

植物必須要素の生理

1 必須要素の欠乏、過剰

欠乏

要素	欠 乏 症 状	作目別の症状と発症事例
N	<ol style="list-style-type: none"> 主に古い組織から症状が発生する。 作物体全体の生育が悪く、下葉から均一に黄化し、葉脈の緑もほとんど残らない。 成熟期が早くなる。 根量は少ないが、地上部が萎凋することはない。 草勢の低下等の老化も窒素欠乏症状の一種である。 	<ul style="list-style-type: none"> 各作物の黄化、矮化 キュウリ：曲がり果 ナス：落果、石ナス、短花柱花 イチゴ、トマト、キャベツ等：葉（脈）のアントシアン発生
P	<ol style="list-style-type: none"> 主に古い組織から症状が発生する。 葉色が光沢の少ない濃緑色または赤紫色になる。 下葉から黄化またはアントシアン色素が発生する。 果実が成熟遅延となり、収量、品質も低下する。 	<ul style="list-style-type: none"> 各作物の葉色の変化 イチゴ、ナス、ピーマン...濃緑色 トマト、キャベツ等.....赤紫色 水稻：赤枯れ症状（開田病）、
K	<ol style="list-style-type: none"> 主に古い組織から症状が発生する。 葉の症状には 葉縁より黄化し、その後縁枯れを起こす、葉面に不規則な大型斑点（白色または褐色）を生ずる、葉脈が赤紫色になる、などがあるが、これらが混在して発生する場合も多い。 生育初期では葉が外側に巻き、生育不良となる。 畑作物では干ばつ時に強く現れ、症状が進行してからカリ肥料を施用しても回復しない場合が多い。また、石灰や苦土が多いと発生が助長される。 	<ul style="list-style-type: none"> イチゴ：葉脈の赤紫色化、葉面の茶褐色斑点 トマト：葉縁部の黄化枯死、すじくされ果 ナス：葉の不正形白斑 キュウリ：尻太り果 キャベツ：下葉黄化、葉脈間壊死 スイカ：葉縁部の黒変壊死 パセリー：斑点症 大麦：白斑症 カーネーション：上位葉の葉先枯れ
Ca	<ol style="list-style-type: none"> 主に新しい組織から症状が発生する。 先端葉の生育が阻害される。先端部ほど障害が強く、白化し更に褐変枯死する。 根の生育が抑制され、根腐れが生じやすい。 子実では、花落ち部分の壊死、成熟の抑制など。 土壌中にN、K、Mgが多いと発生が助長される。 	<ul style="list-style-type: none"> トマト、ナス、ピーマン：尻われ果 ウリ類：肩こけ果、変形果 キャベツ、チンゲンサイ等：心腐れ、縁腐れ セルリー、ダイコン、タマネギ、カブ等：心腐れ イチゴ：葉縁壊死 マクワ型メロン：発酵果、心くされ果 ハクサイ、レタス：緑腐れ症 サトイモ：芽つぶれ症
Mg	<ol style="list-style-type: none"> 主に古い組織から症状が発生する。 下葉、古葉、子実付近の葉から症状が現われる。また、子実肥大期に現われやすい。 症状には 葉脈間が黄化する、葉脈沿いに黄化する、葉縁から黄化する、葉脈間に大型で不規則な黒色斑点を生ずる、などがある。 土壌中にK、Caが多いと発生が助長される。 	<ul style="list-style-type: none"> 各作物の葉脈間クロロシス イチゴ、バラ：葉脈間大型黒斑 トマト、スイカ、メロン等：果実近傍葉の葉脈間クロロシス ジャガイモ：早期枯れ上がり症
Fe	<ol style="list-style-type: none"> 主に新しい組織から症状が発生する。 先端や新葉の葉脈間が、葉脈の緑色を残し、淡緑から黄白化する。症状が進むと全体が黄白化する。 生育の抑制程度はCa、B欠乏と比べて小さい。 根が黄変しやすい。 土壌pHが高いと不溶化し、発生を助長する。 	<ul style="list-style-type: none"> 各作物の先端葉の黄白化 ナス..葉面全体の黄白化 トマト..網目状の黄白化 キュウリ、スイカ..黄白化と葉縁の白化、枯死 キヌサヤエンドウ..先端白化症

要素	欠 乏 症 状	作目別の症状と発症事例
Mn	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主に新しい組織から症状が発生するが、場合によっては古い組織から発生する。 2. 中上位の成葉に現われ、葉脈間が淡緑色から黄化し、作物によっては小斑点が発生する。葉脈に沿って緑色が残る場合が多い。 3. 麦や水稻では下葉が葉脈間ネクロシスから褐色線条のネクロシスとなることがある。 4. 土壌pHが高いと不溶化し、発生を助長する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・イネ科：下葉から葉脈間にクロロシスを生じ、褐色線条の壊死症状となる。(ムギ褐線萎黄病) ・トマト、キュウリ、ナス等：網目状の葉脈間クロロシス ・ハウレンソウ、シュンギク：葉先の黄化(スカシ症)、葉脈間クロロシス ・ダイズ：先端葉の葉脈間黄化から褐色の点状壊死斑
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主に新しい組織から症状が発生する。 2. 先端部に現われ、茎葉は硬くて脆くなり、先端葉は黄化や小葉化し、生長停止する。また、茎や果実組織に亀裂やコルク化が生じるタイプもある。 3. 根は、根毛の伸長阻害を起こす。 4. 茎葉の肥厚やねじれ、葉へのアントシアン色素の発生、ロゼット状、心腐れ症状、ヤブ状などの症状もみられる。 5. 高い土壌pH、土壌の乾燥は発生を助長する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・イチゴ：葉柄褐変亀裂症 ・ダイコン、カブ、ハクサイ、セルリー等：心腐れ ・トマト、ブドウ、メロン：ヤニ症 ・キュウリ：くびれ果 ・ダイコン：す入り、赤心症状、コルク症状、サメ肌症状 ・セルリー：葉柄亀裂と伸長停止 ・レタス：亀裂褐変症 ・トウモロコシ：伸長停止、葉脈間の縞状黄化、壊死 ・ナタネ：不稔病
Zn	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新葉から症状が発生しやすいが、旧葉へと拡大することが多い。 2. 症状には 葉身、節間の伸長不良によりロゼット化、奇形、小葉化する、旧葉の葉柄、葉脈間に褐色小斑点を生じる、葉脈、葉縁の緑を残して葉脈間が黄化する(トラ斑)、などがある。 3. 高い土壌pH、燐酸の多施肥は発生を助長する。 4. 一般のほ場での発生はほとんど見られない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・トマト、キュウリ、カブ等：旧葉の葉柄、葉脈間の褐色小斑点 ・イネ：新葉の基部の白化から中肋の白化、下葉の褐色斑点 ・ミカン、スイートピー：葉脈や葉縁を残し、葉脈間が黄化(トラ斑、肋骨症状) ・カンショ：小葉、アサガオ様葉と地上部の叢生状 ・カーネーション：茎割れ症状(節のタテ割れ)
Cu	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主に新しい組織から症状が発生する。 2. 上葉の葉脈間に小斑点状の黄化が発生し、先端葉が淡緑化し垂れ下ったり、カッピングが発生したりする。その他、葉脈の緑を幅広く残した葉縁からの黄化、まだらに緑を残す不規則な黄化、生長停止、不稔、若枝樹皮のゴム状水ぶくれ症状などがある。 3. 土壌pHが中～高いと不溶化し、発生を助長する。 4. 一般のほ場での発生はほとんど見られない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・麦類：葉の黄化、褐変、穂の萎縮、稔実不良(開墾地病) ・リンゴやナシ：若枝に水ぶくれ状の斑点と葉の黄色斑点(ゴム状)
Mo	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主に古い組織から症状が発生する。 2. 症状には、葉脈間の黄～白化、コップ状葉、中肋を残した鞭状葉、葉の黄色大斑点、矮化などがある。 3. 土壌pHが低いと不溶化し、発生を助長する。 4. アブラナ科野菜は欠乏が発生し易いが、一般のほ場での発生はほとんどみられない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハナヤサイ、ブロッコリー：鞭状葉病 ・ダイコン：萎縮病 ・ポインセチア：上葉の葉脈間黄化(ポインセチアは症状が出易く、モリブデン欠乏指標植物)
S	<ol style="list-style-type: none"> 1. 生長点付近から症状が発生し、下葉に広がる。 2. N欠乏症と類似しているが、葉は全体が黄化する。また、赤紫色のアントシアン色素が生じ易い。 3. 一般のほ場での発生はほとんど見られない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂質地帯の潜在的欠乏..無硫酸根肥料の連用で葉色の黄化、アントシアン色素の発生等の見られることがある。
Cl	<ol style="list-style-type: none"> 1. 葉の先端の萎凋、ついで葉のクロロシスを生じ、さらに青銅色の壊死に進展する。 2. 一般のほ場での発生はほとんどみられない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般のほ場での欠乏事例は確認されていない。

