

化学肥料低減指針

令和5年2月

兵庫県農林水産部

目 次

1	はじめに	1
2	化学肥料価格高騰の背景と情勢	
(1)	価格高騰の背景	2
(2)	化学肥料原料の情勢	2
3	化学肥料低減のポイント	
(1)	土壌診断に基づく適正な施肥量の把握	3
(2)	有機質肥料・有機質資材の利活用	3
(3)	効率的な施肥方法・施肥技術の導入	3
4	土壌診断に基づく適正な施肥量の把握	
(1)	土壌診断の意義	6
(2)	土壌診断結果活用の留意点～土壌養分が十分でも効きにくい場合～	7
(3)	土壌診断の方法	12
ア	土壌試料の採取法および調製法	12
イ	RQフレックスによる測定	13
ウ	迅速養分テスト法による測定	15
エ	測定結果の診断基準	21
5	有機質肥料・有機質資材の利活用	
(1)	有機質肥料への切り換え	29
(2)	有機質資材の施用	30
(3)	緑肥の利用	34
6	効率的な施肥技術とコスト低減効果	
(1)	肥料の分施技術	39
(2)	肥効調節型肥料	39
(3)	局所施肥技術	43
	[巻末]	
	化学肥料低減に向けた自己チェックリスト	46

1 はじめに ー本指針作成の目的ー

本県では、有機質資材を活用した土づくりと併せて、化学肥料・農薬の使用を極力抑えた生き物と共生できる環境にやさしい「環境創造型農業」を推進している。化学肥料の使用量削減は、土壌診断に基づく適正施肥、局所施肥技術や肥効調節型肥料による効率的な施肥法が有効であるとともに、有機質資材を利用することにより、化学肥料の施用量を削減することも可能である。

このような施肥については、「ひょうごのやさしい施肥・土づくり推進資料」（平成13年3月）や「環境負荷軽減に配慮した各種作物の施肥基準」（平成15年2月）に基づき推進してきたところである。平成29年度には、ひょうごのやさしい施肥・土づくり推進資料を見直し、「ひょうごの土づくり指針」（平成30年3月）を策定し、土づくりを推進している。

しかし、近年の肥料価格の高騰の中、環境にやさしい生産方式という観点とともに、肥料コストの低減に繋がる点からも、価格高騰が著しい化学肥料の使用量低減が求められていることから、県内農業者の化学肥料使用量低減に資することを目的に、本指針を策定する。



2 化学肥料価格高騰の背景と情勢

(1) 価格高騰の背景

世界の穀物需要は総人口の伸び率を上回って増加している。

一方で、肥料原料は穀物相場の上昇から好調な需要が続くなか、中国の輸出規制、ロシアのウクライナ侵攻、ベラルーシに対する経済制裁等により、世界有数の肥料輸出国からの輸出が停滞しており、肥料価格の急騰を招いている。日本は化学肥料の主な原料である尿素、りん安（リン酸アンモニウム）、塩化加里（塩化カリウム）は、そのほとんどを輸入に頼っているため、これら国際市況の影響を受けやすく、さらに船舶燃料の高騰や急激な円安が国内での肥料価格高騰の原因となっている。

(2) 化学肥料原料の情勢

ア 尿素（N）

窒素肥料はアンモニアを窒素源にしているが、アンモニアの製造工程で用いられる原油が新型コロナウイルスからの世界経済の回復に伴う需要増や一部産油国の生産停滞などによる原油価格高騰を受け、高値水準となっている。

また、代表的な窒素単肥である尿素については、マレーシア及び中国が主な輸入相手国であるが、中国が輸出規制したことにより輸入量が激減し、価格は令和4年5月時点で昨年比約1.7倍に急騰している。

イ リン安（リン酸アンモニウム）（N・P）

リン酸の原料であるリン鉱石は、全輸入量のうち約9割を中国、残り約1割をアメリカが占めている。中国による輸出規制等により、価格は令和4年5月時点で昨年比約1.6倍となっている。

ウ 塩化加里（塩化カリウム）（K）

加里については、カナダ、ロシア、ベラルーシの3カ国で輸入量の8割以上を占めている。その中でロシア、ベラルーシからの供給が滞っている等により、価格は過去最高値圏まで上昇しており、令和4年5月時点で昨年比約2.5倍となっている。

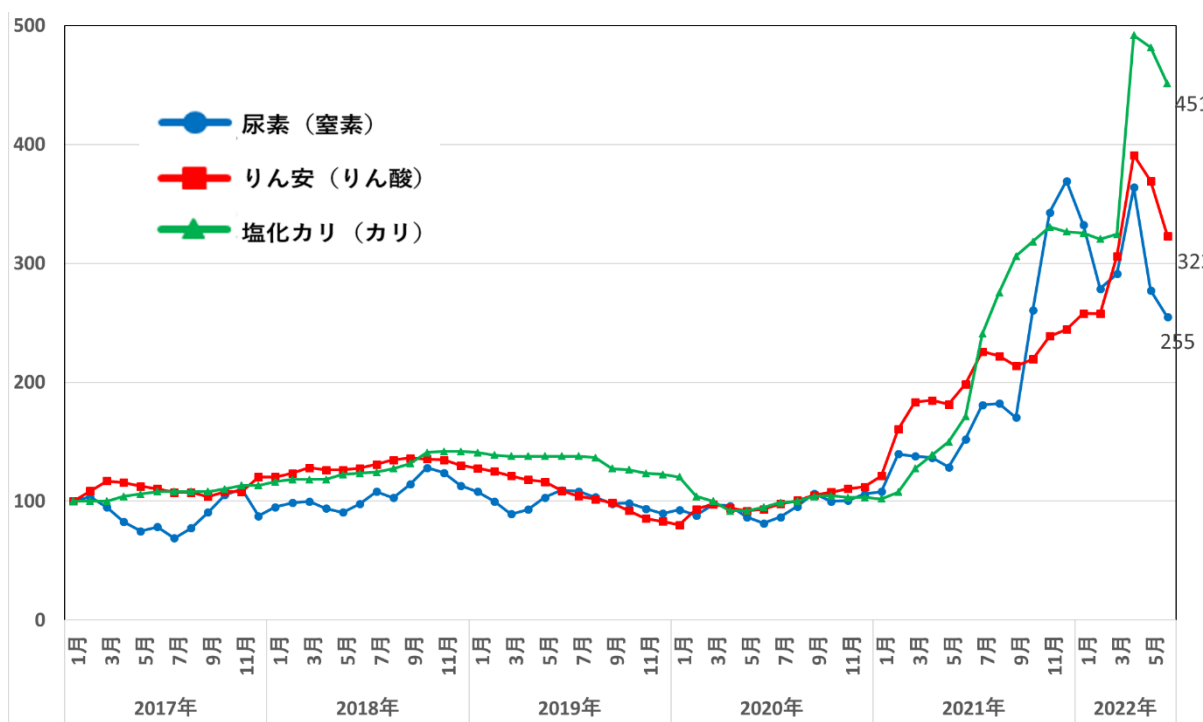


図1 化学肥料の原料価格の推移（2017年を100としたとき）全農調べ

3 化学肥料低減のポイント

(1) 土壌診断に基づく適正な施肥量の把握

土壌診断により過剰な肥料成分を減らした肥料設計に見直す

- ・土壌の診断基準（維持すべき目標値）に基づいた土壌診断
- ・土壌肥沃度（地力）と前作由来の肥料成分の残効を考慮し減肥した肥料設計
- ・土壌マップや定点調査など過去の調査データも参考にした肥料設計

(2) 有機質肥料・有機質資材の利活用

ア 有機質肥料施用（化学肥料低減技術）

有機質肥料への切り換え → 化学肥料全量(一部)削減

肥料の分解速度と作物の生育期間により、施用量を調整し、有機質肥料への全量もしくは一部を切り換えることで、化学肥料の削減ができる。

有機質肥料は土壌中の微生物の働きにより含まれる有機態窒素が無機化されるので、特に温度（地温）によって肥効が異なることに留意する。

イ たい肥等有機質資材施用（土づくり技術）

土づくりの効果に加え、

有機質資材(たい肥)の肥料成分を減肥 → 窒素 0.7～2.1kg/10a 削減

牛ふんたい肥や稲わらなど有機質資材をほ場にすき込んでいる場合は、連用年数と窒素の吸収利用率から窒素吸収利用量を考慮して減肥する。

水稻の場合、牛ふんたい肥を 1 t/10 a を施用すると、連用年数により 0.7～2.1 kg/10 a の窒素成分を削減できる。

ウ 緑肥作物利用（土づくり技術）

マメ科緑肥作物(レンゲなど)の利用 → 基肥(窒素)全量削減

レンゲなどのマメ科緑肥作物は根粒菌で窒素固定するため、すき込むことで基肥の窒素を削減することができる（水稻）。

(3) 効率的な施肥方法・施肥技術の導入

ア 局所施用（化学肥料低減技術）

局所施肥技術の活用 → 化学肥料 10～20%削減

側条施肥機付き田植機（水稻）、畝立て同時部分施用機（野菜）を利用し、作物の根域に肥料を施用することで、肥料の利用率を高めることにより減肥する。一般には肥効調節型肥料と併用することで、20～30%の減肥が可能である。

精密施肥技術の活用

土壌・生育データやドローンや衛星によるセンシングで得られたデータからほ場内で異なる施肥量を明らかにした施肥マップの作成とそのマップに対応する可変施肥田植機などによる精密施肥技術が実用化されており、均一な生育の確保による品質の均一化、基肥や追肥における過剰な施肥の減肥と倒伏防止による増収が期待できる。

イ 適切な分施や肥効調節型肥料の利用（化学肥料低減技術）

作物の養分吸収パターンに合わせた肥料分施

作目毎に異なる養分吸収パターンに合わせて、普通化成等の追肥や肥効調節型肥料の利用により、必要なときに必要な養分量を供給することで減肥する。

肥効調節型肥料の利用 → 化学肥料 10～20%削減

徐々に分解して窒素を溶出する化学合成緩効性肥料や、合成樹脂等でコーティングして溶出量・期間を調整した被覆肥料は、作物の肥料吸収パターンに応じて溶出し、肥料成分の利用率が高まるため、追肥を減肥する。

ウ その他

(ア) マルチ栽培

肥料成分の流亡を防ぐことで、基肥の減肥が可能になる。

特に県内の露地野菜産地では畦立て同時施肥マルチ機が導入され、施肥量の低減・省力化に効果を上げている。

(イ) 養液土耕栽培

土壌のもつ養分供給力、養分保持力、緩衝能をいかしつつ、制御された養液供給を行える。各種センサにより、植物体や土壌養分を指標としたリアルタイム診断を組み合わせれば、適期適量の、より効率的な施肥が可能となる。

(ウ) 単肥の利用

土壌診断結果によっては、必要な成分の単肥を利用することで、減肥が可能になる。主要なものを表1に記す。

表 1 主要な単肥等とその特徴 ～適切な使用と使い分けを～

分類	肥料の種類 〔肥料表記*〕	保証成分 〔公定規格〕	生理的 反応	特徴・備考
窒素質 肥料	硫酸 (硫酸アンモニア*)	AN 20.5% (SS 1.0%)	酸性	硫酸根を含み、土壌を酸性にしやすい。鉄分の少ない老朽化水田では硫化水素による根腐れに注意。特に、イオウを好むマメ類やチャによい。
	塩安 (塩化アンモニア*)	AN 25.0%	酸性	塩素を含み、土壌を酸性にしやすい。老朽化水田に使用可。塩素は繊維作物のアサ、ワタなどに適するが、イモ類などデンプン質作物には適さない。
	硝安 (硝酸アンモニア*)	AN 16.0% NN 16.0%	中性	土壌を酸性化しない。野菜・果樹など畑作物の基肥・追肥に適する。吸湿性が高く、ぬれた葉に接触すると害を及ぼす。爆発性があり、火気厳禁。
	尿素	TN 43.0%	中性	水によく溶け、吸湿性も高い。土壌を酸性化しない。あらゆる作物に適するが、分解・硝化が早いため、施設栽培ではガス害に注意する。
	石灰窒素	TN 19.0% アルカリ分 50.0%	アルカリ性	分解過程で生じるジシアンジアミドが硝化を抑えるため、窒素の肥効は長い。センチュウ等の防除にも効果があり、農薬登録された製品もある。
リン酸質 肥料	過リン酸石灰 (過石)	SP 15.0%、 うちWP 13.0%		遊離の硫酸や硫酸石灰(石こう)を含み、イオウの給源ともなる。水溶性リン酸が多く速効的であるが、土壌に固定されて不可給化しやすい。
	重過リン酸石灰	SP 30.0%、 うちWP 28.0%		過石と異なり硫酸根が少なく、土壌を酸性化することも少ない。土壌の塩類濃度を高めにくく、施設栽培やマルチ栽培に適する。
	熔成リン肥 (熔リン)	CP 16.0% CMg 11.0% アルカリ分 40.0%	アルカリ性	ク溶性リン酸が主で速効性ではないが、火山灰土壌のようなリン酸固定作用が強い土壌でも、作物根の接触等によりリン酸が吸収されやすい。
	BM熔リン	上記に加え、 CMn 1.0% CB 0.05%		ホウ素やマンガンの欠乏土壌に有効。
カリ質 肥料	硫酸カリ (硫酸)	WK 45.0% (SS 1.0%)	酸性	化学的に中性で他の肥料と配合しやすいが、硫酸根を含み土壌を酸性化しやすい。特に、イモ類などデンプン質作物に適する。
	塩化カリ (塩加)	WK 50.0% (WB 0.10%)	酸性	繊維作物には適するが、イモ類などデンプン質作物には適さない。吸湿性が高いので、保管時には湿気に注意する。
	ケイ酸カリ	CK 10.0% SSi 25.0% CMg 3.0%		ケイ酸を含み、特に水稻に適する。切り花など、作物の鮮度保持効果も期待できる。
	灰類	—		全カリの80～90%が水溶性であり、普通の灰類中のカリは硫酸カリ・塩化カリと同程度の肥効を示す。石灰が多いものもある。

