

2 . 土壤改良対策

土壤に植物質や鉍物質などの資材を投入して、土壤の生産力を高めて改良することを、土壤改良という。土壤改良は、化学性の改良と物理性の改良とに大きく分けられるが、ここでは、作物（作目）別の土壤診断基準（土壤養分の適正值（範囲））に基づいた化学性の改良について主に述べる。

（1）改良目標のたて方

作物別の土壤診断基準に示した化学性項目は、pH(H₂O)、石灰飽和度、苦土飽和度、加里飽和度、塩基飽和度(石灰飽和度 + 苦土飽和度 + 加里飽和度)、可給態リン酸、可給態ケイ酸である。このうち pH(H₂O) は塩基飽和度(石灰飽和度)と高い相関関係があり、石灰、苦土、カリおよび塩基飽和度の計算には陽イオン交換容量(CEC)が必要なので、土壤分析項目としてCECは必須であるが、測定不可能な場合は、表 - 2 に記載した代表土壤統群の陽イオン交換容量分析結果を適用する。なお、CECは一度測定しておけばほとんど変化しないので、以前の分析値を利用しても実用上さしつかえない。

pH(H₂O)の矯正は、厳密にはそれぞれ土壤ごとの緩衝曲線法による中和石灰量を求めて実施すべきであるが、簡便な方法として、塩基飽和度を目安にして石灰資材の施用量を決めることができる。塩基飽和度とpH(H₂O)との関係は、ほぼ表 - 1 の通りである。なお土壤分析結果に基づく土壤改良は、原則としてpH(H₂O)を第一義的に考慮することになっており、pH(H₂O)が土壤診断基準値に達すれば、塩基飽和度(石灰飽和度)も目標値に達している場合が多い。

交換性石灰(CaO)、苦土(MgO)、カリ(K₂O)の改良目標値は、土壤分析結果あるいは代表土壤統群の陽イオン交換容量分析結果のCEC値と、作物別土壤診断基準の石灰、苦土、加里飽和度値とから、耕地土壤の診断に示した計算方法により設定する。たとえば、水稻のグライ土について計算した結果を表 - 2 に示した。また作物別土壤養分の適正值中のCaO、MgO、K₂Oはほとんどこのようにして作成したものである。

表 - 1 塩基飽和度と pH (H₂O) との関係

塩基飽和度(%)	pH (H ₂ O)
100	6.5 ~ 7.0
80	6.0 ~ 6.3
60	5.5 ~ 5.8

表 - 2 交換性石灰、苦土、加里の改良目標値計算例（水稻、グライ土）

項目	飽和度 診断基準値 (%)	CECの例 (me / 100g)	改良目標値 (mg / 100g)	計 算 式
石灰	52	15	CaO 220	$15 \times 52 / 100 \times 28 = 218$ 220
		25	CaO 360	$25 \times 52 / 100 \times 28 = 364$ 360
苦土	9	15	MgO 25	$15 \times 9 / 100 \times 20 = 27$ 25
		25	MgO 45	$25 \times 9 / 100 \times 20 = 45$
カリ	3	15	K ₂ O 20	$15 \times 3 / 100 \times 47 = 21$ 20
		25	K ₂ O 35	$25 \times 3 / 100 \times 47 = 35$

リン酸資材の施用量は、各資材のリン酸溶出率（有効化率）を考慮して求め、一回の施用で高める可給態リン酸の上限を約 10mg / 100g とするのが適切である。表 - 3 に溶出率を考慮したリン酸資材の施用量を示した。またリン酸の溶出率は、土壌のリン酸吸収係数によって異なるので、表 - 4 にリン酸吸収係数別リン酸資材の溶出率と施用量を示した。さらに施設土壌では、リン酸の溶出率が高くなる傾向にあり、溶出率を 40 ~ 50 % とした時の資材施用量は表 - 5 の通りである。この場合には、一回の施用で高める可給態リン酸の上限は約 20mg/100g とするのが望ましい。

表 - 3 リン酸資材の溶出率と施用量

リン酸資材	保証成分 (%)	リン酸溶出率 (%)	資材施用量 (kg / 10a)									
			可給態リン酸増加目標値 (mg / 100g)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ようりん	20	15	33	67	100	133	167	200	233	267	300	333
重焼りん	35	20	14	29	43	57	71	86	100	114	129	143
過石	20	20	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250

注) 資材施用量は改良すべき土壌の深さ 10cm、仮比重 1、10a 当たり乾土重 100 t として計算した。

表 - 4 リン酸吸収係数別リン酸資材の溶出率と施用量

リン酸吸収係数	リン酸資材	リン酸溶出率 (%)	資材施用量 (kg / 10a)									
			可給態リン酸増加目標値 (mg / 100g)									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
~ 1000	ようりん	20	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
	重焼りん	25	11	23	34	46	57	69	80	91	103	114
	過石	25	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
1001 ~ 2000	ようりん	15	33	67	100	133	167	200	233	267	300	333
	重焼りん	20	14	29	43	57	71	86	100	114	129	143
	過石	20	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
2001 ~	ようりん	10	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	重焼りん	15	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190
	過石	15	33	67	100	133	167	200	233	267	300	333

