

皆さん、お久しぶりです。
今号から実例編として
具体例をスタートしましょう。

実例編

どうやって見分ける？

植物の生理障害

5

～生理障害の診断・チツソ～

兵庫県立農林水産技術総合センター 環境・病害虫部 主任研究員

まき ひろ ゆき
牧 浩之



筆者略歴

牧 浩之 / 兵庫県立農林水産技術総合センター 主任研究員

主な研究テーマ / 炭化法等による未利用有機資源のリサイクル、野菜の施肥改善、要素障害の診断など

症状「全体的な生育低下」

写真1はタマネギに見られた生育不良で、圃場のほぼ全面で発生していました。植物体を観察すると下葉が枯れ上がり、葉数が少なく、葉色は濃く、

事例その①

タマネギに見られたアンモニア過剰

植物体中でのチツソの働き

作物を栽培するには、その作物の特徴はもちろん、栽培する畑の気象条件や土壌条件、用いる資材の性質をよく知ることが大切です。その上で、培った経験から、作物の状態を的確に見抜き、適切な処置を行うことで、健全な生育を保つことができます。しかし「弘法にも筆の誤り」の例えのように、熟練者であっても時には判断を誤り、植物の調子を崩してしまうこともあります。

今回の連載では、作物の調子が悪くなる問題のうち、主に肥料成分が関係して起こる「要素障害」について、実例を交えながら紹介し、なぜその障害が起こったのか、その障害の特徴や対策、要素の植物体内での働きなどについて考えてみたいと思います。今回はチツソに関連して起こった障害についてご紹介します。

チツソはタンパク質として細胞を構成するとともに、酵素としてほとんどの生理反応に関係する重要な要素で、核酸、ヌクレオチド、アミノ酸やタンパク質など、動植物に共通な数々の代謝に必須です。また、植物に重要なものにクロロフィルの合成があり、チツソはクロロフィルの構成要素で、その生合成に不可欠な物質でもあります。

植物は葉緑体で「光合成」を行います。それにはたくさんさんのチツソが必要です。エンドウの研究では、植物体内の有機態チツソの約8割が葉緑体にあることが分かっています。

このようにチツソは植物の生育に欠かすことのできない要素で、欠乏によりさまざまな影響が出ます。軽微な欠乏により葉の生長が低下しますが、こ

の時、葉の光合成速度が低下するより前に、水の吸収・輸送が低下することが知られています。余った光合成産物は根の伸長に使われるため、軽微のチツソ欠乏では根量が増加します。過剰の施肥により地上部が徒長すると、多くの場合は根量が減少しますが、これと反対の現象です。

さらにチツソ欠乏が進むと、光合成速度の低下が見られるようになります。こうなると植物体内で各種代謝に必要なチツソ成分も不足してしまい、下位葉を中心にクロロフィルやタンパク質などのチツソ成分をアミノ酸の一種であるグルタミンに作り替え、上位葉や子実に転流させます。これにより植物体内の大切なところを守るわけです。この働きはとても強く、そのためチツソ欠乏は決まって下位葉から発生するのです。

葉の伸びが著しく抑制され、鱗茎基部はやや肥大しています。現地で見られる類似した症状に「除草剤の誤使用による生育不良」がありますが、この場合は葉がもつとデコボコしてねじれた感じになることが多く、少し印象が異

なりました。また、実際に除草剤の使用を確認して、除草剤による葉害の可能性は低いと判断しました。根を観察すると、色こそ白いものの、新しい根の生長が抑えられ、伸び方もいじけた感じで(写真1)、土壌条件にも問題

がありそうに見えました。

診断結果「アンモニア過剰」

① 土壌分析から分かること

土壌の分析結果を第1表に示します。生育不良の土壌は健全な土壌と比べると、pHはほとんど変わらないものの、電気伝導度（EC）がやや高くなりました。ECとは土壌を蒸留水に懸濁した時の電気の流れやすさを調べたもので、値が高いほど土の中に肥料成分が多いことを示しています。今回の値はやや高いものの、障害の原因とは考えられない程度です。しかし、電気伝導度の測定では、肥料全体の大きな判断はできても、個々の肥料成分のことは分かりません。

