

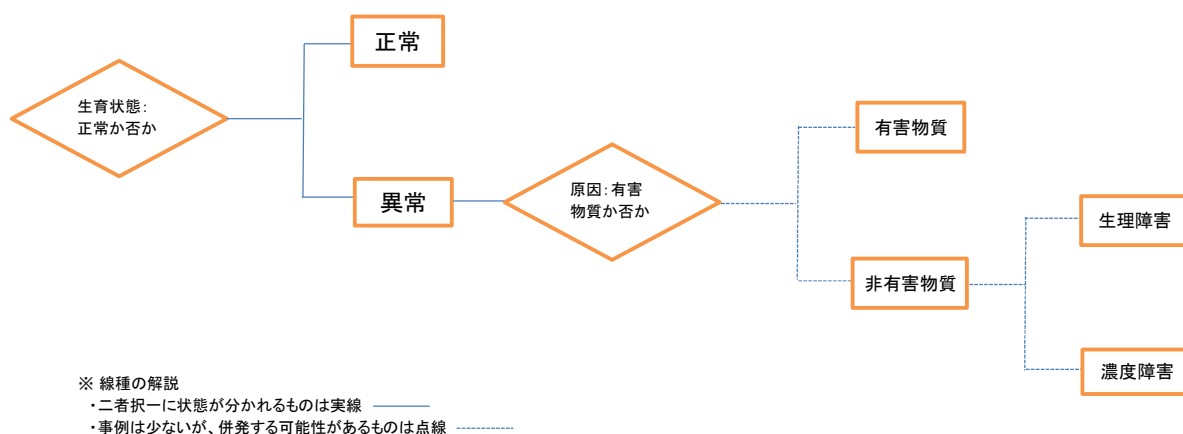
IV 症状の例

1 生育状態等による分類

植害試験の生育状況は正常生育と異常生育に分類され、異常生育が確認された際には、それが試料中の有害物質によるものか否かに分けられます。さらに有害物質ではないと判断されるものは、植物の必須元素の過剰または欠乏による生理障害や、試料中の塩類濃度の影響による濃度障害に大別されます。

本章では、まず正常生育例を示し、次に異常症状例を、そして最後に各種生理障害例を紹介します。

【生育状態等による分類模式図】



2 正常例

下記の栽培条件により、こまつなを栽培し、正常に生育した状態の一例を示します。

| | | | |
|------|---|------|---|
| 供試作物 | こまつな(品種:夏楽天) | 供試土壌 | 黒ボク土(洪積土) |
| 供試試料 | 硫酸アンモニア Nとして 100 mg 塩化加里 K ₂ Oとして 100 mg 過りん酸石灰 P ₂ O ₅ として 100 mg | 栽培環境 | 昼夜各 12 時間。昼 25 °C 夜 15 °C。 湿度 70 % 照度約 30000 lx(光量子束密度 440 μmolm ⁻² s ⁻¹) 白色光下 |
| 栽培方法 | 「植物に対する害に関する栽培試験の方法」に準じて 21 日間栽培 人工気象装置を使用し、土壌水分は最大容水量の約 60 %となるように管理 | | |



写真 1 上から見た様子



写真 2 横から見た様子



写真 3 収穫したこまつな(本葉 4 枚)



写真 4 収穫時の根張りの様子(上から)



写真 5 収穫時の根張りの様子(バットに出したもの)

3 有害物質による障害

(1) 過塩素酸イオンによる症状



本葉の癒着が確認できる。発芽時の子葉は特に害を受けていないように見受けられたが本葉が成長するに従い癒着葉が確認できるようになった。



癒着葉は1枚の葉の葉縁部が点で癒着したものや2枚の葉が癒着したのが見られる。このポットには健全葉も混在している。



異常葉は葉縁部の成長に制限があるもののある程度の成長はする。

4 生理障害 (1) 窒素

a. 窒素の欠乏症状

| | |
|----------|---|
| 症状 | 下葉の黄色化 |
| 特徴 | 下葉の黄色化は生育中期（は種後 10 日）以降に観察される。最初に子葉から黄色化し、本葉一葉目へ進行する。黄色化した葉は最終的に落葉する場合もある。 |
| 生理作用 | 下葉中窒素の新葉への転流 |
| 発生しやすい条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 土壌中の可給態窒素が少なく（約 5 mg/100 g 以下）、窒素の施用量が少ない標準区（窒素施用量 25 mg/ポット）などで発生することがある。 ・ 高温、高湿度条件で生育が旺盛な場合において、生育後期に発生することがある。 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第五号 p.147～p.155 14. コマツナの生理障害-窒素- |



症状①下葉の黄色化（正常なものとの比較）-1

は種 24 日後の様子。

土壌中の可給態窒素 約 5 mg/100 g 以下。

左が正常。右が窒素欠乏。

下葉の黄化がみられる。



症状①下葉の黄色化-2

窒素欠乏の初期の様子。

子葉の葉色が緑から黄緑に変化。



症状①下葉の黄色化-3

窒素欠乏が進行し、子葉が黄化した様子。

本葉の下葉も緑色から黄緑色に変化している。

4 生理障害 (1) 窒素



症状①下葉の黄色化（拡大）-1

土壤中の可給態窒素 約 5mg/100g 以下。
窒素が不足し始めた黄緑色の子葉。

植害試験の場合、窒素が過剰にある時は収穫時でも子葉は緑色をしているが、標準区など窒素の施用量が少ないポットは試験途中でも子葉が葉色変化する。



症状①下葉の黄色化（拡大）-2

窒素欠乏が進行した子葉。色は殆ど黄色となっている。



症状①下葉の黄色化（拡大）-3

本葉第一葉がほぼ黄色く変色した様子。個体全体の色は当初の緑から黄緑色へと変化している。展開していない小さい葉は緑色がやや濃い様子が観察される。



症状①下葉の黄色化（収穫物）

収穫後の様子。

左が正常。右が窒素欠乏。

子葉及び本葉1葉目の黄化がみられる。

本葉2~3葉目も黄緑色へと変化しているが、最も新しい本葉4葉目は緑色を保っている。

4 生理障害 (1) 窒素

b. 窒素飢餓症状

| | |
|----------|---|
| 症状 | 窒素欠乏症状の誘発（下葉の黄色化、生育抑制） |
| 特徴 | 初期生育が抑制される。生育初期に窒素欠乏症状と同様に子葉から黄色化の症状が見られ、その後本葉の下葉へと進行する。 |
| 生理作用 | 未熟な有機物の分解時に微生物が土壌中の窒素を取り込むため、植物に利用される窒素が減少することによって発現すると考えられる。 |
| 発生しやすい条件 | 易分解性炭素が多い未熟な有機物（稲わら、コーヒーかす、木の実油かすなど）の施用により発現することがある。 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第五号 p.147～p.155 14. コマツナの生理障害-窒素- |