注) 資材施用量は改良すべき土壌の深さ 10cm、仮比重 1、10a 当たり乾土重 100 t として計算した。

表 - 5 施設土壌のリン酸資材の溶出率と施用量

リン酸資材	リン酸 溶出率 (%)	資 材 施 用 量 (kg / 10a)									
		可 給 態 り ん 酸 増 加 目 標 値 (mg / 100g)									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ようりん	40	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
重焼りん	50	11	23	34	46	57	69	80	91	103	114
過 石	50	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200

注) 資材施用量は改良すべき土壌の深さ 10cm、仮比重 1、10a 当たり乾土重 100t として計算した。

(2) 土壌改良の手順

まず表 - 6 の例のような土壌診断票を作成し、地目、土壌統群、作物、土壌改良目標値、土壌分析値などを記入して不足値を計算する。このようにして整理された診断票を基にして、表 - 7 に示したような土壌改良資材の組み合わせを考える。注意しなければならないのは、土壌診断による分析値が過剰になった場合で、作物に対して、その養分の過剰障害、拮抗作用による他の養分の欠乏障害を引き起こす恐れがあり、該当成分を含む土壌改良資材の施用は中止すべきである。このことは、広く省資源あるいは環境保全と言う意味からも重要なことである。なお分析値が過剰かどうかの判断基準は、おおむね次の通りである。

石灰飽和度	80 %
苦土飽和度	20 %
加里飽和度	10 %
塩基飽和度	110 %
可給態 P ₂ O ₅	75mg / 100g (黒ボク土、多湿黒ボク土では 100mg / 100g)

表 - 6 土壌診断票の様式例

地目 :	土壌統群 :			作物 :			
	診断項目	目標値 (A)	分析値 (B)	不足値 (A - B)	土壌改良資材施用量 (kg / 10a)	補正值 (C)	改良値 (B + C)
	pH (H ₂ O)						
	交換性CaO (mg / 100g)						
	交換性MgO (mg / 100g)						
	交換性K ₂ O (mg / 100g)						
	可給態P ₂ O ₅ (mg / 100g)						
	可給態SiO ₂ (mg / 100g)						
	C E C (me / 100g)						
	作 土 の 厚 さ (cm)						
	仮 比 重						

表 - 7 土壌改良資材の組み合わせ

土 壌 の 養 分 状 態	土壌改良資材の組み合わせ
pHの矯正が 必要の場合	リン酸、苦土、石灰が少ない 1) ようりん 2) 苦土石灰 3) 炭カルまたは消石灰 リン酸、苦土が少ない 1) ようりん 2) 水マグ リン酸、石灰が少ない 1) ようりん 2) 炭カルまたは消石灰 リン酸が少ない 1) ようりん 苦土、石灰が少ない 1) 苦土石灰 2) 水マグ 苦土が少ない 1) 苦土石灰 2) 水マグ 石灰が少ない 1) 炭カルまたは消石灰
pHの矯正が 不要の場合	リン酸、苦土、石灰が少ない 1) 苦土重焼りん 2) 硫マグ 3) 石膏 リン酸、苦土が少ない 1) 苦土重焼りん 2) 硫マグ リン酸、石灰が少ない 1) 苦土重焼りんまたは過石 2) 石膏 リン酸が少ない 1) 過石 苦土、石灰が少ない 1) 硫マグ + 石膏 苦土が少ない 1) 硫マグまたは加工苦土 石灰が少ない 1) 石膏

注) リン酸資材 苦土質資材 石灰質資材の順に資材を組み合わせる。

土壌改良には、無機質資材とともに有機質資材の施用が重要である。有機質資材は土壌の化学性の改良ばかりでなく、広く物理性を改良する効果も大きい。有機物施用量の目安を表 - 8 に示した。

1) pHの改良

pHの矯正を必要とする場合、改良目標値は作物別土壌診断基準により設定するが、作物によって適正範囲の異なることがあり、表 - 9 を参考にして修正する必要もある。目標 pH まで高めるための炭カル施用量は、表 - 15 ~ 19 の地目および土壌別改良資材換算表より求められるが、リン酸、石灰、苦土の改良も行う場合は、それぞれの資材に含まれる石灰成分を差し引かなければならない。

pHが高くなりすぎた土壌や、作物の最適 pH が低い場合には、pH を低下させる必要が生じる。ほ場で広範囲に pH を下げたい時は、除塩対策((4)EC と窒素の診断の項参照)を実施するとともに、硫安など生理的酸性肥料の施用、リン酸資材として過石の施用、石灰の施用中止が有効である。比較的少量の土壌では、硫酸、硫黄華、pH 未調整ピートモスの施用が考えられる。また、各種の pH 低下資材も市販されているが、副成分が多くて、EC の上がりやすい資材が多く、注意して使用しなければならない。

表 - 8 有機物の施用量

有機物	二毛作乾田 (t / 10a)	普 通 畑			樹 園 地 (t / 10a)	施 設 (t / 10a)
		野 菜 (t / 10a)	コンニャク (t / 10a)	一般畑作物 (t / 10a)		
わら堆肥	1.5 ~ 2.0	1.5 ~ 3.0	1.5 ~ 3.0	1.5 ~ 3.0	1.5 ~ 3.0	2.0 ~ 3.0
条桑残渣					1.5 ~ 3.0	
樹皮堆肥		1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	1.5 ~ 2.5
が け 堆肥	0.5 ~ 0.7	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	1.0 ~ 2.0	1.5 ~ 2.5
乾燥鶏糞		0.3 ~ 0.5	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	(果) 0.2 ~ 0.3 (桑) 0.3 ~ 0.5	
乾燥豚糞		0.3 ~ 0.5	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	(果) 0.2 ~ 0.3 (桑) 0.3 ~ 0.5	
乾燥牛糞		0.8 ~ 1.5		0.7 ~ 0.9	(果) 0.6 ~ 0.8 (桑) 1.0 ~ 1.5	
が け 入 豚 糞			0.5			