そこで肥料成分をそれぞれ調べてみました。いずれの成分も健全なものに比べ、生育不良の土壌で多くなっています。リンやカリウムも生育不良区で高いのですが、障害が出るほどの高さではありません。これに対しアンモニア態チッソが土壌100g当たり32mg、硝酸態チッソが13mgと、チッソ成分が多量に検出されました。これは明らかに過剰な量ですが、アンモニアは土壌粒子に吸着されていることが多く、電気伝導度の測定では検出されにくいのです。

② アンモニアによる害作用

よく見られるチッソ過剰の症状は、葉色が濃くなる、茎葉の過繁茂や軟弱化、カルシウム欠乏の助長などで、これらは栄養過多による過剰生長に伴う間接的な障害です。植物が主に利用する無機態チッソには硝酸態とアンモニア態の二つがあり、このうちアンモニアは毒性が高く、直接の過剰害を引き起こすことが分かっています。硝酸は毒性が低いため体内で直接液胞内に貯蔵できますが、アンモニアは細胞内で無害化する「チッソ同化」が必要で、過剰な場合には生育低下、葉色の濃緑化、葉縁からの枯死を引き起こします。一般の陸上植物がストレスを受けずに済むアンモニア態チッソ濃度は意外に低く、植物により異なりますが、水耕では数ppm程度の割合が多く、数十ppm以上の濃度では茎葉部にアンモニアが蓄積し、耐性の弱い植物では問題が発生しだします。今回の症状は土壌中の多量のアンモニア態チッソ（320ppm程度）により、下葉の枯死、草丈の矮小化と葉色の濃化を引き起こしたと考えられます。

筆者らは別に行ったタマネギに対する肥料試験で、通常の2〜3倍の施肥により同様の症状が出ることを経験したことがあります。タマネギの施肥適

量はリン酸肥^{ひんくわく}沃度などの影響を受けませんが、おおむね10a当たり20kg程度を数回に分けて施用することが普通で、この場合、土壌中の無機態チッソ量は多い時でも100g当たり10mg程度でしょう。

③ 過剰害の対策は難しい

要素障害で最も対策が容易なのは、単純な欠乏症です。足りない物を補ってやればよいのです。これに対し、過剰害の対策はやや困難になります。根本的な対策は原因物質を取り除くことですが、土壌にすでにある物を取り出すことは難しいです。アンモニアの場合も、直接取り出すことは現実的で

はありません。

現実的で効果的な対策は「何もしないこと」です。後で述べますが、土壌中のアンモニアは数十日の間に硝酸化を受け、無害な硝酸態チッソに変化する^{*}ので、今作の生育を回復させることは難しいですが、来年度の作付けは大丈夫でしょう。また、作付け前の1作にクリーニン^{*}グクロップなど吸肥力の高い作物を栽培することも効果がありません。大事な点は「なぜアンモニアが過剰になったか」を明らかにすることです。肥料や有機質資材の種類・用量など、基本的なことを見直していく必要があります。

写真1



↑タマネギの生育不良。左は健全な植物体。↑根のアップ。真つすぐ伸びていない。

第1表 タマネギ生育不良土壌

	pH	EC mS m ⁻¹	無機態チッソ			可給態 リン mg/100g	交換性 カリウム mg/100g
			硝酸 mg/100g	アンモニア mg/100g	亜硝酸 mg/100g		
健全	5.4	27.7	12	3	-	58	27
生育不良	5.5	45.6	13	32	-	88	57

土壌中でのチツソの動き

皆さんは「肥料の三要素」という言葉をご存じでしょうか？ いわゆるチツソ、リン酸、カリのことです。これは植物を栽培する上で「最も不足しやすい」肥料成分のことで、植物体内に「最も多く」必要な成分とは少し違います。この三要素の筆頭がチツソです。つまり、チツソは植物を栽培する上で最も欠乏しやすい要素といえます。また土の中で複雑に変化し、その時々により生理障害と関わっています。ここでは土壌中のチツソの変遷と生理障害についてご紹介しましょう。