は種 10 日後の様子。

三要素試料を全てのポットに各 100 mg 施用し、さらにコーヒーかすをポット当たり 0 g～20 g 添加した。

コーヒーかすの添加量が多くなるに従い生育の抑制が認められた。子葉の色はやや黄色い。



は種 16 日後の様子。

0 g と比較して葉色の差がはっきり現れた。葉色からみて 5 g 区はポット内の窒素が不足し始めていると推察される。

コーヒーかすの添加量が多くなるに従い生育が停滞し 20 g 区は停止している。



は種 22 日後の様子。

5 g 区は黄色い葉が目立ってきた。10 g 区は子葉が黄色くなり小さな黄緑色の本葉が現れた。

15 g 区及び 20 g 区は子葉のまま生育が停滞しており葉色が黄色くなった。

4 生理障害 (1) 窒素



は種 10 日後の 15 g 区の様子。

通常この時期に土壌表面に根を確認することはまれである。養分を求めて根の伸長が活発化している様子うかがえる。土壌中に有害物質が存在する場合には根の伸長は抑制されるので、この場合はそうではないと推察できる。



は種 16 日後の 5 g 区の様子。

この頃から急速に葉色が黄色みを帯びた。その症状は子葉と古い本葉が同時に現れているが、若い本葉には現れていない。



は種 22 日後の 10 g 区の様子。

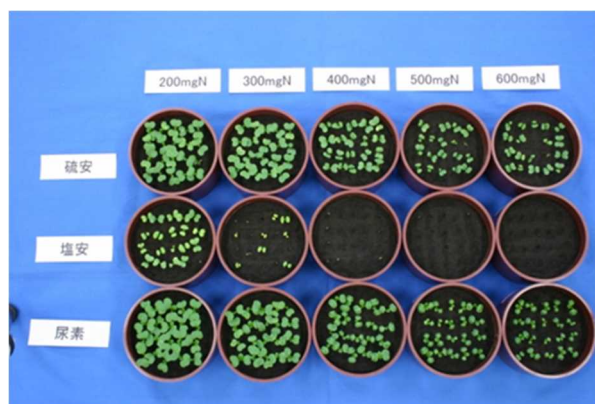
子葉は黄色く変色し、本葉は 2 枚目まで出ているがとても小さく、この 2 枚の本葉の大きさはほぼ同じであった。

通常の植害試験期間の終了時の姿である。

4 生理障害 (1) 窒素

c. 窒素の過剰症状

| | |
|----------|--|
| 症状 | ①発芽時の子葉の変形（カップ状）、②葉色の濃緑化 |
| 特徴 | 尿素を窒素として 600 mg/ポット施用した場合、生育初期の子葉がカップ状になり、成長すると葉が正常な個体と比較して色が濃くなる。 塩類過剰による発芽障害、付随するイオン（塩素イオン、硫酸イオン）の過剰によると考えられる生育後期の子葉や下葉の急速な枯死が見られる。 |
| 生理作用 | アンモニアによる害、試料の過剰施用による塩類障害 |
| 発生しやすい条件 | 通常の植害試験では窒素による過剰症状は発現しないと考えられる。 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第五号 p.147～p.155 14. コマツナの生理障害-窒素- |



症状①発芽時の子葉変形（カップ状）-1

は種 7 日後の様子。

硫酸アンモニア、塩化アンモニア及び尿素をポット当たり 200 mg～600 mg 施用。施用量増加に伴い発芽の遅延が認められる。

塩化アンモニアは 200 mg 施用区のポットから窒素による発芽障害が認められた。



症状①発芽時の子葉変形（カップ状）-2

は種 7 日後の尿素 600 mg 区の様子。

子葉が外側に反ったカップ状になる。葉の縁が若干枯れている。



症状①発芽時の子葉変形（カップ状）-3

は種 12 日後の尿素 600 mg 区の様子。

発芽後に子葉に枯れ症状が認められたが、その個体から本葉が展開しているのが確認できる。過剰に存在するアンモニアが減少したためと考えられる。

4 生理障害 (1) 窒素



症状②葉色の濃緑化

は種 21 日後の尿素 600 mg 区の様子。

こまつなの正常な色合い（左）と窒素が過剰な状態（右）。

窒素過剰であると葉が大きく生育し緑色が濃くなる。

（塩素イオン、硫酸イオンの過剰によるものと考えられる症状）



は種 21 日後の様子。

硫酸アンモニア 200 mg 施用区、塩化アンモニア 100 mg 施用区のポットから萎凋症状が認められ施用量の増加に伴いその程度が強い。アンモニアの害の他、硫酸イオン、塩素イオンによる害の可能性もある。

尿素では萎凋症状が少ない。施用量の増加に伴い生育量が減少した。

4 生理障害 (2) りん酸

a. りん酸の欠乏症状

| | |
|----------|---|
| 症状 | ①生育不良 ②葉の暗緑色化 ③下葉の赤紫色化 |
| 特徴 | ①植物体全体の大きさが小さくなる。 ②葉が暗緑色化する。 ③葉の赤紫色化は生育後期（は種 20 日前後）にみられる。最初に下葉の葉裏から赤紫色化し、欠乏が著しい場合は上葉も赤紫色化する。 |
| 生理作用 | 下葉中りん酸の新葉への転流。植物体内のりん酸欠乏により、炭水化物がエネルギー源として利用されなくなり、糖分とアントシアニンとが結合してアントシアニンを生成し葉が赤紫色化する。 |
| 発生しやすい条件 | 黒ボク土などでりん酸吸収係数が高く、土壌中の有効態りん酸が少ない（約 5 mg/100 g 以下）場合、りん酸の施用量が少ない標準区（りん酸施用量 25 mg/ポット）などで発生することがある。 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第六号 p.117～p.129 10. コマツナの生理障害-りん酸- |



症状①生育不良

は種 24 日後の様子。

過りん酸石灰を P_2O_5 として 1 ポット当たり 0 mg、10 mg、25 mg、50 mg、100 mg 及び 200 mg 添加した。

0 mg 区の生育状況が著しく悪い。葉体の乾物重及びりん含有率（乾物当たり）も施用量が少なくなるに従って低下した。



症状②葉の暗緑色化

は種 21 日後の 10 mg 区の様子。

本葉の表面は生育初期から暗緑色を呈し、生育後期まで保持した。

4 生理障害 (2) リン酸



症状③下葉の葉裏の赤紫色化-1

は種 24 日後の 25 mg 区の様子。

葉表は暗緑色を呈し、葉裏は葉脈を中心としてアントシアニンによる赤紫色化がみられた。25 mg 区より軽度ではあるが 50 mg, 100 mg 区でも同様の症状がみられた。一般に欠乏症状は、生育の盛んな上葉にリン酸が移動して、下葉で不足するため発症するので、ある程度生育した生育後期にみられる。



