

石灰窒素による連作障害対策について

1. 連作障害とは

連作とは同じ作物を同じ圃場で連続して栽培することで、連作障害とは連作することによって生育不良となり、収量が低下する障害のことです。近縁（同じ科）の作物を続けて栽培しても障害が出るので注意が必要です。

図1に、連作障害の原因について調査した結果を示します。原因として最も多いのが土壤病害で、次いでセンチウ、要素欠乏の順となり、これらで2/3を占めています。



図1 連作障害の原因別調査結果（農水省技術研究所 2002年）

表1に、連作障害の多い作物と主な土壤病害虫名を示します。ナス科、ウリ科、アブラナ科作物が連作障害を発生しやすいことが判ります。これ以外にもマメ科はセンチウ害の多い作物の一つです。

表1 連作障害の多い作物

作物名（多い順）	主な土壤病害虫名
トマト	萎凋病、半身萎凋病、青枯病、ネコブセンチウ
イチゴ	萎黄病、ネグサレセンチウ
ナス	半身萎凋病、青枯病
ハクサイ	根こぶ病、萎黄病
キュウリ	萎凋病、つる割れ病、ネコブセンチウ
スイカ	急性萎凋症、つる割れ病
キャベツ	根こぶ病、芯腐病

引用文献：最近における野菜・花きの連作障害の実態、野菜試験場研究資料 18号（1984）

本資料では、代表的な連作障害の原因と対策について説明し、石灰窒素を使用した連作障害対策の事例について紹介します。

2. 連作障害の原因と対策

(1) 代表的な連作障害の原因

1) 土壌中に病原菌が増加する

作物は、根からアミノ酸や糖といった物質を分泌し、根の周りに微生物が多くなりやすい環境になります。同じ作物を作り続けると、特定の物質が分泌されることになり、菌類（糸状菌が多い）、細菌、ウイルスなどの特定の病原体が増加します。これら病原体が土壌に接している作物の根や茎から侵入することで発病するので、土壌病害（土壌伝染性病害）といいます。

2) 土壌中で特定の害虫が優占化する

代表的なのがセンチュウによる食害です。土壌中には多くのセンチュウが生息していますが、センチュウには悪玉（寄生性センチュウ）と善玉（自活性センチュウ）があり、正常な土壌では善玉が圧倒的に多く生存しています。しかし、同じ作物（特にアブラナ科野菜）を作り続けるとバランスが崩れ、寄生性センチュウが増え被害を及ぼすのです。主に根に寄生し、コブを形成するネコブセンチュウと根を腐らせるネグサレセンチュウが代表的な害虫です。

有機物が不足し地力の低い圃場では有用な微生物の密度が低いため、連作すると有害な微生物や寄生性センチュウが増加しやすくなります。

3) 土壌中の養分の偏りによる要素の過剰・欠乏と、土壌の物理性や化学性の悪化

同じ作物を作り続けると、施用する肥料や分量に偏りが出るため、土壌中の養分も偏る状態になります。その結果、土壌の養分過多や栄養不足により作物の生育不良を引き起こしてしまいます。ハウス栽培での塩類濃度障害は土壌の養分過多、アブラナ科作物のホウ素欠乏は土壌の栄養不足の代表的な例です。アブラナ科作物は他の作物よりホウ素を多く吸収するため、連作することにより欠乏が発生しやすくなります。

また、石灰等の施用による酸度矯正を行わずに栽培し続けると土壌が酸性になったり、排水性など土壌の物理性が悪化して根圏の環境が悪くなると、有用な微生物や自活性センチュウが減少し土壌病害やセンチュウ害を助長することになります。

