

# 水溶性糖類の施用がチンゲンサイ地上部硝酸イオン含量の低減化に対する効果

藤田 裕・植田稔宏

Effect of Water-soluble Carbohydrates Application on the Reduction of Nitrate Ion Concentration in Qing-geng-cai (*Brassica campestris L. var.chinensis*).

Yutaka FUJITA and Toshihiro UETA

## Summary

The effect of adding water-soluble carbohydrates to soil on the amount of immobilized inorganic N in the soil and the nitrogen status of vegetables was investigated in qing-geng-cai. The ammonium sulfate or potassium nitrate concentration in the soil was 500 mg N kg<sup>-1</sup>, and 10000 mg C kg<sup>-1</sup> of water-soluble carbohydrates was applied. The oxygen demand of the soil increased to 12 μg g<sup>-1</sup> within 14 h and decreased slowly; moreover, the inorganic nitrogen content in the soil decreased rapidly 3 days after application of these carbohydrates. When these water-soluble carbohydrates were applied 14 days before harvest of qing-geng-cai, the nitrate content decreased to about 55% that of the control plot. Moreover, the nitrate content of the soil after harvest was 28% that of the control plot. Thus, addition of water-soluble carbohydrates to the soil before harvest was effective for reducing the nitrate content of qing-geng-cai.

キーワード：硝酸イオン，水溶性糖類，微生物バイオマス，窒素有機化，葉菜類

## I. 緒言

チンゲンサイなどの葉菜類に含まれる硝酸イオンは、人体内で還元され亜硝酸塩に変化すると、メトヘモグロビン血症や発ガン性物質であるN-ニトロソ化合物の生成に関与するおそれがあり、その摂取量は少ない方が望ましい（安田，2004；米山，1982）とされている。

一方、還元された亜硝酸塩は殺菌効果があり感染症を防ぐことから、むしろ有益である（J. リロンデル・J-L. リロンデル，2006）という報告もあり、必ずしも一定の結論を得ていない。

しかし、植物体内の硝酸イオンと糖・アスコルビン酸含量には負の相関関係が認められている（建部ら，1995；藤原ら，2005）ことから、高品質な野菜生産において地上部硝酸イオンを低減化する必要性は高いと

考えられる。

土耕栽培において窒素施肥量を減らすと、地上部硝酸イオン濃度は低減するが、同時に生育が劣り葉の黄化も起こりやすいという問題がある。一方、吉田ら（1998）は、ハウレンソウを材料とした水耕栽培において、栽培後期に養分を中断処理した培養液をカリウムのみ添加した水に切り替えることにより可食部硝酸イオン濃度が対照区と比較して1/10まで低下したと報告している。すなわち地上部硝酸イオン濃度の低減は、植物に供給する窒素を一定の生育量になるまでは十分に与え、栽培後期に極端に抑制するという管理が有効である。このように、ある時期から窒素供給量を極端に抑制するという管理は、水耕栽培では養液を窒素成分の含まないものに交換するという手法で比較的容易に行うことが出来る。しかし、葉菜類栽培の大部分を占める土耕栽培では栽培中の土壌から意図的に窒

素成分を除去することは極めて困難と考えられる。

そこで、土耕栽培において、生育期間は十分な窒素供給を行い、収穫期直前に土壌に水溶性糖類を施用することにより土壌中の無機態窒素を微生物バイオマスとして有機化させ、植物への無機態窒素の供給を抑制する栽培管理の効果について検討した。

表1 供試土壌<sup>1)</sup>の化学性

土壌	pH (KCl)	EC S m <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N	可給態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	交換性		
					CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
					mg kg <sup>-1</sup>		
淡色黒ボク土	6.6	0.02	14.8	786	5,980	938	1,010