過剰

要素	過 剰 症 状	作目別の症状と発症事例
N	1. 葉は濃緑色又は暗緑色となり、生育が旺盛になる。 2. 葉縁が枯れ込むことがある。 3. 作物は全体に多汁化、軟弱化し、病害虫、冷害などへの抵抗性が減少する。 4. 種実の成熟が遅延し、場合により不稔となる。 5. Ca 吸収を抑制し、Ca 欠乏を助長する。	<ul style="list-style-type: none"> ・キュウリ、メロン、スイカ等：芽曲がり ・トマト、ナス等：落蕾、落果 ・トマト：乱形果、茎の窓あき、すじぐされ果 ・イチゴ等：花芽分化の遅延 ・スイカ等：ツルぼけ ・マクワ型メロン：発酵果 ・キュウリ：尻細り果 ・ダイコン：岐根 ・ハクサイ等：ゴマ症
P	1. 下葉が黄化し、褐色小斑点が発生するが、小斑点はやがて壊死する。(ソバカス状黄化斑点) 2. 障害が進行すると、葉縁から枯死が始まる。 3. P の過剰は、Fe、Zn、Mg、Cu 欠乏を誘発する場合がある。 4. 過剰障害が出にくいとされていたが、近年施設栽培において発症例が見られるようになってきている。	<ul style="list-style-type: none"> ・メロン：小斑点症 ・キュウリ：下葉の葉脈間斑点状黄化(ソバカス状黄化)と枯上がり ・ナス：葉脈付近の黄化斑点
K	1. N と同様、過剰吸収し易いが、過剰症は出にくい。 2. 濃度障害の一種として、葉縁部が上に巻き上がり、凹凸を生じる。 3. K の過剰は、Ca、Mg の吸収を抑制し、これらの欠乏を誘発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・キュウリ等：葉縁部の巻き上がり、葉の凹凸、葉脈間クロロシス(葉脈間クロロシスは Mg 欠乏症と見分けが難しい。)
Ca	1. 過剰症状は出にくい、下葉葉縁の枯れ上がりや褐色小斑点等が観察される。 2. Ca の過剰吸収は、K、Mg 等の欠乏を誘発する。 3. Ca の過剰で土壌が高 pH となった場合、Mo 以外の微量元素の溶解性を低下させ、欠乏を助長する。	<ul style="list-style-type: none"> ・トマト、キュウリ等：葉縁の枯れ上がり ・キュウリ：下葉の褐色小斑点
Mg	1. 過剰症状は出にくい、生育不良が現われることがある。また、葉脈間の黄化、褐色小斑点を生じ、小斑点はやがて壊死する。 2. Mg の過剰は、K、Ca 欠乏を誘発する可能性は比較的小さいが、ミトコンドリアの機能を阻害することによる根の活性低下への影響が大きい。	<ul style="list-style-type: none"> ・ナス：葉脈間褐色小斑点 ・根細胞のミトコンドリア機能阻害 ・根の活性低下
Fe	1. 一般に過剰障害は出にくい、葉に茶褐色の斑点を生じ、生育が抑制される。 2. K が不足すると、Fe 過剰障害を助長する。 3. 酸性・湿潤状態の畑、強酸性・還元状態の水田では Fe が可溶化し易いため、過剰害が出易い。	<ul style="list-style-type: none"> ・水稻：葉の褐色小斑点と生育抑制(赤枯れ) ・野菜では Fe 過剰症と断定できる事例はほとんど無い。
Mn	1. 過剰症状には、葉脈、葉柄が褐変し、毛茸の黒変がみられる(ウリ科野菜、ダイズ等) 葉に褐色小斑点を生じる(ナス科野菜、イチゴ等)、葉縁の黄化を生じる(ホウレンソウ、カブ等)がある。 2. 土壌が酸性、還元状態や湿潤状態の時に発症し易い。施設土壌の蒸気消毒によって可溶化し、発症する場合がある。 3. Mn 過剰は Fe 欠乏を誘発する。	<ul style="list-style-type: none"> ・メロン：葉脈褐変、毛茸の黒変 ・レタス：葉縁褐変、褐色小斑点 ・チンゲンサイ：黄縁の黄白化、褐変と葉の巻き ・水稻：開田病 ・ナス：鉄サビ病 ・カーネーション：下位葉の葉先枯れ ・リンゴ：樹皮の発疹状の凹凸、新梢の発育停止、枯死(粗皮病) ・ウンシュウミカン：葉の先端、葉縁の不規則な褐色斑点、落葉(異常落葉症)