(2) 代表的な連作障害対策

連作障害を回避するために、主に行われている対策を紹介します。

1) 栽培方法を工夫する。

①輪作体系（ブロックローテーション）を導入する。

輪作とは、同じ圃場で同じ作物や近縁（同じ科）の作物を続けて作らず、異なる科の作物に順次変えて栽培することをいいます。そのために輪作年限（同じ作物を同じ場所に作付けするまでの期間の目安）を参考にして作付けを計画し、前作や後作には相性の良い作物を植えることで障害を回避するようにします。例えば、トマトは4年以上、キュウリは2～3年間隔を空け、トマトの後作にはキャベツ、ブロッコリー、ネギなど、キュウリの後作にはトウモロコシ、タマネギ、ホウレンソウなどを作付けします。

また、田畑輪換の一つで、圃場を幾つかの区画に分け、作物の順番を変え循環させて栽培する方法（ブロックローテーション）があります。大豆の連作障害対策に有効です。

②抵抗性品種、接ぎ木苗の利用

特定の病害にかかりにくい品種やかかっても重症になりにくい抵抗性品種が育種され実用化されています。例えば、アブラナ科の作物の萎黄病（YR と表示）や根こぶ病対策（CR と表示）に抵抗性品種が使用されます。

また、特定の病害に抵抗性のある作物を台木にした接ぎ木苗が利用されます。例えば、ナスの青枯病対策にヒラナスやトルバムなどが台木として使用されています。

③間作・混作、コンパニオンプランツの導入

間作とは作物と作物の間に別の作物を植えること、混作とは作物の株間に他の作物を植えることをいいます。作物の組合せは、病害虫の発生を抑えたり生育を良くしたりしてお互いに良い影響を与える作物を選びます。このような作物をコンパニオンプランツ(共生植物)と呼び、例えば、トマトの萎凋病やキュウリのつる割れ病にはネギ科作物、センチュウ対策にはキク科作物が使われます。

2) 土壌中で特定の病原菌や害虫が優占化しないようにする。

腐植が多く肥沃な圃場は、有用で多様な微生物や自活性センチュウが多く生存し、土壌病原菌や寄生性センチュウの密度が低いといわれています。堆肥や青刈り作物などの有機物の施用により、微生物の活動を促し、団粒構造を発達させ、土壌の物理性や化学性を適正にするなど、地力の維持・増強（土づくり）を図ることが大切です。

①完熟たい肥など有機物の施用

完熟たい肥など有機物の施用により、土壌の微生物の数を増やして微生物相を多様化することで、特定の病原菌や寄生性センチュウが偏らないようにします。土づくり対策の基本です。

②青刈作物（緑肥作物）の導入

本作の作付けの前に青刈作物を栽培しすき込みます。青刈作物としては、近縁の作物でない禾本（カホン）科植物が使用されます。例えば、ソルゴーや麦類（ヘイオーツなど）は生育旺盛で有機物も多いため有機物の供給源として適しており、土壌の物理性の改善に役立ちます。

また、マリーゴールドなどは、センチュウ密度を低減する作物（対抗作物）としてセンチュウ防除対策に役立ちます。

3) 土壌の養分の偏りや土壌の酸性化を防止する。

①土壌改良材（土づくり肥料）の施用

土壌分析を定期的に行い実施して土壌の養分の過不足を把握し、不足した成分についてはその成分を含む土づくり肥料を施用し改良します。堆肥を施用していない圃場は、特に微量元素欠乏が発生することがあるので注意してください。

また、フザリウム菌など糸状菌は酸性土壌を好み、土壌が酸性になると根こぶ病などの病害が発生しやすくなります。アルカリ分を含む土づくり肥料を施用し酸度を矯正します。

4) 土壌消毒で病原菌や害虫を除菌・駆除する。

連作障害が発生した場合、短期間に回避する必要があるため、土壌を消毒することで、増えてしまった病原菌や害虫を死滅させたり、密度を低下させたりします。

防除方法には、土壌消毒剤を使用する方法、熱を利用した太陽熱消毒、有機物と水を使用する土壌還元消毒などがあります。消毒効果を高めるためにそれぞれの処理方法を遵守してください。

