路からの距離	60cm <	粘質 ○ 壤質 ○ 砂質 ○	○ ○ ○		
		60cm ~ 30cm	粘質 ○ 壤質 △ 砂質 △	○ ○ △		
		30cm >	粘質 × 壤質 × 砂質 ×	○ △ ×		
	土壌類型区分	グライ層出現位置	30cm >	粘質 ○ 壤質 ○ 砂質 ○		○ ○ ○
30cm ~ 80cm			粘質 △ 壤質 △ 砂質 △	○ △ ×		
80cm <			粘質 × 壤質 × 砂質 ×	○ × ×		
黒泥、泥炭出現位置		50cm > 50cm ≤	○ ○	○ ○	黒泥、泥炭が出現した場合	

判定表の読み方

(1) 記号の説明

○ 排水対策を必要とする △ 必要な場合がある × 必要なし

(2) 判定項目の3つ以上で、強制排水が○判定となれば、地域として強制排水を実施する。

△は2つで○1つと考える。強制排水とは排水路、排水機場があって広域排水を図ることである。

表 12 診 断 表

診断事項	階級値	排水対策				備考		
		明きよ	本暗きよ	補助暗きよ	心土破碎			
立地条件	かんがい期最高地下水位	30cm>	粘質壤質砂質 ○ 粘質壤質砂質 ○ 粘質壤質砂質 ○	○ ○ ○	○ △ ×	○ × ×		
		30cm~60cm	粘質壤質砂質 ○ 粘質壤質砂質 ○ 粘質壤質砂質 △	○ ○ △	○ △ ×	△ × ×		
		60cm<	粘質壤質砂質 ○ 粘質壤質砂質 △ 粘質壤質砂質 ×	○ △ ×	○ × ×	△ × ×		
	排水路の水位	30cm>	○	○	○			
		30cm~60cm	△	△	△			
		60cm<	×	×	×			
	表土項目	降雨後の停滞水作付下における消失日数	3日<	○	○	○		
			3日~1日	△	△	△		
			1日>	×	×	×		
円錐貫入抵抗(kg/cm ²)作土及び作土下(深さ40cmまで)降雨7日以後測定		2.5>	○	○	○			
		2.5~5.0	△	△	△			
		5.0<	×	×	×			
作土の厚さ		15cm>	○	○	○		15cm>は、深耕、客土が必要	
		15cm~25cm	△	△	○			
		25cm<	×	×	×			
シソグーインテグレート(初期侵入値:C値)	1mm>	○	○	○	○			
	1~3mm	△	△	△	×			
	3mm	△	×	×	×			
下層土項目	下層土の粗孔隙率(pF0~1.5相当Vo1%)	5>		○	○			
		5~10		△	△			
		10<		×	×			
	下層土の最小透水係数(km)	10 ⁻⁶ ≧		○	×			
		10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁴		△	△			
		10 ⁻³		×	×			
	下層土の最高ち密度	25<		○	○			
		25~19		△	△			
		19>		×	×			
ち密層の厚さ	10cm<	○		○	○			
	10~5cm			○	×			
	5cm>	○		△	×			