症状③下葉の葉裏の赤紫色化-2

N、 P_2O_5 、 K_2O として各々 25 mg 添加した通常の植害試験の標準区では種 24 日後の様子。

りん酸欠乏による葉裏の赤紫色への変色だけでなく、窒素欠乏による子葉の黄化もみられた。



症状③下葉の赤紫色化-3

品種 極楽天を用いた試験では種 21 日後の様子。

25 mg 区で葉表の周辺部が赤紫色を呈した。

4 生理障害 (2) リン酸

b. リン酸の過剰症状

| | |
|----------|---|
| 症状 | ① 本葉 1～2 葉目の先端から葉脈間への枯れ |
| 特徴 | 生育後期（は種 17 日以降）に本葉 1～2 葉目から発症し、加里欠乏の症状に類似している。 |
| 生理作用 | 下葉にリン酸が異常蓄積したことに端を発して、リン酸に対して加里が相対的に不足。 |
| 発生しやすい条件 | 土壌の有効態リン酸が高い（100 mg/100 g 以上）場合に、供試試料区（リン酸 100 mg/ポット）でも発生するおそれがある。 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第六号 p.117～p.129 10. コマツナの生理障害-リン酸- |



症状①本葉先端から葉脈間への枯れ-1

は種 21 日後の様子。

供試試料としてリン酸二水素カルシウムを P_2O_5 として 1 ポット当たり 100 mg、300 mg、500 mg、700 mg、900 mg、1100 mg、1300 mg 及び 1500 mg 添加。

リン酸施用量増加に伴う生育状況の悪化は発芽率も同様の傾向がみられることから、多量施用による塩類濃度障害と考えられた。



症状①本葉先端から葉脈間への枯れ-2

は種 17 日後の 100 mg 区の様子。

主に本葉 1～2 葉目の葉縁部から脱色が始まり、その後内部に向かって葉脈間で進行した。生育の良好な低施用量区から順次発生した。

4 生理障害 (2) リン酸



症状①本葉先端から葉脈間への枯れ-3

は種 18 日後の 100 mg 区の様子。

葉脈間の脱色が目立ってきた。症状は急速に進行した。



症状①本葉先端から葉脈間への枯れ-4

は種 20 日後の 100 mg 区の様子。

さらに症状が進行して、壊死した状態。一連の過程はカリウムの欠乏症状とよく似ている。

(参考) リン酸過剰試験でのその他の症状



症状②子葉の黄緑色化

は種 13 日後の 100 mg 区(左側)と 1100 mg 区(右側)の比較。

1100 mg 区で子葉全体が黄緑色を呈した。子葉ほどではないが、本葉の緑色も薄くなった。亜鉛欠乏の可能性もある。

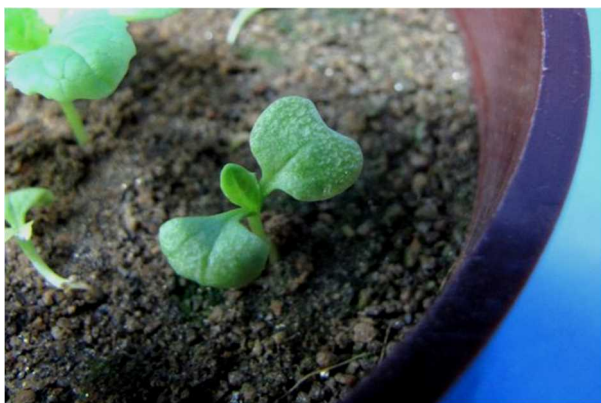


症状③本葉周辺部の淡緑色化

は種 13 日後の 300 mg 区の様子。

本葉周辺部の淡緑色化は、300 mg 区以降で見られたが、背景となる緑色が濃い 300 mg、500 mg 区で特に明瞭であった。本葉 2 葉目以降についてもある程度の大きさになると発症した。

4 生理障害 (2) リン酸



症状④子葉の白色斑点群

は種 12 日後の 1300 mg 区の様子。

高施用量区では、塩類濃度障害と考えられる子葉の枯れも見られたことから、白色斑点群はその軽い症状とも考えられる。原因についてはさらに検討する必要がある。

4 生理障害 (3) 加里

a. 加里の欠乏症状

| | |
|----------|---|
| 症状 | 本葉 1~2 葉目の先端から葉脈間への枯れ、生育不良 |
| 特徴 | ①生育中期（は種 14 日後頃）に主に本葉 1 葉目の葉縁から黄化が発症する。 ②生育後期（は種 20 日後頃）に主に本葉 2 葉目の葉脈間から脱色が発症する。 ③生育後期（は種 20 日後頃）に新葉に相当する本葉 3 葉目に三角状の形状異常がみられる。 |
| 生理作用 | 下葉中加里の新葉への転流。 |
| 発生しやすい条件 | ・ 土壌中の交換性加里が少なく（約 6 mg/100 g 以下）、加里の施用量が少ない標準区（加里施用量 25 mg/ポット）などで発生する恐れがある。 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第八号 p.182~p.200 14. コマツナの生理障害-加里- |



症状①生育不良

は種 21 日後の様子。

供試試料として硫酸加里を K_2O として 1 ポット当たり 0 mg、10 mg、25 mg、50 mg、75 mg 及び 100 mg 施用した。

加里の施用量が減少するに従って、葉体の生育不良が認められた。



症状②葉縁が黄化するタイプ-1

は種 14 日後の 0 mg 区の様子。

葉縁が黄化するタイプの欠乏症状は、栽培期間後期に下葉先端部が暗緑色を呈することから始まった。

4 生理障害 (3) 加里



症状②葉縁が黄化するタイプ-2

は種 17 日後の 0 mg 区の様子。
下葉先端部から葉縁部へと症状が広がってきた。



症状②葉縁が黄化するタイプ-3

は種 21 日後の 0 mg 区の様子。
さらに症状が進行して、枯死した状態。このタイプの症状は主に本葉 1 葉目でみられた。



症状③葉脈間が脱色するタイプ

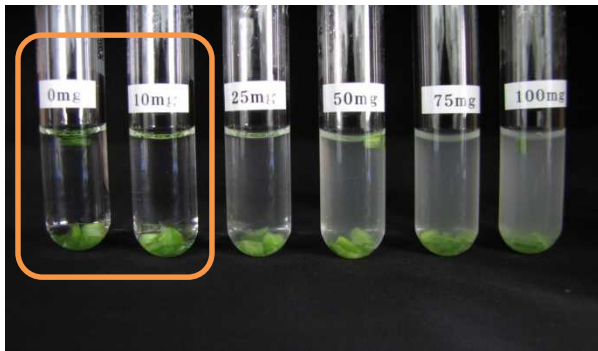
は種 20 日後の 0 mg 区の様子。
葉脈間が脱色するタイプは葉縁の黄化より 2 日ほど遅れて発症した。この症状は主に本葉 2 葉目でみられた。