注) 乾燥糞の施用量は、作物別施肥基準あるいは地域で実施している施肥指導に応じて決定するのが望ましい。

表 - 9 作物別最適 pH 領域 (昭和 57 年度分析機器システム開発委員会検討資料)

pH(H ₂ O)	作 物			
6.5 ~ 7.0	エンドウ	ハウレンソウ	アルファルファ	
6.0 ~ 6.5	オオムギ ライムギ アスパラガス オクラ キュウリ セルリー ナス パセリ ミョウガ ラッカセイ カーネーション バラ クワ	コムギ アズキ インゲン カボチャ シュンギク ソラマメ ニラ ピーマン メロン オウトウ キク フリージア 飼料用トウモロコシ	ソルゴー ダイズ ウド カリフラワー スイカ トウガラシ ネギ ブロッコリー レタス ブドウ シクラメン ポインセチア 白クローバ	ハトムギ サトイモ エダマメ カンピョウ スイートコーン トマト ハクサイ ミツバ コンニャク モモ ゼラニウム ユリ
5.5 ~ 6.5	イネ キャベツ サラダナ フキ	エンバク コカブ ダイコン レンコン	ヒエ ゴボウ タマネギ 赤クローバ	イチゴ コマツナ ニンジン
5.5 ~ 6.0	ソバ ラッキョウ リンゴ トールフェスク	サツマイモ ニンニク イタリアンライグラス	ジャガイモ ウメ オーチャードグラス	ショウガ ナシ
5.0 ~ 5.5	チャ	クリ	ブルーベリー	アザレア

2) リン酸の改良

不足するリン酸は、表 - 15 ~ 19 の換算表を参照し、ようりんで施用する。この場合副成分の石灰、苦土については、それぞれの成分補給の際計算に入れなければならない。

また、ようりん施用は pH の矯正にも関与し、その矯正力は炭カル約 90 % とみなされる。したがって、ようりんを施用した時には、pH 改良のための炭カル施用量は減らす必要がある。ようりん以外のリン酸資材を使用する時は、表 - 10 に示した換算倍率を考慮して施用量を求める。

表 - 10 リン酸資材の保証成分とようりんからの換算倍率

資 材	ようりん	苦 土 重焼りん	過 石	ダブリン	リ ン ス タ ー	重 過 石	腐植りん	桑 5 号
成分 (%)	20	35	20	35	30	34	10	25
換算倍率	1	0.57	1.0	0.57	0.67	0.59	0.50	0.80

注) 換算倍率はようりんの施用量を 1 とした場合これに相当する各資材の施用量

表 - 11 苦土資材の保証成分と苦土石灰からの換算倍率

資 材	苦土石灰	ようりん	苦 土 重焼りん	水 マ グ	硫 マ グ	焼 成 苦土石灰	顆 粒 苦土石灰	粒 状 苦土石灰
成分 (%)	18	15	4.5	58	25	18	30	28
換算倍率	1	1.2	4.0	0.31	0.72	1.0	0.6	0.64

注) 換算倍率は苦土石灰の施用量を 1 とした場合これに相当する各資材の施用量

表 - 12 石灰資材の保証成分 (アルカリ分) と炭カルからの換算倍率および pH 矯正換算倍率

資 材	炭 カ ル	消 石 灰	苦土石灰	珪酸石灰	ようりん	苦 土 重焼りん	生 石 灰
成 分 (%)	53	65	70	60	50	20	95
換 算 倍 率	1	0.82	0.76	0.88	1.06	2.65	0.56
pH 矯正換算倍率	1	0.80	1.14	1.43	1.14		0.65

資 材	焼 成 苦土石灰	ダブリン 17号	ダブリン 19号	リ ン ス タ ー	腐植りん	石 膏	水 マ グ
成 分 (%)	70	13	19	15	17	23	
換 算 倍 率	0.76	4.07	2.79	3.53	3.12	2.30	
pH 矯正換算倍率	0.65						0.65

注) 換算倍率は炭カルの施用量を 1 とした場合これに相当する各資材の施用量

pH 矯正換算倍率は pH 矯正に要する炭カルの施用量を 1 とした場合これに相当する各資材の施用量

表 - 13 加里資材の保証成分と塩加からの換算倍率

資 材	塩 加	硫 加	珪酸加里
成分 (%)	60	50	20
換算倍率	1	1.2	3

注) 換算倍率は塩加の施用量を 1 とした場合これに相当する各資材の施用量

3) 苦土の改良

リン酸の改良によりん、苦土重焼りんを使用する場合は、それぞれの苦土成分量を差し引いたものが苦土の不足値となる。苦土の改良には、pH の低いときは苦土石灰、pH の高いときには硫マグを用いるとよい。なお苦土石灰の pH 矯正力は、炭カル約 90 %とみなされる。表 - 11 に苦土資材の保証成分と苦土石灰からの換算倍率を示した。

4) 石灰の改良

石灰の不足値は、リン酸、苦土の改良に使用した資材中の石灰成分を差し引いたものとなる。石灰の改良は炭カルの施用によるのが一般的であるが、pH の高い場合には石膏を用いるのが望ましい。石灰資材の保証成分と炭カルからの換算倍率および pH 矯正換算倍率は表 - 12 に示した通りである。

