

## 栄養生長段階インゲンの窒素吸収・根粒着生状況・窒素固定 活性・根粒可溶性全糖濃度の推移

|       |  |
|-------|--|
| 誌名    | 日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan |
| ISSN  | 00290610   |
| 巻/号   | 642  |
| 掲載ページ | p. 118-125   |
| 発行年月  | 1993年4月  |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



# 栄養生長段階インゲンの窒素吸収・根粒着生状況・窒素固定活性・ 根粒可溶性全糖濃度の推移——ダイズとの比較でみた特徴——\*

有馬 泰 紘\*\*

キーワード インゲン, ダイズ, 根粒, 窒素固定, 重窒素

## 1. はじめに

マメ科作物根粒の窒素固定能は、多様な生物的窒素固定のなかでも面積当たり活性が高く、その有効利用は農業上の重要な課題である。

わが国の主要なマメ科作物の一つであるインゲンでは、ダイズに比べ根粒着生が悪く窒素固定能も低いことが報告されており、インゲンへの窒素供給を根粒に依存することはダイズの場合に比べて難しいとされている<sup>1-5)</sup>。また、インゲンは基肥窒素施用量が多く初期生育がやや窒素過剰で開花期以降の体内窒素水準が高いほうが収量水準が高いこと<sup>1)</sup>、施肥反応の点では、インゲンは根粒着生系統のダイズよりは根粒非着生系統のダイズに似ていることが報告されている<sup>6)</sup>。これらの点から、実際の栽培にあたってはダイズの場合よりもやや多い化合態窒素を基肥として施用することや、開花始め以降の窒素追肥が推奨されている<sup>1,5)</sup>。圃場におけるインゲン栽培において根粒の着生が乏しく、その窒素固定活性が不安定であって窒素給源としてこれに依存することが困難であるという事例は、外国においても広く認められている<sup>7)</sup>。

一方、化合態窒素の多投がマメ科植物根粒の着生や窒素固定能力を少なくとも一時的には阻害することは広く知られており<sup>8-11)</sup>、インゲン栽培における基肥窒素や追肥窒素の多量の投入は根粒窒素固定能の有効利用をさらに難しいものにしていく可能性も考えられる。インゲン栽培において、現在の収量水準を下げることなくダイズ栽培におけると同程度の根粒窒素固定能の利用率を実現するためには、ダイズに比べて劣るとされている生育初期の根粒着生や窒素固定能の発達が何に制限されている

のか、また、開花期以降の窒素給源として根粒が十分に機能しない原因は何かを明らかにし、その制限要因を取り除く技術的展望をもつことが必要である。このような観点から研究を進める場合、とくに、インゲンの化合態窒素利用性と根粒発達とがどのように関連しているのかを明らかにすることは、前述の事情に照らしても重要であろう。

本報においては、経根吸収される化合態窒素の施肥水準が低く制限された条件下でのインゲンとダイズの生育、根粒発達と窒素固定能、経根吸収窒素利用性を生育初期について比較し、これらの点についてのインゲンの特徴を明らかにするとともに、圃場栽培インゲンで観察されている根粒発達の貧弱さが、条件的なものかあるいは条件によらず絶対的なものかについて検討する。