AN: アンモニア性窒素	WP: 水溶性リン酸	WK: 水溶性カリ	SSi: 可溶性ケイ酸
NN: 硝酸性窒素	SP: 可溶性リン酸	CK: ク溶性カリ	SS: 可溶性イオウ
TN: 窒素全量 (「～性窒素」は肥料での表記法)	CP: ク溶性リン酸	CMg: ク溶性苦土	WB: 水溶性ホウ素
		CMn: ク溶性マンガン	CB: ク溶性ホウ素

可溶性：肥料成分で0.5モル濃度の塩酸に溶ける部分。

ただしリン酸についてはアルカリ性クエン酸アンモニウム溶液に溶ける部分。

ク溶性：肥料成分で2%クエン酸溶液に溶ける部分。作物由来の根酸可溶に近く、水溶性・可溶性成分よりも緩効性。

保証成分は肥料品質確保法による含有すべき主成分の最小量(%)、「—」は基準なし。

肥料便覧 第6版(農文協 2008)をもとに作成。保証成分(公定規格)は2023年1月時点のものを記載。

4 土壌診断に基づく適正な施肥量の把握

(1) 土壌診断の意義

土壌診断は、土壌の状態を定量的に把握し、施肥量を見直す判断材料として有効である。例えば、県内では、リン酸が「維持すべき目標値」を超過して蓄積されたほ場が多い傾向にある。このようなほ場では、リン酸の施肥量のある程度減らしても土壌中からリン酸が供給されるため、作物の生産性への影響は少ない。

また、主要根群域のち密度、有効土層など土壌の物理性に係る項目の改善には、通常の土づくりやプラウ耕による深耕とともに、必要に応じてサブソイラなどによる土層改良を行う。

表2 土壌の診断基準（維持すべき目標値）

項目	区分	水田 (水稻)	畑(転換畑を含む)		樹園地
			露地	施設	
作土の厚さ(耕起深)	(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
地下水水位	(cm)	—	60以下	60以下	80以下
pH	(H ₂ O)	6.0~6.5	6.0~7.0	6.0~7.0	6.0~6.5
陽イオン交換容量	(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	200~250	200~250	250~300	200~250
	苦土	25~35	25~35	35~50	25~35
	カリ	20~30	20~30	30~50	20~30
石灰/苦土	(当量比)	3~6	3~6	3~6	3~6
可給態リン酸【Truog法】	(mg/100g)	10~30 ^{注1}	30~50	50~100	30~50
可給態ケイ酸 【pH4酢酸緩衝液抽出法】 【湛水保温静置法】 【pH6.9リン酸緩衝液抽出法(中性PB法)】	(mg/100g)	25	—	—	—
		16(目安)	—	—	—
		12(目安)	—	—	—
遊離酸化鉄	(%)	0.8以上	—	—	—
腐植(土壌有機物) ^{注2}	(%)	3~5	3~5	3~5	3~5

注1：グライ土では10mg 注2：腐植含量(%)は全炭素(%)×1.72により概算可能

* 土壌の「維持すべき目標値」にECの項目はないが、ECが指標となる土壌塩類濃度への耐性(耐塩性)は作物により異なるので注意する(p.9、表4)。

【参考】リン酸集積土壌におけるハウレンソウ、コマツナ作付の減肥指針

兵庫県立農林水産技術総合センターは、土壌中のリン酸の蓄積量と葉物野菜(ハウレンソウ、コマツナ)生育量の関係を調べ、土壌中に一定値以上のリン酸が蓄積すると生育を抑制することを確認した。

この研究結果により、土壌中の可給態リン酸含量による減肥指針を作成した。

ハウレンソウ、コマツナ栽培土壌におけるリン酸減肥指針

可給態リン酸含量* (mg/100g, 風乾土)	リン酸施肥量
0~50	慣行
50~80	慣行の1/2
80~100	慣行の1/4
100以上	必要なし

灰色低地土、黄色土に適用できる。

* トルオーグ法による評価値

(2) 土壌診断結果活用の留意点 ～土壌養分が十分でも効きにくい場合～ 土壌養分の有効性の低下要因とその対策

土壌養分の作物への有効性には、量的な過不足のほかにも、土壌 pH や養分バランスなど、様々な要因が関与する。特に土壌 pH は影響が大きく、確認もしやすいので、もし低 pH であれば、まずは土壌（の一部）を対象作物の適 pH に矯正してみるとよい。以下に窒素、リン酸、カリにおける例を示す。

ア 窒素 ～土壌 pH に注意、イオウとも関連～

- ① 畑作物には硝酸態窒素を好むものが多いが、土壌 pH が低いと、アンモニア態 N を硝酸態 N に変える硝化菌（硝化成菌）が働きにくくなる。硝化は、一般的には土壌 pH が中性付近で進みやすく、pH5 以下では著しく阻害される。また、有機物の分解に関与する各種細菌も、低 pH では働きにくい。土壌 pH の矯正による窒素肥効の向上が期待される。
- ② 土壌の粘土粒子はマイナス電荷を帯び、プラス電荷をもつアンモニア態 N は吸着・保持されやすいが、マイナス電荷の硝酸態 N は保持されにくく、降雨等により流亡しやすい。露地のマルチ栽培は、硝酸態 N の流亡抑制に効果が高い。
- ③ 作物体の全窒素と全イオウとの比（N/S 比）は、トマト 12、オクラ 8～9、ダイズ 20、トウモロコシ 15～16 であり（河野 2004）、窒素とならびタンパク質の主要構成元素であるイオウ（必須多量元素）の要求量は少なくない。野菜用の肥料には副成分としてイオウを含むものが多い。

【参考】 作物のイオウ欠乏症は、生育不良や葉の黄化など、窒素欠乏症に似た症状を示す。その場合、窒素の施肥では回復せず、イオウの補給を要する。

イ リン酸 ～土壌 pH と腐植、土質に注意～

- ① 土壌 pH が低いと（pH 5 以下）、土壌中の鉄・アルミニウムが水に溶け出しやすくなり、リン酸が遊離の鉄やアルミニウムと結合して固定（不可給化）されやすい。栽培の一般的な適 pH とされる pH 6.0～6.5 では、リン酸の固定は生じにくい。
- ② リン酸の肥効に関わる低 pH 対策として、アルカリ資材の施用が望ましい（p. 10 のアレニウス表を参照）。また肥料種による対策として、水に溶けにくく不可給化しにくい、ク溶性リン酸（2%クエン酸可溶）主体の肥料の使用も有効とされる。ク溶性リン酸は植物根の接触により直接吸収される。
- ③ 土壌の腐植含量が低いと、施肥されたリン酸が土壌粒子と接触しやすく、鉄・アルミニウムと結合して固定されやすい。たい肥施用等による腐植の維持・増加（土壌の維持すべき目標値 3～5%）は、リン酸の肥効の向上にもつながる。
- ④ 黒ボク土（火山灰由来）は活性アルミニウムを多量に含み、リン酸を固定・不可給化する力が強いので、熔成リン肥（「熔リン」、リン酸はク溶性）の施用が効果的とされる。

【参考】 土壌のリン酸固定の程度は、黒ボク土、非黒ボク土の判定基準となっている。

ウ カリ ～塩基のバランスに注意、土壌によっては天然供給も多い～

- ① 塩基バランスの悪化は、養分の作物吸収において、拮抗作用を招くおそれがある。これは性質の似た元素同士が作物吸収において競合することにより起こる。カリウムに拮抗作用を及ぼす養分には、カルシウム、マグネシウムがあり、望ましい当量比は、CaO : MgO : K₂O = (65～75) : (20～25) : (2～10) とされている。
- ② カリウム(K)とアンモニア態 N との拮抗も知られる。

- ③ カリウムは土壌鉱物の黒雲母やカリ長石の構成元素であり、これらの鉱物を多く含む母岩の風化土壌にはカリウムが比較的多い(例:神戸層群の一部の風化土壌)。

エ その他 ～水田土壌の特性、黒ボク土の特性 (pH の変化、pH への反応) ～

- ① 水田土壌は、湛水状態が続くと土壌 pH が中性付近に収斂するため*、酸性害を生じにくい。また土壌の還元が進むと鉄が可溶化し、鉄と結合していたリン酸 (トルオグ法では抽出されない) が可給化するため、可給態リン酸の数値がやや低くても影響は生じにくい。

* 酸化還元電位の低下による pH の上昇と、生成する有機酸による pH の低下が平衡するためとされる。一般的に、土壌中の鉄含量と有機物含量が高いと、より中性に近くなる。

- ② 黒ボク土はその他の土壌 (非黒ボク土壌) と異なり、陽イオン交換容量(CEC)が土壌 pH により変化し、低 pH では保肥力が低下する。非黒ボク土壌の土壌粒子は塩基類を吸着する安定したマイナス電荷をもつが、腐植やアロフェン (火山性の中空球状の微粒子) の多い黒ボク土の電荷は pH により変化するためである。

【注意点】

- ・ 土壌 pH は硝酸態Nの集積により、一時的に低下することがある。低 pH の矯正の前に、EC メータや RQ フレックス等により、一時的な低 pH か、持続的な低 pH かを判定する。
- ・ 土壌の低 pH の矯正は、生理的酸性肥料 (硫安, 塩安等) の使用停止や、アルカリ資材の施用により行うが、pH が過度に高まると (7.5 以上)、微量元素が不可給化しやすい (p. 10、図 3)。
- ・ たい肥等の有機質資材を過度に施用すると、土壌の養分バランスの悪化、粗孔隙の増加による乾燥害、微量元素であるマンガンの微生物への取り込みによる欠乏症、などを生じるおそれがある。

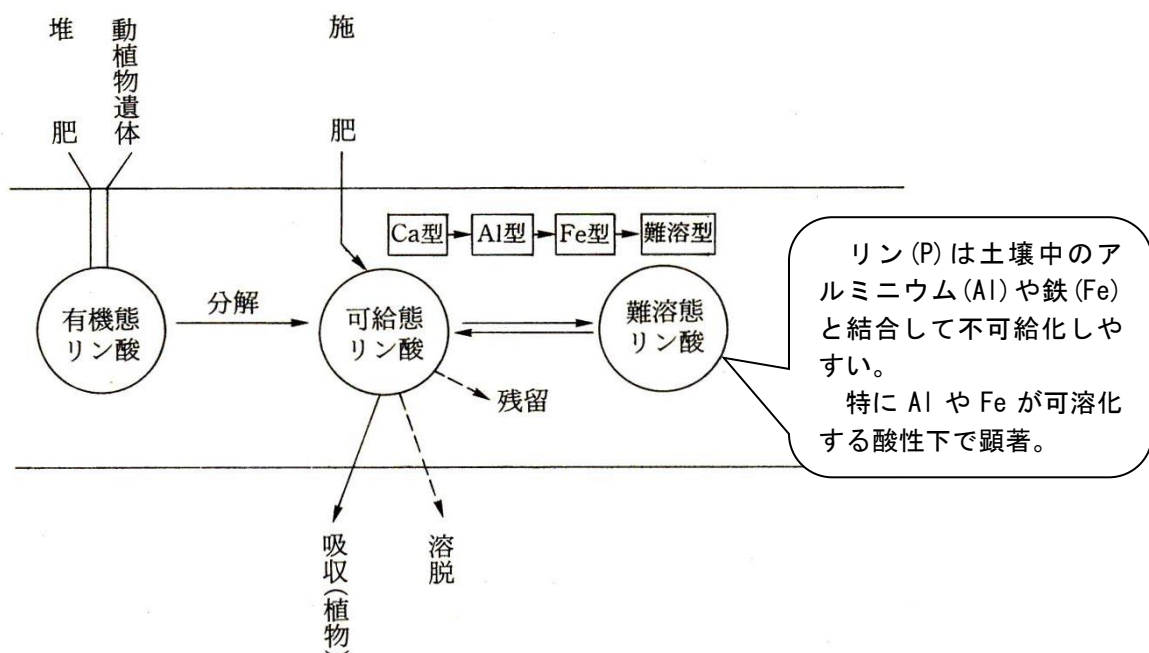


図 2 土壌中におけるリン酸の動向

土壌学概論 (朝倉書店 2001) より

表3 作物別の好適pH

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

「ひょうごの土づくり指針」より

表4 土壌の電気伝導度(EC)に対する耐性の目安

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

「ひょうごの土づくり指針」より

表5 アレニウス表：酸性土壌の矯正(pH6.5)に要する炭酸カルシウム施用量の目安

(kg/10a)
(矯正目標pH6.5 (H₂O) 10a深さ10cm 当たり)