5) カリの改良

カリの改良には塩加、硫加、珪酸カリなどを施用する。水田は塩加、畑では硫加を使用するのがよい。また珪酸カリは、比較的流亡しにくく、電気伝導率(EC)を高めない資材である。表 - 13 にカリ資材の保証成分と塩加からの換算倍率を示した。

6) 注意事項

以上、一般的な土壌改良の手順について述べたが、1) pH 2) リン酸 3) 苦土 4) 石灰 5) カリのように計算し、それぞれの成分が過不足のない状態にすることが大切である。特にリン酸、苦土、石灰の改良は、pH の矯正にも関与することになるので注意する必要がある。

表 - 15 ~ 19 の地目および土壌別改良資材換算表の資材施用量は、kg/10a で表示されているが、これは改良すべき土壌の深さ 10cm、仮比重 1、10a 当たりの乾土重 100t として計算したものであり、実際の施用量は、改良深、仮比重を考慮して補正しなければならない。たとえば改良深 15cm、仮比重 0.7 の場合、表から求めた施用量に 1.5 を掛け、さらに 0.7 を掛けることになる。

また礫含量の多い土壌では、礫と同じ割合で資材施用量を減らしてやる必要がある。たとえば礫含量の 40 % の場合には、求められた施用量の 60 % が実際の施用量となる。

7) 土壌改良対策作成事例

葉茎菜・果菜類の土壌診断基準(土壌養分の適正值)、地目および土壌別改良資材換算表(畑:腐植質黒ボク土(山間地帯標高 400 m 以上))を適用して作成した土壌改良対策の例を表 - 14 に示した。

表 - 14 土壤改良対策事例

地目：畑	土壤統群：腐植質黒ボク土			作物：葉茎菜		
診断項目	目標値 (A)	分析値 (B)	不足値 (A - B)	土壤改良資材施用量 (kg / 10 a)	補正值 (C)	改良値 (B + C)
pH (H ₂ O)	6.0	5.3	0.7		0.60 ¹⁾ 0.16 ³⁾	6.06
交換性CaO (mg / 100g)	380	310	70	炭カル40 ³⁾	51 ¹⁾ 20 ³⁾	381
交換性MgO (mg / 100g)	80	55	25	ようりん170 ¹⁾	25.5 ¹⁾	80.5
交換性K ₂ O (mg / 100g)	70	46	24	硫加50 ⁴⁾	25.0 ⁴⁾	71.0
可給態P ₂ O ₅ (mg / 100g)	40	34	6	過石90 ²⁾	3.4 ¹⁾ 2.7 ²⁾	40.1
CEC (me / 100g)	25					
作土の厚さ (cm)	20					
仮比重	0.7					
改良深、仮比重による補正施用量 (kg / 10 a)						
炭カル	$40 \times 20 / 10 \times 0.7 =$		56	60		
ようりん	$170 \times 20 / 10 \times 0.7 =$		238	240		
硫加	$50 \times 20 / 10 \times 0.7 =$		70			
過石	$90 \times 20 / 10 \times 0.7 =$		126	130		

注) 補正值の肩付数字は同一数字を付した資材の施用による各成分の増加量

(4) ECと窒素の診断(作物別耐塩性)

電気伝導率(EC)は土壤に含まれる塩類濃度の指標を示すもので、ECが高いほど土壤溶液中に陰イオンや陽イオン含量の多いことを意味する。土壤に過剰の塩類が集積しECが高くなると、表-20に示したように作物に塩類濃度障害発生の危険性があるので、除塩対策が必要となってくる。除塩方法は次のように大別される。

