

File No. 16

施設栽培と塩類集積

塩類集積とは、土壌中の水に溶けている各種の無機塩類が蒸発などによる水の移動に伴って土壌表層に集積する現象である。普通の畑では、施肥や地下水の上昇により土壌表層に集積した塩類は降雨や灌漑により流されて、植物の生育障害が発生しにくい。雨水の流入がない施設栽培では、水の蒸散が盛んで、地下水に溶けている塩類が毛管水と一緒に土壌表面に上昇し、水分が蒸発後も表層土壌に留まり、蓄積していくいわゆる塩類集積障害が発生しやすい（図 1）。特に施設野菜栽培の場合は連作が中心で、施肥回数と数量が多く、植物の吸収量以上に施肥するところに塩類集積障害が多く見られる（図 2）。



図 1. 施設栽培の土壌塩類集積
(ユニオンファーム資料より引用)



図 2. 塩類集積による小松菜の生育障害
(東京農業 No.99 より引用)

施設土壌における塩類集積は、施用された化学肥料あるいは有機質肥料に由来する成分によって引き起こされるものである。過剰施肥などで、土壌溶液に多くの肥料成分が溶けて、一部の養分が土壌に残るが、一部の養分が地下水に流失した。作物が収穫された後、灌漑が絶え、水分の蒸発で地下水が毛細作用により地表に上昇し、含まれている養分が塩分として析出して土壌表層に沈積する。塩類集積土壌の水溶性成分を測定した結果によると、陽イオンで多いものは Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} などであり、陰イオンで多いものは NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- などである。これらのイオンのなかで、 K^+ と NO_3^- は養分として植物にどんどん吸収されてゆくの、比較的速く土壌から消え去るが、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- などは CaSO_4 や CaCl_2 となって析出し、土壌表層に集積する。図 3 は栽培施設内の塩類集積発生の模式図である。

ある調査では、新潟県内の施設栽培の土壌に於ける土壌 EC（電気伝導率）が露地栽培の土壌より大幅に上昇し、その原因が陰イオン（りん酸イオン、塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオン等）の集積であると報告される。集積している主要な陰イオンは硝酸イオンと硫酸イオンで、特に硫酸イオンは 42% の土壌で過剰に集積している（資料 1）。

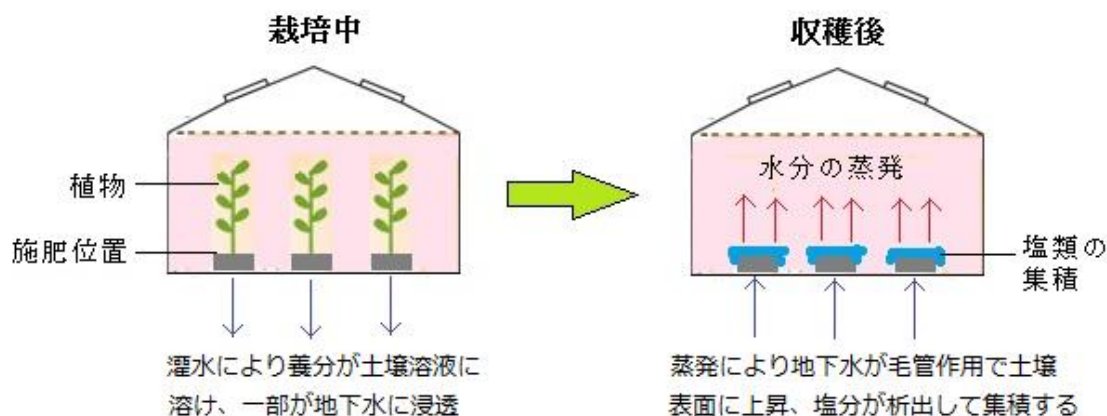


図 3. 栽培施設内の塩類集積発生図

土壌の高塩類濃度により植物の生育が阻害される生理メカニズムは、浸透圧ストレスとイオンストレスに大きく分けられる。

浸透圧ストレスは、根圏の土壌溶液中に塩類濃度が高く、水ポテンシャルの低下により植物の吸水が阻害され、植物体内の水分不足で、葉気孔の閉鎖、光合成の低下や葉の伸長抑制を引き起こすことで生育を阻害する。

イオンストレスは、植物体内に入った過剰な Na^+ 、 Cl^- など特定のイオンにより養分のバランスを崩れ、代謝を阻害し、葉の枯死や生育の阻害をもたらす。特に過剰な Na^+ による他のイオンとのアンバランスが主な原因となる。施設栽培によく見られるトマトの尻腐れなどは時々塩類集積が引き起こすカルシウム吸収拮抗が原因である。

浸透圧ストレスとイオンストレスは多くの場合に複合的に作用するため、それぞれの関与を明確に分離することは困難である。一般に浸透圧ストレスは土壌の塩類集積の初期から影響し、長期間の吸収を経て植物体内へのイオン過剰状態が進み、イオンストレスの影響が次第に大きくなる。また部位別にみると、成熟葉ではイオンストレスの影響が、新しい葉では浸透圧ストレスの影響が大きいと考えられる。

植物が種によって塩類集積に対する抵抗性が異なる。タイサイ、キャベツ、ダイコン、ホウレンソウ、ハクサイ、カブ、セロリは抵抗性の強い植物で、 $\text{EC}=1.0\sim 1.5$ 、 $\text{NO}_3^-=30\sim 45\text{mg}/100\text{g}$ 乾土にも耐える。ナス、ネギ、ニンジン、トマト、ピーマン、キュウリは抵抗性が中程度のもので、 $\text{EC}=0.5\sim 1.0$ 、 $\text{NO}_3^-=10\sim 20\text{mg}/100\text{g}$ 乾土に耐える。ソラマメ、タマネギ、インゲン、レタス、イチゴ、ミツバは抵抗性の弱いもので、 $\text{EC}=0.3\sim 0.5$ 、 $\text{NO}_3^-=10\text{mg}/100\text{g}$ 乾土でも障害を発生する。