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

注1：消石灰施用の場合は0.75を乗じた量を施用する。

2：火山灰土の場合は普通土壌より比重が軽いので、この量より30%内外を減じたほうが良い。




施肥診断技術者ハンドブック（J A全農肥料農薬部 1999）より。

(例)：腐植含量「含む(2~5%)」の壤土のpHを、pH5からpH6へ1上げる場合、
炭酸カルシウム必要量=379-128=251 (kg/10a)

【参考】腐植含量について

「含む」 2~5% (目安：明度4~5、暗色)
 「富む」 5~10% (明度2~3、黒褐色)
 「すこぶる富む」 10%以上 (明度1~2、黒色)
 目安は、マンセル式の土色の明度。
 土壌調査ハンドブック (博友社1997)より。

【参考】触感による土性判定

区分	砂土	砂壤土	壤土	埴壤土	埴土
簡易的な判定法	固めることができない	固めることはできるが、棒にはできない	鉛筆くらいの太さにできる	マッチ棒くらいの太さにできる	コヨリのように細長くなる。
					

少量の水で湿らし、指の感じによって粘土と砂の量を判定する

ヤンマー(株)HPより抜粋
(原典：前田・松尾1974)

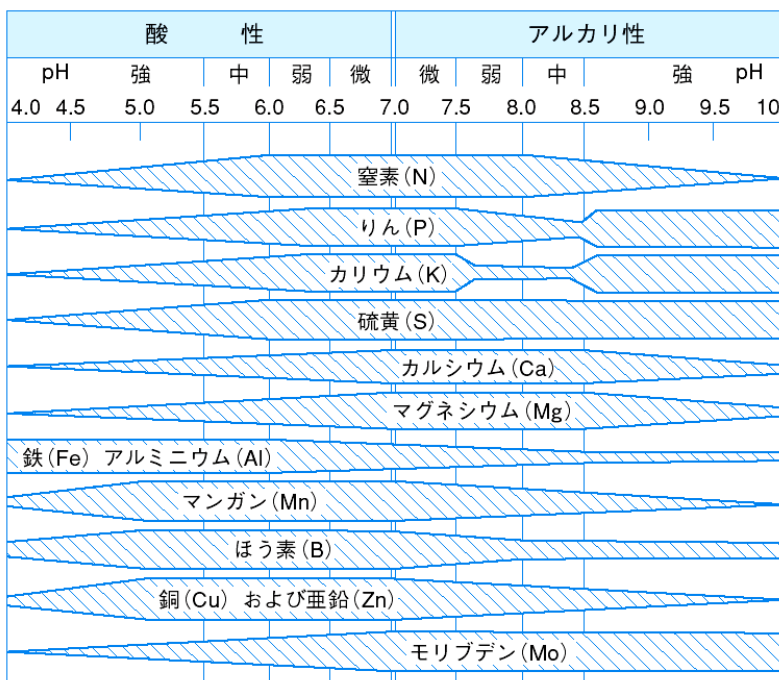


図3 土壌pHと肥料成分の溶解・利用度

微~弱酸性：必須元素がまんべんなく供給されやすい。

土づくり肥料のQ&A
(土づくり肥料推進協議会 2004)より。
(原典：Truog, 1949)

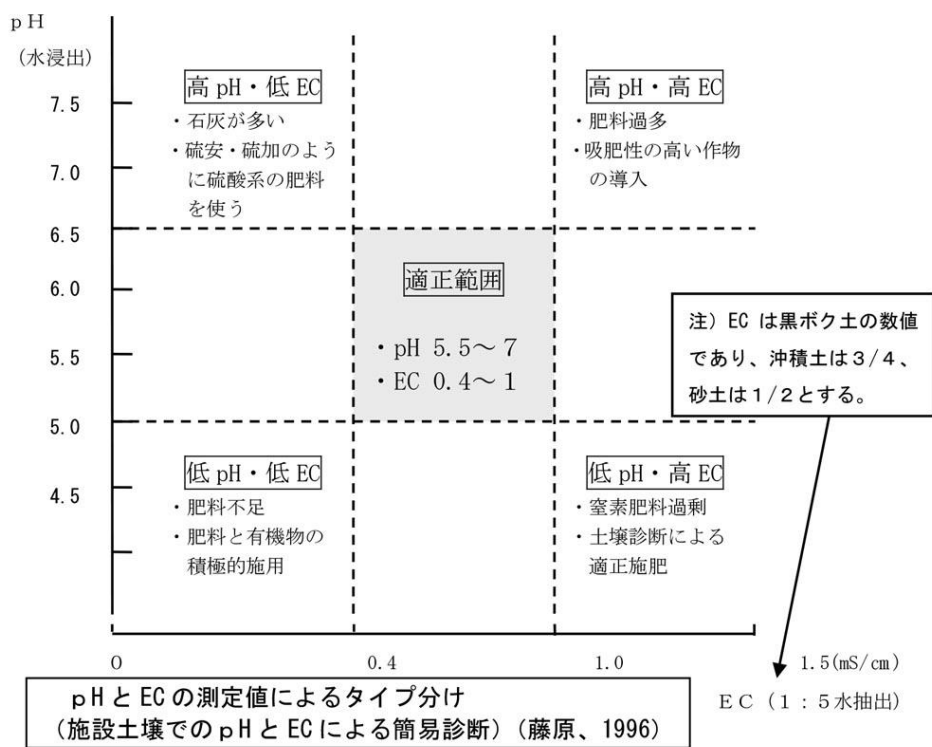
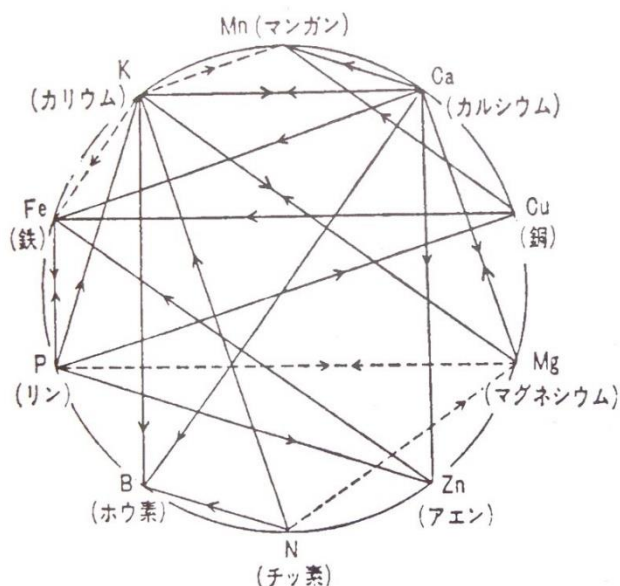


図4 土壌のpHとECによるタイプの例

土壌診断の方法と活用 (農文協 1996) より一部改変

(注意) 土壌 pH だけで資材施用や pH 矯正を決めるのは危険である。例えば、生じた硝酸態 N による pH の一時的な低下も考えられる。pH、EC や土壌の迅速養分テスト、ほ場観察などからなるべくほ場の状態を把握し、対策を立てる。

*本図は典型例。現地では様々な要因・パターンが生じる (硫酸イオンや塩素イオンによる pH の低下など)。



拮抗作用: 相手の吸収を抑える
相乗作用: 相手の吸収を助ける

現場の土づくり・施肥 Q&A
'96年改訂版 (JA全農 1996) より
(原典: Schütte 1964)

図5 作物吸収における土壌養分の相互作用のイメージ

(注意) 相互作用は土壌条件により様々な現れ方をするが、作物にとっての養分の過不足は、土壌中の個別の養分量を直接反映するものではないことに留意する。土壌養分が十分あるのに生理障害が疑われる場合は、土壌 pH や養分バランスを確認する。

(3) 土壌診断の方法

土壌診断は、キットや装置等を使って自ら行うか、または分析会社へ依頼する。ここでは比較的簡易な方法として、RQ フレックス及び迅速養分テスト法を前提に、土壌の採取から分析・診断までの一連の手順を紹介する。

なお、RQ フレックス、迅速養分テスト法とも、一部測定に毒劇物や特定化学物質を使用するが、硝酸、亜硝酸、アンモニウムイオンは、試験液の希釈と RQ フレックスとを組み合わせることで、有害物質を用いずに測定できる（表 6）。

各種試薬類の管理や廃液処理は、最新の情報に基づき適正に行うこと。

ア 土壌試料の採取法および調製法

土壌試料の採取は、化学性が安定している収穫期前後に行うことが多い。

ほ場全体の作土の傾向を調べる場合は、通常、図 6 のように対角 5 地点から作土を均等に採取し（生土で計 500～1,000 g 程度）、混和する。施設土壌では表層に養分集積を生じることが多いため、土壌採取深度を明確にし、必要に応じて深度ごとに別個に採取する。

果樹の場合は、部分施肥位置と同じく、細根が多い樹冠の縁の下～やや内側からの土壌採取を基本とする。果樹では深層土壌の分析も有効である。

土壌採取時には現地の観察を十分に行うこと。

土壌の一般化学性の分析には、通常、上記の生土を陰干しまたは通風乾燥（30～40℃）してφ2 mm の篩にかけた風乾細土を用いる。しかし簡便性を重視する後述の迅速養分テスト法では生土分析を基本とする。

なお、生土分析の場合は迅速な分析が望ましい。しばらく保管する際は密封して 3～5℃で冷蔵すること。

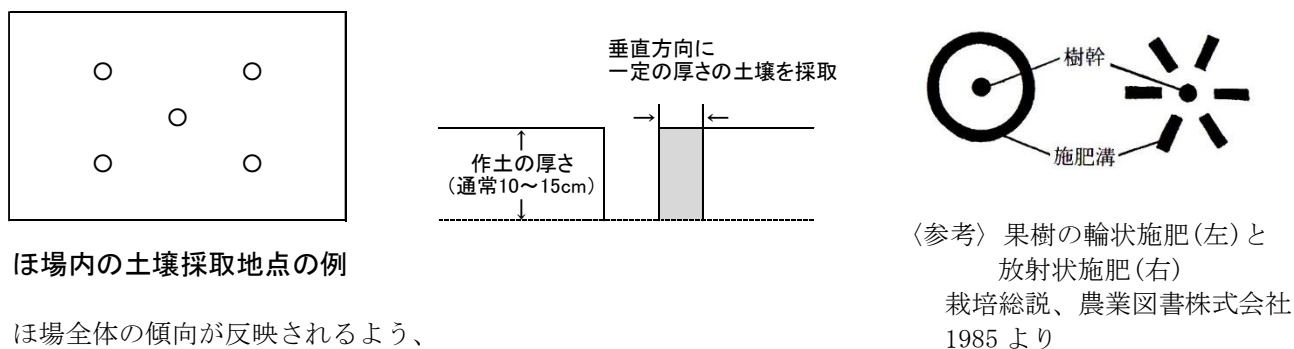


図 6 土壌の採取方法

イ RQ フレックスによる測定

(7) RQ フレックスの概要

ドイツのメルク社が開発した小型反射式光度計であり、専用の発色試験紙を用いて検液中の各種イオン濃度を測定できる。

測定可能なイオンとしては、アンモニウム、カルシウム、塩素、鉄、マグネシウム、硝酸、亜硝酸、リン酸、カリウム等があるが、測定操作は様々であり、説明書の操作手順を遵守する。

なお、RQ フレックスの精度を維持するための製品として、補正用の「RQ リキャリブレーションセット」や機能確認用の「RQ チェック」がある。

表6 窒素に関連する RQ フレックスの測定条件

(2017 時点、2013 年更新の製品情報をもとに作成)

測定イオン 〔試験紙〕	イオン濃度 (mg/L)	N 濃度 (mg/L)	液温、反応時間	備考	換算係数 〔イオン→N〕
硝酸イオン (NO ₃ ⁻)	3~90	0.7~20.3	15~30℃、60 秒	亜硝酸イオン(NO ₂ ⁻)0.5mg/L 以上では所定の前処理が必要。	0.226 (N/NO ₃ =14.01/62.01)
	5~225	1.1~50.8	15~30℃、60 秒		
亜硝酸イオン (NO ₂ ⁻)	0.03~1.0	0.009~0.304	15~30℃、60 秒	試薬にヒドロキシルアミン(劇物)含む。	0.304 (N/NO ₂ =14.01/46.01)
	0.5~25.0	0.2~7.6	15~30℃、15 秒	N-(1-ナフチル)-エチレンジアミンによる発色。試薬に毒劇物を含まない。	
アンモニウム イオン (NH ₄ ⁺)	0.2~7.0	0.16~5.4	20~30℃、480 秒	インドフェノールによる発色。試薬に毒劇物を含まない。	0.777 (N/NH ₄ =14.01/18.04)
	5.0~20.0	3.9~15.5	20~30℃、240 秒		
	20~180	15.5~140	15~25℃、15 秒	ネスラー反応。試薬による化水銀(毒物)、水酸化ナトリウム(劇物)含む。	

※これ以外にも測定上の注意事項は多い。説明書に記された内容を遵守すること。

(イ) 土壌の養分含量の計算方法

RQ フレックスの画面表示値は、供試液のイオン濃度(mg/L)であるため、抽出条件や抽出る液の希釈倍率から土壌の養分含量(通常は肥料成分表示)を算出する。

土壌養分の抽出では、固液比 1:5、つまり風乾細土 20g(相当)を水 100mL(0.1L)で抽出することが多い。その場合、土壌の養分含量は以下の式で求められる。

$$\text{土壌の養分含量 (mg/100g)} \\ = \text{RQ 画面表示値 (mg/L)} \times \text{希釈倍率} \times 0.1 \text{ (L)} \times (100/20) \text{ (g)} \times \text{換算係数}$$