有機物からアンモニニアへの分解（無機化）

農耕地でのチツソの動態と生理障害の発生を表した図を見てください。有機物や化学肥料として投入されたチツソはこのように変遷し、最後には作物に吸収されるか、水とともに流出するか、大気中にガスとなって放出されまです。植物はこの間に、主に無機態のチツソを養分として吸収します。これは有機肥料でも化学肥料でも同じで、土壌に施用された有機態のチツソも、多くは無機態チツソに分解されてから植物に吸収されます。土壌に施用された有機態チツソは土壌微生物の餌となり、

一部は菌体を経てアンモニニアに分解されます。この働きは「無機化」と呼ばれ、高温期に盛んです。冬場は有機質肥料の効果が上がりにくいことが知られていますが、これは冬場の低温のため無機化が進みにくく、肥料として有効な無機態チツソが不足するためです。

順調にアンモニニアが無機化されたチツソは、一部が肥料成分として植物に吸収され、残りはアンモニニア酸化菌により亜硝酸態チツソに酸化されます。この菌の働きはアンモニニアを生成する働きより弱いことがあり、その場合は土壌中にアンモニニアが集積します。この時に土壌のpHが高いとアンモニニアがガスとなって揮散し、空気中に40ppm以上になるとアンモニニアガス障害が発生しやすくなります（写真2）。ほとんどの場合は空気の流れが少ない施設栽培で発生し、春先に集中します。これは春先に急激に地温が上昇した時に土壌中でアンモニニアが多量に発生し、アンモニニア酸化菌の働きが追いつかず、土壌にアンモニニアが集積するためです。