## 2. 実験方法

### 1) 栽培と試料採取

インゲン (*Phaseolus vulgaris* L.) 品種ヒメテボウおよびダイズ (*Glycine max* Merr.) 品種エンレイの種子を次亜塩素酸ナトリウム溶液 (有効塩素濃度  $6 \text{ g L}^{-1}$ ) で5分間表面殺菌し、それぞれに根粒 (*Rhizobium leguminosulum* biovar *phaseolii* NOKO-301 または *Bradyrhizobium japonicum* PNT-119) 濃厚懸濁液を接種し、人工パーミキュライト (吉野石膏 No. 2) を充填した  $10^{-6} \text{ ha}$  ポットに播種した。基肥窒素はポット当たり  $20 \text{ mg}$  とし、 $^{15}\text{N}$  濃度  $5.08 \text{ atom } \%$  の硫酸アンモニウムを施用した。他の養分については、 $\text{P}_2\text{O}_5$   $100 \text{ mg}$  ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  の形態で。以下同じ)、 $\text{K}_2\text{O}$   $122 \text{ mg}$  ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  および  $\text{K}_2\text{SO}_4$ )、 $\text{CaO}$   $202 \text{ mg}$  ( $\text{CaCl}_2$ )、 $\text{MgO}$   $81 \text{ mg}$  ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ ) のほか微量要素も施用した。播種後42日間、ポット当たり2個体植え3連制でガラス室で栽培し、栽培期間中ポットの水分条件が最大用水量の60%程度となるように、毎日蒸留水を供給した。根粒が肥大し、活発な窒素固定を示し始めている播種後26日目と、根粒の成長がさらに進んでいるが、本実験条件下では両

\* 本報告の一部は1987年北海道大会で口頭発表した。本研究は、十勝農業共同組合連合会の援助を受けて行われた。

\*\* 東京農工大学農学部 (183 府中市幸町 3-5-8)

1992年5月19日受理

日本土壌肥科学雑誌 第64巻 第2号 p.118~125 (1993)

植物種ともまだ栄養成長段階にある 42 日目に試料の採取を行った。採取は、まず地上部を切断採集し、続いて地下部を採取して、既報の方法<sup>10)</sup>により直ちにアセチレン還元活性 (ARA) の測定を行った。

2) 植物体の分析

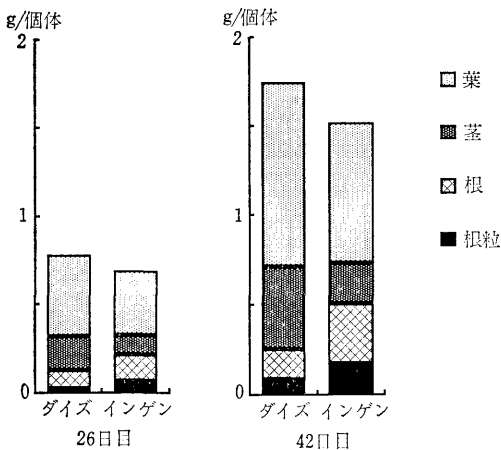
地上部は 80°C で 48 時間通風乾燥して、茎と葉に分け乾物重、全窒素量、重窒素濃度の測定に供した。根粒着生根は、ARA 測定後直ちに洗浄して 4°C で冷蔵し、1 ポット分ずつ順次水中で根粒と根に分離し、それぞれ 0.8 L L<sup>-1</sup> 熱エタノールで抽出して可溶性画分と不溶性画分に分離した。不溶性画分は、地上部試料と同様にして乾燥し分析に供した。可溶性画分については、フェノール-硫酸法<sup>12)</sup>による全糖の定量を行った。全窒素量の測定には硫酸-過酸化水素による湿式分解<sup>13,14)</sup>とマイクロ通気蒸留法<sup>15)</sup>を用い、重窒素濃度の測定には発光分光法<sup>16)</sup>を用いた。

3. 実験結果

乾物の器官別分布を第 1 図に示した。植物体の生育量は、インゲンのほうがやや小さかったが、26 日目から 42 日目にかけての乾物増加量は、インゲンとダイズで

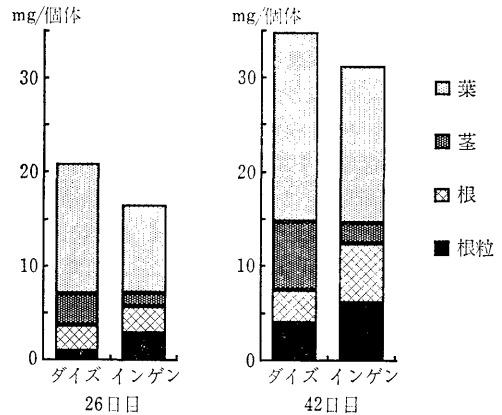
ほぼ等しかった。インゲンでは、ダイズに比べ根と根粒の割合が大きく、葉と茎の割合が小さいが、この関係は 26 日目でも 42 日目でも変わらなかった。