RQ フレックス表示からの換算係数の例

RQ表示	肥料成分表示	換算係数	備考 (分子量、原子量等)
NO ₃ ⁻	→ NO ₃ -N (硝酸態N)	0.226	N=14.01, NO ₃ =62.01, N/NO ₃ =0.226
NH ₄ ⁺	→ NH ₄ -N (アンモニア態N)	0.777	N=14.01, NH ₄ =18.04, N/NH ₄ =0.777
K ⁺	→ K ₂ O (カリ)	1.20	K ₂ O=94.20, 2K=78.20, K ₂ O/2K=1.20
PO ₄ ³⁻	→ P ₂ O ₅ (リン酸)	0.747	P ₂ O ₅ =141.94, 2PO ₄ =189.94, P ₂ O ₅ /2PO ₄ =0.747

土壌の養分含量の単位には、慣行的に「mg/100g」がよく用いられる。この表記には、「mg/100g」の数値を「kg/10a」の数値に、おおまかではあるが読み換えられる利点がある。
(土壌の仮比重を 1.0 と仮定 → ほ場の表層 10cm の土量は約 100t/10a)

(4) RQ フレックス使用上の留意点

- ① 画面表示値は、マニュアルに記載された形態のイオン濃度 (mg/L) なので注意すること。
- ② 機器の安定や各種反応（発色反応など）は、一般に高温下で早く低温下で遅くなる。したがって同時測定でない場合、数値の細かな比較は難しい。
- ③ 試料液の液温範囲や pH レンジ、反応時間、測定に影響する夾雑物質の除去法等の指定に注意し、必要に応じて所定の方法で前処理を行うこと。
- ④ 試験紙の有効期限に注意し、使用・保管方法等は説明書に従うこと。

【参考】エムクアント シリーズ（メルコクアント テスト）

試験紙の発色をカラースケールと比較して判定する。

RQ フレックスの測定前のレンジ確認にも利用できる。

硝酸イオン(NO_3^-) 0～500 mg/L

亜硝酸イオン(NO_2^-) 0～ 80 mg/L

アンモニウムイオン(NH_4^+) 0～400 mg/L

ウ 迅速養分テスト法による測定

(7) 迅速養分テスト法の概要

本県で開発された、各種試薬による発色・濁りをカラーチャート*を使って目視で判定する測定法。

土壌及び作物体の養分測定ができ、ほ場の観察や聞き取りと組み合わせると、栽培上の問題点をかなり絞り込むことができる (p. 18)。

水抽出による分析項目には RQ フレックスで測れるものもあるが、迅速養分テスト法には、試薬類と一般的な器具があれば、長期にわたって実用的な分析環境を自身で整えられるというメリットがある。

以下に土壌、作物体の順で個別の操作手順を記す。

【参考】

カラーチャートは本指針にも掲載 (p. 25, 26) しているが、その原本である「原色 野菜の要素欠乏・過剰症」(渡辺和彦(著)、農山漁村文化協会発行)等には、より識別しやすいものが詳細な説明とともに掲載されている。

(イ) 迅速養分テスト法の留意点

a 得意な元素、不得意な元素

迅速養分テスト法には、得意な元素とそうでない元素が存在する。不得意な元素は水抽出を塩抽出にかえるなどの工夫が必要である。

表7 迅速養分テスト法が得意、不得意な肥料成分

得意な元素	P_2O_5 , K_2O , Mn, Al, Cl, SO_4
やや不得意で、工夫の必要な元素	CaO (アブラナ科野菜は可能), MgO , Fe^{2+}
過剰でしか検出できない元素	B, Zn, Ni, Fe^{3+}

「わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き」, 渡辺和彦著, 誠文堂新光社 2010, および農耕と園藝(2022.6), p.75 に基づき作成

b 窒素成分の測定

窒素成分の簡易診断には、以前はアンモニア態窒素にはネスラー試薬、硝酸態窒素・亜硝酸態窒素には GR 試薬を用いていた。

しかし、ネスラー試薬は水銀を含む毒物であり、GR 試薬に含まれる α -ナフチルアミンは労働安全衛生法による特定化学物質であることから、近年は使用・保管ともに困難となっている。そこで本県では、これらの測定には RQ フレックスを推奨している。

(ウ) 土壌の迅速養分テスト手順（生土容積法による pH, EC の測定と養分抽出）

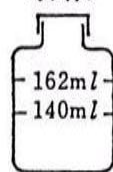
250 mL 容ふた付きポリビンの 140 mL と 162 mL の 2 カ所に印を付ける。140 mL の線まで水を入れ、そこに生土を、水面が 162 mL の線にくるまで入れて 5 分間よく振り混ぜる（図 7）。この乾土 (g) : 水 (mL) \div 1 : 5 の懸濁液*を用い、pH と EC を測定する。

秤を用いる場合には、水 140 mL に生土は 40 g、乾土は 28 g**を入れる。

pH の測定は正式には土液比 1 : 2.5 の懸濁液で行うが、1 : 5 の懸濁液で測定しても診断上の問題はほとんどない。

この土壌懸濁液を一般的な JIS 規格 6 種のろ紙 (No. 6) でろ過し、ろ液を次項以下の養分テストに用いる。

〈操作〉



左図のようなプラスチック容器に 140 mL の目盛りまで先に水を入れておき、そこへ作物栽培中の水分 25% の生土を水面が 162 mL の目盛りになるまで入れる

〈原理〉

容積 22 mL の生土は 乾土 12 mL と水 10 mL からなる

水分 25% の生土は 乾土 30 g と水 10 g からなる

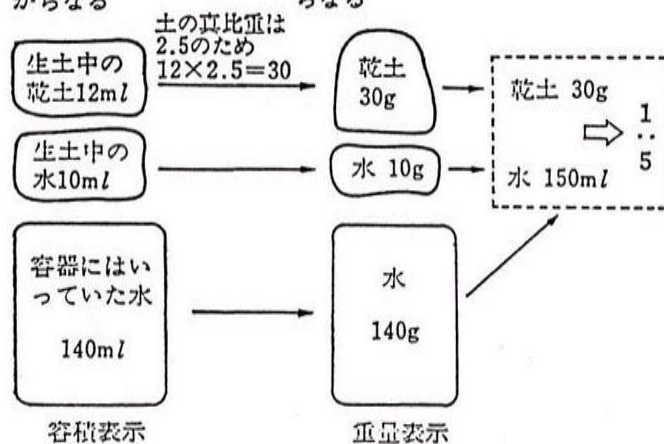


図 7 土壌の養分抽出の方法

* カルシウム, マグネシウム, 亜鉛, アルミニウムは水で抽出されにくい。必要に応じ、水のかわりに抽出しやすい 10% 酢酸ナトリウム液 (pH 5.2) を用いる。

** 土の真比重を 2.5 (通常 2.3~2.7) と仮定。

【注意】 水には脱イオン水や蒸留水を用い、水道水は使用しない。水道水の水質基準はゆるく、例えば硝酸態窒素が 10mg/L、カルシウムが 300mg/L でも基準を満たす。また水道水では、各種成分の抽出効率にも影響するおそれがある。

(I) 作物体の迅速養分テスト手順（基本操作 : p. 19 参照）

約 2 mm に細断した葉柄約 0.2 g に蒸留水または 10% 酢酸ナトリウム溶液 (pH 5.2) 2 mL を加え、5 分間程度よく振り混ぜたのち、各試薬を添加する。硝酸態窒素, リン酸, カリ, カルシウム, マグネシウム, マンガンは、作物体の抽出液 (懸濁液) のままでテストできる。

葉柄 (場合により葉身や茎) は、比較のため、なるべく同じ生育ステージで同じ葉位のもを採取する。作物体の養分含有率は、正常であっても変動幅が大きい。

したがって診断は基本的に、正常なものと異常なものとを、同時に・同量により・同部位について比較する。

【作物体の迅速養分テストの留意点】

- a 硝酸態窒素：葉身は葉緑素が多く、試薬の発色阻害のおそれがあるので葉柄を用いる。
- b リン酸：必要に応じ試験液を試薬添加前に希釈し、添加後 5～15 分後に比色(目視)する。
- c カリウム：水溶性で多量に存在する。葉柄 0.2 g に水 10 mL を添加し、試薬は 10 滴とする。
- d カルシウム：水または 10%酢酸ナトリウム(pH 5.2) 2 mL で抽出する。妨害元素は少ない。
- e マグネシウム：水または 10%酢酸ナトリウム(pH 5.2) 2 mL で抽出する。試薬①の量を厳守する。
- f マンガン：栽培条件による変動が大きい。正常作物でも乾物あたり数～数百 mg/kg の幅か。

栄養診断のための葉柄汁液の測定部位の例（六本木, 山崎）

野菜名	測定部位
キュウリ	14～16節の本葉または側枝第1葉の葉柄
イチゴ	最新の展開葉から数えた第3葉目の葉柄
トマト	収穫果房周辺の小葉の葉柄
ナス	最新の展開葉から数えた第3葉目の葉柄

新版 土壤肥料用語事典(農文協 1998)より

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

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

- ✓ 機器の安定や各種反応（発色反応など）は、一般に高温下で早く、低温下で遅くなる。したがって同時測定でない場合、数値の細かな比較は難しい。
- ✓ 各種標準液の保管に注意し、使用分は適時更新する（製品説明にしたがう）。