アンモニニアから亜硝酸・硝酸への酸化

土壌中でアンモニニアが微生物により酸化され、亜硝酸が生成されます。この亜硝酸は植物体にとって有害な化合物ですが、亜硝酸酸化菌によって無害

模式図 土壌中でのチツソの動きと生理障害の発生

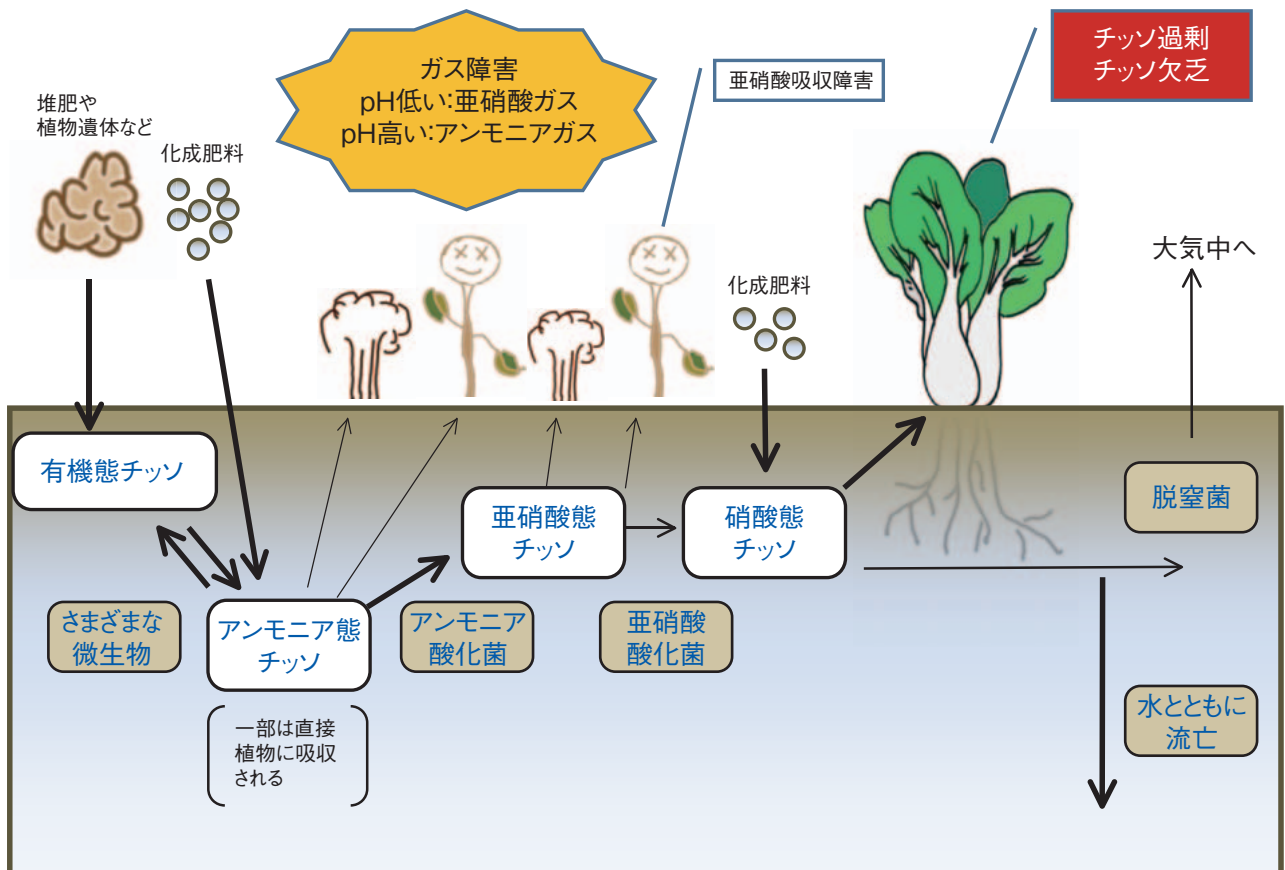


写真3



↑ホウレンソウで見られた湿害。右が健全株。



←根のアップ。細根が先から腐っていた。太い根の色も悪い。

写真2



↑施設ホウレンソウで見られたアンモニアガス障害。

写真5



↑→カルシウム欠乏による「芯枯れ」症状。上左：キャベツ、上右：ユリ、下：シュンギクの症例。



写真4



↑→野菜のチツソ欠乏。上：ブロッコリー、右エダマメの症例。



な硝酸に酸化されます。この菌の働きは土壌pHが低い場合や過湿な場合に抑制され、土壌中に亜硝酸が集積します。亜硝酸は植物に有害で、過剰に吸収すると鉄欠乏に似たクロロシス（白化）を発症します。

植物の生育が悪く、土壌の水抽出液中に少量の亜硝酸が検出されることがよくあります。亜硝酸障害を疑いたくありませんが、植物根も傷んでいる時などは、むしろ湿害のことが多く（写真3）、この場合はマンガンや鉄なども多量に検出されます。

亜硝酸障害で最も被害が大きいののはガス障害で、土壌中のpHが低いと亜硝酸は亜硝酸ガスとなって大気中に揮散し、亜硝酸ガス障害を引き起こします。

硝酸態チツソ

硝酸は野菜類にとって好ましいチツソ肥料ですが、土壌に吸着されにくく、水とともに流亡しやすいため、追肥を怠ると欠乏を生じます（写真4）。ま

事例その②

キュウリ圃場でのアンモニアガス障害

症状「下葉で症状が激しく、周辺部または斑点状に枯れる」

これは春先の施設栽培のキュウリで見られた障害で、ほぼハウス全面で発

た適量があり、過剰の場合には軟弱徒長や開花・結実の生理を乱し、カルシウム欠乏症（詳細は次回）を助長することもあります（写真5）。

硝酸には環境問題の面からも注目が集まっています。水とともに移動する性質から、農業系外に流亡しやすく、環境中で富栄養化を引き起こすためです。人体に対しても多量に摂取すると体内で亜硝酸に還元され、メトヘモグロビン血症やニトロソアミンの生成などの弊害が指摘されています。また、農耕地中に過剰のチツソがあると亜酸化チツソが発生し、地球温暖化に影響を及ぼすことが心配されています。これらの影響については未確定なことも多いのですが、いずれにしろ施肥量は適量を旨とし、過剰な施肥は慎みたいものです。この場合、化学肥料だけでなく、有機質肥料や有機質資材からのチツソ量も考慮に入れておくことが必要です。