1) 県内笠間市で採取

## 2. 土壌中の微生物バイオマス活性

水溶性糖類の施用が土壌中の微生物バイオマス活性に及ぼす影響について明らかにするため、微生物バイオマスの増加の指標として土壌の酸素消費量を測定した。

土壌の酸素消費量の測定には酸素消費量計（コンポテスター、富士平工業）を使用した。

500ml容の金属製容器に乾土30g相当量の湿潤土を秤りとり、土壌の窒素濃度が500mg kg<sup>-1</sup>となるように硫酸アンモニウムを70.8mg（窒素量として15mg）混和した。スクロース区（以下Su区）には、土壌の炭素濃度が10,000mg kg<sup>-1</sup>となるようにSuを713.1mg（炭素量として300mg）施用した。また、Suを施用しない対照区を設けた。土壌の含水率は各区とも最大容水量の60%に調整した。

試験区をそれぞれ調整した後、直ちに35℃に保たれているコンポテスターの測定ユニットに金属容器を入れ、最初の30時間は1時間ごとに、31時間以後100時間までは定期的に酸素消費量を測定した。

## 3. 静置培養実験

水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素量に及ぼす影響を明らかにするため、窒素を含む土壌を畑状態で恒温器を用いて静置培養し、水溶性糖類添加後の無機態窒素量の推移を測定した。

まず、乾土12g相当量の湿潤土を100ml容の広口ビンに入れ、土壌の窒素濃度が500mg kg<sup>-1</sup>となるように硝酸カリウムを46.6mg（窒素量として6mg）加えた。また土壌の炭素濃度が10,000mg kg<sup>-1</sup>となるようにSu区はSuを285mg、グルコース区（以下Glu区）はgluを422mg、フルクトース区（以下Flu区）はfluを422mgとそれぞれ加え、また、対照区は無施用とした。なお、土壌の含水率は、各区とも最大容水量の60%に調整した。その後、それぞれのビン口をポリエチレンフィルムで閉じ、30℃で最長7日間静置培

## II. 材料および方法

### 1. 供試土壌

県内笠間市で採取した淡色黒ボク土を湿潤状態のままメッシュサイズ2mmのふるいに通して供試した。土壌の化学性は表1のとおりである。

養した。試験規模は1区3反復とした。

培養開始後1日ごとに、土壌を2molL<sup>-1</sup>塩化カリウム（土壌：溶液は重量比で約1：10）で浸出し、蒸留法（日本土壌協会、2001）でオートアナライザー（KJELTEC AUTO 1030 Analyzer, tecator）を用いアンモニア態窒素量および硝酸態窒素量を測定し、その合計量を無機態窒素量とした。

### 4. 栽培実験

#### 1) 栽培方法

収穫期直前の水溶性糖類の施用がチンゲンサイの体内硝酸イオン含量に及ぼす影響を明らかにするため、栽培試験を行った。

硫酸アンモニウムを9.5g（Nとして2g）、リン酸は過リン酸石灰を11.8g（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>として2g）、カリウムは塩化カリウムを3.3g（K<sub>2</sub>Oとして2g）を施用し、混和した土壌を1/5000aワグネルポットに充填した。2006年8月20日に各ポットにチンゲンサイ‘ニイハオ新1号’を6粒播種し、発芽後3個体に間引いた。

栽培は温室内で、かん水には蒸留水を用い、播種後41日間栽培した。収穫14日前に、Su区はSu95g（炭素として40g）を水溶液として200mlをかん水し、対照区は蒸留水200mlをかん水した。試験規模は、1区6反復とした。

#### 2) 植物体硝酸イオンの分析

植物体は午前9時から午前10時の間に収穫し、直ちに分析に供した。硝酸イオン濃度の測定は、地上部約40gに蒸留水200mlを加え、フードミキサーにより1分間均質化し、遠心分離（10,000rpm, 30分）した後、ろ紙（No.5C）でろ過した抽出液を分析に用いた。抽出液の硝酸イオン濃度は、小型反射式光度計システム（RQフレックス、メルク社）を用いて測定した。