要素	過 剩 症 状	作目別の症状と発症事例
B	<ol style="list-style-type: none"> 1. 障害はほとんどの場合下葉から生じる。 2. 症状は、葉縁部～葉脈間が茶褐色となって枯死する、白化して枯死する、などがある。また、葉が外側にそり、巻いたようになるものもある。 3. 人為的に施用しない限り過剰障害はみられないが、植物体中の最適許容範囲が狭いので、B 施用による過剰障害の発生が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・葉縁部～葉脈間の変色、枯死 ・ダイズ、ナス、イチゴ：茶褐色 ・ハウレンソウ、コカブ、トマト、キュウリ：白化 ・ハウレンソウ、コカブでは葉が外にそり、巻いたようになる。 ・ナス、キュウリは落葉しやすい。 ・イチゴ：下葉が濃度障害のように黒くくすみ、葉縁部は褐変する。 ・チンゲンサイ：心葉～内葉の萎縮萎化と葉の巻き
Zn	<ol style="list-style-type: none"> 1. 要素の過剰障害は下葉から生じることが多いが、Zn は中位葉から上位葉全体に発症する。 2. 主な症状としては、葉脈の赤紫色化、新葉の黄化など Fe 欠乏症の誘発がある。 3. 欠乏症が特定の地域・作物に限定されるのに対し、工場排水等による過剰症発生の危険性は高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・イチゴ：葉脈を中心に幅広く赤紫色化するが、品種により黄化、褐色斑点が生じるものもある。 ・ダイズ：葉裏、葉の基部が紫褐色化し、先端葉は黄化する。 ・トマト、ピーマン、キュウリ等：上位葉に Fe 欠乏を誘発する。
Cu	<ol style="list-style-type: none"> 1. 体内を移動しにくいいため、下位葉から発症する。 2. 症状は、まず根の伸長が阻害され、生育が抑制される（気根を発生することも多い）。ついで下位葉が黄化する。 3. Cu の過剰は、Fe 欠乏を誘発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・キュウリ、スイカ等：根の伸長の抑制、気根の発生がみられ、下葉が黄化する。 ・ダイダイ：下葉の中肋部より黄化し、生育が抑制される。
Mo	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一般に過剰障害は出にくい。 2. 症状としては、下位葉の先端部より黄化し、生育が遅延する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・水稻：下位葉の先端部が黄化し、生育が遅延する。 ・トマト：葉が黄金色となる。 ・バレイショ：小枝が赤黄色となる。
S	<ol style="list-style-type: none"> 1. 作物自体の過剰症はみられない。 2. 硫酸根は土壌を酸性化するため、酸性による障害が発生する。 3. 老朽化水田では、硫化水素発生の原因となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・直接の過剰障害事例はない。 ・土壌の酸性による各種障害。 ・硫化水素による根腐れ、生育抑制。
Cl	<ol style="list-style-type: none"> 1. 葉の周辺が白化し、枯れて生育が抑制される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・過剰障害事例はほとんど無い。

2 必須要素の相互作用

作物が十分に吸収できるだけの養分量が土壌中にあっても、作物が吸収できない場合がある。特に、ある要素の過剰が他の要素の吸収を、直接的あるいは間接的に阻害することがある。これを拮抗作用と呼び、その逆を相乗作用と呼ぶ。

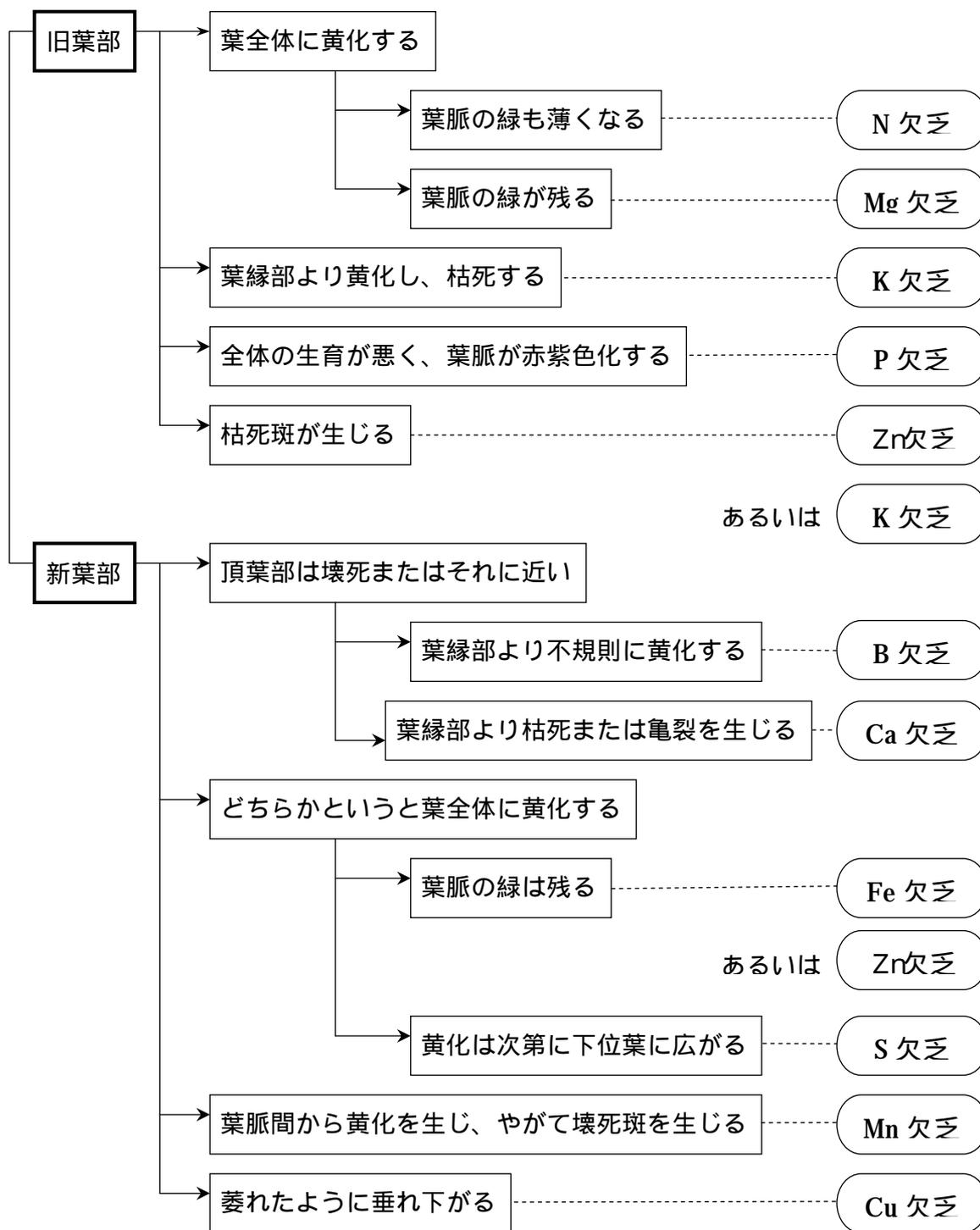
(例) 拮抗作用： K 過剰 Ca、Mg の吸収が抑制される
Ca 過剰 土壌 pH の上昇により Mo 以外の微量元素が不溶化し、吸収が抑制される 等