症状④本葉 3 葉目が三角状化するタイプ

は種 20 日後の 10 mg 区の様子。
0 mg 区の半数程度及び 10 mg 区の一部で、
新葉に相当する本葉 3 葉目に三角状の形状異常がみられた。

4 生理障害 (3) 加里



カリウム簡易検出試験写真

カリウムの簡易検出試験の様子。

下葉の異常症状がみられた 0 mg 及び 10 mg 区ではテトラフェニルホウ酸カリウムの白濁が認められず、加里の施用量が増加するに従って白濁の度合いが増した。

b. 加里の過剰症状（発現せず）

| | |
|----------|--|
| 症状 | 塩化加里及び硫酸加里を多量施用しても加里の過剰症状は確認されなかった。 |
| 特徴 | 塩類過剰による発芽障害、加里に付随するイオン（塩素イオン、硫酸イオン）の過剰によると考えられる生育後期の子葉や下葉の急速な枯死が見られる。 |
| 生理作用 | 作物は加里をぜいたく吸収するので、過剰症状は出にくい。 |
| 発生しやすい条件 | 通常の植害試験では加里による過剰症状は発現しないと考えられる。塩類濃度障害や付随するイオンの過剰によると考えられる生育後期の子葉及び下葉の枯死に注意する必要がある。 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第八号 p.182～p.200 14. コマツナの生理障害-加里- |

(塩類濃度障害と考えられる症状)



症状①塩類濃度障害による生育不良は種 14 日後の様子。

1 ポット当たり施用量。

上段：塩化加里 100 mg～800 mg

中段：硫酸加里 100 mg～800 mg

下段：硫酸加里 1200 mg～2800 mg

加里施用量の増加に従い生育状況悪化。塩化加里区の方が顕著。発芽率も同様の傾向がみられ、多量施用による塩類濃度障害と推察。

4 生理障害 (3) 加里



症状①子葉の枯れ

は種 7 日後の硫酸加里 2800 mg 区の様子。

塩類濃度障害による子葉の枯れは、写真のように 2 葉間で症状の度合いに差異がある場合が多かった。塩類濃度障害は発芽時から生育初期にかけて発症しやすい。この時期は、まだ塩類に対する抵抗力が弱いと考えられる。



症状②子葉の展開異常

は種 7 日後の塩化加里 700 mg 区の様子。

種皮に包まれて子葉が展開せず、胚軸を伸ばしている状態。この他に、種皮が外れても胚軸が土壌に埋没したままで子葉展開しなかったり、子葉が外側に反ったりするなどの塩類濃度障害がみられた。

(塩素イオン、硫酸イオンの過剰によるものと考えられる症状)



症状③葉脈間の脱色・萎凋-1

は種 18 日後の塩化加里 500 mg 区の様子。

下葉の葉脈間が脱色して、萎凋した状態。この他に、全体的に淡緑色を帯び、葉脈も含めて萎凋する下葉もみられた。



症状③葉脈間の脱色・萎凋-2

は種 20 日後の塩化加里 500 mg 区の様子。

ほどなく葉脈も含めて枯死した。

4 生理障害 (3) 加里



症状③下葉の一部剥離

は種 21 日後の塩化加里 200 mg 区の様子。

下葉の一部剥離は、硫酸加里 1600 mg 区以降及び塩化加里 200 mg 区以降の施用量区で栽培期間後期から急に目立ち始めた。



症状④子葉の枯死

は種 19 日後の硫酸加里 2400 mg 区の様子。

下葉の異常とほぼ同時期の栽培期間後期に急に子葉も萎凋し、間もなく枯死した。塩類濃度障害による子葉の枯れとは発症時期や様相が異なっていた。

4 生理障害 (4) 銅

a.銅の欠乏症状 (植害試験の条件下では発現のおそれが低い)

| | |
|----------|---|
| 症状 | 未確認 |
| 特徴 | 麦類で発生が認められているものの、その他作物ではほとんど確認されていない。 |
| 生理作用 | 該当なし |
| 発生しやすい条件 | ・ 供試土壌が腐植質に富む土壌の場合 ・ 供試土壌がアルカリ性 (概ね pH 7.0 以上) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第九号 p.170～p.184 10. コマツナの生理障害-銅- |

4 生理障害 (4) 銅

b (1-1) .銅の過剰症状 (硫酸銅 (II) 五水和物 (以下、硫酸銅) を多量施用した場合)

施用方法について

植害試験の方法には「供試試料は、試験容器全体の土壌と均一となるようよく混合して施用する」とあるが、供試試薬の形状、性質によって土壌との混合が困難となる場合がある。このため、銅と亜鉛の試験については施用方法について次の2種類を掲げ行った。

(a) 土壌混合法

- ① ポリ袋に、供試土壌 (風乾土)、Cu もしくは Zn を含む供試試薬及び試料 (硫酸、過石、塩加) を入れる。
- ② ポリ袋を密封して振とう、十分混合させる。
- ③ 試験容器に土壌水分を最大容水量の 60 % に設定するのに必要な量の水を入れる。
- ④ ③の水を入れた試験容器に②を入れる。

当該施用法によると、液状のものや潮解性のある試薬 (例：硝酸系試薬) は土壌と均一に混合できない場合がある。

(b) 水溶液浸透法

- ① ポリ袋に、供試土壌 (風乾土) 及び試料 (硫酸、過石、塩加) を入れる。
- ② ポリ袋を密封して振とう、十分混合させる。
- ③ 土壌水分を最大容水量の 60 % に設定するのに必要な量の水に Zn もしくは Cu を含む供試試薬を溶解させ、試験容器に入れる。
- ④ ③の Zn もしくは Cu を含む供試試薬水溶液を入れた試験容器に②の土壌を入れる。

供試試薬水溶液を土壌下層から上層に向けて浸透させることで土壌と混合させる。

本施用方法は潮解性のある試薬を用い、異常症状を発現させるために行ったものであり、実際に植害試験を行う際には適切ではないことに留意すること。

(a) 土壌混合法 による.

| | |
|----------|--|
| 症状 | ① 発芽障害、②本葉の黄化症状、③本葉裏の赤紫色化 |
| 特徴 | 著しい発芽障害が特徴的である。生育中期 (は種 11 日後頃) になると、上位葉に黄化症状が発現する。収穫時に本葉裏の赤紫色化が観察される。 |
| 生理作用 | 銅の拮抗作用による欠乏症状や銅そのものによる影響が予想される。 |
| 発生しやすい条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 供試土壌が腐植低含有の砂壤土の場合 ・ 供試試料もしくは土壌に過剰の銅が混入されていた場合 ・ 供試土壌が酸性 (概ね pH5.5~pH6.5) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第十号 p.208~p.241 11. コマツナの生理障害-亜鉛- |