(1) 記号の説明

○ 排水対策を必要とする △ 必要な場合がある × 必要なし

(2) 診断表の読み方

ア かんがい期の最高地下水位と降雨後の停滞水の2項目が×判定のときは、対策を講じなくても現状のまま高度利用が可能な判定となる。

イ 2つ以上の項目で○判定となった場合、対策のうちで最も右側の対策をとることとする。

ただし、補助暗きよは本暗きよが必要の判定となった場合に考慮する。

ウ 下層土はおおむね30cm以下の土層を示す。

表 13 主要土壌別の畑利用に必要な排水改良、土壌改良対策

土壌の種類		明きよ	暗きよ	管農排水	心土破碎	客土	深耕	可能作物※
多湿黒ボク土	厚層腐植質 表層多腐植質	平坦→○※※ 階段状→-	-	強粘→○ 他→-	-	-	-	A
	表層腐植質	平坦→○ 階段状→-	黒泥あり →○ 他→-	強粘→○ 他→-	ち密層あり →○ 他→-	土層浅、 黒泥あり →○ 他→-	-	黒泥あり、礫 層あり→C 他→A
	淡色	○	強粘→○ 他→-	-	ち密層あり →○ 他→-	土層浅 →○ 他→-	○	A
黒ボクグライ土		○	○	-	-	-	-	C
褐色低地土	中粗粒斑紋なし	○	-	-	-	-	○	A
	細粒斑紋あり	○	-	○	-	-	-	B
	礫質斑紋あり	-	-	-	○	-	-	A
灰色低地土	細粒灰色系	○	○	強粘→○ 他→-	ち密層あり →○ 他→-	-	ち密層あり →○ 他→-	強粘→C 他→B
	中粗粒灰色系	○	-	グライ斑 あり→○ 他→-	-	-	土層浅 →○ 他→-	礫層あり、ち 密層あり→B 他→A
	礫質灰色系	○	-	-	ち密層あり →○ 他→-	土層浅 →○ 他→-	土層浅 →○ 他→-	礫層30cm以 上→B 礫層30cm以 下→C
	細粒灰褐色系	○	○	○	-	-	-	C
	中粗粒灰褐色系	○	-	-	-	-	-	A
	礫質灰褐色系	○	-	-	-	○	-	C
グライ土	細粒強グライ	○	○	○	-	-	○	C
	中粗粒強グライ	○	○	シルト質 →○ 他→-	-	-	壤質→○ 砂質→-	C
	細粒グライ	○	○	強粘→○ 他→-	ち密層あり →○ 他→-	-	土層浅 →○ 他→-	C
	中粗粒グライ	○	○	-	○	-	-	B
黒泥土	○	○	○	-	-	○	C	
泥炭土	○	○	○	-	○	-	C	

(静岡県「あたらしい農業技術No.85」より)

※ 現状のままでの導入可能作物(A→いずれの作物も可、B→根菜類を除き可、C→一部のみ可)

※※ ○→施工の必要あり、-→施工不要

(2) 作物の生育と地下水位

水田の地下水位は、かんがい期間と非かんがい期間で異なる。水田高度利用の水稲裏作と畑地転換利用では、その適地が異なる。平坦地水田では夏期の水稲かんがい期間に停滞水が地表近くまで上昇することが多いため、集団転作が最も有効である。また、隣接水田との境界には、適当に深い明きよを掘削し、地下水の集水を強制排除するなどの一連の排水対策を行い、一定の深さに地下水を常に保つことが大切である。

作物の生育は、土壤水分に大きく左右される。水田転作の場合は、土壤水分の過剰と土壤中の空気率の減少により湿害が生じやすい。

(3) ほ場の排水と土壤圧密対策

ア ほ場の排水対策

排水は畑作物にとって有効な土壤水分を得るばかりでなく、トラクターの走行、耕耘整地作業を容易にするためにも必要である。そのためには、地表水排除と地下水排除の両面から検討し、地区内滞留水を残さないことを基本とする。併せて、農村の生活環境の保全整備を考慮する。具体的な排水対策は下記のとおりである。

(ア) 地表水排除

a 排水溝(明きよ)

地表水の早期排除のためにはほ場周囲とほ場内に5~10m間隔で20cm程度の深さの排水溝を設置する。溝切機、トレンチャ、プラウ、管理機等で作溝する。これらの排水溝は必ずほ場外の排水路と接続し、地表水をほ場外へ誘導するとともに、常に点検を行い、溝さらい等の補修を実施する。

(イ) 地下水排除

a 地下水排水基準

- ①トラクターやコンバインが作業可能なこと(地下水低下により地耐力増強を図る)。
- ②耕起後の砕土が十分行えるように、土壌を乾燥すること。
- ③発芽及び生育初期に障害が発生しないように土壌を乾燥すること。
- ④生育期間中、必要に応じ水の降下浸透及び土壌乾燥を図ること。
- ⑤高あぜを行わずに、転作可能なこと。

b 本暗きよ

暗きよの深さと間隔は下記を参考にするとよい。

表 14 土性と暗きよの施工基準

土 性	深さ別間隔 (m)			
	深さ 0.8m	深さ 1.0m	深さ 1.2m	深さ 1.4m
重 粘 土	6~8	6.5~8.5	7~9	7.5~9.5
粘 土	8~9	8.5~10	9~11	9.5~11.3
粘質壤土	9~10	10~11.5	11~12.5	11.5~13.5
壤 土	10~11.5	11.5~13	12.5~14.5	13.5~15
泥 炭 土	10.5~13.5	12~16	13.5~18.5	15~21
粘質砂土	11.5~14.5	13~17	14.5~19.5	16~22
壤質砂土	14.5~18	17~22	19.5~26	22~30
砂 土	18<	22<	26<	30<