相乗作用： K、N Mn の吸収・移動を助ける
P Mg の吸収・移動を互いに助ける 等

3 野菜の要素欠乏・過剰障害の検索

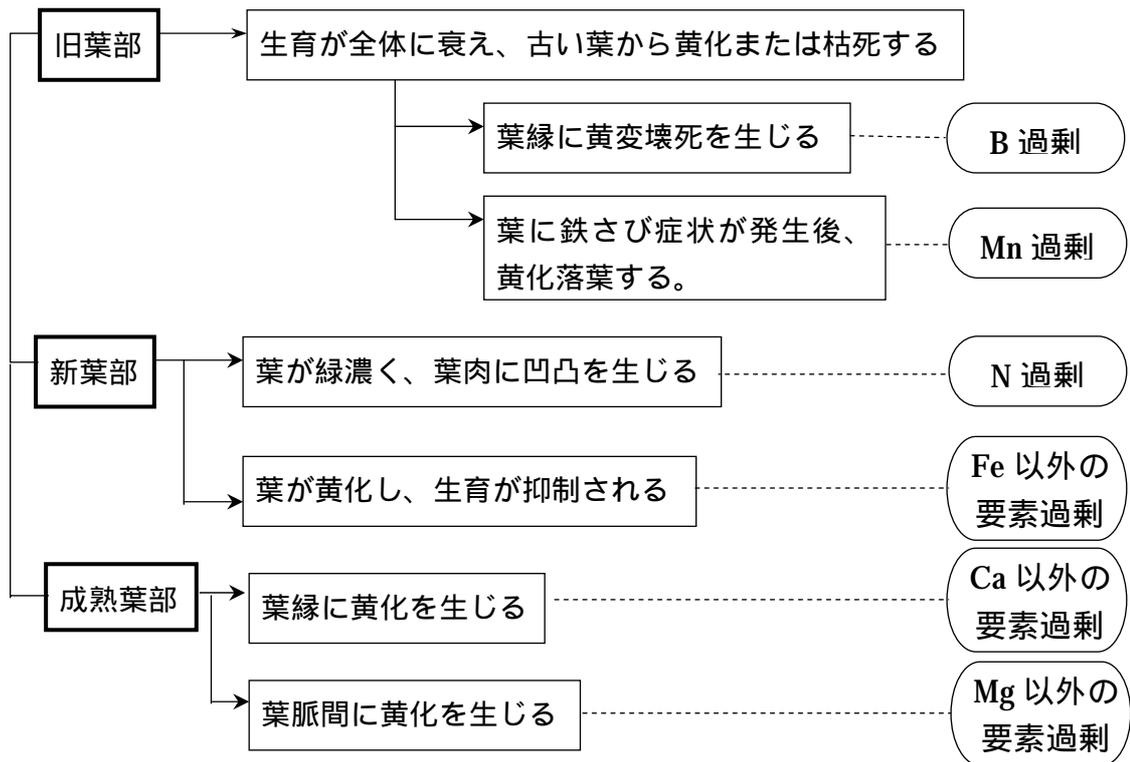
欠乏障害

症状の発生部位



(参考図書) 渡辺和彦, 生理障害の診断法 (1996)

過剰障害



(参考図書) 加藤 徹：施設野菜の生育障害 (S61 博友社)

要素欠乏・過剰症の発生しやすい部位と土壌条件

作物体内で移動しやすい要素（窒素、リン、カリ、マグネシウムなど）は下葉から欠乏症状が発生するが、移動しにくい要素（カルシウム、鉄、マンガン、ホウ素など）は上葉から欠乏症状が発生する。過剰症状は、一般に下葉から発生することが多いが、銅、亜鉛などの重金属過剰は先端葉に鉄欠乏症状を誘発する（図1）。

一枚の葉の中にも要素によって症状が発生しやすい部位があり、作物によって異なることもある（図2、3、4）。

また、土壌条件によって欠乏や過剰が発生しやすい要素が異なる（表1）

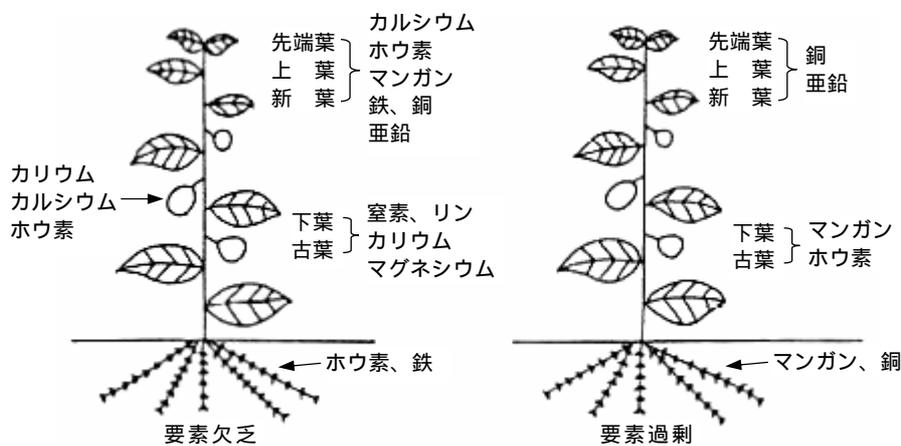


図1 要素欠乏・過剰の発現しやすい作物体部位

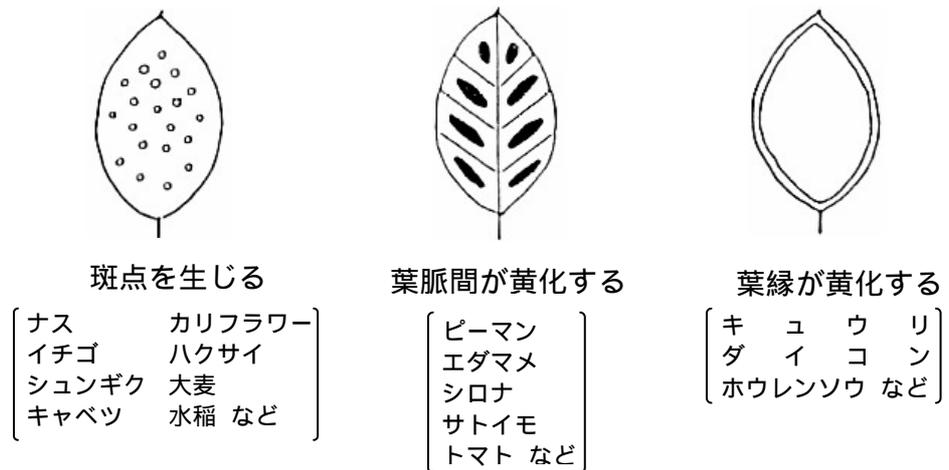


図2 カリウム欠乏症状の特徴

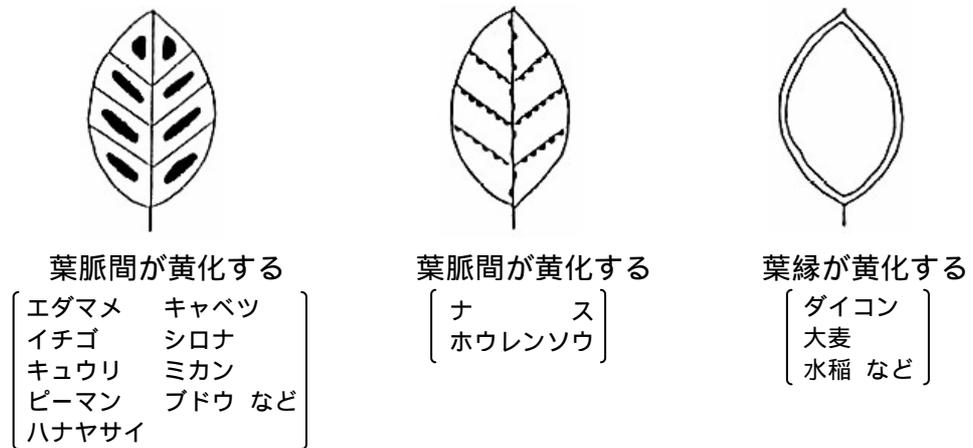


図3 マグネシウム欠乏症状の特徴

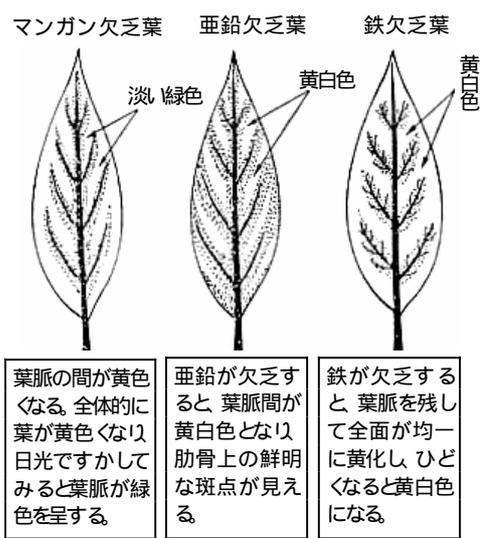


図4 欠乏症状の見分け方

表1 欠乏・過剰の発生しやすい土壌条件

区分	土 壌 条 件	
	酸 性	中性～アルカリ性
欠乏しやすい要素	Ca、Mg、 P ₂ O ₅ 、(Mn)	Cu、Zn、Fe、 Mn、B
過剰となる要素	Cu、Zn、Al、 Mn、B	