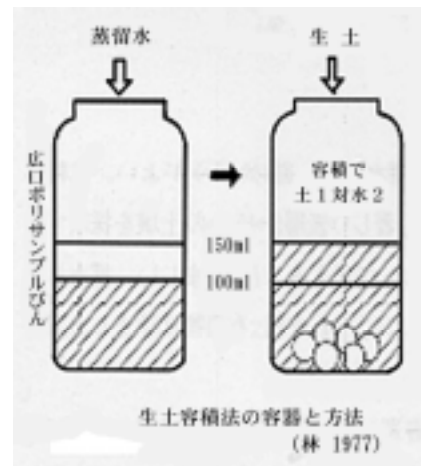
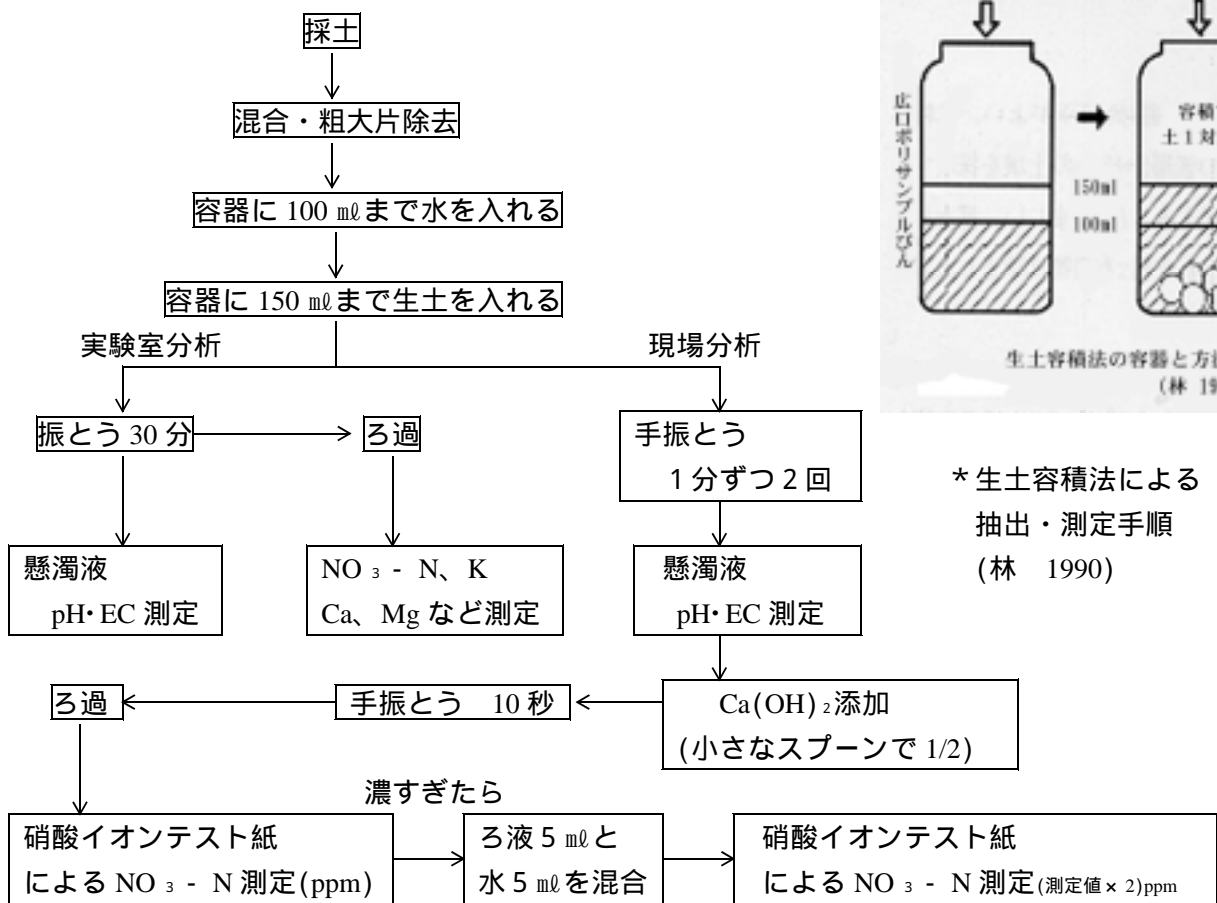
- 1) 作土の塩類濃度を薄める：深耕、天地返し
- 2) 土壤中無機態養分の固定化、遅効化：稲わら多施用、イネ科牧草栽培とすき込み
- 3) 塩類除去：イネ科牧草栽培と地上部持ち出し
- 4) 作土の入れ替え

施設栽培土壤では、土壤溶液中の可溶性塩類の主体は硝酸塩とされ、EC測定値から硝酸態窒素の量を推定する手法がとられてきた。

$$\text{硝酸態窒素 (mg / 100g)} = \text{EC (mS / cm)} \times 25$$

しかし、化学肥料の多施用や長期連用を行っている施設栽培土壤では、硫酸根が土壤に蓄積し、ECに影響を及ぼしている。上記式による推定法は、硫酸根が多い土壤で誤差が大きくなることを注意して使用しなければならない。

近年、硝酸態窒素は、簡易試験紙や簡易硝酸メータの普及により容易に測定ができるようになった。より正確な硝酸態窒素量を把握するには、これらを使用することが望ましい。以下に、これらを用いた土壤中の硝酸態窒素の簡易分析法(生土容積法)を示す



* 生土容積法による抽出・測定手順 (林 1990)

この方法により求めた硝酸態窒素は、土壌の深さ 10cm、仮比重 1、10a 当たりの乾土重 100 t とすれば、そのまま kg / 10a と読み替えられるので、さらに作土深、仮比重を考慮して補正する必要がある。たとえば硝酸態窒素 20mg / 100g、作土深 15cm、仮比重 0.8 の場合、10a 当たりの窒素量は次の通りである。

$$10a \text{ 当たりの硝酸態窒素量 (kg / 10a)} = 20 \times 15 / 10 \times 0.8 = 24$$

表 - 20 作物の耐塩性 (昭和 57 年度分析機器システム開発委員会検討資料)

耐塩性	EC (mS / cm)	作物	作物名
強	1.6 ~	オオムギ ナタネ	バミューダグラス ペレニアルライグラス
中	0.8 ~ 1.6	コムギ エンバク セルリー ネギ ピーマン スイートクローバ ソルガム	水稲 アスパラガス ダイコン ハクサイ ブロッコリー アルファルファ トウモロコシ ダイズ キャベツ トマト ホウレンソウ イチジク オーチャードグラス
やや弱	0.4 ~ 0.8	サツマイモ エンドウ ソラマメ ナス アズキ 赤クローバ	バレイショ カブ タマネギ ニンジン ナシ ラジノクローバ インゲン キュウリ トウガラシ レタス モモ
弱	~ 0.4	ミツバ	イチゴ