(オ) 迅速養分テスト法を用いた簡易診断のフローチャート及び基本操作

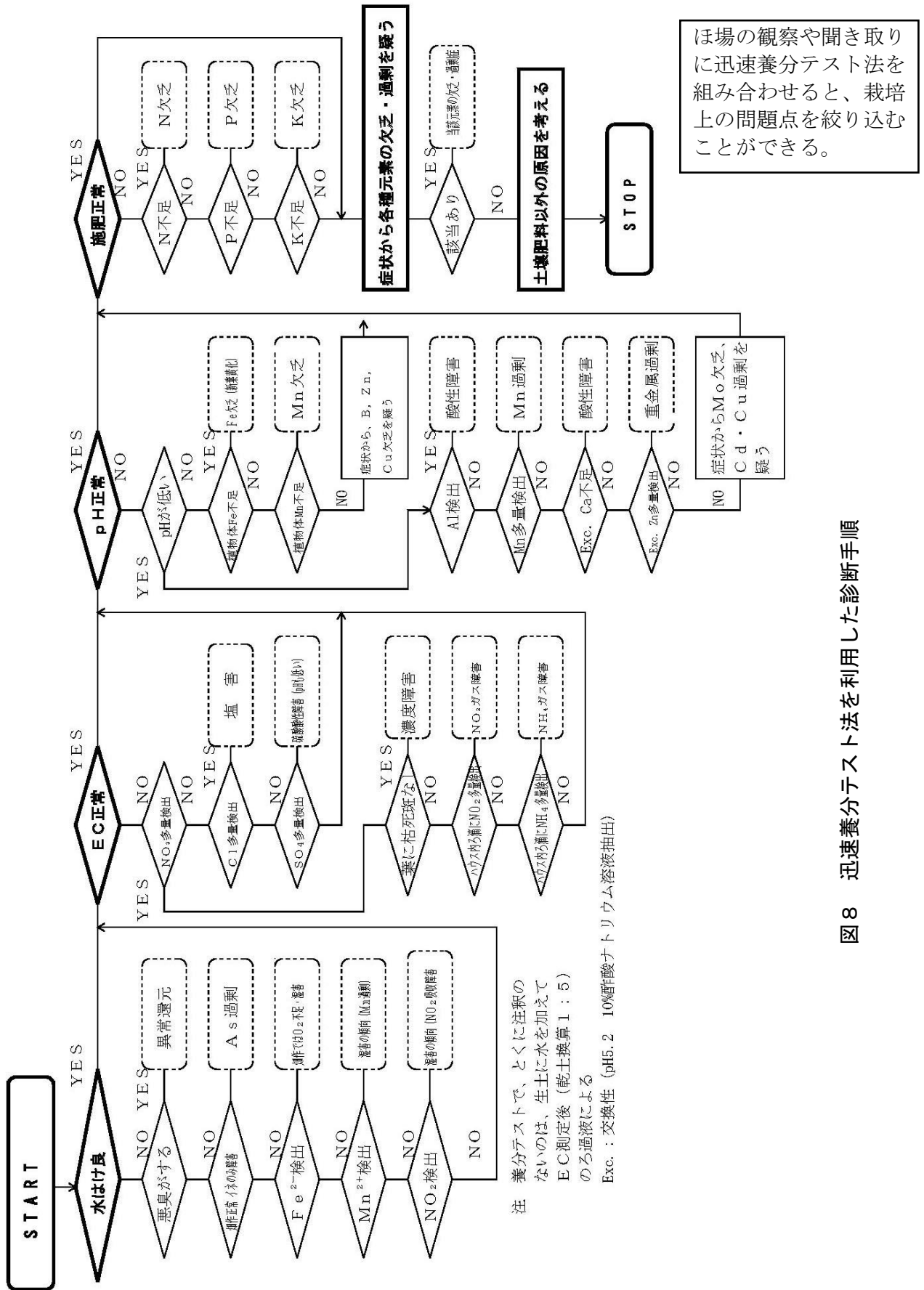


図 8 迅速養分テスト法を利用した診断手順

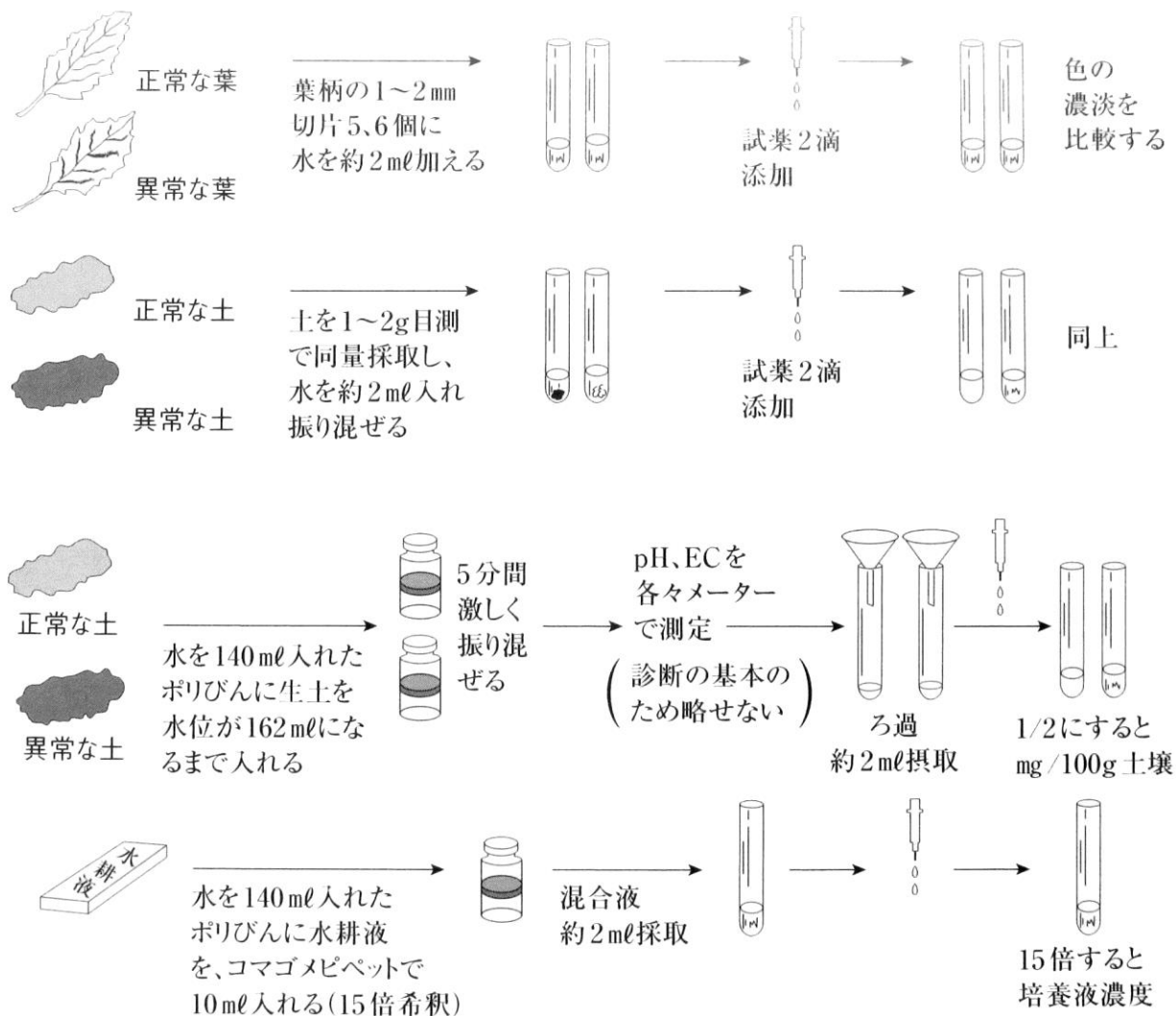


図9 迅速養分テスト法の基本操作

「わかりやすい園芸作物の栄養診断の手引き」(誠文堂新光社 2010)より

(カ) 迅速養分テスト法で用いる試薬類

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

大半の試薬（調製したもの）は冷蔵すれば長期保存に耐える。

試験液（土壌抽出液またはその希釈液） 2mL/試験管、
試薬は必ず下表の試薬欄の記載順に添加する（①→②→③）

添加量の目安： 1滴≒0.05mL,

マイクロスポーテル(以下、耳かき)1杯≒25mg

診断養分	試薬	添加量 (標準)	発色に 要する 時間
NH ₄ -N	(RQフレックス推奨、低濃度域、イントフェノール法)	—	—
NO ₃ -N	(RQフレックス推奨)	—	—
NO ₂ -N	(RQフレックス推奨)	—	—
P ₂ O ₅	①2% モリブデン酸アンモニウム [(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O] in 3.78M HCl	4滴	
	②5%塩化スズ [SnCl ₂ ·2H ₂ O] in 1.2M HCl (+ 金属錫1 粒, 貯蔵用)	2滴	
K ₂ O	①5% テトラフェニルほう酸ナトリウム Na(C ₆ H ₅) ₄ B	2滴	5分以上
CaO	①4% しゅう酸アンモニウム [(COONH ₄) ₂ ·H ₂ O] in 1% 酢酸	2滴	5分以上
MgO	①0.1% チタン(イ)エロー (C ₂₈ H ₁₉ N ₅ Na ₂ O ₆ S ₄)	2滴	
	② 2.5M NaOH	10滴	5分
Fe ²⁺	①0.2% o-フェナントロリン	2滴	5分以上
Fe ³⁺	①L-アスコルビン酸	耳かき1杯	
	②0.2% o-フェナントロリン	2滴	5分以上
Mn	①過よ素酸カリ KIO ₄ 飽和溶液	4滴	
	②10% 酢酸	2滴	
	③1% テトラベース (Tetramethyldiaminodiphenylmethane) in アセトン	4滴	30~60秒 [退色が早い]
Zn	①緩衝液 (NaOH 4.3g, KCl 18.7g, ホウ酸 15.5g /500mL)	8滴	
	②0.13% ジンコン (o-(2-(α-(2-Hydroxy-5-sulfo- phenylazo)benzylidene)-hydrazino)benzoic acid, Na salt) in メタノール	4滴	2~5分
Ni	①1% ジメチルグリオキシム in 1% NaOH	2滴	5分
Al	①0.2% アルミノン ((HOC ₆ H ₃ COONH ₄) ₂ C·C ₆ H ₃ (COONH ₄) ₂)	2滴	
Cl ⁻	①0.1M 硝酸銀 AgNO ₃	2滴	5分以内
SO ₄ ²⁻	①3% 塩化バリウム BaCl ₂	2滴	

エ 測定結果の診断基準

RQフレックス等による測定または迅速養分テスト法で呈色度（+、++、+++、++++、++++）を確認したら、下表により、その土壤の養分状態が適当か過不足があるかの診断を行い、次作の施肥設計の判断材料とする。

	NH ₄ -N					NO ₃ -N				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	1	2.5	5	10	50	1	2.5	5	20	50
mg/100g, 乾土	0.5	1.25	2.5	5	25	0.5	1.25	2.5	10	25
診断	適当		やや多い	多い	過剰	少ない	やや少ない	やや多い	適当	多い

	NO ₂ -N				
呈色度	+1	+2	+3	+4	+5
試験液中濃度 (ppm)	0.05	0.1	0.25	1	2.5
mg/100g, 乾土	0.025	0.05	0.125	0.5	1.25
診断	酸素不足 または多肥		注意		ガス障害の危険性

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

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

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

*10%CH₃COONa (pH5.2) 抽出

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

*10%CH₃COONa (pH5.2) 抽出

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

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

※不検出 → Mn欠乏の可能性

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

*10%CH₃COONa (pH5.2) 抽出

試薬②の添加前に、試薬①で試験液のpHを8.5~9.5とする。

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

*10%CH₃COONa (pH5.2) 抽出

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

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

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

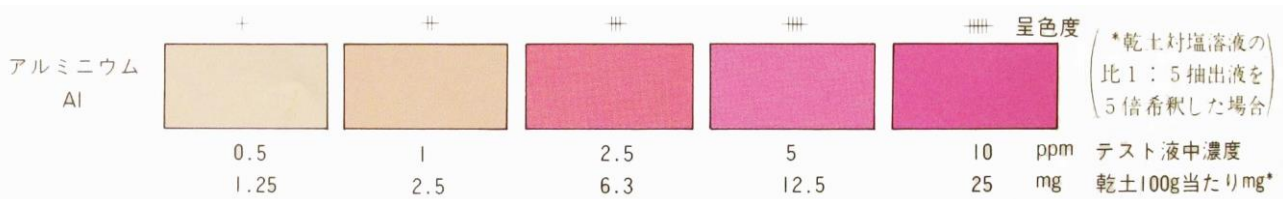
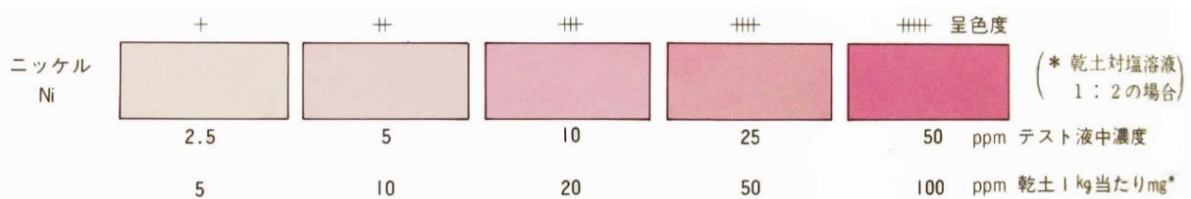
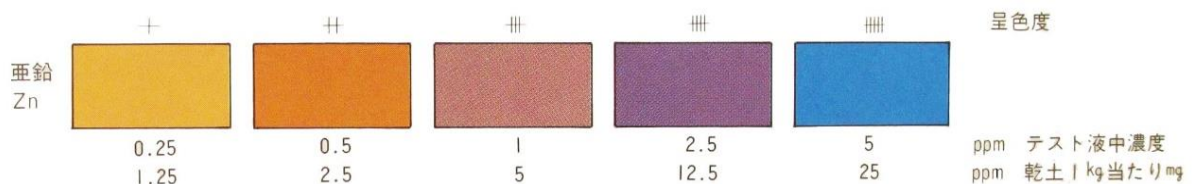
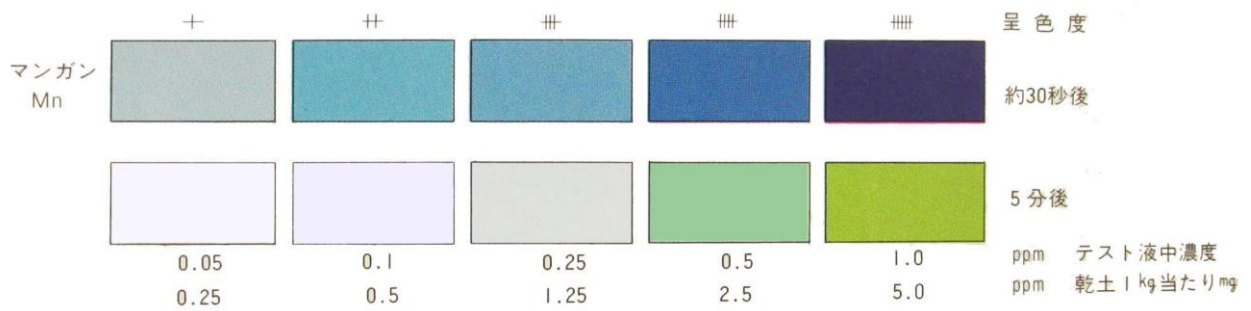
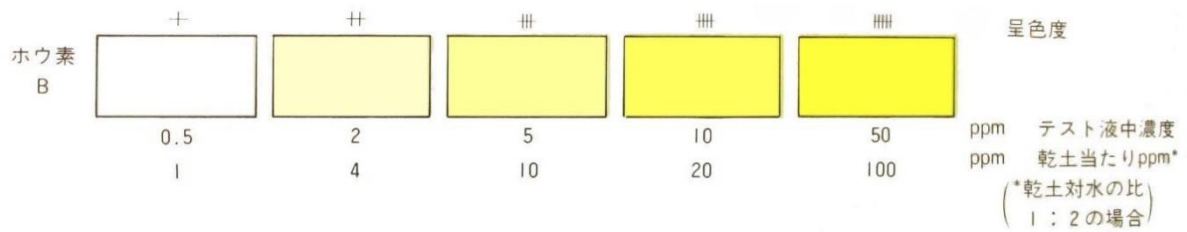
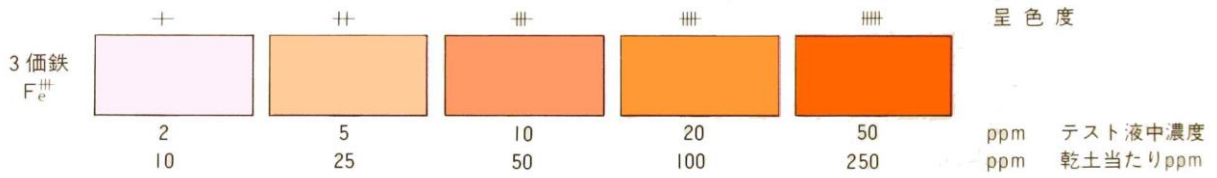
	SO ₄ ²⁻				
比濁度	+1	+2	+3	+4	+5
新聞の字	よく読める	少し読みにくい	見えるが読めない	模様のように見える	全く見えない
試験液中濃度 (ppm)	50	100	200	500	1000
mg/100g, 乾土	25	50	100	250	500
診断	正常	異常			