- ・ N や K は施用量が少ないと欠乏しやすく、多くなると過剰になりやすい
- ・ K と Mg は拮抗作用によって、いずれか一方が多く存在すると他方が適量存在しても欠乏を示すことがある

(参考図書) 清水 武：原色要素障害診断辞典 (H2 農文協)
 高橋英一他：新版原色作物の要素欠乏・過剰症 (S55 農文協)

4 葉中要素含量の欠乏・適量・過剰の判定基準

水稲・野菜類

作物名	含有程度	乾物 100 g 中 g (%)					乾物 1 kg 中 mg (ppm)													
		窒素 (N)	リン酸 (P) 下	カリ (K)	カルシウム (Ca)	マグネシウム (Mg)	ホウ素 (B)	マンガン (Mn)	鉄 (Fe)	亜鉛 (Zn)	銅 (Cu)	モリブデン (Mo)	ニッケル (Ni)	コバルト (Co)						
水稲	欠乏		0.02以下	0.3以下		0.06以下	1.0以下	20以下												
	適量					0.1~0.2	3~5	80~200	30~100											
	過剰						10~40													
キウリ (莖葉)	欠乏	2.5以下	0.2以下	1.5以下	2.0以下	0.3以下	15以下	10以下	50以下	8以下	0.1以下									
	適量	3.0~3.5	0.2~0.4	2.0~2.5	2.5~4.5	0.6~1.0	20~50	20~100	100~200	20~30	0.5~1.0									
	過剰																			
トマト (葉)	欠乏	2.0以下	0.1以下	3.0以下	1.5以下	0.3以下	10以下	5以下	100以下	15以下	0.5以下									
	適量	2.5~3.5	0.2~0.4	4.0~5.0	3.0~5.0	0.5~1.0	15~50	30~200	100~350	20~50	0.5~1.0									
	過剰	4.0以上	6.0以上	6.0以上			100以上	350以上		30以上										
キャベツ (外葉)	欠乏	2.5以下	0.2以下	1.2以下	1.8以下	0.2以下	5以下	100~200		20~60										
	適量	3.0~4.0	0.3~0.4	1.5~2.0	2.0~3.5	0.3~0.5	15~30													
	過剰																			
ハクサイ (外葉)	欠乏	2.0以下	0.1以下	1.5以下	1.5以下	0.2以下	15以下				1.0~8.0									
	適量	2.5~3.9	0.2~0.4	1.8~2.8	1.5~3.0	0.4~0.5	20~50				8.5~12.0									
	過剰																			
チンゲンサイ (内葉)	欠乏				0.5以下	0.1以下	19~76	18~190												
	適量				1.5~3.1	0.3~0.8	100以上	1150以上												
	過剰																			
チンゲンサイ (外葉)	欠乏						19~59	43~330												
	適量						85以上	2050以上												
	過剰																			
ホウレンソウ	欠乏						10以下	10以下		50~150	0.1以下									
	適量						15~20	50~250			1.0~2.0									
	過剰																			
セルリー	欠乏						15以下	20以下												
	適量						30~70	50~150		150~200										
	過剰																			
ネギ	適量	1.8~2.2					15~30	50~90		50~120	0.1~0.2									
	適量	2.5~3.0					40~70	30~100		40~70	0.5~2.0									
	適量	1.5~2.0					20~60	200~300		50~90	0.2~0.5									
サツマイモ	欠乏				1.0以下	0.1以下	20以下	100~300												
	適量				1.5~2.0	0.3~0.6	20~50			20~50	0.5~1.0									
	過剰						30~80	100~200		100~250	0.2~0.5									
ジャガイモ	適量																			
	適量																			
	適量																			

(注) (1) 適量値は、農作物の種類によって異なるが、品種、土壌の pH、施肥量および施肥方法などによっても大幅に変動する。また、品種改良や栽培技術の推移によっても絶えず変動をつける。従って、適量値にはある程度の幅を持たせた。また、欠乏・過剰の数値は実際に症状が現れているものを対象として分析した既往の資料を参考とした。従って、必ずしも厳密な基準値ではないが、利用者の便をはかって揭示を試みた。

(2) 水稲は収穫期の莖葉の分析値、ダイコン・ニンジン・サツマイモ・ジャガイモは可食部の分析値、チンゲンサイの内葉とは内側から外側に向かって 3 枚目から 9 枚目、外葉とは同じく 10 枚目以上を目安とする。その他の野菜は葉の分析値。

(3) 水稲ではケイ酸 SiO₂ が 5~8% 以下で欠乏、13~15% が適宜。

(4) 塩素 (Cl₂) は水稲では 0.3% 以上で過剰。トマトでは 1,200 ppm 以上、キュウリでは 800ppm 以上で被害が発生する。

(参考図書) 高橋英一他：新版原色作物の要素欠乏過剰症 (S55、農文協)、あたらしい農業技術 249 (H6、静岡県)

果樹類

作物名	含有程度	乾物 100 g 中 g (%)						乾物 1 kg 中 mg (ppm)							
		窒素 (N)	リン (P)	カリウム (K)	カルシウム (Ca)	マグネシウム (Mg)	ホウ素 (B)	マンガン (Mn)	鉄 (Fe)	亜鉛 (Zn)	銅 (Cu)	モリブデン (Mo)	ニッケル (Ni)	コバルト (Co)	
温州ミカン (普通温州)	欠乏	2.3以下	0.10以下	0.7以下	2.0以下	0.10以下	30以下	30以下	10以下	4以下	0.05以下				
	適量	2.9~3.4	0.16~0.20	1.0~1.6	3.0~6.0	0.30~0.60	30~100	50~150	30~100	10~50	0.2~3.0	2.0~15	5~20		
	過剰	4.0以上	1.8以上	1.8以上	7.0以上	170以上	150以上	250以上	200以上	150以上		25~90以上	30以上		
日本ナシ (7月下旬~8月上旬採)	欠乏	0.8以下	0.07以下	0.4以下		0.25以下			15以下						
	適量	2.5	0.12~0.14	0.8~1.4	2.3~3.0	0.27~0.40	60~200		50~90	10~20	2.0~20	5~35	1.0~2.0		
	過剰											40以上			
モモ(大久保) (6月中旬採取)	欠乏	2.0以下	0.12以下	0.8以下		0.25以下	15以下		20以下						
	適量	3.4~3.5	0.20	1.6~2.0		0.27~0.40	20~70		30~50	5~15		0.3~1.0	0.1~0.5		
	過剰					100以上									
ブドウ (デラウェア) (7月下旬~8月上旬採)	欠乏	0.6以下	0.10以下	0.4以下	0.5以下	0.25以下	7以下			5以下					
	適量	2.5~2.9	0.15~0.19	0.7~0.9	0.7~1.2	0.26~0.50	20~200	100~150	6~15	6~15	0.1~1.0	0.2~0.8			
	過剰					250以上									
甲州ブドウ	欠乏	2.1~3.3	0.17~0.20	0.9~2.0	2.3~3.5	0.19~0.32	25~200	30~100	5~25	10~20	0.1~1.0				
	適量														
富有ガキ (9月上旬採取)	欠乏	1.5以下	0.05以下	0.5以下											
	適量	2.3~2.6	0.12~0.14	1.5			25~200	50~2000	10~30	20~30		0.2~0.6	0.1~0.3		
	過剰														
ビワ	欠乏	1.5以下	0.10以下	0.5以下	0.5以下	0.10以下									
	適量	2.0~2.5	0.12~0.20	1.0~1.8	0.8~1.5	0.15~0.30									