#### 3) 収穫跡地土壌の硝酸態窒素分析

栽培跡地の土壌中硝酸態窒素含量は、風乾土10g

に蒸留水 50ml を加え、60 分間振とうした後、イオンクロマトグラフシステム (L-7470, 日立製作所) で測定した。

### Ⅲ. 結果

#### 1. スクロース施用が土壤バイオマスの活性に及ぼす影響

図 1 に培養土壌の酸素消費量の推移を示した。対照区は、培養期間全体を通じて大きな変化は無く、酸素消費量はきわめて低いレベルで推移した。一方、Su 区は、培養開始 1 時間後から急速に酸素消費量が増大し、最高  $12 \mu\text{g g}^{-1} \text{min}^{-1}$  を示した。15 時間以降は減少を始め、25 時間以降からは徐々に減少した。これは、火山灰土壌にグルコースを基質として加えた実験結果 (石沢・田辺, 1969) とほぼ一致する傾向であった。

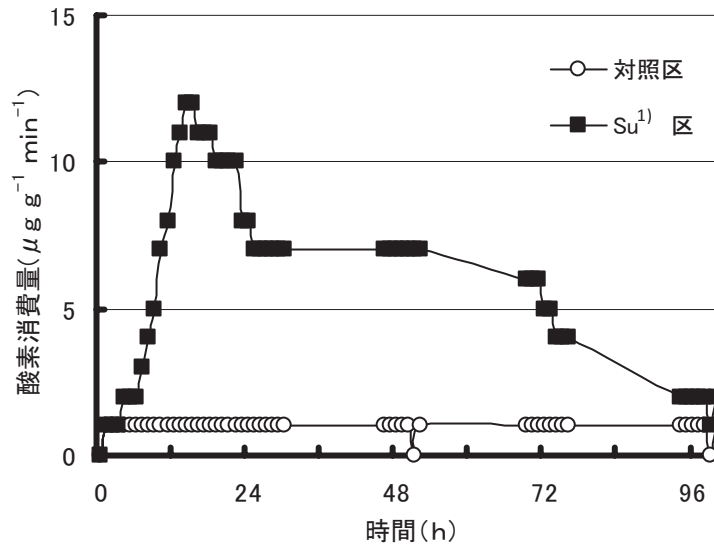


図 1 スクロース施用が土壤酸素消費量に及ぼす影響  
酸素消費量は、酸素消費量計 (コンポテスター, 藤平工業) で測定した。  
1) Su はスクロースを示す。

#### 2. 水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素含量に及ぼす影響

水溶性糖類であるスクロース、グルコースおよびフルクトースの施用が土壌中の無機態窒素含量に及ぼす影響について、経日変化を図 2 に示した。

対照区の土壌の無機態窒素量は、2 日目までやや減

少し  $400 \text{mg kg}^{-1}$  となった後、4 日目まで増加し、5 日目以降は  $530 \text{mg kg}^{-1}$  前後で横ばいに推移した。一方、Su 区の無機態窒素量は、3 日目までに大きく減少し、4 日目以降は低いレベルで横ばいに推移し 7 日目には  $29 \text{mg kg}^{-1}$  まで減少した。Glu 区および Flu 区は、Su 区とほぼ同様の傾向を示した。

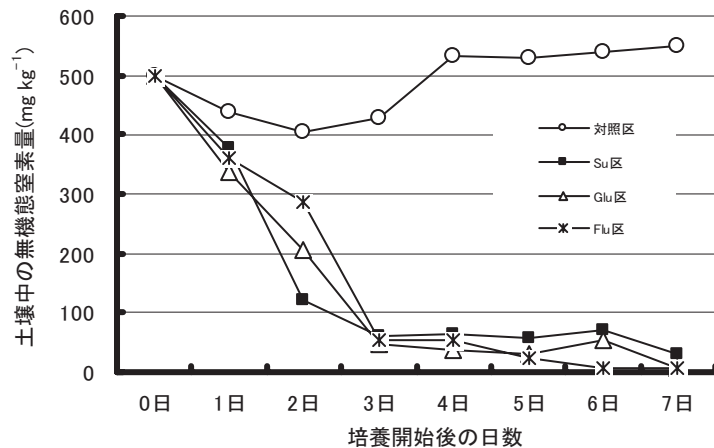


図 2 水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素含量に及ぼす影響  
土壌中の無機態窒素量は蒸留法で測定した。