注) EC は埴土の場合の目安で、この範囲になると作物収量は 10 % 以上低下する危険がある。土壌が砂質になるほど EC の目安は低下する。

(5) 要素欠乏症・過剰症の見分け方と対策

植物の生育に必要な不可欠な要素は、多量必須要素として炭素(C)、酸素(O)、水素(H)、窒素(N)、リン(P)、カリ(K)、石灰(Ca)、苦土(Mg)、硫黄(S)、ケイ素(Si)が、微量必須要素として鉄(Fe)、マンガン(Mn)、ホウ素(B)、亜鉛(Zn)、銅(Cu)、モリブデン(Mo)、塩素(Cl)が知られている。作物が健全に生育するためには、これらの必須元素が過不足なく、適当な時期に供給されなくてはならない。たとえ一つの要素といえども少なすぎたり多すぎたりすると、生育が阻害され、作物、要素、環境によりそれぞれ外観的に特徴のある欠乏症状、過剰症状を呈する。

多量必須要素は、適時土壌診断を実施し、過不足ない施用に心がける。必要以上に土壌中に多くなると、その拮抗作用により、他要素の作物吸収に影響を与えるので注意する。たい肥中のリン酸とカリは、化学肥料の 100 % 代替えができると考え、これらを考慮し化学肥料の施用を抑える。たい肥中のリン酸とカリのどちらかが「作物の施肥基準」をオーバーするときは、たい肥の施肥量を少なくする。

微量必須要素の多くは、pH の影響により、過剰症・欠乏症とも発生する可能性がある。明かな欠乏症の際には、応急処置として葉面散布を行う。根本的な改善には、まず pH を改善し、必要に応じて特定微量元素入り肥料を併用する。中・長期的改善には、堆肥等有機物を計画的に施用し、これら資材から各種要素の

供給を受けるとともに、土壌の緩衝能を増加させる。

一般に、微量必須要素の適正範囲は狭く、欠乏症改善時に多量施用すると逆に過剰症を引き起こす可能性があるため、微量要素の単肥使用は施用量に注意する。

表 - 21 に要素欠乏・過剰障害の一般的な症状を、表 - 22 には要素ごとの欠乏症状・過剰症状とその対策を示した。葉面散布は、要素欠乏の対策として有効な手段であるが、栄養診断における判定結果が正しいかどうかをテストするために利用すると、土壌施用よりも速効的に確認することができる。表 - 23 に葉面散布で一般に使用される試薬と濃度を示した。

表 - 21 要素欠乏・過剰障害の一般的な症状 (原色 生理障害の診断法)

症 状	欠 乏 要 素	過 剰 要 素
上位葉からクロロシス発生	Fe、S、(Zn、Cu)	Cu、Zn、Ni、Mn、Cd
下位葉からクロロシス発生	N、K、Mg、(P、Zn、Mn、Cu)	B
上位葉の生長停止	B、Ca	
大型の斑点症状	K	
小型の斑点症状		Mn、Ni、P
葉の奇形、亀裂	Mo	
茎の奇形、亀裂	B、Ca	
葉縁から枯死	K	B、(P)

表 - 22 要素ごとの欠乏症状・過剰症状と対策 (原色 作物の要素欠乏・過剰症)

要素	欠 乏		過 剰	
	症 状	対 策	症 状	対 策
N	植物全体が一様に緑色を減じ、とくに葉の黄化が著しい。植物体は矮小になって、分げつが減少する。根の発達、伸長が鈍化する。子実の成熟が早くなり、収量が少なくなる。	尿素溶液を葉面散布する。 窒素肥料を水に溶かして土壌施用する。 窒素肥料を施用する。 たいきゅう肥を施用し、地力を高めておく。	葉は濃緑色、軟弱となり、病害虫、冷害などの抵抗性が減少する。 葉の伸長、分げつの増加が顕著で過繁茂となり、倒伏しやすい。 病害虫にかかりやすい。 出穂が遅延し、登熟不良のため品質が低下する。	水稻では数日間落水し、土壌を乾燥させてから水をかけ流す。 ○作付け前には生わらや未熟有機物などをすき込む。 窒素肥料を計画的に施用する。

要素	欠		乏		過		剩	
	症	状	対	策	症	状	対	策
P	欠乏症は一般に下葉より発生し、上葉におよぶ。葉の幅が狭くなり、茎や葉柄が紫色になる。イネ科植物では分けつが少なく、開花、結実も悪くなる。果実類は甘味が少なくなつて、品質が落ちる。根毛が粗大になり、発育不良となる。			りん酸二水素ナトリウム、りん酸二水素アンモニウム、りん酸水素二アンモニウムの溶液を葉面散布する。リン酸肥料を施用する。苦土も欠乏している場合は苦土肥料を併用する。土壌の酸性を矯正しておく。たいきゅう肥や腐植質土壌改良資材を施用し、リン酸の固定を抑制する。		過剰症はきわめて発生しにくい。成熟が早くなり、減収する。リン酸の過剰施用は亜鉛、鉄、苦土欠乏を誘発することがある。		
K	カリは移動しやすいので、欠乏症は旧葉より発生する。旧葉の先端より黄化し、葉縁に広がってその部分が褐色に枯死する。新葉は暗褐色となつて、伸びが悪く小葉となる。根の伸びが悪く、根腐れがおきやすい。果実の肥大が衰え、味、外観ともに悪くなる。			硫酸カリウム、塩化カリウム溶液を葉面散布する。カリ肥料を施用する。たいきゅう肥を施用し、地力を高めておく。		窒素と同じく過剰に吸収されやすいが、過剰症は発生しにくい。土壌中のカリの過剰は苦土や石灰の吸収を抑制し、これらの欠乏症を促進する。		石灰質肥料、苦土肥料を施用し、土壌の塩基バランスを適正にしておく。カリ肥料を計画的に施用する。
C a	生体内で移動しにくいので、欠乏症は新葉から発生する。生長の盛んな若い葉の先端が白化し、やがて褐色枯死する。根の表皮にコルク層ができ、根が短く太くなる。子実の成熟が妨げられる(トマトの尻腐れ、セルリー、ハクサイの心腐れ)。			塩化カルシウム、硫酸カルシウムの溶液を葉面散布する。石灰肥料を施用する。土壌水分が過不足のないようにかん水を行い、窒素肥料、カリ肥料の施用をひかえる。		過剰症は発生しにくい。石灰肥料の過剰施用は苦土、カリ、リン酸の吸収を抑制し、鉄、マンガン、ほう素、亜鉛などの欠乏症を誘発することがある。		硫酸、塩安、硫酸カリ、塩化カリなどの酸性肥料や硫黄華を施用する。土壌が乾燥する時は、マルチにより水分の蒸発を抑える。輪作作物としてアルファルファ、インゲン、トマト、サツマイモなどを栽培し、石灰を吸収させる。土壌のアルカリ性を矯正しておく。たいきゅう肥を施用して、土壌の緩衝作用を高めるようにしておく。