(注) 判定基準値は葉分析による。各数値は前表と同様に種々の外部環境・内部環境に対応して変動するので、若干の幅を持たせた。

(参考図書) 高橋英一他：新版原色作物の要素欠乏過剰症 (S55、農文協)

5 要素の欠乏・過剰に対する対策

要素	欠乏に対する対策	過剰に対する対策
N	<ol style="list-style-type: none"> 0.2~2.5%の尿素溶液を4~5日おきに葉面散布する。 水に溶かした窒素肥料(硫酸、尿素等)を土壤に施用する。 完熟たい肥を施用し、地力を増進する。 施肥窒素の流亡を防ぐためにマルチを使用する。 	<ol style="list-style-type: none"> かん水量を多くし、窒素を流亡させる。 土壌診断を行い、適正な施肥に努める。
P	<ol style="list-style-type: none"> 第1リン酸カリまたは第1リン酸カルシウムの0.3~0.5%溶液を葉面散布する。 リン酸吸収係数の大きい黒ボク土などではリン酸の追肥を行う。 Mg欠乏はリン酸の吸収を悪くするので、Mgが少ない場合はリン酸と同時にMgを施用する。 土壌pHの中和や有機物の施用も効果がある。 	<ol style="list-style-type: none"> 応急対策はないが、リン酸過剰土壤では、リン酸の施用を控えるとともに、リン酸過剰により欠乏し易いZn、Fe、N、K、Mgなどを増施してバランスをとる。 土壌診断を行い、適正な施肥に努める。
K	<ol style="list-style-type: none"> 0.3%第1リン酸カリ溶液の葉面散布。 土壤への補給は塩類濃度の上昇しにくい硫酸カリを10a当たり現物で10kg程度施用する。ただし、Ca、Mgとのバランスに注意する必要がある。 カリ不足を受け易いナス科、マメ科野菜の場合は追肥時期に注意する。 たい肥の施用で地力をつける。 	<ol style="list-style-type: none"> 水に溶け易いので、かん水量を多くして流亡させる。 K過剰は、Mg、Ca、N、Pなどの吸収を抑制するので、これらを増施してバランスを保つ必要がある。 土壌診断を行い、適正な施肥に努める。
Ca	<ol style="list-style-type: none"> 0.3~0.5%塩化カルシウム溶液の葉面散布を1週間以内の間隔で数回行う。 土壤の過乾燥や過湿、高温・低温等により吸収が阻害されることがあるので、栽培条件を改善する。 N、Kが多すぎると欠乏し易いので、これらの施肥を控える。 土壤の塩類濃度が高まると、欠乏し易いので塩類濃度を適正に保つ。 特に、好カルシウム作物の場合はCaが不足しないように追肥時期に注意する。 	<ol style="list-style-type: none"> 一般にCaの多い土壤ではpHが高く、Mn、Fe、Zn、Bなどが欠乏し易いので、作付前の土壤pHに注意する。 ハウス土壤では、降雨によるCaの流亡がなく、蒸発水に伴ってCaが地表面上昇・集積し易いので、作間に灌水するかまたは降雨に当ててCaを流亡させる。 土壌診断を行い、適正な施肥に努める。 Caの過剰は、Mg、K、Pの欠乏を引き起こすことがあるので、注意が必要である。
Mg	<ol style="list-style-type: none"> 1~2%の硫酸マグネシウム溶液を1週間おきに3~5回葉面に散布する。 土壤中の置換性Mgが10mg以下の場合はMg資材を施用する。土壌pHが高い場合は硫酸マグネシウムを施用する。 土壤中にMgがあっても、KやNが過剰の場合やPが不足の場合にはMgの吸収が悪くなるので、これらの場合には養分間のバランスを修正するような施肥量が必要である。 	<ol style="list-style-type: none"> 作間に灌水するかまたは雨に当ててMgを流亡させる。 Caと同様土壤pHに注意する。 土壌診断を行い、適正な施肥に努める。 Mgの過剰はCa、Kなどの欠乏を引き起こすことがあるので、注意が必要である。

要素	欠乏に対する対策	過剰に対する対策
Fe	<ol style="list-style-type: none"> 0.1~0.2%の硫酸第1鉄または塩化第2鉄を隔日毎に5~6回葉面に散布する。 バラなどでは10a当たり2~3kgのEDTA鉄の土壌灌注が効果的である。 土壌pHの上昇に起因する場合は、pH降下資材、酸性肥料、硫酸第2鉄、イオウ華などでpHを下げるとともに、Ca、Mg等のアルカリ資材の過剰施用に注意する Cu、Mn、Znなどの過剰により欠乏する場合にはアルカリ資材の施用により土壌pHを7.5程度にする。 土壌の過乾燥、低温寡日照などでFeの吸収が抑制されるので、好適な栽培条件を維持するように注意する。 	<ol style="list-style-type: none"> Feは、強酸性土壌や還元化の進んだ土壌で可溶化するので、土壌pHの矯正(pHを7.5程度まで上げる。)を行うとともに、排水を良好にして土壌を酸化状態に保つ。また、過度の土壌還元をもたらすような有機物の多量施用は行わない。 水稻のFe過剰は、Kの多量施用により軽減される。 客土に際しては、Feを多量に含む土層を用いない。
Mn	<ol style="list-style-type: none"> 0.2~0.5%の硫酸マンガンを10日おきに2~3回葉面散布する。 BMようりん、FTE、マンガン肥料など、Mnを多く含む土壌改良資材や肥料を10a当たりMnOとして2~5kg施用する。硫酸マンガンは10a当たり20kg程度施用するが、ク溶性のほうが持続性がある。 老朽化水田の場合には、マンガン資材の施用とともにMn含有率の高い山土の客土も効果がある。 土壌pHの上昇によってMnが不溶化し、欠乏状態となる場合は、土壌pH降下資材、酸性肥料、硫酸第2鉄、イオウ華などでpHを下げるとともに、Ca、Mg等のアルカリ資材の過剰施用に注意する。 	<ol style="list-style-type: none"> Mnは、強酸性土壌や還元化の進んだ土壌で可溶化するので、土壌pHの矯正(pHを7.5程度まで上げる。)を行うと共に、排水を良好にして土壌を酸化状態に保つ。また、過度の土壌還元をもたらすような有機物の多量施用はしない。 客土に際しては、Mnを多量に含む土層を用いない。
B	<ol style="list-style-type: none"> 0.1~0.25%のほう砂溶液を2~3回葉面散布する。 10a当たり0.5~1kgのほう砂の施用が一般的であるが、4~6kgのFTE、60~80kgのBMようりんなどの資材や肥料の施用も効果がある。 ただし、Bは作物に対する適濃度範囲が狭く、過剰害が出易いので注意を要する。 土壌pHとの関係が大きく、酸性下では流亡により、またアルカリ性下では固定により欠乏が発生し易いので、土壌pHを適正に保つ。 土壌の過乾や湿害により吸収が抑制されるので、土壌水分を適度に保つ。 砂質土壌では、流亡により欠乏し易いので、B含有資材を施用する。 	<ol style="list-style-type: none"> 多量のかんがい水や酸性水のかん水で土壌中のBを流亡させる。 土壌pHの低下で可溶化するので、アルカリ資材で土壌pHを6.5程度に矯正する。 後作には、Bの過剰害の出にくいトマト、ダイコン、サツマイモ、キャベツなどを作付けする。 なお、キュウリ、インゲン、メロン、エンドウなどはBの過剰害が出易いので注意が必要である。 B欠乏対策としてのB含有資材の施用に当たっては、過剰とならないように充分注意する。