2. 石灰窒素による連作障害対策

(1) 石灰窒素で土壌の有用菌を増やし病原菌を減らす

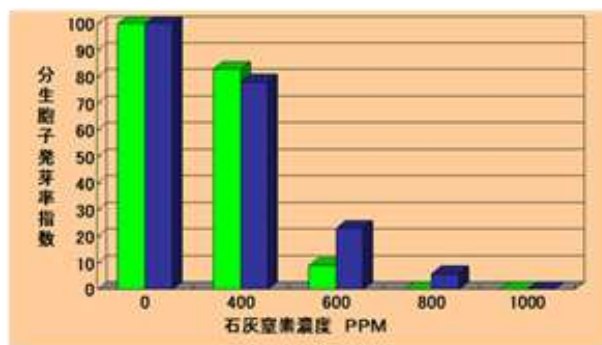
図2は、石灰窒素の土壌微生物に与える影響を示します。無施用では、細菌と放線菌の数に経時的な変化がみられませんが、糸状菌は増加しています。一方、石灰窒素を散布した区は、細菌と放線菌は明らかに増加し、糸状菌は減少しています。

一般的には、細菌や放線菌は有用菌が含まれ、糸状菌には病原菌が多く含まれることから、細菌／糸状菌（B/F）値の高いことが健全な土壌の指標の一つとなっており、石灰窒素の施用は有用菌の増加など微生物相の改善に役立つことが期待されます。



図2 石灰窒素の土壌微生物相に与える影響 (Soil Science vol.43-2,1937 C.M.HAENSELER AND T.R.MOYER)

図3は、難病といわれる萎黄病、萎凋病、つる割れ病の病原菌であるフザリウム菌に対する石灰窒素の発芽阻止力を示します。石灰窒素1000ppm(100kg/10a相当、深さ10cm)添加で、フザリウム菌の発芽を抑制することが報告されています(松田明：茨城県農業試験場)。



緑色が沖積砂壤土、青色が黒色火山灰土。

図3 石灰窒素のフザリウム菌 (Fusarium. Oxysporum分生胞子) に対する発芽阻止力

(2) 石灰窒素で酸度を矯正し、病気抵抗性を高める。

フザリウム菌など糸状菌は酸性土壌を好み、土壌が酸性になると根こぶ病などの病害が発生しやすくなります。石灰窒素は、生石灰とほぼ同等の土壌酸度矯正力を示すので、酸性土壌の改良に役立ちます。カルシウムは、細胞壁を強固にしたり、体内で有機酸など有害物質の中和に関与します。また、病害菌などが体内に入ると細胞質内のカルシウム濃度を高めることから、病気抵抗性に関与するといわれています。

石灰窒素の成分は窒素と石灰であるので、連用しても硫酸根などによる塩類が集積しません。

(3) 石灰窒素で病原菌や害虫を消毒・駆除する。

1) 石灰窒素単独施用による方法

連作障害に関連する代表的な害虫としては、センチュウ類と根こぶ病を引き起こす寄生性原生動物が挙げられます。このうち、アブラナ科植物に最も激しい被害をもたらす根こぶ病は、原生動物(Plasmiodiophora brassicae Wor.)を病原とする土壌伝染性病害であることが最近明らかになりました。

表2は、これらに関わる農薬登録の内容を示します。石灰窒素は病害虫と接触して防除効果を発揮しますので、土壌とよく混和して十分接触させる必要があります。

表2 国産石灰窒素の連作障害対策に関わる農薬登録一覧 2020年5月1日現在

作物名	適用病害虫(雑草)名	使用量(kg/10a)	使用時期	本剤の使用回数	使用方法
はくさい キャベツ	根こぶ病	100~200	は種前又は 植付前	1回	散布後土壌混和
野菜類	センチュウ類	50~100	は種前又は 植付前		散布後土壌混和

野菜類：豆類(種実)、豆類(未熟粒)、いも類を含む

次に、石灰窒素による根こぶ病とネコブセンチュウを防除した試験事例を紹介します。

①根こぶ病に対する防除効果の試験事例

表3 はくさいに対する根こぶ病の防除効果

	6月16日		7月11日		防除価
	発病株率(%)	発病度	発病株率(%)	発病度	
石灰窒素 200kg/10a	4.5	1.1	56.6	16.4	74.6
無処理	100	55.7	93.8	64.6	—