植物体窒素の器官別集積量を第 2 図に示した。絶対量の分布は、全体として乾物の分布と似たパターンを示していたが、器官別分布割合として比較すると、両植物とも乾物と窒素では異なる。この相違は各器官の窒素含有率とその推移 (第 1 表) に反映され、植物種の特徴がみられた。すなわち、26 日目では根粒の窒素含有率は両植

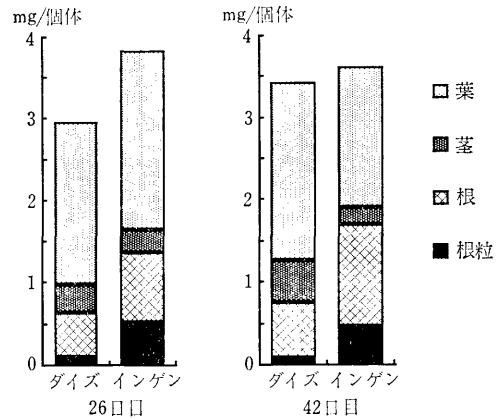


第 1 図 インゲンとダイズにおける乾物\*の集積と器官別分布

\* 根と根粒は抽出残渣の乾物



第 2 図 インゲンとダイズにおける全窒素の集積量と器官別分布



第 3 図 インゲンとダイズにおける施肥窒素の吸収量と器官別分布

第 1 表 各器官の窒素含有率 (%)

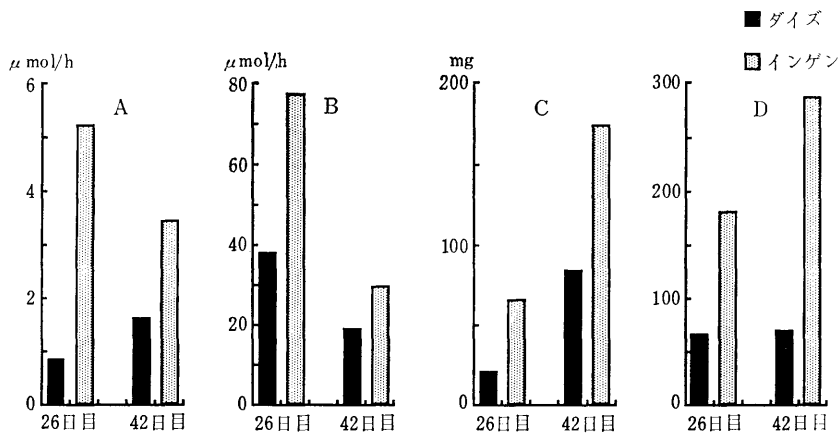
| 植物種  | 播種後日数 | 根粒        | 根         | 茎         | 葉         |
|------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| インゲン | 26    | 4.24±0.05 | 1.97±0.17 | 1.24±0.17 | 2.62±0.20 |
|      | 42    | 3.52±0.24 | 1.93±0.10 | 0.96±0.12 | 2.13±0.31 |
| ダイズ  | 26    | 4.32±0.08 | 2.57±0.21 | 1.73±0.13 | 3.07±0.35 |
|      | 42    | 4.64±0.29 | 2.13±0.08 | 1.55±0.26 | 1.96±0.09 |

物ではほぼ等しかったが、他の器官ではダイズのほうが明らかに高い値を示し、42 日目ではダイズは根粒以外の器官の窒素含有率が 26 日目に比べて顕著に低下したのに対しインゲンでは根粒と茎での低下が顕著であった。