要素	欠乏に対する対策	過剰に対する対策
Zn	<ol style="list-style-type: none"> 0.1~0.5%の硫酸亜鉛溶液を葉面散布する。 土壌へは、10a 当たり約 2kg の硫酸亜鉛の施用が効果的である。施用量が多いと過剰害が出るので注意が必要である。 土壌 pH が中性~アルカリ性で吸収が悪いので、pH 降下資材、酸性肥料、イオウ華などで pH を矯正する。 リン酸が過剰になると、Zn の吸収が阻害されるので、水溶性リン酸の多量施用をさげ、多量に施用する必要のあるときには水溶性リン酸を用いる。 	<ol style="list-style-type: none"> 肥料用石灰を 10a 当たり 80kg 程度水に溶かし、石灰乳の形で畝の中央に流し込み、さらに肥料用石灰 50~70kg を全面に散布して pH を矯正する。 リン酸の多用は Zn の吸収を抑えるので、0.3~0.5%のリン酸第 1 カルシウムを葉面散布するか、または溶リンを 10a 当たり 100kg 程度施用する。 水稲では、アルカリ資材の施用とともに湛水を充分にして土壌を還元的に保つ。
Cu	<ol style="list-style-type: none"> 0.2~0.4%の硫酸銅溶液または 4-4 式ボルドー液を葉面散布する。 硫酸銅を、有機物の少ない土壌や酸性土壌の場合 10a 当たり 0.5~1kg、有機物の多い土壌や中性土壌の場合 2~4kg 程度、水に溶かすか、熔りんなどに混和して土壌の全面に施用する。 土壌改良資材の鋳率には少量の Cu が含まれているので鋳率の施用は Cu の補給に役立つ。 たい肥を施用する。 	<ol style="list-style-type: none"> Cu は土壌が酸性の場合に可溶化し、吸収され易いので、アルカリ資材を施用して土壌 pH を上げる。 Cu は、有機物との結合度が強いので、有機物を施用して不溶化させる。 Cu の過剰により Fe が欠乏する場合があるので、この場合には Fe の葉面散布が効果的である。 リン酸の施用は、Cu の吸収を抑制するので、熔りん等のリン酸資材を施用する。
Mo	<ol style="list-style-type: none"> 0.01~0.05%のモリブデン酸アンモニウム溶液を 10a 当たり 100 程度葉面散布する。 モリブデン酸アンモニウムを 10a 当たり 30~50g 程度過リン酸石灰と混和して施用するか、100 程度の水に溶かして根元に灌水する。 Mo は、土壌 pH が酸性側で不溶化するので、アルカリ資材で pH の矯正を行う。 土壌改良資材の鋳率には 0.5~5ppm の Mo が含まれるので、鋳率の施用は Mo の補給に役立つ。 	<ol style="list-style-type: none"> 適切な応急対策はないが、pH 降下資材、酸性肥料、イオウ華等を施用し、土壌 pH を酸性側に矯正する。イオウ華は 10a 当たり 20~30kg 程度を施用する。
S	<ol style="list-style-type: none"> 一般ほ場での欠乏はほとんど無い。 硫安や硫酸カリを葉面散布または土壌に施用する。 	<ol style="list-style-type: none"> S の直接過剰害はほとんど無いが、硫酸還元性による障害の場合には、酸性肥料の使用を中止し、アルカリ性または中性肥料を使用するとともに、アルカリ資材を施用して土壌 pH を矯正する。 水田で H₂S (硫化水素) による被害がおきやすい場合は、無硫酸根肥料を施用するとともに水管理に注意する。根腐れを起こしている場合には、中干し-湛水を 2~3 回繰り返して硫酸根を流亡させる。
Cl	<ol style="list-style-type: none"> 一般ほ場での欠乏はほとんど無い。 塩素含有肥料を施用する。 	<ol style="list-style-type: none"> 潮風等で作物に塩水が付着した場合には、スプリンクラー、噴霧器、ホース等で付着した塩水を洗い落とす。 海水が流入した場合には、速やかに海水を放流し、多量のかん水により土壌を洗い流す。作物が作付されていない場合には、10a 当たり 100kg 程度の肥料用石灰を土壌とよく混和し、多量のかん水による除塩を 2~3 回繰り返す。 水道水中に Cl が多量に含有されている場合には、曝気して Cl を揮散させてから使用するか、または Cl を含有する水道水の使用をやめる。

6 ガス障害とその対策

ガス障害の事例

要素	症 状	作目別の症状と発症事例
アンモニアガス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 障害は急激に発生する。中・下位葉に障害を受ける場合が多く、新葉部の障害は少ない。また下位葉は落葉を伴う場合が多い。 2. 被曝直後は、葉縁部及び葉脈間の水浸状態が明瞭であるため、NO₂（亜硝酸）ガス障害と区別できる。 3. 被曝後、太陽に当たれば障害部が白化する。この白化は、NH₃（アンモニア）ガスでは黄色または褐色味が残るのに対し、NO₂ ガスでは漂白されたように白化する。 4. 土壌 pH が 7.5 以上の施設栽培で発生し易い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ナス：下葉から黄化、落葉するが、黄化とともに葉脈間が茶褐色となる。障害が激しいときには、障害部が脱水状態となり、白化する。 ・イチゴ：葉全体が黒ずんで枯死する。 ・トマト：葉の表、裏とも褐変する。障害部は湿润性を帯びるため、疫病に類似している。 ・キュウリ：葉脈間が白化し易いが、NO₂ ガスほどではない。
亜硝酸ガス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 障害は急激に発生する。上位葉には障害を受けず、最も活動している中位葉に多く発生する。 2. NH₃ ガスの障害と類似しているが、NO₂ ガスの障害は水浸状が不明瞭であり、また漂白されたように白化するため、褐色味の残る NH₃ ガス障害と区別できる。 3. 土壌 pH が 5 以下の施設栽培で発生し易い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・トマト、ピーマン、ナス：葉面に水浸状斑点が生じ、次第に白化するが、白化の境界は明瞭である。中位葉に障害を受け易い。被害がひどいときには、葉に白斑が現れず、熱湯でゆでたように枯れる。 ・イチゴ：白斑が出ず、葉が黒ずむ。
亜硫酸ガス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 障害は急激に発生する。被害が軽度の場合は葉が油浸状を呈し、ついで葉脈間が白斑状に枯死する。白斑は明瞭である。中位葉に発生し易い。 2. 被害が激しいときには、葉が熱湯をかけたようにしおれ、数日後には白色に枯死する。 3. 重油や練炭からでる SO₂（亜硫酸）ガスによって発生する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・パセリ：展開葉の葉縁を中心に、水浸症状を呈し、ついで淡褐色化する。 ・トマト：被曝直後は葉脈間に曲変症状を呈し、ついで灰褐色の斑点となる。 ・ピーマン：展開葉に水浸症状が発現し、ついで褐色となる。
オキシダント	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主なものはオゾンと PAN（窒素過酸化物）である。 2. オゾンガスによる症状は、柵状組織が被害を受け葉の表面に水浸状の斑点が生じ、これが灰白色または褐色の斑点となる。 3. PAN による被害は、海綿状組織が被害を受け比較的若い葉の裏側に銀白色または青銅色の斑点が発現する。 4. 大気汚染および栽培中の温度・日照条件等が関与して発生することが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ネギ：葉先の黄白化枯死及びカスリ状白色微細斑。 ・メロン：葉表面の漂白斑及び葉縁の黄褐色斑 ・パレISHO：葉に微細な黒褐色斑 ・アサガオ：葉表面の白斑～褐斑 ・サトイモ：葉表面の不定形斑 ・ペチュニア：葉表面の陥没及び白斑～褐斑
炭酸ガス	<ol style="list-style-type: none"> 1. 通常、大気中の CO₂ 濃度はおおむね 300ppm 程度であるが、1000～1200ppm を超えると、作物の種類や栄養条件等によっては被害が発生する。 2. 炭酸ガス発生機からの CO₂ が主な原因である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・トマト：葉の巻上がり、生育抑制、光呼吸の抑制等

