

## 14 コマツナの生理障害

- 窒素 -

阿部文浩<sup>1</sup>, 恵智正宏<sup>1</sup>

キーワード 欠乏症状, 過剰症状, 発芽障害, 窒素飢餓, 窒素転流

### 1. はじめに

植物に対する害に関する栽培試験(以下, 植害試験という)は農林水産省農蚕園芸局長通知<sup>1)</sup>により実施方法が定められている. 供試作物は原則としてコマツナを用い, その生育状況から肥料中の植物に有害な成分の有無を判定する. しかし, 植害試験を実施する過程で, 一般に生理障害と言われる必須成分の欠乏又は過剰に起因する症状が発現することがある. 植害試験中に何らかの症状が現れた場合, それが有害物質による症状なのか, 生理障害なのかを判断することは難しい. また, コマツナを対象とした生理障害について詳細を記した文献は少ない.

そこで, 植物に対する害を評価するための基礎的な資料作成を目的として, 意図的に生理障害を発現させてその症状の経過を記録した. 同時に植害試験法の詳細な手順を構築する際の基礎データ蓄積を目的とした. 今回は窒素について試験を実施したので報告する.

### 2. 材料及び方法

供試植物としてコマツナ(品種名:夏楽天)を用いた. 栽培条件は, 人工気象装置(小糸工業製 コイトロン KG50-HLA 型)内で照度約 30000 lx, 照明時間 12 時間, 気温昼間 25 °C, 夜間 15 °C, 湿度 70 %一定の条件下で, 21 日間栽培を行った. 灌水は最大容水量の 60 %を目安に管理し, ローラーポンプ式自動給水装置(古江サイエンス製 RP-MRF-1)を併用した. 栽培条件を均一にするため, 人工気象装置内でのポットの配置は休日を除く毎日, 無作為に換えた. 栽培は 1/10000 a ノイバウエルポットに, 供試土壌として旧東京肥飼料検査所浜田山圃場にて採取した黒ボク土(pH 5.7, EC 11 mS/m)を, ポット底から約 5 cmまで充填して供試した.

試験は欠乏症状及び過剰症状について確認試験を実施した. 欠乏症状確認試験は供試肥料に硫酸アンモニア, 過りん酸石灰及び塩化加里を用い, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oとして 25 mg, 100 mg, 100 mg となるよう施用したのち播種した. また, 窒素飢餓症状を観察するために, 供試肥料として硫酸アンモニア, 過りん酸石灰及び塩化加里を用い N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O としてそれぞれ 100 mg になるよう施用した供試土壌に, 添加材料としてコーヒーかすを 0 g, 5 g, 10 g, 15 g 及び 20 g 添加した計 5 区の試験区を設けた. 添加材料の選定理由として, コーヒーかすを原料に使用したい肥等を供試肥料とした植害試験の結果の中に, 生育量が対照肥料と比べて小さいものが散見されることから, 窒素飢餓症状を容易に確認できる材料と考えた. 播種は供試肥料とコーヒーかすの施用後 8 日目とした. 過剰症状確認試験は, 硫酸アンモニア, 塩化アンモニア及び尿素の 3 種類を用い, N として 200 mg, 300 mg, 400 mg, 500 mg 及び 600 mg の計 5 試験区を設け, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 及び K<sub>2</sub>O は, 過りん酸石灰及び塩化加里を用いて各ポット 100 mg となるように施用した.

<sup>1</sup> 独立行政法人農林水産消費安全技術センター肥飼料安全検査部

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 窒素の生理作用

窒素は植物にとって多量必須要素であり、主に硝酸態窒素として吸収されるが、水稻やサトイモ等はアンモニア態窒素を好み、その利用形態は様々である。吸収された窒素は同化され亜硝酸、アンモニアへ還元され、アミノ酸の合成が起こり植物体内ではタンパク質、アミノ酸、核酸、クロロフィルなどとして存在する<sup>2)</sup>。窒素の典型的な過剰症状は、葉の緑色が濃くなり、生育が全体的に旺盛になるが、光合成で生成した炭水化物はタンパク合成への利用が多くなり繊維質を作る割合が減り作物は全体に軟弱化する<sup>3)</sup>。植害試験においては光量が確保されていれば軟弱徒長という表現が当てはまることが少なく、比較的しっかりと生育し葉色が濃くなるのが一般的である。窒素が不足した時の葉の黄化は植物体内の窒素の移動に関わり、その移動は次のように考えられている。窒素の不足や器官の老化によりタンパク質や核酸はアミノ酸や尿酸に分解される。アミノ酸は酸化的分解によりアミノ基からアンモニウムイオンとなる。尿酸は尿素となりウレアーゼにより二酸化炭素とアンモニウムイオンに分解される。下位葉でアンモニウムイオンはグルタミンやアスパラギンに合成され篩管を通り上位葉等に輸送される<sup>4)</sup>。このようにタンパク質等が移動に適した物質にまで分解され細胞分裂の激しい生長点へ窒素転流される。