### 3. スクロース施用が植物体内硝酸イオン含量および 土壌中の硝酸態窒素含量に及ぼす影響

植物体内硝酸イオン含量を図3に示した。対照区の硝酸イオン含量は平均で  $3,842\text{mg kgFW}^{-1}$  であった。一方、スクロースを収穫14日前に施用したSu区の硝酸イオン含量は、平均で  $2,104\text{mg kgFW}^{-1}$  となり、対照区と比較して有意に低下した。低減割合は、対照区の硝酸イオン含量を100とするとSu区は54.8で

あった。

収穫時の地上部新鮮重は、対照区で  $155.4\text{g}$  となったのに対し、Su区  $125.6\text{g}$  と有意に低下した(図4)。低減割合は、対照区を100とするとSu区は80.8であった。

収穫跡地土壌の硝酸態窒素含量は、対照区が  $28.3\text{mg kg}^{-1}$  に対し、Su区は  $8.0\text{mg kg}^{-1}$  と有意に低下した(図5)。

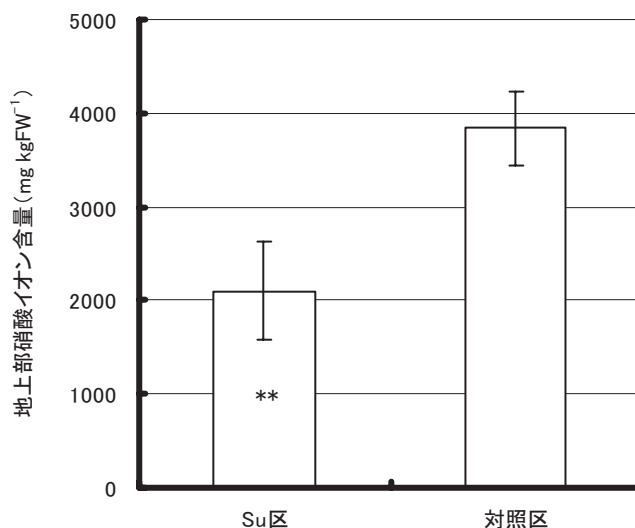


図3 スクロース施用が地上部硝酸イオン含量に及ぼす影響  
\*印は、t検定により対照区と比較して有意差があることを示す。\*\*は有意水準1%、エラーバーは標準偏差を示す。(n=6)

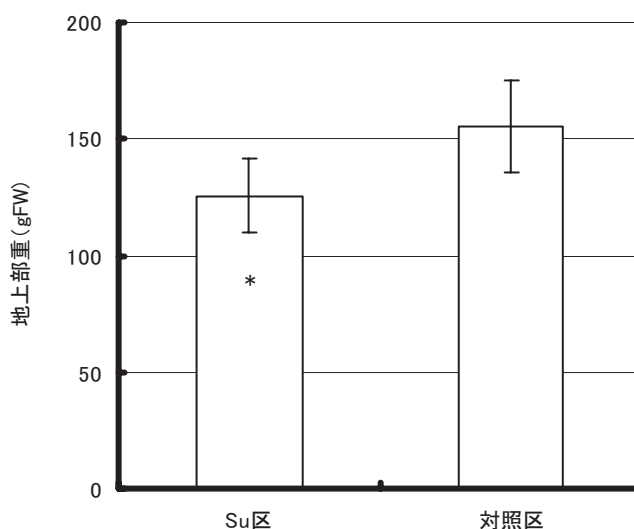


図4 スクロース施用がチンゲンサイ地上部重に及ぼす影響  
\*印は、t検定により対照区と比較して有意差があることを示す。\*は有意水準5%、エラーバーは標準偏差を示す。(n=6)