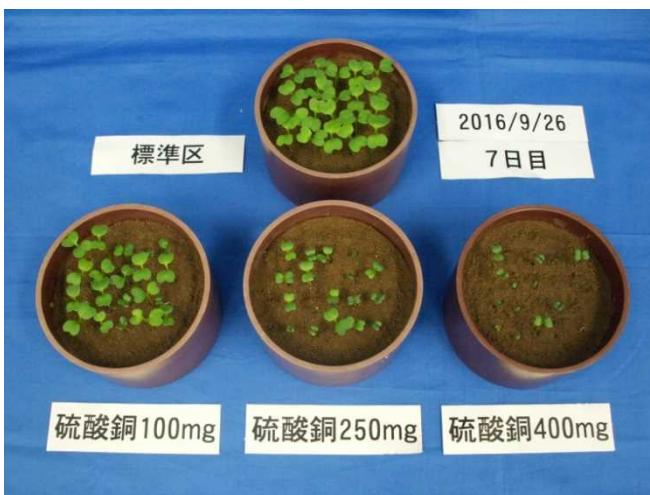
4 生理障害 (4) 銅



症状① 発芽障害 -1

硫酸銅を Cu として 400 mg/ポット添加区 (Cu 826 mg/kg 乾土) は種 4 日後の様子。

子葉が展開する前に枯死する個体がいくつか見られた。



症状① 発芽障害 -2

は種後 7 日目の様子。硫酸銅の添加量に伴って発芽障害が顕著となることがわかる。硫酸銅を Cu としての施用量は次のとおりである。

上段 : 標準区

下段左 : 100 mg/ポット 区 (Cu 207 mg/kg 乾土)

下段中 : 250 mg/ポット 区 (Cu 516 mg/kg 乾土)

下段右 : 400 mg/ポット 区 (Cu 826 mg/kg 乾土)



症状② 本葉の黄化症状 -1

250 mg/ポット 添加区 (Cu 516 mg/kg 乾土) は種 11 日後の様子。

本葉第一葉に黄化症状が確認された。

なお、子葉には発現しなかった。

4 生理障害 (4) 銅

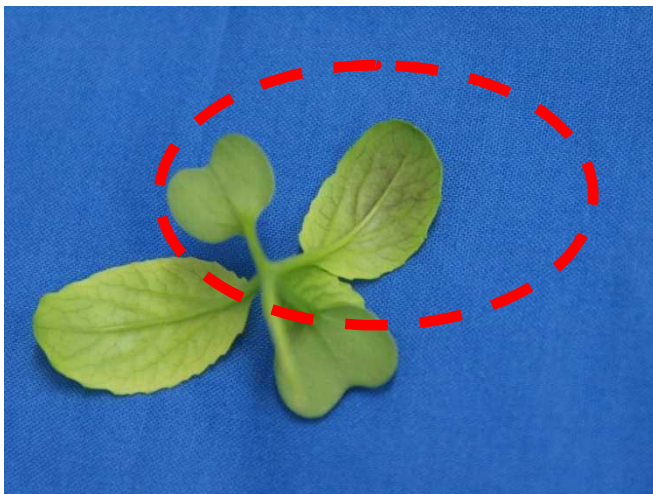


症状② 本葉の黄化症状 -2

250 mg/ポット 添加区 (Cu 516 mg/kg 乾土) は種 17 日後の様子。

黄化症状は本葉第一葉から症状を呈していき、本葉第二葉、第三葉へと進行している。

なお、葉柄部から葉の先端にかけて症状が発現していることがわかる。



症状③ 本葉裏の赤紫色化

250 mg/ポット 添加区 (Cu 516 mg/kg 乾土) は種 21 日後、収穫した個体の様子。

葉裏の葉脈に沿って赤紫色化していることがわかる。銅の拮抗作用によるりん酸欠乏症状、もしくはその他の要因によってアントシアニンが生成されたものと思われる。

b (1-2) .銅の過剰症状 (硫酸銅 (II) 五水和物 (以下、硫酸銅) を多量施用した場合)

(b) 水溶液浸透法による.

| | |
|----------|--|
| 症状 | ① 下位葉の黄化症状及び壊死、②生育不良 |
| 特徴 | 黄化症状は生育後期以降 (は種 17 日後) に観察される。最初に子葉から黄化症状し、本葉第一葉へ進行する。黄化症状した葉は最終的に壊死に至る場合がある。また、生育不良となり標準区と比較すると植物体全体の大きさが小さくなる。 |
| 生理作用 | 銅及び硫酸イオンの吸収による影響が考えられる。 |
| 発生しやすい条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 供試土壌が腐植低含有の砂壤土の場合 ・ 供試試料もしくは土壌に過剰の銅が混入されていた場合 ・ 供試土壌が酸性 (概ね pH5.5~pH6.5) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第九号 p.170~p.184 10. コマツナの生理障害-銅- |

4 生理障害 (4) 銅



症状① 下位葉の黄化症状及び壊死 -1

硫酸銅をCuとして1800 mg/ポット 添加区(Cu 約 3700 mg/kg 乾土) のは種 21 日後の様子。黄化症状は古い葉から順に進行していき、新葉には発現しなかった。



症状① 下位葉の黄化症状及び壊死 -2

は種 21 日後。写真左は標準区の正常なこまつなの個体。正常な個体には黄化症状は発現していない。

一方、1800 mg/ポット 添加区 (Cu 約 3700 mg/kg 乾土) は子葉が脱落し、本葉第一葉の中央から葉先にかけて黄化症状が著しく、一部が壊死しているように見える。