実施機関：秋田農林水産技術センター農業試験場(試験場内圃場、発生程度多)、2005年。

備考：調査株数20株、6月16日、7月11日に発病株率を調査し、発病度を算出した。

防除価 = [(無処理区の発病度 - 試験区の発病度) / 無処理区の発病度] × 100

品種：YR青春2号 定植：5月8日。

②ネコブセンチュウに対する防除効果の試験事例

表4 キュウリに対するネコブセンチュウの防除効果

	地上部重(g/本)	ネコブ指数	防除率	センチュウ頭数(頭/20g土)
石灰窒素 50kg/10a	925	33.8	42.5	28.5
無処理	741	58.8	—	79.0

実施機関：鳥取県園芸試験場 弓ヶ浜砂丘地分場(試験場内圃場、発生程度中)、2004年。

備考：調査株数20株(10株×2区)。9月9日に堀り上げ、地上部重およびネコブ程度を調査。

ネコブ指数は、野菜害虫殺虫剤圃場試験法に基づき算出。

土壌中のセンチュウ密度はバールマン・ロート法(土壌20g、48時間)で調査。

品種：あまい節成地這 定植：8月19日。

2) 太陽熱・石灰窒素法（耕種的防除法）

土壤病害虫を原因とする連作障害が激発する圃場では、石灰窒素だけでは限界があります。連作障害を短期間で回避したい場合は、太陽熱・石灰窒素法が役立ちます。太陽熱・石灰窒素法は、石灰窒素に、太陽熱、石灰窒素の有機物腐熟促進による発酵熱、灌水・密閉による土壤還元を組み合わせ、蒸し焼きの状態にして土壤病害虫を死滅させる防除方法で、センチュウ害はもちろん、トマト、ナスの青枯病やトマトの萎凋病など難病害対策に有効です。

この方法は、持続農業法の「持続性の高い農業生産方式」の化学農薬低減技術として認定されています。

①ハウスを利用した太陽熱・石灰窒素法

i) 作業手順の概要

土壤中に石灰窒素と有機物（稲わらなど）をすき込み、畝を立て、表面をマルチフィルムで覆い、畝間に灌水して、ハウスを密閉し、地温を40～70℃まで上昇させます。この期間を20～30日間（換算で40℃約100時間）継続します。この方法は夏季の高温期7～8月に実施するのが最適です。