要素	欠 乏		過 剰	
	症 状	対 策	症 状	対 策
Mg	<p>葉緑素の形成が阻害され、葉脈間がイネ科植物では筋状に、広葉植物では網目状に黄化する。カリ肥料を過剰施用すると苦土欠乏が発生しやすくなる。果実付近の葉に欠乏が出やすい。</p>	<p>硫酸マグネシウム溶液を葉面散布する。苦土肥料を施用する。土壌中のカリ過剰やリン酸欠乏を矯正する。土壌の酸性を矯正しておく。</p>	<p>土壌中の苦土 / 石灰比が高いと、作物の生育阻害がおきやすい。</p>	<p>塩化カルシウム、硫酸カルシウムの溶液を葉面散布する。土壌 pH が低い場合には石灰質肥料を施用する。</p>
S	<p>全体的に生長が悪くなり、窒素欠乏と類似している。新葉よりも旧葉に顕著な黄化現象が認められる。</p>	<p>硫安、硫酸カリを施用する。</p>	<p>植物自体の過剰症はみられない。硫酸根肥料の多量施用は、土壌を酸性化し、老朽化水田では硫化水素発生の原因となる。</p>	<p>硫酸酸性の場合はアルカリ性肥料、中性肥料や石灰質肥料を施用する。</p>
Si	<p>葉や茎が軟弱になって、病害虫にかかりやすく、倒伏しやすくなる。水稲では生育が衰えて、出穂が遅延し、稔実が悪くなる。</p>	<p>ケイ酸石灰を施用する。藁を原料としたたいきゅう肥を施用する。</p>	<p>鉍さい類の多施用による土壌 pH の上げ過ぎは、種々の生理障害をひきおこす原因となる。</p>	
B	<p>生長点がとまり、もろくなって心どまりや心枯れとなる。ナタネでは不稔粒が多くなる。茎や葉の中心が黒くなる。葉柄がコルク化する。果実にヤニができたリ、コルク化がみられたりする。根の伸長が阻害されて、細根の発生が減少する。</p>	<p>ホウ砂、ホウ酸の溶液を葉面散布する。ホウ砂、FTE を施用する。たいきゅう肥を施用する。土壌の過乾、過湿状態を避ける。土壌のアルカリ性を矯正しておく。</p>	<p>葉緑が黄化し、ついで褐変する。許容範囲が狭く、過剰症がでやすい。</p>	<p>○土壌の酸性を矯正しておく。</p>

要素	欠		乏		過		剩	
	症	状	対	策	症	状	対	策
Mn	イネ科植物では新葉がしま状に黄化し、さらに症状が進むと壊死を起こす。 ○広葉植物では斑点状の黄化や壊死がおこる。 葉が小型になる。		硫酸マンガン溶液を葉面散布する。 硫安、塩安、塩化加里などの酸性肥料、硫黄華を施用する。 FTE、硫酸マンガンを施用する。 たいきゅう肥を施用して、土壤の緩衝作用を高めるにする。 土壤のアルカリ性を矯正しておく。		旧葉の先端に褐色～紫色の小斑点ができる。 鉄欠乏症ができることもある。 果樹類の異常落葉、腐植質土壤の開田後に発生する水稻の赤枯れをマンガン過剰とする説もある。		石灰質肥料を施用して、土壤の酸性を矯正する。 土壤をやや過乾状態にする。 たいきゅう肥を施用して、土壤の緩衝作用を高めるようにする。	
Fe	葉緑素の生成が妨げられ、新葉が黄白化する。 リン、マンガン、銅の過剰吸収は鉄欠乏を助長する。		硫酸第一鉄、硫酸第二鉄、キレート鉄溶液を葉面散布する。 果樹では、クエン酸鉄、リン酸第二鉄を樹幹に注入する。 硫安、塩安、塩化カリなどの酸性肥料、硫黄華を施用する。 キレート鉄を施用する。 土壤のアルカリ性を矯正しておく。 土壤の過乾状態を避ける。		多量の鉄資材の施用はりん酸の固定を増して、リン酸欠乏になる。		土壤の過湿状態を避ける。	
Zn	葉脈間が黄化し、明瞭なしま状になる。 黄化は新葉からはじまり、中位葉におよぶ。 葉が小型化する。 細根が発育不全となる。		硫酸亜鉛、酸化亜鉛、硫化亜鉛溶液を葉面散布する。 硫安、塩安、塩化カリなどの酸性肥料を施用する。 硫酸亜鉛を施用する。 堆きゅう肥を施用して、亜鉛を補給する。 水溶性リン酸肥料の過剰使用を避ける。 土壤のアルカリ性を矯正しておく。		新葉が黄化し、さらに葉、葉柄に赤褐色の斑点を生じる。 抵抗性は作物によって異なる。		石灰質肥料を施用して、土壤の酸性を矯正する。 リン酸肥料を多施用して、亜鉛の吸収を抑える。	