症状① 下位葉の黄化症状及び壊死 -3

1800 mg/ポット 添加区 (Cu 約 3700 mg/kg 乾土) は種 17 日後の症状が発現し始めている本葉第一葉の様子。

新葉と比較すると葉の色が薄くなっており、一部壊死が見られる。子葉も黄化症状が見られ、一部が脱落している。

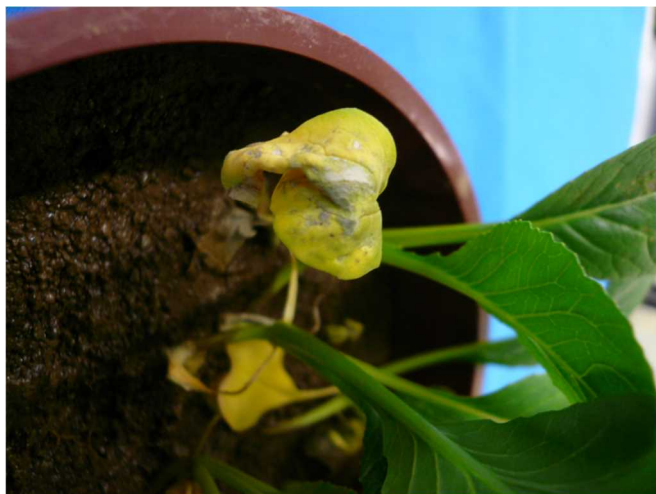
4 生理障害 (4) 銅



症状① 下位葉の黄化症状及び壊死 -4

1800 mg/ポット添加区 (Cu 約 3700 mg/kg 乾土) は種 18 日後の症状が進行した様子。

進行のスピードが速く、部分的な壊死が増え、黄化症状が進行している。



症状① 下位葉の黄化症状及び壊死 -5

1800 mg/ポット 添加区 (Cu 約 3700 mg/kg 乾土) は種 20 日後には葉全体が丸まり、枯死に至った。



症状② 生育不良

1800 mg/ポット添加区 (Cu 約 3700 mg/kg 乾土) は種 21 日後 (左上) と標準区 (右上) を比較すると生育が著しく悪い。

4 生理障害 (4) 銅

b (2) .銅の過剰症状 (硝酸銅 (II) 三水和物 (以下、硝酸銅) を多量施用した場合)

(b) 水溶液浸透法による.

| | |
|----------|---|
| 症状 | 作物体への害症状は特に見られない。栽培試験終了後の土壌の観察で根域制限が見られる。 |
| 特徴 | 硝酸銅は吸湿性があることから施用方法に注意が必要である。 こまつなは好硝酸性植物に分類されることから硝酸イオン害のリスクは低いと思われる。 |
| 生理作用 | 試験容器内土壌の上層と下層の銅分布に差異が生じる。このため、土壌下層中の銅が上層と比較して高濃度となり、下層に根域制限が見られる。 |
| 発生しやすい条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 供試土壌が腐植低含有の砂壤土の場合 ・ 供試試料、土壌に過剰の銅が混入されていた場合 ・ 供試土壌が酸性 (概ね pH 5.5~pH 6.5) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第十号 p.208~p.241 11. コマツナの生理障害-亜鉛- |



は種 21 日後の様子である。

硝酸銅による作物体への害症状は確認されなかった。

硝酸銅を Cu としての施用量は次のとおりである。

上段：標準区

下段左：100 mg/ポット 区 (Cu 207 mg/kg 乾土)

下段中：250 mg/ポット 区 (Cu 516 mg/kg 乾土)

下段右：400 mg/ポット 区 (Cu 826 mg/kg 乾土)



(参考) 根張りの状態 -1

栽培試験終了後の土壌の根張りを観察すると、100 mg/ポット 添加区 (Cu 207 mg/kg 乾土) で土壌下層に根張りが無い様子が確認された。

なお、写真にある土層上部の面が試験容器内では土壌下層面となる。

4 生理障害 (4) 銅



(参考) 根張りの状態 -2

100 mg/ポット 添加区 (Cu 207 mg/kg 乾土) の栽培試験終了後の土壌。

当該区はこまつなの生理障害確認試験注意事項」2 (b) による施用方法としたため、下層中に銅が蓄積し、こまつなの根張りが比較的銅が低濃度である上層に集中したことから根域制限が生じたと思われる。

b (3) .銅の過剰症状 (EDTA 銅を多量施用した場合)

(b) 水溶液浸透法による.

| | |
|----------|---|
| 症状 | ① 生育不良、②根の伸長不良、③本葉のモザイク状の症状、④黄化症状 |
| 特徴 | 標準区と比較すると生育初期 (概ねは種後 10 日まで) の生育は著しく悪く、根の伸長不良により倒れる個体も観察された。生育後期 (は種後 18 日) には全体的に黄化症状し、本葉がモザイク模様を呈した。 |
| 生理作用 | EDTA 吸収による害が考えられる |
| 発生しやすい条件 | <ul style="list-style-type: none"> ・供試土壌が腐植低含有の砂壤土の場合 ・供試試料もしくは土壌に過剰の銅が混入されていた場合 ・供試土壌が酸性 (概ね pH 5.5~pH 6.5) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第九号 p.170~p.184 10. コマツナの生理障害-銅- |



症状① 生育不良 -1

は種 7 日後 EDTA 銅を Cu として 150 mg/ポット 添加区 (Cu 約 310 mg/kg 乾土) の様子。発芽後に生育が止まっている個体や生育スピードは遅いものの成長を続ける個体が観察された。

4 生理障害 (4) 銅



症状① 生育不良 -2

は種 7 日後の様子。左が標準区、右が 150 mg/ポット 添加区 (Cu 約 310 mg/kg 乾土) である。標準区と比較すると生育が明確に劣った。



症状② 根の伸長不良

は種 10 日後 150 mg/ポット 添加区 (Cu 約 310 mg/kg 乾土) において根が萎縮し、倒れる個体が観察された。



症状③ 黄化症状と葉のモザイク状症状 -1

は種 12 日後 100 mg/ポット 添加区 (Cu 約 210 mg/kg 乾土) の様子。発芽後の枯死が見られなかった個体は生育速度が遅いものの成長を続けた。

4 生理障害 (4) 銅



症状③ 黄化症状と葉のモザイク状症状
-2

は種 18 日後 100 mg/ポット 添加区 (Cu 約 210 mg/kg 乾土) の様子。は種 14 日後ごろから黄化症状が発現しはじめ、18 日目には全体的に黄化症状が明確に現れた。



症状③ 黄化症状と葉のモザイク状症状
-3

は種 18 日後 100 mg/ポット 添加区 (右) は標準区 (左) と比較すると、黄化症状が顕著であった。本葉は葉縁及び葉脈間の色が薄くなっており、モザイク状の様な症状を呈した。

4 生理障害 (5) 亜鉛

a. 亜鉛の欠乏症状 (植害試験の条件下では発現のおそれが低い)

| | |
|----------|---|
| 症状 | 未確認 |
| 特徴 | 農地での亜鉛欠乏症の事例は少なく、特に野菜類での発生は稀であるとされている。 |
| 生理作用 | 該当なし |
| 発生しやすい条件 | ・ 供試土壌がアルカリ性 (概ね pH 7.0 以上) の場合 ・ 供試土壌中の亜鉛が低含有であり、砂質沖積土の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第十号 p.208～p.241 11. コマツナの生理障害 -亜鉛- |

4 生理障害 (5) 亜鉛

b (1-1) .亜鉛の過剰症状 (硫酸亜鉛七水和物 (以下、硫酸亜鉛) を多量施用した場合)

(a) 土壌混合法による.