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

土壌迅速養分テスト法の比色・比濁表

原色 野菜の要素欠乏・過剰症（農文協 2002）より





SO₄²⁻ 水溶性硫酸根の比濁表と土壌での診断基準

比濁度	+	⦿	⦿⦿	⦿⦿⦿	⦿⦿⦿⦿	
新聞の字	よく読める	少し読みにくい	見えるが読めない	模様のように見える	全く見えない	
テスト液中濃度 (ppm)	50	100	200	500	1,000	
換算すれば	乾土 1 kg 当たり mg (ppm)	250	500	1,000	2,500	5,000
	土壌溶液中濃度 (ppm)	750	1,500	3,000	7,500	15,000
診断	正常	異常				

Cl⁻ 水溶性塩素の比濁表と土壌での診断基準

比濁度	+	⦿	⦿⦿	⦿⦿⦿	⦿⦿⦿⦿	
新聞の字	よく読める	読める	見える	わずかに見える	全く見えない	
テスト液中濃度 (ppm)	5	10	50	100	500	
換算すれば	乾土 1 kg 当たり mg (ppm)	25	50	250	500	2,500
	土壌溶液中濃度 (ppm)	75	150	750	1,500	7,500
診断	正常	多い	異常	生育不良	障害	

【参考】 万能指示薬による簡易な土壌 pH の測定

迅速養分テスト法の流れとは別個のものであるが、土壌 pH の現地測定に便利な指示薬である。

試験管に 1 g 程度の土を目測で採取し、蒸留水を目測で 2~3 mL 入れて少し振り混ぜ、万能指示薬を 2 滴添加する。その上澄み液の呈色から土壌 pH を判定する（下表）。

* ほ場内数カ所から採取した土壌をよく混ぜるか、地点を変えて数回確認する。

万能指示薬の変色域

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

【万能指示薬の作成方法】

①メチルレッド 40 mg + 0.1 M NaOH 1.28mL + H₂O 98.72 mL = 100 mL

②ブロムチモールブルー 80 mg + 0.1 M NaOH 1.28mL + H₂O 98.72 mL = 100 mL

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

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

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

スマートフォンで土壌の種類がわかる e-土壌図IIアプリ

土壌分類は、土壌の成り立ちや性質の違いをもとに種類分けしたもので、土壌の保肥力・保水性・排水性など、適正な土づくりや肥培管理を進めるために考慮すべき情報を得ることができる。

農研機構が開発した「土壌インベントリー」は、土壌の種類毎の分布状況が示されている土壌図で土壌の種類毎の説明などがインターネットで閲覧できる。「e-土壌図II」はスマートフォンで土壌図を閲覧できるアンドロイドおよびiOS用のアプリである。

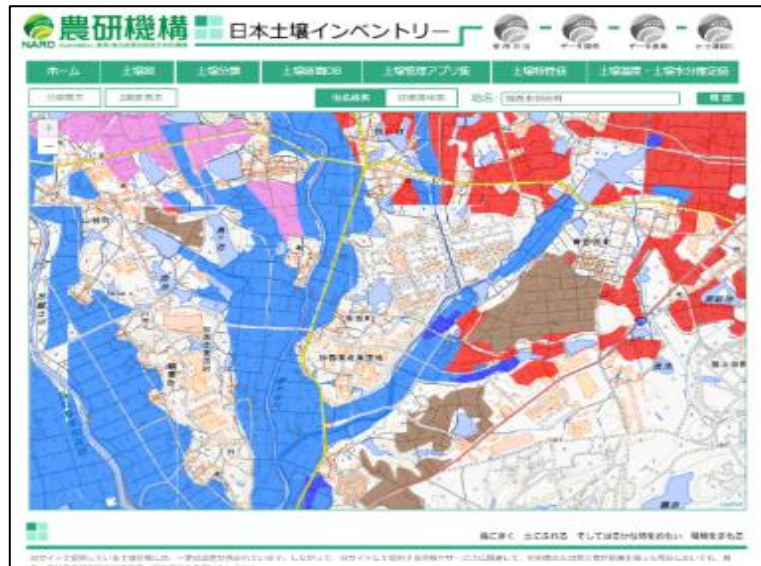
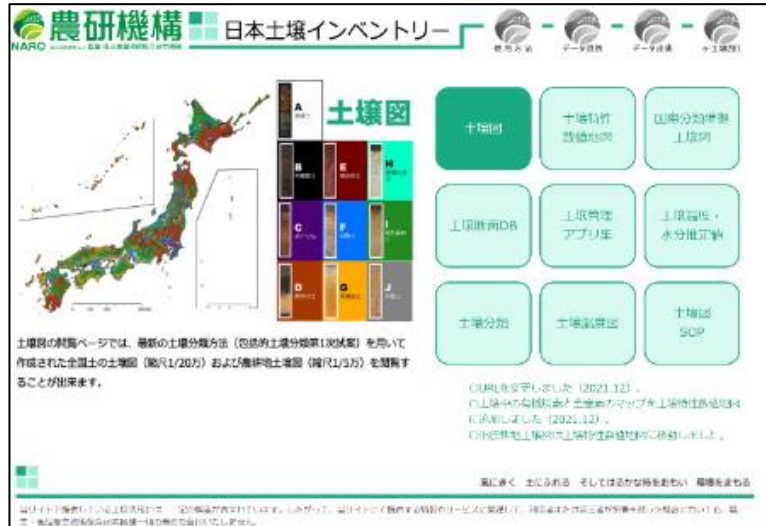
この土壌図は2011年に農研機構(旧農業環境技術研究所)が作成した包括的土壌分類第1次試案に基づいて作図された縮尺20万分の1相当の全国の土壌図と大きく拡大した時に表示される縮尺5万分の1相当の農耕地土壌図である。

これらの土壌図で表示された任意の地点をクリックすると、その地点の土壌種名が表示され、さらに、土壌種名をクリックすると、その特徴や分布範囲などを解説したページが表示され、ほ場毎の土壌の特性等が直ちに判明する。

なお、e-土壌図IIアプリには、農研機構で2010年4月より配信していた「(旧)農耕地土壌図」に加え、農耕地以外も含めた日本の国土全域を網羅している2011年に策定の包括的土壌分類体系第1次試案に基づく土壌図も対応している。

【e-土壌図 II使用方法】は以下のアドレス

<https://soil-inventory.rad.naro.go.jp/pdf/e-%E5%9C%9F%E5%A3%8C%E5%9B%B3II%E3%81%AE%E4%BD%BF%E7%94%A8%E6%96%B9%E6%B3%95.pdf>



5 有機質肥料・有機質資材の利活用

有機質肥料や有機質資材、緑肥の利活用は、化学肥料節減の代表的な手段である。代替に当たっては、それぞれの性質や注意点を理解した上で使用することが重要である。

(1) 有機質肥料への切り換え

ア 主要な有機質肥料の特性を表8に示す。窒素、リン酸、カリのうち、成分保証のないものや、成分が非常に少ないものもあるので、特に連用時には注意する。土壌診断を積極的に活用し、不足養分は土壌 pH 等に注意しながら、単肥や他の有機質肥料で補う。

表8 主要な有機質肥料とその特徴

分類	肥料	保証成分 (%)			肥効・用途等	備考
		窒素 全量 (N)	リン酸 全量 (P ₂ O ₅)	カリ 全量 (K ₂ O)		
動物質 肥料	魚かす粉末	4.0	3.0	—	果樹・野菜に需要多い。	窒素とリン酸の合計量 12.0%以上。 肉質部が多いと窒素が、骨質部が多いとリン酸が多くなる。
	肉かす粉末	6.0	—	—	魚かすに似た窒素肥効が期待できる。	リン酸、カリは少ない。
	肉骨粉	5.0	5.0	—	肉骨粉中では窒素が多い。リン酸は量的には少ないが、その肥効は高い。	肉骨粉中の窒素成分の分解にともなってリン酸が溶けやすくなるとされる。
	生骨粉	3.0	16.0	—		窒素とリン酸の合計量 20.0%以上。
	蒸製骨粉	1.0	17.0	—	緩効性～遅効性のク溶性（2%クエン酸可溶性）リン酸が多い。	窒素とリン酸の合計量 21.0%以上。
		—	25.0	—		リン酸のみ保証の場合。
乾血	10.0	—	—	窒素は魚かすよりも速効性	リン酸は少なく、カリはほとんど含まれない。	
植物質 肥料	なたね油かす粉末	4.5	1.9	1.0	窒素、リン酸とも遅効性。施設園芸・野菜作の基肥	多量施用すると、生じた有機酸による生育障害のおそれ。
	大豆油かす粉末	6.0	1.0	1.0	油かす類の中では窒素肥効は速い。リン酸は遅効性。カリは水溶性で速効。基本は基肥。	施設栽培ではガス障害を生じやすいため、気温や換気に注意する。 (家畜飼料等への利用が多い)
	わたみ油かす	5.0	1.0	1.0	窒素肥効の速さや有害な有機酸の発生は、なたね油かすと大豆油かすの中間。野菜作や果樹に適する。	分解中に有機酸を多く発生するので土壌とよく混ぜて施す。施設栽培ではガス障害に注意する。
	ひまし油かす粉末	4.0	1.0	1.0	窒素肥効の速さは、なたね油かすと大豆油かすの中間。	ヒマ(トウゴマ)の種子から油をとった油かす。
	米ぬか油かす	2.0	4.0	1.0	油かす類の中ではリン酸含量が高い。	(家畜飼料への利用が多い)

保証成分は肥料品質確保法による含有すべき主成分の最小量(%)、「—」は基準なし。

肥料便覧 第6版(農文協 2008)をもとに作成。保証成分(公定規格)は2023年1月時点のものを記載。

イ 有機質肥料利用上の留意事項

- ・地温が高いと分解が進み、地温が低いと分解・窒素肥効が遅れやすい。
- ・土壌が酸性の場合、分解と窒素肥効が遅れやすい。特にアンモニアから硝酸への硝酸化成は、硝化菌の活動が鈍る酸性で遅れやすい（特に土壌 pH 5 以下の場合）。
- ・肥料粒の大きさにより肥効の発現速度が変化し、一般的に粒が小さいと肥効が早まる。
- ・窒素成分がガス化して揮散する場合があるため、肥料・資材の併用に注意を要する。
- ・連用により肥効が早まることが多い（施用肥料の分解細菌が増えるため）。

(2) 有機質資材の施用

ア 有機質資材の種類と成分

有機質資材の種類	C/N 比	成分 (%、乾物)			
		T-C	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
稲わら	47.6	42.8	0.90	0.30	2.64
稲わらたい肥	14.4	32.4	2.25	1.48	5.16
乾燥牛ふん	15.8	37.2	2.35	2.28	1.79
乾燥豚ふん	9.8	41.7	4.24	4.70	1.99
オガクズ入り牛ふんたい肥	17.1	39.6	2.31	3.10	2.71
オガクズ入り鶏ふんたい肥 (奈良県産)	34.7	37.5	1.08	2.45	0.16
オガクズ入り鶏ふんたい肥 (和歌山県産)	13.5	31.9	2.36	7.58	3.20
オガクズ入り豚ふんたい肥	13.4	39.0	2.90	4.43	3.27
バーク入り鶏ふんたい肥	30.6	44.3	1.45	1.24	0.82
バーク(尿素)たい肥	19.7	45.8	2.32	0.71	0.64

(注) 地域重要新技術研究(1984~1988)で使用した資材から抜粋

牛ふんの場合、副資材としてオガクズやバークを用い、C/N 比 40 前後と高いたい肥は肥効が低く、肥効発現は遅効となる。野菜等畑作物の場合は、C/N 比が 30 以上のたい肥は窒素肥料の効きが悪くなる(窒素飢餓)。

一方、生ふんに近く C/N 比が 10 前後と低いたい肥は施用から植付けまで十分期間を取るか、たい肥の窒素全量に応じて基肥量を減らす必要がある。

また、例えば水分が 80% から 60% に減れば、乾物率が 20% から 40% に増加するので、施用される窒素量は 2 倍に増加する。従って、たい肥を施用する場合、C/N 比、水分、乾物当たりの成分を十分把握する。

イ 作物別の有機質資材の適正施用量とその減肥効果

(7) 水稲

a 稲わらの施用方法

乾・湿の別	稲わら還元量	すき込み時期と方法
乾田	全量	年内にすき込む。
半湿田・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。

【留意事項】

- ・稲わらの分解には、C/N 比を約 20 前後に下げるとの窒素成分や微生物の活動を促進する石灰が必要である。

b 家畜ふんたい肥の施用方法

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、 分けつ肥は施用せず、穂肥 は生育診断により調節す る。(詳細は後述)
豚ふん	堆積発酵したもの		1	基肥は基準より 20～30%程 度減肥し、分けつ肥は施用 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 1 か 月前まで	0.3	基肥は基準より 20～30%程 度減肥し、分けつ肥は施用 せず、穂肥は生育診断によ り調節する。