一方、土壌種類も塩類集積障害の発現に関係している。土壌 EC が同じでも、砂質土が起きやすく、腐植の多い土壌、粘土質土壌が起きにくい。表 1 にはキュウリ、トマト、ピーマンの生育障害と枯死が出現する土壌 EC を示す。これは土壌の陽イオン交換容量(CEC)が関連している。CEC が高い土壌では、土壌粒子が過剰の陽イオンを吸着して、土壌溶液の濃度が高まらないように制御している。

表 1. キュウリ、トマト、ピーマンの生育障害と枯死を引き起す土壌 EC 値

土壌種類	キュウリ		トマト		ピーマン	
	生育障害	枯死限界	生育障害	枯死限界	生育障害	枯死限界
砂質土	0.3	0.7	0.4	0.9	0.5	1.0
沖積埴壤土	0.6	1.5	0.7	1.6	0.7	1.7
腐植質埴壤土	0.7	1.6	0.7	1.7	1.0	2.4

出所： 高知農試資料

塩類集積が生じた場合、塩類の集積程度（少→多）に応じて、以下の対策手順が基本になる。

1. 硫酸イオンや塩素イオンの多い肥料を控え、塩類集積回避型肥料を使う。塩類集積回避型肥料はウレアホルムを含有し、りん安、硝安、りん酸加里、硝酸加里など土壌に負荷を与える硫酸イオンや塩素イオン等の副成分を含まず、窒素も緩効的に溶出してくる肥料である。慣行施肥よりも電気伝導度（EC）を低く抑えられる。塩類集積が軽い場合にその改善には有効である。

2. 作付けの植物を選択する。耐塩性が弱く、濃度障害が生じやすい作物、例えば、レタス、イチゴ、ミツバなどの作付けを控える。代わりにキャベツ、ダイコン、ハウレンソウ、ハクサイ、カブ、セロリなど耐塩性の強い作物を作付けする。

3. 養液土耕栽培を試みる。養液土耕は、肥料を水に溶かした非常に薄い液肥を用い、灌水と施肥を同時に行う方法である。培地に土を用いるので、土の緩衝機能が活かされるのが特徴である。灌水方法は大きく分けて 2 通りで、地上部から液肥を点滴により滴下する方法と、地中にパイプを埋めてそこから液肥を与える方法である。植物の生育に合わせて水と肥料を効率よく利用することで、施肥量が少なくて済み、塩類集積を抑制する効果が高い。但し、設備の初期投資とメンテナンスコストがかかる。

4. 除塩対策を講じる。重度の塩類集積に対して除塩は即効性の高い対策である。

除塩対策は主に下記の手法を用いる。

① 水による除塩： 土壌表層を水で洗い流して集積した塩類のうち溶解度の高いものを除去する。施設栽培の休閑期に天井のビニールを取り除いて自然の雨水を利用する除塩や北国では冬季間の降雪を利用した除塩が行われている。これらの方法を実施することができない場合には灌漑水を利用したスプリンクラー灌水や湛水処理が行われることもできる。

灌水による除塩は 200～300mm の灌水量で効果が大きいといわれる。灌水処理によって土壌 EC が低下し、植物の生育障害も回避される。しかし、この方法では土壌中の毛管水の上昇と蒸発で塩類の土壌表層への再集積が起こることが多い。このような塩類の再集積を

防止するためには、暗渠の設置や地下水制御によって除塩した溶液を施設外へ排出する必要がある。

灌水や湛水による除塩は比較的簡単で他の方法より効果が大きいため、一般に広く実施されているが、施設土壌から流れ出た塩類が地下水や用水に流れ出し、河川水や地下水への環境汚染が問題となる可能性がある。

② 排土・客土による塩類の生育障害の軽減： 施設土壌ではごく表層に多量の塩類が集積することが特徴なので、この集積層を取り除いて、塩類が集積してない土壌を客土することにより塩類濃度を下げることができる。排土の量としては土壌表層の5～10cmを削る程度でよい。排土は栄養塩類が多いため、地力の低い圃場に還元することができる。この方法は客土の取得や排土にかかる労力が問題となることもある。

③ 土壌の深耕（天地返し）： 深耕により土壌表層に集積した塩類を下層土と混合することによりその濃度は希釈されるなどの効果がある。しかし、作土に下層土が混入するため、土壌の肥沃度が低下する場合が多い。また、深耕により希釈された塩類は施設外へ排出されるわけではないので、灌水と乾燥を繰り返しているうちに比較的容易に表層へ移行して再集積するという問題点がある。

④ 高吸収植物の栽培による除塩： ギニアグラス、ソルガム、トウモロコシ、シコクビエ、ローズグラスなど成長が速く、養分の吸収が多い植物を栽培することにより、土壌に集積した塩類を吸収する。収穫した植物を施設から持ち出し、飼料や緑肥として利用することで施設土壌の塩類を減らす。但し、これらの植物を栽培している間に野菜などの栽培ができなくて、施設の利用率が低下する。

施設土壌の塩類集積は一旦起こると解消が非常に困難で、手間がかかる。従って、化学肥料を施用する場合には、施肥の段階に塩類集積を起こさないように工夫する必要がある。適正な肥料を選び、過量施肥しないように心がけが必要である。

資料1： 施設園芸栽培における塩類集積の要因とその簡易診断法，新潟県農林水産業研究成果集(平成20年度)

<https://www.ari.pref.niigata.jp/nourinsui/seika08/katuyou/15/p080215.pdf>