| | |
|----------|--|
| 症状 | ①生育不良、②子葉の黄化症状、③子葉の下垂、④子葉裏の赤紫色化、⑤本葉の黄化症状、⑥本葉葉縁の黄化症状 |
| 特徴 | 生育初期 (は種 7 日後頃) に子葉の黄化症状や、特徴的な子葉の下垂が見られる。生育中期から後期にかけて、本葉の黄化症状が確認される。 |
| 生理作用 | タンパク質や葉緑素合成阻害等の影響があるものと見られる。 |
| 発生しやすい条件 | ・ 供試試料もしくは供試土壌に過剰の亜鉛が混入されていた場合 ・ 供試土壌が酸性 (概ね pH 5.5~pH 6.5) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第十号 p.208~p.241 11. コマツナの生理障害-亜鉛- |



症状① 生育不良 -1

は種 4 日後の様子。

硫酸亜鉛の添加量に伴い、生育不良の度合いが強いことがわかる。硫酸亜鉛を Zn としての添加量は次のとおりである。

上段 : 標準区

下段左 : 100 mg/ポット 区 (Zn 207 mg/kg 乾土)

下段中 : 250 mg/ポット 区 (Zn 516 mg/kg 乾土)

下段右 : 400 mg/ポット 区 (Zn 826 mg/kg 乾土)



症状① 生育不良 -2

は種 21 日後の様子。100 mg/ポット 添加区以外では生育初期の生育不良が継続し、生育は改善されなかった。

4 生理障害 (5) 亜鉛



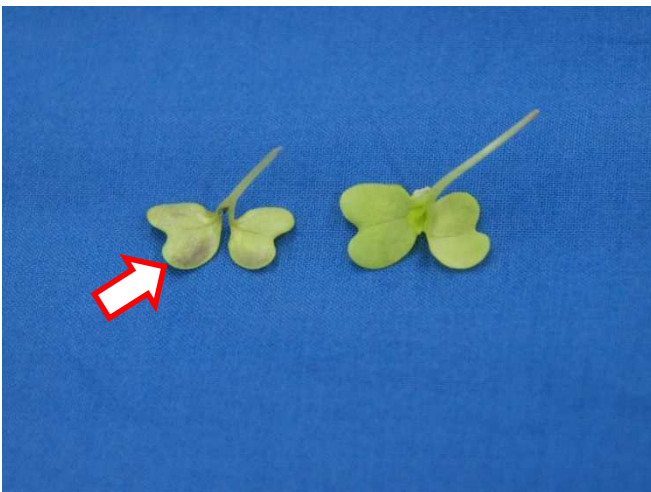
症状② 子葉の黄化症状

は種 10 日後の様子。
左: 400 mg/ポット 添加区 (Zn 826 mg/kg 乾土)
右: 標準区
標準区と比較すると子葉の黄化症状が確認できる。



症状③ 子葉の下垂

400 mg/ポット 添加区 (Zn 826 mg/kg 乾土) のは種 10 日後の様子。
特徴的な子葉の下垂が窺える。



症状④ 子葉裏の赤紫色化

左が 400 mg/ポット 添加区 (Zn 826 mg/kg 乾土)、右が 250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土) の個体である。

左の個体の葉縁部の赤紫色化が見られた。
亜鉛の拮抗作用によるりん酸欠乏症状、もしくはその他の要因によってアントシアニンが生成されたものと思われる。

4 生理障害 (5) 亜鉛

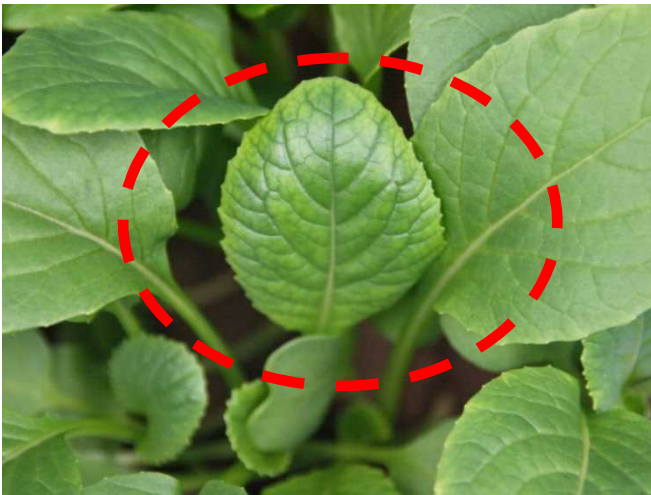


症状⑤ 本葉の黄化症状 -1

400 mg/ポット 添加区 (Zn 826mg/kg 乾土) のは種 20 日後の様子。

本葉第一葉に黄化症状が発現している。

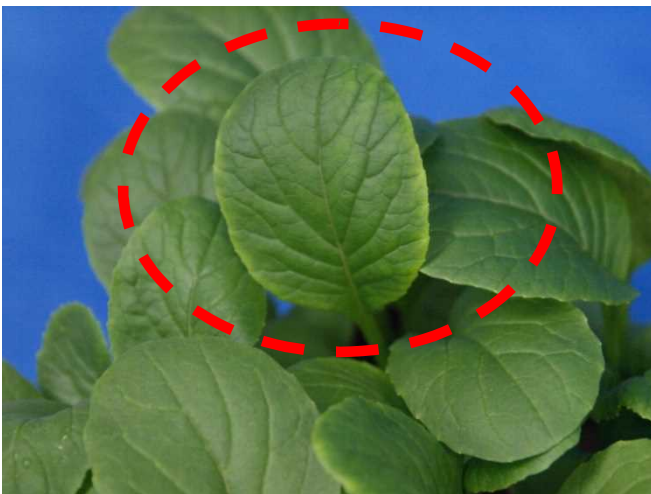
また、本葉第一葉が成長せず、枯死に近い個体も見られる。



症状⑤ 本葉の黄化症状 -2

は種 20 日後の 100 mg/ポット 添加区 (Zn 207 mg/kg 乾土) の様子である。

本葉第三葉に黄化症状が見られた。葉縁が特に黄化している。生育中期から後期にかけて発現するものと思われる。



症状⑥ 本葉葉縁の黄化症状

は種 20 日後の 100 mg/ポット 添加区 (Zn 207 mg/kg 乾土) の様子である。

本葉第二葉の葉縁に薄い黄化症状が見られた。

4 生理障害 (5) 亜鉛

b (1-2) .亜鉛の過剰症状 (硫酸亜鉛七水和物 (以下、硫酸亜鉛) を多量施用した場合)

(b) 水溶液浸透法による.