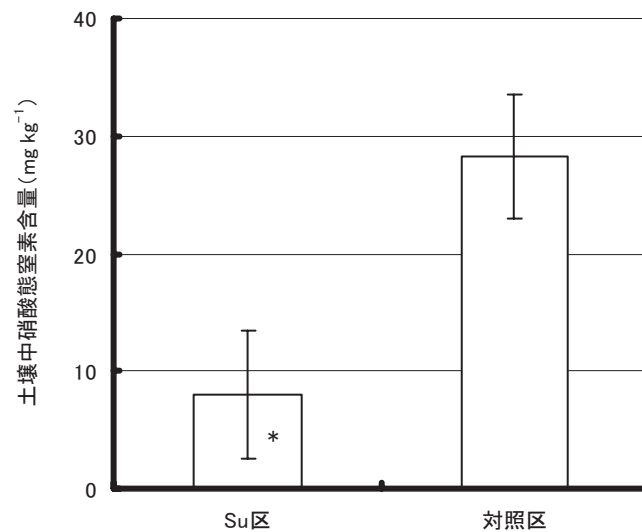


図5 スクロース施用が栽培跡地土壌の硝酸態窒素含量に及ぼす影響  
\*印は、t検定により対照区と比較して有意差があることを示す。\*は有意水準5%，エラーバーは標準偏差を示す。(n=6)

#### Ⅳ. 考察

##### 1. 土壌微生物活性と窒素の形態変化

一般的に、スクロースなどの水溶性糖類は、土壌微生物に呼吸基質として速やかに利用される。

土壌の酸素消費量は、基質を添加した場合、微生物の存在量に関係づけられ(石沢・田辺, 1969), また一部の土壌を除いて土壌微生物の増殖を最も強く制限している要因は炭素源としての有機物である(西尾, 1986)ことから、本報告でSu区の酸素消費量が開始後14時間までに急速に増加した要因は、微生物バイオマスがスクロースを炭素源として利用して増殖したためと考えられる(図1)。

一方で、土壌中の無機態窒素と微生物バイオマスの関係は、新鮮な有機物を施用していない畑土壌では土壌微生物による硝酸態窒素の取り込み活性は非常に低い(Nishio *et al.*, 1993)が、炭素率の高い有機物の施用下では微生物バイオマスに取り込まれる無機態窒素量が著しく増加するため、土壌はいわゆる窒素飢餓の状態になる。

このことから、本報告で無機態窒素が十分に存在する条件下においてスクロース、グルコースおよびフルクトースを施用した場合に処理後3日目までに土壌の無機態窒素含量が大きく低下した要因は、微生物バイオマスの増加とそれに伴う窒素の取り込みによるものと考えられる(図2)。

つまり、水溶性糖類の施用は、微生物バイオマスを増加させ、それに伴って土壌中の無機態窒素の大部分

を微生物バイオマスとして速やかに有機化させたと考えられる。

##### 2. 水溶性糖類の施用と植物体内硝酸イオン含量の関係

植物は、主にアンモニア態や硝酸態などの無機態窒素を吸収・利用している。また、微生物バイオマスに有機化された窒素は、2:1型鉱物に固定された窒素などよりも作物に吸収されにくい(Preston, 1982)という報告もある。植物体内の硝酸イオン含有率と施肥窒素との間には正の相関があることが一般的に知られており、水耕栽培による生育後期の養分中断処理(吉田ら, 1998)や土耕栽培による土壌中の窒素成分を考慮した窒素診断施肥(加藤ら, 2008)により可食部硝酸イオン含有率を低下できるという報告がある。

本報告で、地上部の植物体内硝酸イオン含量が減少した要因は、収穫の14日前に土壌にスクロースを施用した結果、微生物バイオマスが増加しそれに伴い土壌に残存した無機態窒素が有機化し、植物の窒素吸収を抑制させたためと考えられる。また、収穫跡地土壌の硝酸態窒素含量がSu区で低い値であったことから(図5)、スクロース施用による土壌の無機態窒素の低減効果は収穫期まで維持できたと考えられる。