(関東土壌肥料専技会・全農東京支所「現場の土づくり・施肥Q&A '96改訂版」より)

c 補助暗きよ

土壌構造の発達が不十分なため土壌浸透性が不良な水田では、弾丸暗きよ、籾殻暗きよ、コルゲート管の設置等補助暗きよにより排水促進する。サブソイラー等により深さ30~40cm、施工間隔を2~3mとし、本暗きよに直角方向に行う。

d 営農排水

【鋤床層の膨軟化】

耕土内部の粗孔隙を多くし、透水性、通気性を向上させるため、プラウ等による深さ25cm程度の深耕等により鋤床層の膨軟化を図る。水田を畑利用する当初は、基本的にすべての水田を対象に実施する。

【高畝栽培】

高さ 30 cm 以上の高畝栽培を行う。

【粗大有機物の補充】

深耕ロータリー耕により下層土に粗大有機物を 15～20t/10a 程度施用し、下層土の物理性改善を行う。ただし、大量の粗大有機物を作物の根群域より下層に投入し、窒素飢餓などが生じないようにする必要がある。

e 心土破碎

土性が細粒質で土壤構造の発達し難い水田では、パンブレーカー(破碎深 50～60cm)やサブソイラー(破碎深 35～40cm)により 1m 程度の間隔で土層に亀裂を作り排水を促進する。

f 客土

客土により地下水位を下げる。地下水位の高さで各作物の生育状況は異なるため、栽培する作物に適した地下水位にする。

g その他

【深耕】

プラウやロータリーにより深さ 30～60cm 程度耕起する。ただし、下層土の性状に留意し行うことが必要である。

【集団化】

集団で転作作物栽培を行うことにより、周辺水田からの横浸透水を防止する。

【小排水帯】

重粘土地帯では、地下排水はち密な土層に発生したクラック(割れ目)をとおして、暗きよに排水するので、中干しや落水等が迅速に行われるように小排水帯を掘る。

イ 土壤の圧密対策

農耕地は農業機械の走行により作土直下の部位に圧密層が形成され易い。特に、水田では湛水還元と落水乾燥の繰り返しにより圧密が助長され、明りょうな耕盤が形成される。水稻栽培にとって耕盤の存在は、用水量の確保や湛水条件下の機械作業に対する支持力を得るために必要である。

しかし、水田の畑利用の場合、耕盤は地下浸透水の抑制、作物根の伸長抑制、下層からの土壤水分供給力の低下による湿害や干害の原因となり、作物の生育の障害となる。

これらのことから、水田の畑利用の場合は暗きよ排水や営農排水の手段として、心土破碎、弾丸暗きよの施工、心土工、深耕等の土層改良及びこれらの組み合わせが有効である。

しかし、耕盤の破碎は水田に戻した場合に用水量の増加や機械作業時の支持力低下による作業精度の低下の問題があることから、施工時に輪換田として活用しやすい基盤に整備する必要がある。

ウ 排水良否の調査法

排水施設の必要性を作物栽培と機械利用の両面から簡易に判定する方法は次のとおりである。

(ア) 降雨後の地表残留水許容日数は 1 日以内が望ましい。

- (イ) 降雨後2~3日の地下水位は、畑作物の場合、地表面下40~50cmが望ましい。
- (ウ) トラクターによるロータリー耕の作業可能範囲は足跡沈下にして2~5cmである。

エ 営農排水作業の機械化

弾丸暗きよと本暗きよを組合わせた暗きよの工法は、次のとおりである。

- (ア) 弾丸暗きよは深さ30cm 間隔2.0m 程度で施工する。
- (イ) 本暗きよの深さは排水路側で80cmが望ましいが、60cm位でも良い。間隔は排水が悪い場合10m、普通の場合は15mとする。勾配は管径50mmの吸水管を使用する場合1/200 ~ 1/500とする。
- (ウ) 20馬力級トラクターによる振動掘削式弾丸暗きよ機の作業能率は2m間隔の施工で、時間当たり約20畝である。

また、20馬力級トラクターにトレンチャーを装着して、作溝する場合の作業能率は時間当たり150~200mくらいである。

- (エ) 疎水材としての「もみがら」の使用量は、本暗きよ100m 当たり約600kgである。

表 15 主要土壌別現地転換畑の改良対策 (静岡県農業試験場資料第1631号より)