#### 3.2 生理障害の症状

##### 3.2.1 欠乏症状

コマツナは無胚乳種子であり種子は子葉中に養分を蓄えている。発芽から子葉が展開する頃までは、その蓄えた養分により生長する。子葉では葉緑素が生成され葉は緑色になり、ある程度まで大きくなるが、スターターとしての子葉の役割はこのあたりまでで、その後は土壤中の養分を吸収し生長する。窒素とりん酸は初期生育には特に必要な成分であり不足すると正常に生育しない。

生育途中で窒素が欠乏した場合、症状は下葉から現れ、葉色は緑色、淡黄色、そして黄色に変色する。窒素は植物体内で転流しやすいが、葉が黄色に変化したときは窒素欠乏が推察される。個の様子は、特に子葉で確認され、欠乏の有無判別は比較的容易である(写真 1~3)。植害試験中に黄変症状が本葉に現れる場合は、ある時点まで順調に生長したものが、ポット内の窒素を吸収し尽くした時に発現することが多い(写真 4, 5, 11)。特に、生育が活発になる試験終盤などで比較的急に窒素が消費されて欠乏した状態では、生長が停滞し新葉の展開と同時に下葉は黄変して落葉する。このような場合は各個体の本葉の数はほぼ一定となり生長する(この症状を確認するためには栽培期間を延長する必要がある)。このことは植物体内の窒素の再利用を示している。窒素は転流しやすいことを先に述べたが、窒素欠乏症状が現れているポットに硫酸アンモニアを添加すると、数日後には葉の縁辺から緑色が濃くなり、葉は元の緑色に回復する様子が確認された(写真 6)。たい肥などの植害試験を実施したときに窒素飢餓症状が見られるときがある。子葉展開時から極端に窒素が不足すると子葉の生長は緩慢になり子葉は黄化していく(写真 7~9)。易分解性炭素が多い未熟な有機物の施用により起こる窒素飢餓という症状である。未熟な有機物の分解時に微生物が土壤中の窒素を取り込むため植物は窒素が利用できなくなり窒素欠乏症状となる。植害試験において発芽はするものの子葉は黄色く全く生長しない症状は窒素飢餓の疑いがある(写真 12)。

また、窒素欠乏を示す指標として土壌の表面に根が露出することが挙げられる(写真 10)。これは、仮に有害物質による害が発現した場合、根の伸長が抑制されることから、十分に伸長することは、根の生

長を阻害する物質は土壌中にあることを示すものと考えられる。



(写真 1) 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の葉色変化が確認された.

以下, 写真 1~3 は同じ個体を撮影したものではないが, その経過が観察された.



(写真 2) 窒素欠乏が進行した子葉. 色は殆ど黄色となっている.



(写真 3) 写真 2 の状態が進行すると, 窒素不足が進み葉は枯死した. この後, 子葉は脱落した.



(写真 4) 本葉の第一葉に発現した初期の窒素欠乏症状。子葉と同様に葉色が黄色を帯びている様子が確認され、若い葉が展開する際には急速に黄色に変色する。また、この頃から新たに伸長してきた若い葉の大きさは、その前に出た葉とほぼ同等の大きさになる傾向も観察された。