【留意事項】

- ・家畜ふん尿にオガクズを混合した場合は、十分に腐熟してたい肥化したものを施用する(6か月程度堆積発酵したものがよい)。
- ・鶏ふんは、肥料効果が高いので、土づくり資材としてよりも、むしろ肥料として利用する。
- ・植え付け数週間前の牛ふんたい肥施用は、C/N比が20以上の場合基肥は基準どおり、10前後の場合たい肥中の窒素分量を考慮して基肥を施用する。

c 水稲単作での有機質資材の窒素成分の吸収利用率および吸収利用量

種類	成分			連用年数							
	C/N比	全窒素(%,乾物)	水分(%)	吸収利用率(%)				1 t/10a 施用した場合の窒素吸収利用量(kg/10a)			
				1年	2年	3年	5年以上	1年	2年	3年	5年以上
もみがら	61	0.7	10	15	21	23	25	0.9	1.3	1.4	1.6
稲わら	36	1.1	10	15	24	29	34	1.5	2.4	2.9	3.4
稲わらたい肥	20	2.2	85	5	9	13	19	0.2	0.3	0.4	0.6
オガクス入り牛ふんたい肥	34	1.3	75	11	17	20	21	0.4	0.6	0.7	0.7
牛ふんたい肥	16	2.2	70	10	18	24	32	0.7	1.2	1.6	2.1

【表の見方】

- ・牛ふんたい肥 (C/N 比 16、窒素全量 2.2%、水分 70%＝乾物率 30%) 1 t/10a を施用後、水稲作付け 1 作目には牛ふんたい肥の窒素成分のうち、0.7kg/10a (1 t/10a×30%×2.2%×10%) が肥料として働く。
- ・オガクス入り牛ふんたい肥 (C/N 比 34、窒素全量 1.3%、水分 75%＝乾物率 25%) 1 t/10a を 5 年以上連用しているほ場では、水稲作付け 1 作毎にオガクス入り牛ふんたい肥の窒素成分のうち、0.7kg/10a (1 t/10a×25%×1.3%×21%) が肥料として働く。

(イ) 麦・大豆

種類	形態	施用時期	施用量(t/10a)	化学肥料の施用量
牛ふんたい肥	たい積発酵したもの	麦：播種 1 週間前まで 大豆：秋冬期	1～2	基肥は基準通りに施用する。

(ウ) 野菜

a 家畜ふんたい肥の施用方法

種類	施用時期	1 作当たりの施用量(t/10a)	化学肥料の施用量
牛ふんたい肥 オガクス入り牛ふんたい肥 バークたい肥	植付け 1 週間 前まで	1～2 (3)	基肥は基準通りに施用する。
豚ふんたい肥 オガクス入り豚ふんたい肥		1 (2)	窒素含量が高いので、その窒素含量分だけ差し引いて施肥を行う。

※施用量の () 内の数字は連用する場合の年間施用量

【留意事項】

- ・施設栽培では、未熟ふんたい肥の急激な分解によるガス障害を生じる恐れがあるので、完熟したものを使う。
- ・野菜の適正施肥量は、品種、目標収量、作付体系、施肥等有機質資材の施用の有無、肥料の種類、施肥法等により異なるだけでなく、土壌や気象などの自然条件にも左右されるので、地域の実態に合わせて適宜増減する必要がある。

b 牛ふんたい肥を年間 10 a 当たり 3 t 施用する場合の減肥の考え方

- ① 水分 60%の完熟あるいは完熟に近いたい肥 (C/N 比 20~30 未満) を施用するものとする。
- ② 水分 60%のたい肥を 10 a 当たり 3 t 施用することにより、土壌には窒素 20~25kg (乾物当たり 1.7~2.1%)、リン酸 10~25kg (乾物当たり 0.8~2.1%)、カリ 15~30kg (乾物当たり 1.3~2.5%) が供給される。
- ③ そのうち窒素については、年間 6.0~7.5kg (たい肥による供給量の 30%) が野菜に吸収される。したがって、作付期間 1 か月につき、たい肥由来窒素が 0.5~0.6kg 吸収される。作付期間が長い作物ほどたい肥中窒素の利用率が高まる、と仮定する。
- ④ 肥料による施肥窒素量は、下記の式で求める。

$$(\text{全吸収量} - \text{たい肥由来吸収量}) \times \text{施肥倍率}$$

施肥倍率 : [施設栽培] 1.0~1.5 倍、[露地栽培] 1.0~2.0 倍

- ⑤ たい肥中のリン酸とカリは、いずれ可給化して作物に利用される。したがって、リン酸とカリの施肥量については、施設栽培の場合は、施肥倍率を 1.0 倍として野菜による吸収量分だけを補うものとする。露地栽培の場合は、リン酸については施肥倍率を 1.5~2.0 倍、カリについては 1.0~1.5 倍の施肥倍率とする。

c 葉物野菜連作での牛ふんたい肥の窒素成分吸収利用率

牛ふんたい肥の条件			吸収利用率 (%)
C/N 比	窒素全量 (%) (乾物)	水分 (%)	施用後葉物野菜作付け 3 作合計
11	3.3	80	20~30

【留意事項】

- ・吸収利用率は、たい肥の連用年数が長くなっても 1 作当たり 10%前後でほぼ同割合である。
- ・1 作目から 3 作目まで、持続的に肥料として働くが、各作において栽培期間が長くなると、その作での吸収利用率は高くなる。
- ・作付け前に上記の牛ふんたい肥を 10 a 当たり 3 t 施用した場合、以下の窒素成分の減肥が可能となる。

$$1 \text{ 作当たり} \cdots 3 \text{ t} / 10 \text{ a} \times 3.3\% \times 20\% \times 10\% = \underline{2\text{kg}/10 \text{ a}}$$

(3) 緑肥の利用

緑肥作物とは、地力培養、連作障害の改善、塩類集積の改善、土壌侵食防止、重粘土壌や土層の改良、有機物の補給などを目的として栽培される作物を指す。緑肥にはたい肥のような臭気がなく、都市近郊でも利用しやすい。さらに、非作付期間に緑肥を栽培し、裸地にしないことで、肥料成分の流亡を防ぎ、環境負荷を軽減する効果もある。

ア 緑肥作物の種類を選定

〔イネ科作物〕

深根性を利用した土層改良や、ほ場外への持ち出しによる除塩対策にも使われる。炭素率（C/N比）が高いため、すき込み後の分解は遅れるが、繊維質に富み、根量も多く、地力増進効果が高い。土壌有機物を増加させるほか、微生物分解の過程で生成する多糖類が土壌を団粒化し、土壌の物理性、化学性、生物性を改善する。物理性では、透水性、保水性が改善され、耕うんが容易になる。化学性では、腐植が増え、肥もちにつながる陽イオン交換容量が増大する。

〔マメ科作物〕

根粒菌が空中窒素固定を行うため、緑肥用の窒素肥料の施用を要しない。炭素率が低いため、すき込み後の分解が早く、速効性の窒素質肥料と同じような効果が期待できる。一般に土壌の深い層まで根が到達し、耕うん効果がある。下層に溶脱した石灰や苦土等の塩基類を吸収し、表層土壌に還元する働きもある。

緑肥の選定にあたっては、以上のほか、栽培が容易で、短期間の生育量が大ききこと、前後作の作物と同じ科のものにしないこと、共通の病害虫が少ないこと、種子が安価で入手しやすいこと、などの条件を考慮する。

表9 用途別の緑肥作物一覧

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

イ 緑肥作物の栽培上の留意点

(ア) 播種

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

(イ) すき込みのタイミング

緑肥のすき込みには、乾物生産または窒素成分の蓄積が最大で、分解が速い時期を選ぶ。すき込み後の分解が速いのは、マメ科では開花期まで、イネ科植物では出穂期までである。この時期をすぎるとC/N比が高くなり、窒素飢餓がおきやすく、また分解しにくいセルロースやリグニンが増加する。

(ウ) すき込みから後作までの期間

未熟有機物のため、後作への悪影響が出やすい。このため、すき込みから作物植付けまで20～30日の期間を確保する。水稻では還元状態で緑肥が嫌気性分解されるため、初期生育が抑制されることがある。早めにすき込んで分解を促すとともに、浅水管理や中干しの徹底で障害を回避する。

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

(エ) 炭素率 (C/N 比) の高い緑肥のすき込み

炭素率の高い緑肥 (例：ソルゴー) をすき込むときは、窒素飢餓を防ぐため、石灰窒素を施用し、細断処理や深めのすき込みを行う。

(オ) 炭素率の低い緑肥のすき込み

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

(カ) 後作の施肥量

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

表 10 緑肥すき込みの後作物の窒素減肥可能量 (北海道農政部, 1994)

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

例えば、乾物収量で500kg、炭素率が20であれば、窒素の減肥量は、 $(2.5+3.5)/2=3\text{kg}$ となる。

(キ) 地力増進効果

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

(ク) 養蜂への配慮

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

ウ 代表的な緑肥作物の特徴と利用法

(ア) ソルゴー

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

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

(イ) イタリアンライグラス

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

(ロ) エンバク

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

(ハ) ライムギ

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

(ニ) ヒエ

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

(ホ) レンゲ

マメ科牧草で根粒菌による窒素固定量が多い。ピンクや白の花を咲かせ、蜜源としても利用される。

水稲作におけるレンゲのすき込み方法

項目	内容
すき込み量	10a当たり生草量で1～1.5tとする。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。
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すすんだものをすき込む
施肥の留意点	基肥は無肥料とし、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。

(キ) 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程度と低く土壤中での分解が早い。蜜源としても利用される。

項目	内容
ほ場準備	排水不良田では額縁明渠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「寒太郎」10月中旬～11月上旬 春まき：早生種「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*	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か月前にm ² 当たり生草量**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稻の品種、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。

注1*：すき込み量が過剰になると、過繁茂となり、m²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。

注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m²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。

(ク) セスバニア

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

(ケ) クロタラリア

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

(コ) 赤クローバー

マメ科短年草で耐寒性は強いが、耐暑性が弱く、暖地では越年生利用のみ。地力増進、透水性改善効果が高く、ダイズシストセンチュウ対策にもなる。後作の約1か月前にすき込む。

表 1 1 代表的な緑肥作物の栽培指針の例

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

6 効率的な施肥技術とコスト低減効果

(1) 肥料の分施肥技術

作目により養分吸収パターンが決まっており、これらを考慮した施肥技術が必要となる。そこで、作物が必要としている肥料成分量を必要な時に必要な量だけ施用すれば、効率的な施肥が可能となり、化学肥料コストの低減が可能となる。

ア 連続吸収タイプ

収穫期間の長いトマト、キュウリ、イチゴ等の果菜類やネギ、セロリ、大葉等の葉菜類は肥効を一定に保つ必要がある。このため、追肥主体の分施肥体系や肥効調節型肥料の施用が適する。

イ 山型吸収タイプ

生育中期に養分供給が必要で、後半まで肥効があるとかえって品質が低下するマスクメロンやハウレンソウ、チンゲンサイ等が該当する。これらには、有機質肥料やこれに追肥を加えた施肥法が適する。

ウ 尻上がり吸収タイプ

水稻、麦が該当する。また、前半の生育を抑えないとツルボケして、十分な収量が得られないスイカ、カボチャ等が該当する。このパターンには、基肥を少なくし、生育の中期から後期に肥効が現れる追肥主体、または、肥効調節型肥料が適する。

(2) 肥効調節型肥料 (参考資料：肥料便覧第6版、農文協 2008)

ア 化学合成緩効性肥料

肥料そのものが水に溶けにくく、微生物分解も比較的受けにくいいため、窒素成分を少しずつ溶出する肥料。代表的なものには、IB(イソブチリデン2尿素)、CDU(クロトリニデン2尿素)、UF(ウレアホルム)、GU(グアニル尿素)、オキサミドの5種類がある。これらは、肥料の配合素材としての使用が多いので、以下に記した基礎的な特性を参考に、使用にあたっては各肥料の製品情報を参照すること。

[IB]

石油化学工業の副産物に由来する白色結晶状の粉末で、公定規格ではN含有量28.0%以上。イソブチルアルデヒド縮合尿素肥料。吸湿性は低く、耐水性で硬い造粒が可能であり、粒の大きさによって溶解速度を調節できる。IBは水に溶けると、加水分解を受けて速やかに尿素に変化する。微生物による分解はほとんどない。通常はIB入り化成肥料として、水稻、野菜、果樹などに幅広く用いられている。

[CDU]

白色～淡黄色の粉末で、吸湿性はなく水に溶けにくい。公定規格ではN28.0%以上。アセトアルデヒド縮合尿素肥料。土壌pHが低いと主に加水分解し、土壌pHが高いと微生物分解が主となる。連用するとCDUの分解菌が増え、分解速度が速くなる。加水分解は、土壌pHが1低下するごとに約10倍速くなり、温度が20℃から30℃に上昇すると約3倍速くなるとされる。通常はCDU入り化成肥料として用いられる。CDU分解菌は好気性のため、主に畑作や果樹に利用されている。

[UF]

尿素とアルデヒドの縮合物の総称をさし、公定規格ではホルムアルデヒド加工尿素肥料と呼ばれる。白色または淡褐色の粉末で、わずかに吸湿性を示すが、固結はしない。公定規格ではN35%以上。施用すると加水分解され、分解は酸性条件ほど速く、また水溶液中よりも土壌中で速い。通常はウレアホルム入り化成肥料として用いられ、一般的に、尿素/ホルムアルデヒドの比率(U/F)が3のものは野菜用、2のものは生育期間の長い作物(芝草など)用である。一般的に水田では溶脱による損失が大きい。