土壌タイプ	地区名・所在地	転作物	改良を要する項目					化学性で改良を要する項目	示性分級式	調査年度		
			明きよ	暗きよ	営農排水	深耕	客土				化学性	
多 湿 黒 ボ ク 土	厚層腐植(高松)04B10	北山・富士宮 伊豆 芝	—	—	○	—	—	○	K、飽	II fr	54	
	表層腐植(大田和)04D35 (上尾)04D28 (荒増)04D28	多田・菰山 田代・修善寺 稲梓 仁科 長泉・長泉	イチゴ 小麦 キヌサヤ キンギョソウ ヤマトイモ	○	○	○	—	—	○	pH	II pwf	54
淡 色(江木)04E45 (越路原)04E44	久根・裾野 南篠・菰山	イチゴ イチゴ	○	—	○	○	—	○	pH	II tf	53	
	細粒(佐賀)13A03 灰色系(四倉)13A02	向笠・磐田 吉岡・掛川 和田岡・掛川 山梨・袋井 細江	小麦 イチゴ 飼料 小麦 大豆	○	○	○	○	—	○	pH、P、YI、Ca	II tpwn	54
灰 色	中粗粒 灰色系(加茂)	寺部・大須賀 富丘・豊田	コモチカンラン チンゲンサイ	—	○	○	○	—	○	pH、Ca	II tgpwn	53
	中粗粒 灰色系(加茂)	富丘・豊田	チンゲンサイ	○	—	—	—	—	○	pH、Mg	II wfna	57
低 地	礫質(久世田)13C10 金谷	中根・焼津 金谷	トマト 小麦	○	—	—	○	—	○	—	III n II td(w) i	53
	(国領)13C12 中里・藤枝 平松・豊岡	大島・焼津 中里・藤枝 平松・豊岡	小麦 キク 小麦 エビイモ	○	—	—	○	○	○	pH、飽、Ca、Mg pH、K pH、Ca、K pH、Ca	III n II tdwf III d II tn III td II pwn III d II tfn	54 55 56 56
土	細粒灰褐(多々良)13D16 下層有機(泉崎)13H27	政所・菊川 西大淵・大須賀	飼料 大豆	○	—	○	○	—	○	— Ca	II tfn IV w III p II tna	53 56
	斑なし(姫島)13I34	鷺津・湖西	ハトムギ	○	—	—	○	—	○	pH、Ca	III n II tdw	56
グ ラ	細粒強(田川)14A02 細粒(幡野)14D16 (浅津)14D16 (幡野)14D16 (幡野)14D16 (川副)14D17 (幡野)14D16	堂山・小笠 森 鷺津・湖西 小上田・焼津 麻機・静岡 城南・藤枝 宮内・浜岡	イタリアンライグラス レタス 飼料 トマト ナス イチジク カボチャ	—	○	○	○	—	—	— — pH、Ca、Mg — — — 飽	IV w III p II td II tpw II tpwfn II twf II tgpw II t III tp II wf	55 53 53 53 54 54 56
	中粗粒(新山)14E21 (上兵庫)14E22 (八幡)14E23	中田・豊田 豊町・浜松 三新町・浜松 伊和富・浜松	各種 飼料 大豆 大豆	○	○	○	—	—	○	pH、Ca、Mg pH、Ca、Mg CEC pH、Ca、Mg、P	II fn II dpn III f II na III n II tfa	53 53 54 55
造 成 相	吉岡・掛川 三島	ハラ 飼料	—	○	—	—	○	—	—	II gp III d II tgw	54 56	
	大内・清水 古庄・静岡	イチゴ イチジク	—	—	—	—	○	—	—	II tfn III tgp II dw	55 55	

* 化学性の改良を要する項目のうちY1置換酸度、飽は塩基飽和度を示す。
 ** II、III、IVは生育阻害要因の大きさを示す。II(やや難)、III(かなり難)、IV(ほとんど難)、アルファベットは阻害要因の内容を示す。T(表土の厚さ)、d(有効土層の深さ)、g(際含量)、p(耕転の難易)、w(過湿)、f(自然肥沃度)、n(養分の豊富)、i(有害物質、物理性障害)、a(増冠水、地すべり)、e(侵蝕)

8 作物別のかん水点

作物別の好適水分域やかん水点は、個々の作型、土壌の種類等によって異なる。ここで下記の引用文献（各都道府県報告の集約により作成）に示された、ある作型におけるモデルとしての「かん水開始点」の一部を紹介する。詳細は、引用文献を参照する。

表 16 作物別のかん水点 (下の数字は pF 値)

作物名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
キャベツ				1.8 定植				2.0 収穫開始				
レタス										1.5 定植	2.0	2.5 収穫
ダイコン						2.0 は種		2.7 根部 収穫				
メロン (ハウス)				1.8 定植		2.0	2.2	2.4	2.6 収穫開始			
イチゴ (施設)									1.8 定植		2.0 開花	
温州ミカン			2.7 花芽分化		開花			果実肥大		3.2 成熟		
茶						2.5						

(「農林水産省構造改善局：畑地かんがいにおける水の使い方(未定稿)」より作成)