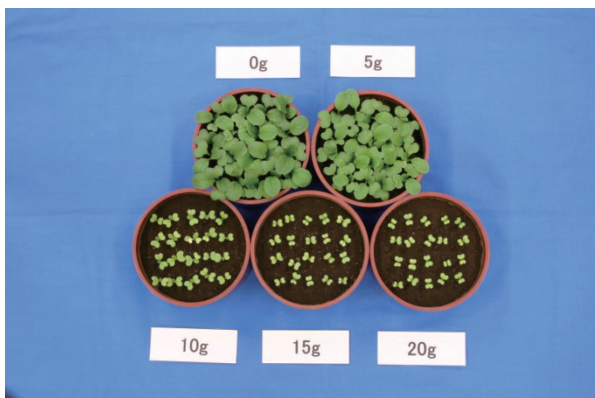


(写真 5) 本葉第一葉がほぼ黄色く変色した様子。個体全体の色は当初の緑から黄緑色へと変化している。展開していない小さい葉は緑色がやや濃い様子が観察された。



(写真 6) 窒素欠乏症状で葉が黄化したポットに硫酸アンモニアを添加して数日後の様子。葉の周辺部から緑色が濃くなる様子が確認された。中心部はまだ色が薄いですが、窒素は移動しやすい成分だとわかる。

その右側の黄色の葉は、窒素欠乏により黄変したものと考えられる葉だが、ここまで進行したものは窒素を添加しても回復せずに萎凋した。



(写真 7) 窒素飢餓試験、播種 10 日後の様子。三要素肥料は全てのポットにそれぞれ 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。





(写真 8) 播種 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。



(写真 9) 播種 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。



(写真 10) 播種 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がうかがえる。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。



(写真 11) 播種 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。



(写真 12) 播種 22 日後の 10 g 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.

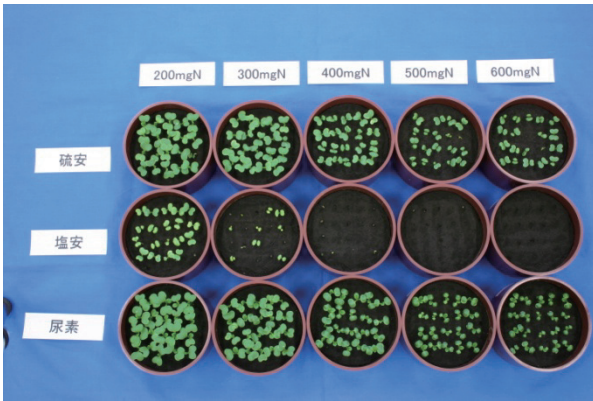
### 3.2.2 過剰症状

発芽時は, 硫酸アンモニア, 塩化アンモニア及び尿素でそれぞれ違う症状が現れた. 硫酸アンモニアは施用量が多くなるに従い発芽遅延及び発芽率の低下が認められた. 400 mg 以上の施用量で子葉が外側に巻く症状が確認された. 塩化アンモニアで発芽が確認できたポットは 200 mg と 300 mg であったが発芽遅延は顕著であり, 子葉の葉色は黄色く弱々しい状態であった. 300 mg では種皮に包まれた子葉は展開せず胚軸を伸ばしている状態が確認された. これは塩素過剰症状であり窒素の過剰症状とは違うものと考えられる. 尿素は 200 mg~600 mg の間では発芽の遅延はなかったが, 発芽後の生長は施用量が多くなるに従い抑制が認められた. 600 mg は発芽後に子葉の変化が認められた. 子葉の大きさは通常より小さく, 外側に反ったカップ状でつやがある子葉に変化し, 葉の先に枯れ症状が確認された(写真 13, 14).

肥料を多量に添加すると塩類濃度を高めるため発芽が遅れるのが一般的である. この試験では硫酸アンモニアは硫酸イオン, 塩化アンモニアは塩化物イオンの影響と思われる症状が現れた. 尿素については土壤中でアンモニアと炭酸に変化するためアンモニアの過剰症状が現れていると考えられることから発芽時の窒素過剰症状としては尿素を添加した時の症状が一般的である(写真 14).

窒素を過剰施用した土壌で栽培を続け生長を観察した(写真 15). 硫酸アンモニア 400 mg, 塩化アンモニア 300 mg より施用量が多いポットでは本葉が黄色くなった個体が目立っている. ある時期に一斉に枯れかかり急激に黄色く変化する. 一度黄色くなった葉は元には戻らず生長は鈍化する. 葉色が黄色くなる直接の原因については不明なことがあるため追試験が必要である. 一方, 発芽時またはそれ以降に障害を受けていない健全な個体は葉が大きく生長し葉色も緑色が濃くなる. 尿素は硫酸アンモニアや塩化アンモニアよりも速く硝酸化成することが知られている<sup>5)</sup>. 一般に窒素が過剰にあるときのポット全体の姿としては尿素を 200 mg~300 mg 施用したものに酷似する(写真 15, 16). 尿素 600 mg は発芽後に子葉に萎凋症状が認められたが, は種 12 日後にはその個体から本葉が展開しているのが確認されている(写真 17). このことは萎凋症状を起こした原因物質がポット内から減少したことが推測され, 硫酸アンモニアの 200 mg などの葉の先端部や縁辺部が枯れる症状はアンモニア過剰によるもの, または塩類濃度が原因と考えられる.