生し、中〜下位葉の周辺部、または斑点状（次頁写真6）に境界のやや明瞭な枯れ方をしていました。下位葉ほど障害が激しく、内部からの異常という印象です。より、外部からの異常という印象です。

症状の発生は急で、栽培者はある日突然症状が現れ驚いたそうです。この写真にはそれから約2週間後の写真で、それ以来あまり症状は進行していないとのことでした。同じハウスに栽培されていたトマトの葉裏には、アントシアニンによる赤紫色の着色が見られました。

診断結果 「アンモニアガス障害」

この診断自体は経験を積んだ方には難しくありません。ただ、分析結果から確信を持って判断するには、タイムリングよく試料採取をすることが必要です。今回は発生から時間がたちすぎてアンモニアガスを直接検出できず、状況から判断することになりました。ガス障害では原因物質が揮散により速やかに減少し、後から試料を採取・分析しても検出できないことが多いのです。

① 土壌分析から分かること

第2表の土壌分析結果を見て下さい。このハウスの土壌はpHが高く、電気伝導度がやや高いことが特徴的です。アンモニア態チツソも過剰害を引き起こすほどではないものの、通常の畑状態より高く、土壌pHも高いことからアンモニアが揮散しやすい条件であることが分かります。土壌の電気伝導度がやや高いですが、一般には電気伝導度

が高まると硝酸化成は抑制され、土中でアンモニアがたまりやすくなります。

② アンモニアガス害は春先に多い

発生が春先の施設栽培であったことも重要な証拠になります。冬場の低温期には土壌中の微生物活性が低いいため、チツソの無機化（アンモニア化成）はあまり起こらず、分解しやすい有機物が土中にたまりやすくなります。晴天時にはハウス内の気温の上昇とともに地温が急激に上がり、大量のアンモニアが生成します。土壌pHが高いとアンモニアガスとなり揮散します。土壌が酸性であればアンモニアガスの発生は抑えられますが、その後で亜硝酸ガスの発生が危惧されます。ガスが発生しても露地栽培であれば拡散して被害を及ぼしにくいのですが、限られた空間のハウス内では植物体に害を及ぼす濃度にも高まるのです。

③ 症状の特徴

症状が下葉で激しいことはアンモニアガス害でよく見られ、地面から発生するガスに、より暴露しやすいからでしょう。ガス害の発生は一過性のことが多く、一定期間を過ぎると新しい発症は見られなくなります。要素過剰による障害も下葉から出ますが、この場合は症状が進行することが多く、見分ける参考になります。また、同圃場に

植えられていたトマトのアントシアニンの着色も参考にしました。トマトはリン酸欠乏や低温などでも紫色に着色しますが、アンモニアを過剰に吸収しても葉裏に着色が見られます。

④ 対策は換気をよくし、有機質を含むチツソ施肥の見直し

以上のことからこの障害をアンモニアガス障害と診断しました。症状の進展が見られないことから、圃場の換気をよくして、経過を観察することになりました。このガス障害は明条件で進行することが分かっており、障害が心配される場合、夜間は締め切っています。

問題ないのですが、朝には必ず換気を行うことが必要です。次作以降の注意点として、冬季の有機質肥料・資材の施用を控え、肥料は硝酸態チツソが主体のものをういた方がよいでしょう。また施肥過剰であることも多いので、施肥を見直すことも必要です。土壌のpHを下げることも有効ですが、亜硝酸ガスの発生を助長することがあるので慎重に考えるべきです。

写真6



↑施設キュウリで見られた下葉からの枯れ。

第2表 施設キュウリ土壌

	pH	EC mS m ⁻¹	無機態チツソ			可給態 リン酸 mg/100g	交換性塩基mg/100g乾土		
			硝酸 mg/100g	アンモニア mg/100g	亜硝酸 mg/100g		カルシウム mg/100g	マグネシウム mg/100g	カリウム mg/100g
不良	7.20	68.6	10.0	6.0	-	175	297	63	160
やや不良	7.05	34.7	2.5	6.0	-	159	296	63	98