一方で、Su区の地上部重が対照区と比較して有意に低い値となったことから(図4)、無機態窒素を有機化して吸収を抑制する時期が早すぎた可能性がある。静置培養実験から、水溶性糖類施用による窒素の有機化に要する時間は30℃条件で3日程度と考えられることから(図2)、実際の栽培においてスクロース処理の時期をさらに遅くすることは可能であり、今後水溶性

糖類施用の実用化を図る上での検討事項である。

なお、炭素源の消耗に伴って微生物が死滅すると、微生物バイオマス態窒素は徐々に無機化されて、いずれ植物に吸収されると考えられる。微生物バイオマス態窒素の代謝回転速度は腐植と比べてはるかに速く、年間に複数回作付けする葉菜類においては次作への影響を考慮する必要がある、これについてもさらに検討する必要がある。

## V. 摘要

水溶性糖類の施用が土壌中の無機態窒素の有機化に及ぼす影響や、チンゲンサイ栽培における水溶性等類の施用が作物体内の窒素栄養条件に及ぼす影響を検討した。

土壌の窒素濃度を  $500\text{mg kg}^{-1}$  になるように硫酸アンモニウムまたは硝酸カリウムで施用し土壌の炭素濃度が  $10,000\text{mg kg}^{-1}$  となるように水溶性炭素を施用して畑状態で培養した結果、土壌の酸素消費量は開始後14時間までに急速に増加し最高  $12\mu\text{g g}^{-1}\text{min}^{-1}$  になった後緩やかに低下した。また、そのときの土壌中の無機態窒素含量は、開始後3日間で急速に減少した。

チンゲンサイのポット栽培において、収穫14日前に土壌にスクロースを施用した結果、チンゲンサイの地上部硝酸イオン含量は対照区の約55%に低減した。また、収穫跡地土壌の硝酸態窒素含量は対照区の約28%であった。

以上のことから、土耕栽培におけるチンゲンサイの地上部硝酸イオン含量を低減させる方法として、収穫期の前に水溶性糖類を施用することが有効と考えられた。

## 引用文献

1. 石沢修一・田辺市郎. 1969. 土壌の微生物活性. 農技研報 B. 21 : 115 - 155.
2. 藤原隆広・熊倉裕史・大田智美・吉田祐子・亀野貞. 2005. 市販ハウレンソウの L-アスコルビン酸および硝酸塩含量の周年変動. 園学研. 4 (3) : 347 - 352.
3. J. リロンデル・J-L. リロンデル. 2006. 硝酸塩は本当に危険か (越野正義訳). pp. 65 - 125. 農文協. 東京.
4. 加藤一幾・植田稔宏・松本英一. 2008. 黒ボク土地域の高温期コマツナ施設栽培における可食部硝酸イオン濃度の低減化. 園学研. 7 (3) : 345 - 350.
5. 日本土壌協会編. 2001. 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質及び植物体分析法. pp. 75 - 79. 日本土壌協会. 東京.
6. 西尾道徳. 1986. 植物養分の貯蔵源・供給源としての土壌微生物菌体. 農業技術. 41 (7) : 307 - 311.
7. Nishio, T・Sekiya, H・Kogano, K. 1993. Transformations of nitrogen fertilizer in plant-soil system with special attention to the comparison between submerged condition and upland field condition. *ibid.* 40 : 1 - 8.
8. Preston, C.M. 1982. Availability of residual fertilizer nitrogen immobilized as clay-fixed ammonium and organic N. *Can. J. Soil Sci.* 62 : 479 - 486.
9. 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克. 1995. 窒素施肥がハウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66 : 238 - 246.
10. 安田 環. 2004. 野菜の硝酸濃度とその低減対策. 農及園. 79 : 647 - 651.
11. 米山忠克. 1982. 空気, 土, 水, 植物における硝酸, 亜硝酸, N-ニトロソ化合物. 保健の科学. 24 : 725 - 729.
12. 吉田 敦・原田和夫・菅原彰敏・但野利秋. 1998. 水耕ハウレンソウの糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有量に及ぼす養分中断処理の効果と問題点. 土肥誌. 69 : 178 - 184.