要素	欠		過	
	症	状	対	策
Cu	<p>麦類では新葉が黄白化、褐変し、よじれる。穂は萎縮症状を示したり、葉鞘から完全に抽出せず、稔実が悪い。</p> <p>果樹の枝枯れは銅欠乏とされ、若枝に水ぶくれ状の斑点を生じる。葉には黄色斑点ができる。</p>	<p>硫酸銅溶液を葉面散布する。</p> <p>硫酸銅を土壤に施用する。</p>	<p>主根の伸長が阻害され、分岐根の発生が悪い。</p> <p>銅過剰は鉄欠乏を誘発する。</p> <p>生育不良となり、葉にクロロシスが現れる。</p>	<p>石灰質肥料を施用して、土壤の酸性を矯正する。</p> <p>リン酸肥料を多施用して、銅の吸収を抑える。</p> <p>たいきゅう肥を施用する。</p> <p>○鉄欠乏を誘発した場合は、硫酸第一鉄、硫酸第二鉄、キレート鉄溶液を葉面散布する。</p>
Mo	<p>広葉植物では葉縁が内側に巻いてスプーン状になり、イネ科植物では葉がよじれる。</p> <p>症状は旧葉から現れる。葉は中央脈を残して鞘状になる。</p> <p>植物体の矮化など、症状は植物によって多種多様である。</p>	<p>モリブデン酸アンモニウム、モリブデン酸ナトリウム溶液を葉面散布する。</p> <p>モリブデン酸アンモニウム、モリブデン酸ナトリウムを土壤に施用する。</p> <p>土壤の酸性を矯正しておく。</p> <p>稲わら、緑肥などを施用して、モリブデンを補給する。</p>	<p>一般に過剰症は現れにくい。</p> <p>葉にクロロシスが現れる。</p> <p>ジャガイモでは小枝が赤黄色、トマトでは黄金色を呈する。</p>	<p>硫酸、硫酸加里、硫酸黄華などを施用してモリブデンの吸収を抑える。</p>
Cl	<p>新葉が黄化する。</p> <p>葉の先端が萎凋し、ついでクロロシスをおこして、青銅色の壊死にまで進展する。</p>	<p>塩安、塩化加里を施用する。</p>	<p>塩害は塩素の過剰吸収でなく、食塩の高濃度害である。</p> <p>イモ類は繊維が多くなり、品質が悪くなる。</p> <p>○タバコでは葉の品質が悪くなる。</p>	

表 - 23 葉面散布の標準試薬と使用濃度（原色 生理障害の診断法）

要素	標準試薬	対象作物	使用濃度 (%)
N	尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	イネ、ムギ	1.0~2.0
		トマト	0.75
		セルリー	1.0
		野菜一般 (野菜一般幼苗)	1.0~2.0 (0.5)
		クワ	0.5~1.0
		チャ	0.5~0.6
		リンゴ	0.5(6~8月) 0.8(9月) 1.0(11~12月)
P	リン酸二水素ナトリウム NaH_2PO_4 リン酸二水素アンモニウム $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ リン酸水素二アンモニウム $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	イネ	1.0~2.0
		各種作物	0.5~1.0
K	硫酸カリウム K_2SO_4 塩化カリウム KCl	イネ	1.0~2.0
		各種作物	0.3~1.0
Ca	塩化カルシウム CaCl_2 硫酸カルシウム CaSO_4	各種作物	0.3~1.2
Mg	硫酸マグネシウム $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	イネ	0.5~1.0
		野菜	2.0
		果樹	2.0~4.0
Fe	硫酸第一鉄 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 硫酸第二鉄 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ キレート鉄	各種作物	0.1~0.3(1.0~2.0)
Mn	硫酸マンガン $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	イネ、ムギ	0.5~1.0
		野菜	0.3
		果樹	0.25(5~6月) 1.5(3月)
B	ホウ砂 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ホウ酸 H_3BO_3	セルリー	0.3~0.4
		ナタネ	1.0
		ナシ	0.06~0.12
		ブドウ、一般果樹	0.1~0.3
Zn	硫酸亜鉛 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 酸化亜鉛 ZnO 硫化亜鉛 ZnS	野菜	0.1~0.2
		リンゴ	0.3
		一般果樹	3.0(芽の膨らむ前)
Cu	硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	一般作物	0.01~0.1 (同量の消石灰加用)
		果樹	0.5~0.1 (同量の消石灰加用)
Mo	モリブデン酸アンモニウム $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ モリブデン酸ナトリウム $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	各種作物	0.01~0.05 (苗床は0.07)