(写真 13) 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 100 mg~600 mg 施用し 7 日後の様子. 施用量の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塩素による発芽障害が認められた.



(写真 14) 施用 7 日後に尿素 600 mg 施用区に現れた発芽時の窒素過剰症状. 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.



(写真 15) 播種 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. 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.



(写真 16) コマツナの正常な色合い(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.



(写真 17) 尿素 600 mg の播種 12 日後の様子. は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. まとめ

コマツナを用いて, 窒素飢餓症状を含む窒素の欠乏症状及び過剰症状を発現させたところ, 一般に言われる症状の発現を確認した. また, 過剰症の試験においては, 肥料の種類によっては適正施肥量に差異が認められ, 窒素の過剰症状を確認するときは尿素を用いると他の塩類の影響を受けずに確認できることが明らかとなった. 窒素飢餓症状確認にコーヒーかすを用いたが, 植物に対して生育阻害物質を含む可能性が疑われることから稲わら等を用いて再度試験を実施したい. また, 硫酸アンモニア等の施用で葉の先端部や縁辺部が枯れる症状と葉が黄化する症状は別々の原因であることも考えられ今後も調査が必要である. 今後はそのようなことも含め, 他の元素についても同様に検討を行いたい.

なお, 植害試験は窒素量を 100 mg~400 mg に設定している. この量はほ場の作土層を 15 cm と仮定した場合, 窒素施用量は 10 a 当たり 30 kg~120 kg になる. このことから植害試験はかなりの多肥条件の試験であるといえる. 植害試験において, 特に無機質肥料を施用する試験では何らかの過剰障害が現れることがあるため本来の植害試験目的である有害物質による害と区別する必要がある.

#### 文 献

- 1) 農林水産省農蚕園芸局長通知: 肥料取締法の一部改正に伴う今後の肥料取締りについて, 別添 1, 植物に対する害に関する栽培試験, 昭和 59 年 4 月 18 日, 59 農蚕第 1943 号 (1984)
- 2) 植物栄養・肥料の事典編集委員会編: 植物栄養・肥料の事典, p.72~74, 朝倉書店, 東京(2002)
- 3) 渡辺和彦: 原色 野菜の要素欠乏・過剰症, p.51~53, 農山漁村文化協会, 東京 (2002)
- 4) 米山忠克, 長谷川功, 関本均, 牧野周, 間籐徹, 河合成直, 森田明雄: 新植物栄養・肥料学, p.98 朝倉書店, 東京 (2010)
- 5) 尾和尚人, 木村真人, 越野正義, 三枝正彦, 但野利秋, 長谷川功, 吉羽雅昭: 肥料の事典, p.82~83, 朝倉書店, 東京 (2006)



## Physiological disorder of Komatsuna — Nitrogen —

Fumihiro ABE<sup>1</sup> and Masahiro ECHI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Food and Agricultural Materials Inspection Center, Fertilizer and Feed Inspection Department

This study was intended to observe the nitrogen deficiency symptoms, nitrogen excess symptoms and condition of nitrogen starvation about Komatsuna (*Brassica rapa var. perviridis*). The nitrogen deficiency symptoms were to observe the leaves turn yellow. There is a possibility of nitrogen starvation if slower growth and the leaves become yellow. Coffee dregs was used for the reproduction of nitrogen starvation. The coffee dregs might contain substances that are harmful to plants. So, the next test will consider the use of rice straw. The nitrogen excess symptoms were tested using ammonium sulfate, ammonium chloride and urea. The results will be larger leaves, darker green could be observed. These results must be careful to distinguish the symptoms of toxic substances in the fertilizer. I would like to consider the other elements in the future.

*Key words* nitrogen deficiency symptoms, nitrogen excess symptoms, germination injury, nitrogen starvation, nitrogen uptake and assimilation

(Research Report of Fertilizer, **5**, 147~155, 2012)