| | |
|----------|---|
| 症状 | ①生育不良、②本葉の黄化症状、③子葉葉縁の黄化症状、④本葉葉縁の黄化症状 |
| 特徴 | 生育初期 (は種 7 日後頃) に子葉の一部で黄化症状が見られる。生育中期 (は種 12 日後頃) になると標準区と比較して生育速度が劣り、生育に差異が生じる。生育後期 (は種 17 日後頃) には本葉の葉縁に薄い黄化症状が見られ、その一部が白化する場合がある。b (1-1) の場合と比較すると、症状は軽い。 |
| 生理作用 | タンパク質や葉緑素合成阻害等の影響があるものと見られる。 |
| 発生しやすい条件 | ・ 供試試料もしくは供試土壌に過剰の亜鉛が混入されていた場合 ・ 供試土壌が酸性 (概ね pH 5.5~pH 6.5) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第十号 p.208~p.241 11. コマツナの生理障害-亜鉛- |



症状① 生育不良

は種 12 日後の様子。
上段左:硫酸亜鉛を Zn として 250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土)
下段右:標準区

標準区と比較すと 250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土) の生育不良が見られる。



症状② 本葉の黄化症状

は種 17 日後の様子。
左:250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土)
右:標準区

標準区と比較すると 250 mg/ポット 添加区の株全体が黄化症状を呈している。また、本葉の一部が湾曲しているように見える。

4 生理障害 (5) 亜鉛



症状③ 子葉葉縁の黄化症状

は種 21 日後、250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土)の様子。

子葉先端の縁に黄化症状現象が見られた。



症状④ 本葉葉縁の黄化症状 -1

は種 17 日後、250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土)の様子。

本葉第二葉の葉縁に薄い黄化が見られた。一部は白化しているように見える。



症状④ 本葉葉縁の黄化症状 -2

は種 21 日後、250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土)の様子。

は種 17 日後と比較すると葉先の縁で白化が若干進行しているが、葉の壊死には至らなかった。

4 生理障害 (5) 亜鉛

b (2) .亜鉛の過剰症状 (硝酸亜鉛 (II) 三水和物 (以下、硝酸亜鉛) を多量施用した場合)

(b) 水溶液浸透法による.

| | |
|----------|--|
| 症状 | ①生育不良、②子葉の黄化症状、③子葉葉縁の黄化症状、③本葉の黄化症状 |
| 特徴 | 施用量に伴って生育不良が顕著に現れる。硝酸銅の場合と比較すると症状は重い。生育中期 (は種 12 日目頃) から本葉を中心に黄化症状が見られる。 |
| 生理作用 | タンパク質や葉緑素合成阻害等の影響があるものと見られる。 |
| 発生しやすい条件 | ・ 供試試料もしくは土壤に過剰の亜鉛が混入されていた場合 ・ 供試土壤が酸性 (概ね pH 5.5~pH 6.5) の場合 |
| 参考文献 | 肥料研究報告 第十号 p.208~p.241 11. コマツナノ生理障害-亜鉛- |



症状① 生育不良 -1

は種 10 日後の様子。上段が硝酸亜鉛施用区、下段が硝酸銅施用区、下段右が標準区。

硝酸亜鉛を Zn として、硝酸銅を Cu としての施用量は次のとおり。

右下：標準区

左列：100 mg/ポット区 (207 mg/kg 乾土)

中列：250 mg/ポット区 (516 mg/kg 乾土)

右列：400 mg/ポット区 (826 mg/kg 乾土)

硝酸亜鉛区の生育不良が見られる。



症状① 生育不良 -2

は種 21 日後の様子。

硝酸亜鉛の施用量に伴って生育量が劣っていることがわかる。硝酸亜鉛の Zn としての施用量は次のとおり。

上段：標準区

下段左：100 mg/ポット区 (207 mg/kg 乾土)

下段中：250 mg/ポット区 (516 mg/kg 乾土)

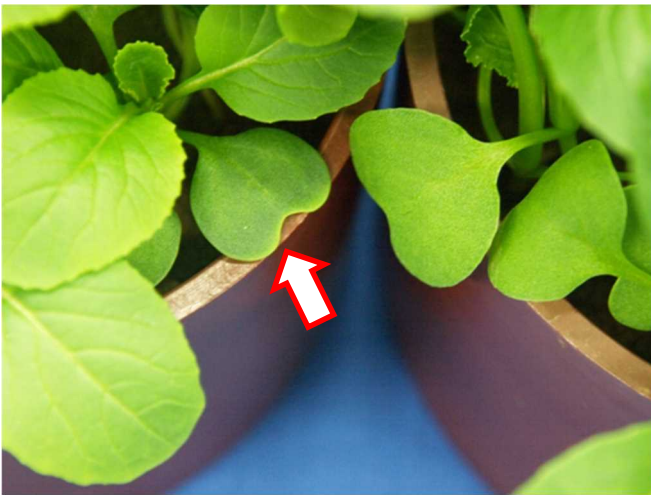
下段右：400 mg/ポット区 (826 mg/kg 乾土)

4 生理障害 (5) 亜鉛



症状② 子葉の黄化症状

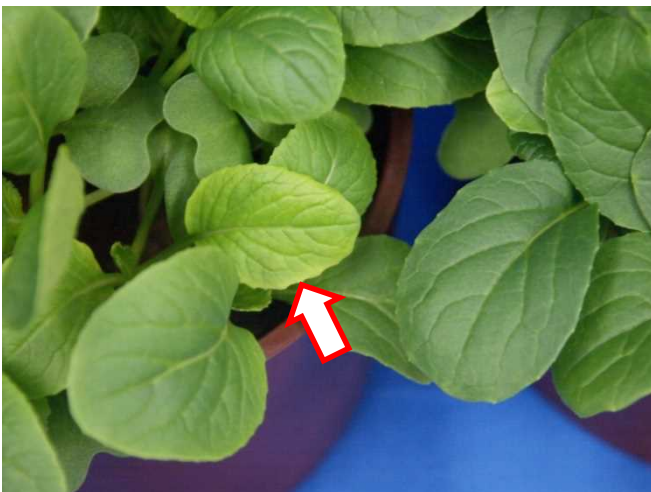
は種 10 日後、400 mg/ポット 区 (Zn 826mg/kg 乾土) の一部個体で、子葉の黄化症状が見られた。



症状③ 子葉葉縁の黄化症状

は種 19 日後の様子である。
左：400 mg/ポット 添加区 (Zn 826 mg/kg 乾土)
右：標準区

硝酸亜鉛区の子葉が標準区と比較すると葉縁が黄化症状を呈していることがわかる。上位葉で症状が顕著である。



症状④ 本葉の黄化症状

は種 20 日後の様子である。
左：250 mg/ポット 添加区 (Zn 516 mg/kg 乾土)
右：標準区

硝酸亜鉛区の本葉が標準区と比較すると黄化症状を呈していることがわかる。上位葉で症状が顕著である。