施肥窒素の吸収量と器官別分布を第 3 図に示した。インゲンは 26 日までに施肥窒素の 35% 以上を吸収しその後新たな吸収を示さなかったのに対し、ダイズでは 26 日目で 30% 弱、42 日目で 35% 弱の吸収率であった。両植物とも、26 日目では吸収窒素の過半は葉に分布していたが、42 日目ではダイズで茎への分布量が顕著に増加したほかは 26 日目と大差がなかったのに対し、インゲンでは葉への分布量が減少し根への分布量が顕著に増加して 26 日目とは明らかに異なる分布パターンを示した。各器官の、全窒素に対する施肥由来窒素に由来する窒素の割合（以下、FN/TN 比と略す）は第 2 表のとおりであった。26 日目では、どの器官においてもダイズに比べインゲンでの割合が顕著に高く、42 日目ではインゲンでの割合が 26 日目に比べてどの器官でも低下し、葉と根ではダイズと同程度の割合を示した。ダイズでは 26 日目から 42 日目にかけて、葉、茎およびとくに根粒での割合が低下したが、根ではわずかな低下にとどまった。

根粒重、根粒数、根粒アセチレン還元活性を第 4 図に示した。植物体全体の重量はインゲンのほうがダイズよりもやや小さいにもかかわらず（第 1 図）、根粒重は 26 日目でも 42 日目でもインゲンはダイズの 2 倍以上を示し、根粒数はそれ以上に大きな差を示した。根粒重は、いずれの植物でも 26 日目から 42 日目にかけて著しく増加したが、根粒数は、この間にインゲンでは明確に増加したのに対しダイズではほとんど増加しなかった。ポット当たりの ARA は、いずれの時期でもインゲンのほうが顕著に高かったが、26 日目から 42 日目にかけてダイズでは増加したのに対しインゲンでは減少した。根粒重当たりの ARA もインゲンのほうが高かったが、26 日目から 42 日目にかけて両植物とも低下し、とくにインゲンでの低下が急激であった。

根と根粒の乾物重当たり可溶性全糖濃度を第 5 図に示した。根では、26 日目ではインゲンのほうが高かったが、26 日目から 42 日目にかけてダイズの濃度が上昇し 42 日目では両植物間で大差はなくなった。根粒は根よりも高い値を示し、26 日目ではインゲンのほうが高く、26 日目から 42 日目にかけてダイズで上昇しインゲンで低下したことにより、42 日目ではインゲンのほうが明らかに低くなった。



第 4 図 インゲンとダイズの窒素固定活性と根粒重・根粒数

A: 個体当たりアセチレン還元活性, B: 根粒乾物 1g 当たりアセチレン還元活性,  
C: 個体当たり根粒乾物重, D: 個体当たり根粒数。

第 2 表 各器官の全窒素に対する施肥由来窒素の割合

(%)

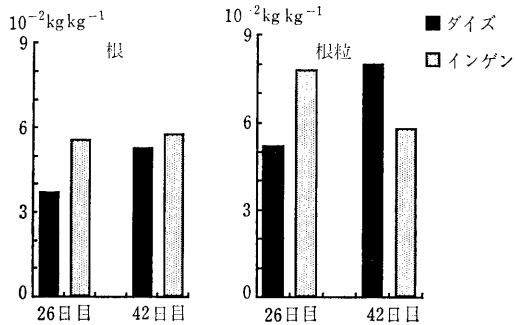
| 植物種  | 播種後日数 | 根粒       | 根        | 茎        | 葉        |
|------|-------|----------|----------|----------|----------|
| インゲン | 26    | 20.1±5.3 | 29.2±3.7 | 20.1±1.8 | 23.3±4.6 |
|      | 42    | 7.6±1.6  | 19.8±3.0 | 9.4±0.4  | 10.2±1.0 |
| ダイズ  | 26    | 11.2±0.9 | 20.1±0.6 | 10.0±2.1 | 14.2±1.0 |
|      | 42    | 2.2±0.5  | 18.7±1.6 | 7.0±1.1  | 10.8±1.4 |