ガス障害に対する対策

ガス障害の種類	対 策
アンモニアガス (NH ₃)	<ol style="list-style-type: none"> 1. アンモニアガスは、アンモニア態窒素や有機態窒素が多く、pHが中性～アルカリ性の土壌で発生するので、多量の肥料、有機物、アルカリ資材等を一度に施用することを避けるとともに、土壌pHを弱酸性に保つようにする。 2. また、上記の条件下で、ハウス内の温度が急激に上昇したときには特に発生し易いので、ハウス内の換気をよくする。 3. アンモニア態窒素は、酸化的な条件下では比較的速やかに硝酸態窒素に変化するので、土壌を酸化的な条件に保つようにする。 4. 作付前に土壌診断を行い、施肥量を決定する。
亜硝酸ガス (NO ₂)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 亜硝酸ガスは、窒素肥料や有機質肥料が多く、pHが5以下の酸性土壌条件下で硝酸化成菌の活動が低下することによって発生するので、多量の肥料、有機物等を一度に施用することを避けるとともに、土壌のpHを中性付近に保つようにする。 2. アンモニアガス対策と同様、ハウス内の換気をよくする。 3. 硝酸化成抑制剤の施用も効果的であるが、窒素が土壌中に多量に存在するときの本剤の施用はアンモニアガス障害の発生を引き起こすことが考えられ、逆効果となることがあるので注意が必要である。 4. 土壌の過乾、過湿などの条件下で発生し易いので、栽培条件に注意する。 5. 作付前に土壌診断を行い、施肥量を決定する。
亜硫酸ガス (SO ₂)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 亜硫酸ガス障害は、重油、軽油、煉炭などの排気ガス中に含まれる亜硫酸ガスによって起こることが多いので、暖房機の整備を充分に行い完全燃焼させる。 2. ハウス内の換気をよくする。 3. 硫黄含量が高い燃料を使用しない。なお、不完全燃焼によって発生する一酸化炭素(CO)は、亜硫酸ガスのようなひどい被害にはならないとされている。
オキシダント (オゾンおよびPAN)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 光化学オキシダント注意報等が発令されたら、ハウス内の換気は控えめにし、特に風上側は開放しない。また、通路への散水や逆光によって室温や葉温の上昇を抑える。
炭酸ガス (CO ₂)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大気中のCO₂濃度は概ね300ppm程度で、作物に被害は発生しない。しかし、1000～1200ppmを超えると作物の種類や条件によっては被害が発生することがある。このため、炭酸ガス発生装置のガス発生量はハウスの温度によって調節をするなどの注意が必要である。

7 水稻の塩害と対策

(1) 被害の原因

海水等の塩分濃度の高い水が水田に流入すると、作物体から水分が失われ塩害が発生する。また、台風時等の潮風害によって塩分が作物体に付着することによって被害が発生することもある。

(2) 被害の症状

塩害が発生した水稻は、葉色が濃くなり、下位葉の葉身の先端から枯れ上がり、分けつが抑制される。葉身の枯れた部分は白色化し、次第に褐色に変化する。生殖生長期よりも栄養生長期の方が、被害が大きくなりやすい。

塩害は、塩水のもつ高い浸透圧によって根の吸水作用が抑制され、脱水症状となることによって発生するが、吸収した塩分による体内代謝のかく乱も影響する。

(3) 被害の発現濃度

被害発現濃度は、土壌水中の塩素(Cl)濃度として、活着期 500～700mg/L¹⁾、

分けつ期 700~1,000mg / 畝、出穂期以降期 700~1,000mg / 畝と考えられている。
また、潮風害の発生する塩分量は、水稻では 1 穂あたり 1.0mg (塩素として約 0.6mg) といわれている。

なお、塩素の分析方法については「土壌・養液・作物体・診断マニュアル(平成 8 年 3 月静岡県農業水産部農業技術課)」等が参考になる。

(4)対策

流入した塩分は、すみやかに真水のかけ流し等によって除去する。

(参考図書) 農林作物の異常障害診断写真集 (H7 千葉県)
新編農業気象ハンドブック (養賢堂)

8 水稻の油流入被害と対策

(1)被害の原因

工場、ガソリンスタンドや農業用施設の貯油タンク等からの流出事故による。油の種類は、重油、軽油、灯油等がある。

(2)被害の症状

水稻に油分が接触した場合の直接的な被害と、田面被覆または土壌混和による間接的被害がある。

直接的な被害は油分が水稻の体内に浸透することによって起こる。葉先が巻き下葉先端から褐変する。その後、葉が黄白化し株全体が枯死することもある。被害の程度は活着期に著しいが、分けつ期以降は、株全体に付着しない限り玄米収量はそれほど低下しない。

間接的被害は、油膜が田面に広がることによる土壌や田面水への酸素供給の遮断、地温上昇等の影響によって、土壌が異常還元化することによって起こり、水稻根の生理機能が低下し慢性的被害が発生する。

(3)油流入時の連絡

油流出事故は水質事故の一環として、県生活環境室が事務局となり関係機関への緊急連絡や対策実施の依頼を行っている。油流出事故を発見したら、直ちに通報する必要がある。

(4)油分が流入した田面水の管理

油流出場所、用水路等に、可能ならばオイルフェンスを張り、油流出の拡大を防ぐ。その上で、用水路、田面にオイルマットを敷き油分を回収する。真水をかけ流して油分を排除することは、土壌との混和を少なくするためには効果的であるが、その場合は必ず水尻の排水路等にオイルフェンスを張るなどして下流への流出を防ぐことが必要である。

(5)油分が付着した土壌の管理

少量の珪カルまたは 100kg / 10 a 以下の消石灰を土壌に施用すると、油分の分解は促進されるが、多量施用はアルカリ障害を起こすので注意を要する。また、非耕作期間は乾田化に努め、適宜耕起して油分の酸化分解を図る。

(参考図書) 農林作物の異常障害診断写真集 (H7 千葉県)