図4、図5に、太陽熱・石灰窒素法の概念図と、ハウス内の地温の日変化の測定例を示します。

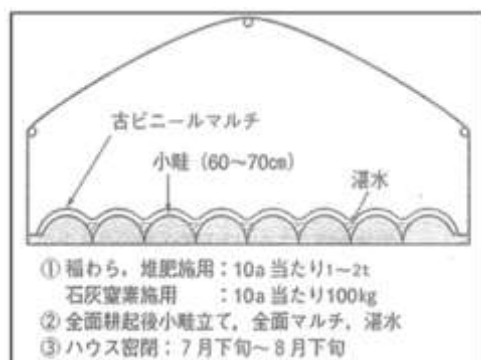


図4 ハウスでの太陽熱・石灰窒素法

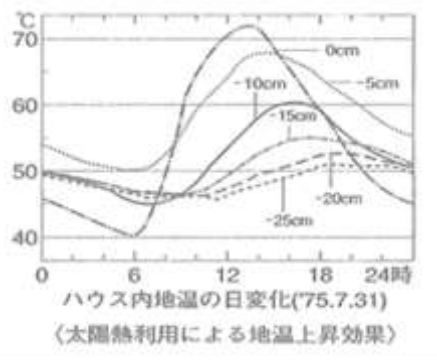


図5 ハウス内での地温の日変化

ii) 萎黄病に対する試験事例

表5はイチゴの萎黄病に対する試験結果を示します。フザリウム菌が大幅に減少し発病が抑えられています。

表5 イチゴの萎黄病に対する太陽熱・石灰窒素法の効果試験

	フザリウム菌数 ($\times 10^3$)	発病株率 (%)
石灰窒素・太陽熱	2.5	0.0
無処理	31.1	31.6

実施機関：愛知県総合農業試験場園芸研究所(1978年)。

栽培方法：密閉期間は7月8日～8月10日の33日間。定植は9月29日。

処理方法：稲わら 1t/10a、石灰窒素 100kg/10a 散布→耕耘→作畝→マルチ→灌水→密閉

②ハウスを利用した太陽熱・石灰窒素法の簡便法(事例)

静岡県の生産者（エコファーマー）の事例ですが、太陽熱・石灰窒素法の簡便法で、コマツナ周年栽培を行っています。その手順は、夏期に、ハウスで、米ぬか 455kg/10a、石灰窒素 76kg/10a を施用し、30cm くらいまで深耕した後、30分から1時間程度灌水し、10日間くらい密閉します。

マルチを敷かない簡易的な方法ではありますが、この方法でも十分に効果が得られており、16年間土壌病害虫が発生せず、石灰窒素が経営に役立っていると評価されています。

③露地栽培における太陽熱・石灰窒素法

太陽熱・石灰窒素法は、露地栽培でも、夏場の晴天下では透明フィルムでマルチするだけで、地温は上がる（地下10cmで40℃以上）ので、石灰窒素と米ぬか等の有機物を加え耕起し、灌水した後マルチをすることで、土壌消毒と土づくりができます。露地の場合は、消毒後は土を混和しないようにします。予め基肥に使う肥料も一緒に加えておき、消毒後はかき混ぜないでマルチ状態で放置し、そのまま植え付けや播種すると効果的です。

3. 石灰窒素を利用した連作障害対策（まとめ）

連作障害が生ずる原因は幾つか考えられますので、原因によって対応策も異なってきます。

(1) 代表的な連作障害の原因

- 1) 土壌中の病原菌が増加する
- 2) 土壌中で特定の害虫が土壌を優占化する
- 3) 土壌中の養分の偏りにより要素過剰・欠乏が生じたり、土壌の物理性や化学性が悪化する

(2) 石灰窒素による連作障害対策

1) 石灰窒素で土壌の病原菌や有害センチュウを減らす

石灰窒素の施用によって、土壌の有用菌を増やし、土壌の病原菌や有害（寄生性）センチュウを減らすことができます。また、完熟たい肥を作る時や青刈作物をすき込む際に石灰窒素を腐熟促進の目的に使うことで、土づくり効果と併せてより一層の効果が期待できます。

2) 石灰窒素で酸度を矯正し、根圏の環境を適正にする

酸性を示すなど化学性の悪い土壌や排水性など土壌の物理性が悪い土壌は、根の生育環境が悪くなり土壌病害や有害（寄生性）センチュウの被害を受けやすくなるので、しっかりと「土づくり」を行いましょう。特に、フザリウム菌など糸状菌は酸性土壌を好み、土壌が酸性になると根こぶ病などの病害が発生しやすくなります。しっかりと「土づくり」を行うために、石灰窒素は、農薬効果、酸度矯正能などの土づくり効果を発揮します。

3) 太陽熱・石灰窒素法で病原菌や害虫を消毒・駆除する

太陽熱・石灰窒素法は、石灰窒素に、太陽熱、石灰窒素の有機物腐熟促進による発酵熱、灌水・密閉による土壌還元を組み合わせた防除方法で、連作障害が激発する圃場や連作障害を短時間で回避したい場合に行います。基本的には夏季のハウスで行いますが、露地栽培にも応用できます。

以上、連作障害の原因と対策、石灰窒素による連作障害対策について紹介しました。

連作障害対策に、石灰窒素の利用をご検討ください。

以上