42 日目のインゲンでのみ、やや大きな青色の失活根粒が認められた。この段階のインゲンでは同時に小さな桃色の根粒と比較的大きな赤色根粒が認められ、これらの外見上異なる根粒について比較した(第6図)。数としては、小さな桃色の根粒が最も多かったが、乾物重では、赤い活性をもつと思われる根粒群が圧倒的に大きかった。全窒素量も乾物重と同様に赤色根粒群が最も大きく青色根粒群が最も小さかった。根粒群中の施肥由来窒素量も全窒素量と同じ順番であったが、3群間での比率は全窒素量とは異なり、全窒素量に対する施肥由来窒素量の比率は、青色根粒群が最も高く、桃色根粒群ではそ

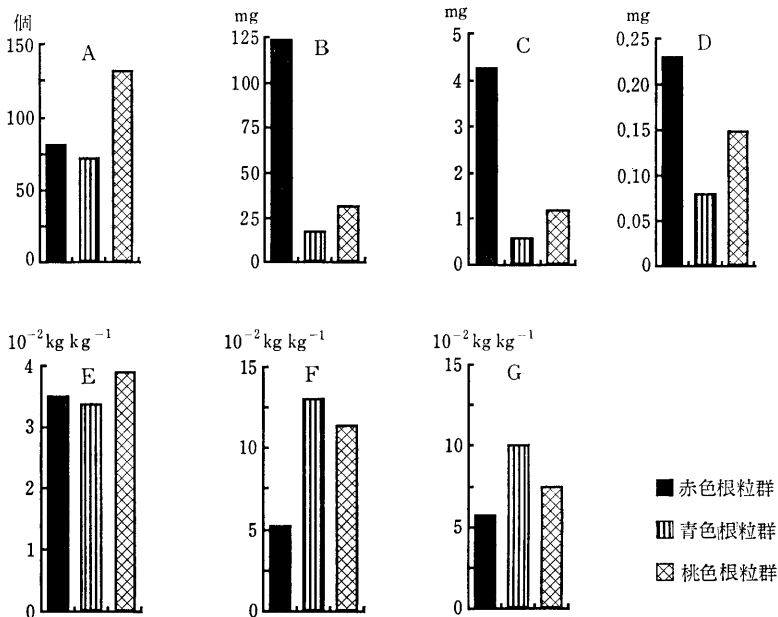
れよりもやや低く、赤色根粒群は他の2群より著しく低かった。乾物重当たりの可溶性全糖濃度は、青色根粒群、桃色根粒群、赤色根粒群の順に高く、その差は明瞭であった。

#### 4. 考 察

本実験で用いたインゲン品種ヒメボウは、種子一粒重が比較的小さく、ダイズ品種エンレイのそれと近い。インゲンとダイズの比較にあたって、両植物種の初期生育量に大差が生じないようにこのような品種の選定を行い、おおむね目的を達したが、草型は両植物間でかなり異なっていた。インゲンでは、植物体全乾物中に占める根の割合がダイズに比べて大きく、この特徴は実験後期のほうがより顕著になった。本実験の条件下では、根粒の割合もインゲンのほうが著しく大きかったが、インゲン根粒重対ダイズ根粒重の比は、実験後期のほうがむしろ小さかった。一般に窒素欠乏植物では、S/R比が小さくなる傾向があることはよく知られているが、ここでみられた特徴が、インゲン種子の窒素含有率がダイズ種子のそれよりも小さいこととも関係している可能性が考えられる。実際、インゲンの根の窒素含有率は、26日目の段階ではダイズよりも顕著に低く42日目の値とほとんど変わらなかったが、ダイズの根では、26日目から42



第5図 インゲンとダイズの根と根粒の可溶性全糖質量分率(乾物重当たり)