9 野菜中の硝酸塩と低減化技術

(1) 硝酸塩の人体への影響

植物は、窒素を硝酸塩やアンモニウム塩の形で根から吸収し、これと炭水化物からアミノ酸やタンパク質を合成する。吸収した硝酸塩などの量が多すぎたり、日光が十分に当たらなかつたりすると、吸収された硝酸塩などがアミノ酸、タンパク質に合成されないで植物体中に蓄積される。

硝酸塩は、通常摂取する程度では人体に有害なものではない。ヒトの体内で還元され亜硝酸塩に変化すると、メトヘモグロビン血症を発症する恐れがある。なお、飲食物を經由して摂取される硝酸塩のほとんどは野菜由来のものであるとされる。

(2) 葉菜類に含まれる硝酸塩濃度

野菜の中でも特に葉菜類の硝酸塩濃度が高く、低温期よりも高温期に高くなる。

表 17 主な野菜類の硝酸含量 (mg/kgFW)

品目	硝酸含量
タアサイ	3340±1310
ほうレンソウ	3070±1360
チンゲンサイ	2750±932
レタス	1060±480
ニラ	1780±567
キャベツ	679±453
ハクサイ	1320±669
コマツナ	4060±1720
ノザワナ	2840±580
カブの根	1630±772
カブの葉	3540±1700
シュンギク	2940±1110
タカナ	3680±1220

市販の国産野菜に含まれている硝酸濃度の実態調査
日本食品化学工学会誌, 52(12), 605-609(2005)

(3) EUの取り組み

EUは、1997年1月にレタスとほうれんそうの硝酸塩の基準値を定めた。また、EUの加盟国は、移行期間（基準値を超えた野菜の国内消費向け流通を認める期間）を設けている。なお、レタスの移行期間は2005年1月に終了した。

表 18 EUにおける硝酸基準値

食品		基準値 (mgNO ₃ ⁻ /kg)	
ホウレンソウ	11月～3月に収穫されるもの	3000	
	4月～10月に収穫されるもの	2500	
加工済みホウレンソウ 冷凍ホウレンソウ		2000	
結球レタス	10月～3月に収穫されるもの	施設栽培	4500
		露地栽培	4000
	4月～9月に収穫されるもの	施設栽培	3500
		露地栽培	2500
サラダナ、サニーレタス コスレタス	施設栽培	2500	
	露地栽培	2000	

Commission regulation 563(2002年4月現在)より

(4) 硝酸塩低減化技術

硝酸塩濃度を低下させる要因は、品種、温度、光環境、炭酸ガス濃度、窒素量、硝酸還元酵素活性等がある。

ア 品種

例1) コマツナ低硝酸塩品種 (埼玉農総研試験結果より)

‘こもん’ ‘まっちゃん’ ‘黒みすぎ’ ‘紋次郎’
‘こそで’ ‘みすぎ’ ‘河北’

例2) チンゲンサイ低硝酸塩品種 (静岡農試試験結果より)

‘青美’ ‘夏しんとく’ ‘陽帝’

例3) ホウレンソウ低硝酸塩品種 (福岡農総試試験結果より)

‘アトランタ’ ‘ミストラル’ ‘プラトン’ ‘ドーバー’
‘スイング’ ‘サンカルロス’

イ 温度

野菜の硝酸塩濃度は低温期よりも高温期で高い。高温期では細霧冷却により、葉面温度を下げることにより硝酸塩を低下できる。冬期では栽培後半期にハウスの強制換気を行うことで硝酸塩を低下できる(寒じめ)。

ウ 光環境

光合成を盛んにすることで、代謝量が増加し、硝酸塩が消費されることにより低下する。チンゲンサイでは、60%程度の遮光により無処理の場合の1.6倍の濃度となった。そのため、暑さ対策のための過度の遮光は避ける、ハウスのビニールが汚れて光の透過率が低下した場合は早めに取り替える等の対策が必要である(静岡農林研)。

エ 窒素量

根から吸収される硝酸塩は、肥料、有機物、土壌窒素等があり、大幅な収量低下をさせない窒素吸収のコントロールを行い、硝酸塩を低下させる。

例 1) 肥効調節型肥料を利用した低減化

レタスに被覆肥料を局所施用（株横 4cm、深さ 6cm）することで、全層施肥に比較して、2～3 割程度低減できる（長野農試）。

例 2) 肥効調節型肥料を育苗時に施用した低減化

チンゲンサイ育苗時に育苗培土に窒素 4kg/10a 相当量を混合し、本ぽでは無肥料栽培した場合、ほ場に全量施肥した場合と比較して、4 割程度低減できる（静岡農林研）。