[GU]

ジシアンジアミドの加水分解により作られる。製造時の加水分解の過程で、硫酸またはリン酸と混合し、グアニル尿素リン酸塩、またはグアニル尿素硫酸塩となる。リン酸塩は白色の結晶、硫酸塩は白色針状の結晶である。水に比較的によく溶け、また土壌にもよく吸着される。畑状態では分解が遅く、水田では還元状態で分解が促進される。連用すると微生物分解が速くなる。グアニル尿素入り化成肥料として流通。水稻の基肥に用いる。特に水稻の側条施肥や乾田直播で効果が高い。

[オキサミド]

シュウ酸ジエステル液にアンモニアを吹き込んで製造する。粒状化すると加水分解や微生物分解の速度が鈍くなり、緩効性肥料となる。オキサミド入り化成肥料として使われることが多いが、蛇紋岩とリン酸を加えて粒状化したものもある。オキサミドは白色の結晶であり、公定規格ではN30.0%。加水分解の速度はIBやCDUと同程度かやや速く、分解は、pHにはほとんど影響されない。

イ 被覆肥料

被覆肥料はコーティング肥料とも呼ばれ、水溶性の肥料を硫黄や合成樹脂で被覆し、溶出量や溶出期間を調節したものである。溶出パターン・期間により様々なタイプが市販されている。

(7) 溶出パターン

a リニア(直線)型

施用直後から溶出するが放物線型よりも初期溶出が少ない。
全期間を通し肥効の維持が必要な作目に適する。

b 放物線型

成分が施用直後から溶出する。生育初期から養分の要求が高い作物に適する。

c シグモイド(S字)型

初期の溶出が抑えられ、作物の生育曲線のようなS字カーブに準じた溶出特性を持つ。生育後半に多量の養分を必要とする作物に適する。

(イ) 用いる肥料による分類

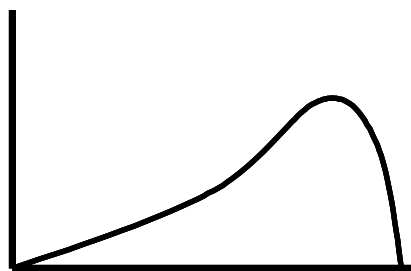
[尿素] LP、Uコート、Mコート

[高度化成] ロング

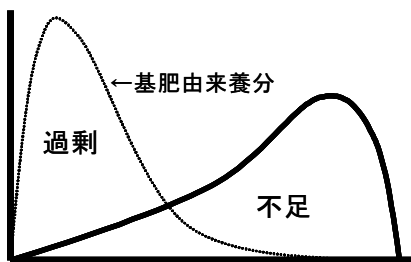
[尿素または高度化成] セラコート、シグマコート、SC化成

(ウ) 使用上の注意点

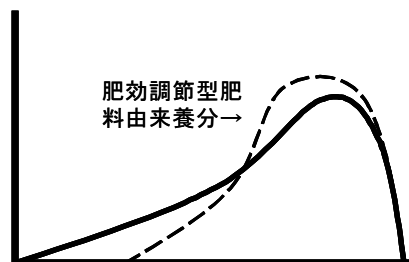
- ① 慣行施肥量に対して、10～20%の減肥が可能。
- ② 生育初期に養分を多量に要求する、キャベツのような野菜には、即効性の肥料の併用が必要である。
- ③ 溶出は温度（地温）に依存し、溶出期間は25℃の水中で窒素成分量の80%が溶出する日数である。



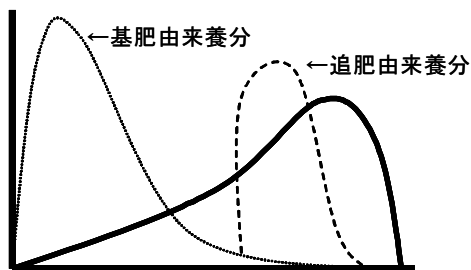
尻上がりタイプの養分吸収パターン



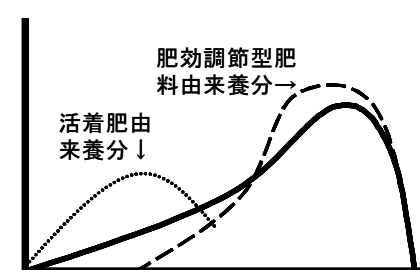
速効性肥料全量基肥



肥効調節型肥料全量基肥



速効性肥料全量基肥
+ 追肥



肥効調節型肥料基肥
+ 活着肥

図10 作物の養分吸収パターンと施肥方法との関係

【要注意】被覆肥料の被膜殻の流出防止について

プラスチックを使用した被覆肥料は、徐々に肥料成分が溶け出すことから、例えば春に投入することで、夏場の暑い時期の追肥の手間が省けて省力化できるとともに、作物の生育に応じて肥料成分が溶け出すため無駄が少なく、肥料の投入量も減り、地下水などの水域への栄養分の流出なども抑えられ、環境負荷への低減に繋がるとされている。一方で、肥料成分が溶出した後の被膜殻が水面に浮上し、ほ場から河川や海洋に流出することによる環境への影響が懸念されている。

流出防止の対策として、樹脂由来の被膜を用いた被覆肥料を利用している場合は、被膜殻をほ場外に流出させないように、浅水代かきを行うほか、代かきや田植え前の強制落水を避けるなどの水管理を行うことが重要である。

ア 流出させない水管理

浅水代かきや代かき・田植え前の水位調整を強制落水ではなく自然落水で行うことにより、被膜殻だけでなく、濁水や肥料成分の流出防止に努める。水田の水管理において、代かき等の作業前に畦畔等からの漏水がないよう、点検・補修する。

イ 他の機能性肥料の活用

上記アの管理が難しい場合等には、被覆肥料以外の機能性肥料として、肥料成分を水に溶けにくくして分解速度を調整したものや、硝酸化成抑制剤を加えて肥料成分の利用率を高めたものを活用することを検討する。

<参考>

農林水産省の YouTube チャンネルに、全農が作成した被膜殻の流出防止対策を内容とした動画が公開されている (URL https://www.youtube.com/watch?v=5-T6W5_nmtY)



農林水産省の YouTube チャンネル「maffchannel」より

(3) 局所施肥技術

局所施肥は、あらかじめ根群、根域の分布を考慮して肥料を施用する技術で、**図 11** のとおり、側条施肥や深層施肥など施肥位置の違いで、下記のような効果が得られる。

- ア 作物の根域で肥料を効率良く吸収して利用効率が高まり、速効性肥料で 10～20%、肥効調節型肥料と組み合わせると 30～50%の減肥が可能となる。また、窒素成分のほ場外への流出や揮散が少なく、環境への負荷が少なくなる。
- イ 肥料の混和方法や施用位置を変えることで生育量の制御が可能になる。適正な生育を確保することで、収量が増え、品質向上が図られる。

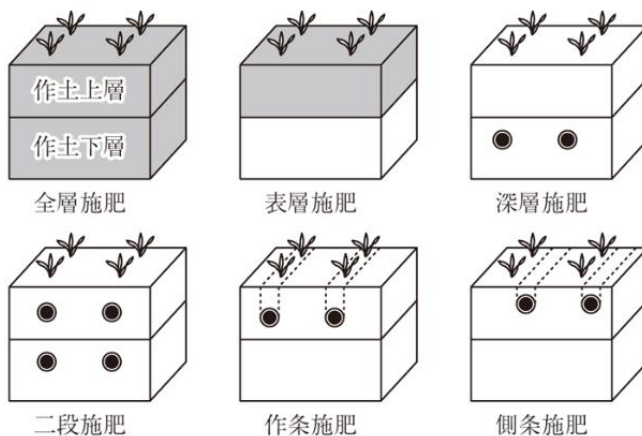


図 1 1 施肥位置の模式図（出典：農文協「農業技術事典」）

【局所施肥の事例】

- [1] 側条施肥：作物の移植や播種時に、施肥機を用いて地表面から深さ 3～5cm、苗や種子の横 3～4cm の位置に連続して筋状に施肥する方法で、粒状肥料やペースト肥料が用いられる。施用時の散布ムラが発生しないことから、多収と高品質の両立が期待できる。畑作ではリン酸の土壌への固定化低減も期待できる。
- [2] ペースト肥料による二段施肥：

田植機に装着した専用施肥機を用いて、①基肥効果をねらって、水稻苗の近辺に施肥、②追肥効果をねらって、移植位置から 10～15cm 程度の深さに施肥する方法（**図 12**）。

液状肥料を用いるため、作業時の天候に左右されずに、正確な位置に正確な量を土中に施用可能である。

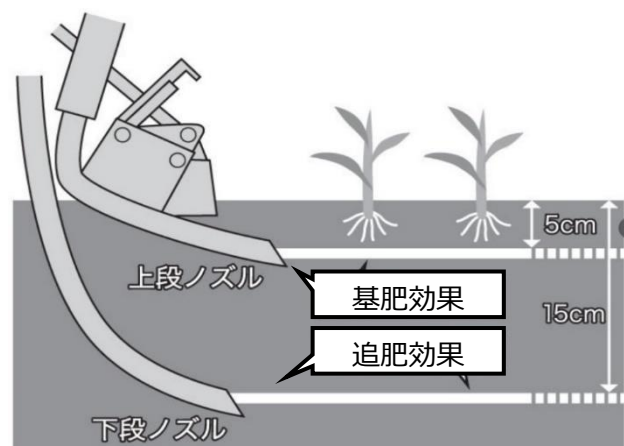


図 1 2 専用施肥機による二段施肥の模式図
（出典：片倉コープアグリ（株）技術資料）

[3] 畝立て・マルチ・浅層局所施肥同時作業：露地野菜の畝立て成形時に、速度連動型施肥機を用いて、マルチ表層付近に精度良く施肥する作業方法。レタス等の根域が浅い作物の施肥効率が高まる。



図 1 3 レタス作における畝立て・マルチ・局所施肥同時作業
(左：畝の浅層に肥料を混和 右：畝内局所施肥の例)



図 1 4 局所施肥用のアタッチメント
左：施肥管＝畝内に肥料を局所的に施用 右：表層施肥混和機＝表層に肥料を拡散

[4] 可変施肥技術

作物の収量や品質は、土壤肥沃度（地力）や肥培管理により、ほ場ごと、ほ場内でもばらつきが生じる。近年、ほ場内の地点ごとの収量が把握できるコンバインの普及や、人工衛星、ドローンを用いたリモートセンシング技術の実用化が図られたことで、作物の収量や品質のばらつきの低減をめざした「可変施肥技術」がより身近になってきている。その方法は、①収量コンバインから得られた地点（グリッド）ごとの収量データや、作物の作付前～生育期間中の各種リモートセンシングデータから土壤肥沃度や作物生育量を解析、②地点（グリッド）ごとの最適な肥料投入量をマッピング、③マップデータに基づいて施肥量の増減が可能な作業機で施肥、という手順になる。

現状は、稲作や麦作で実用化が図られている。今後は、可変施肥が適用できる作目の拡大、可変施肥に使用する作業機の普及（低価格化）が望まれる。



図 1 5 リモートセンシングから可変施肥に至る作業の流れ

肥料コスト低減に向けた自己チェックリスト

肥料価格が上昇しています。肥料コストを抑えるための取組を進めましょう。

土壌診断を通じた施肥の見直し

チェック☑

土壌の状態に応じて、肥料の投入量を減らしたり、比較的安価な低成分の肥料銘柄への変更をご検討ください。

土壌状態の把握方法（例）

- ほ場の土壌診断結果の利用
(例えば3年前など過去の分析値も活用可能)
 - 簡易診断キット、簡易分析法の結果の利用
 - 地域内の同じ土壌タイプ等の分析値の利用
 - 航空写真から推計した各農地の分析値の利用
- 〔各農家の取組のほか、地域で栽培暦や施肥設計を見直すことなどもご検討下さい。〕

施肥の見直し（例）

- 肥料投入量の削減
- 低成分や成分の見直し等の肥料銘柄の変更
- 安価な単肥の利用

効率的な施肥方法・施肥技術の導入

チェック☑

地域の栽培暦等に合わせた肥料の削減や低価格銘柄への変更のほか、効率的な施肥技術の導入についてもご検討ください。

効率的な施肥方法（例）

- 地域の栽培暦に合わせた肥料投入量の削減
- 安価で成分値が似ている汎用銘柄への変更

効率的な施肥技術（例）

- 局所施肥技術（側条施肥、畝立て同時施肥、苗箱全量施肥、ポット内施肥など）の導入
- ペースト肥料などへの銘柄変更

たい肥など国内資源の活用

チェック☑

輸入に頼る化学肥料の原料価格が上昇しています。価格が安定しているたい肥など国内資源の利用拡大をご検討ください。

国内資源の利用（例）

- たい肥（牛ふん、豚ふん、鶏ふん）や魚かすなど有機物の利用拡大
- 食品残さや下水汚泥コンポストの利用拡大
- たい肥入りの化学肥料（混合堆肥複合肥料、指定混合肥料）等への銘柄変更
- 緑肥作物の栽培とすき込み