第6図 外観の異なる42日目インゲン根粒3種類の比較

A: 個体当たり根粒数, B: 個体当たり根粒乾物重, C: 個体当たり根粒全窒素量, D: 個体当たり根粒含有施肥由来窒素量, E: 乾物当たり全窒素質量分率, F: 施肥由来窒素質量分率(FN/TN), G: 可溶性全糖質量分率(乾物重当たり)。

日目にかけて明らかな低下が認められ、相対的にダイズでは生育初期に、より窒素に富んでいたと考えられる。

基肥として与えた窒素の吸収速度は、植物体の大きさは反対にインゲンのほうが大きく、26 日目にはすでに吸いきりの状態であったと考えられるが、この現象は、インゲンは根重が大きだけでなく、根系が生育初期からよく発達していること、根自体もダイズに比べて窒素不足の状態にあると考えられること等と合致するものである。基肥として施用した窒素量に比べ吸収された窒素量は非常に少なかったが、購入直後のパーミキュライトを使用したため、アンモニアの固定が起こったものと考えられる。インゲンでは、26 日目から 42 日目にかけて、一度葉に分布した施肥由来窒素が根に再移動したようにみえたが、その結果として、施肥窒素由来の窒素の地上部への分布割合はダイズに比べて著しく小さいものとなっており、ここでも、根系の発達が著しいインゲンの特徴が認められる。各器官の FN/TN 比は、インゲン、ダイズともに根で最も高く、根粒固定窒素と経根吸収窒素の二つの窒素給源がある場合、後者はとくに根の生長に必要な窒素の給源となっていることが明らかである。また、根粒以外の各器官の FN/TN 比は、26 日目から 42 日目にかけてとくにインゲンで低下したが、これは、この期間にインゲンによる新たな施肥窒素の吸収が行われなかったこととインゲン根粒の窒素固定が盛んに行われたことによるものである。植物体全窒素集積量から、肥料および種子に由来する窒素量を差し引いて求めた根粒固定窒素量は、26 日目、42 日目のいずれの段階でもダイズよりインゲンのほうが多かった。

本報の実験では、直径約 0.5 mm 以上の根粒を計数と秤量の対象としたが、根粒数、根粒重ともにインゲンのほうがダイズよりもはるかに大きな値を示した。また、ここでみられたインゲン根粒数の水準は、従来の本邦における圃場で生育するインゲンの観察例<sup>2,6)</sup>よりも著しく高い。これらのことは、インゲンが他のマメ科作物に比べて根粒の着生にくい作物であるとする従来の記述については、圃場での栽培において広く認められるとしても絶対的なものではなく、特定の条件下での現象の記述としてのみ正しいことを意味している。PIHA と MUNNS<sup>17)</sup> はパーミキュライトと砂を培地として栽培した実験において、インゲンの根粒数がダイズのそれを著しく上回り発芽後 42 日目では 2 個体当たり 1000 を越えること、個体当たり根粒重も発芽後 28 日目まではダイズと同等かあるいは上回ることを示している。すなわち、人工培地を用いた栽培で生育初期のインゲンがダイズを上回る根粒数や根粒重を示す事例は、本実験で用い

たインゲン品種に限られない。圃場で生育するインゲンの根粒数や根粒重がダイズに比べ著しく小さい場合には、それらを制限している具体的な環境要因が存在するのであり、それを明らかにすることが今後重要であろう。根粒の示す ARA についても、とくに 26 日目の段階ではインゲンのほうがダイズよりも著しく高かったことから、インゲンの窒素固定能力がダイズ等と比較して低いといわれている点についても、さらに検討の余地がある。ただし、本報の実験においても、26 日目から 42 日目にかけての根粒重当たり ARA の低下はダイズよりもインゲンで著しく、ダイズでは、この間に個体当たり ARA が上昇したのに対しインゲンでは顕著に低下したことから、本実験での栽培を仮に継続していたとしても 1 作当たりの窒素固定量はインゲンのほうが少なくなった可能性は十分にある。生育段階や環境条件の組み合わせによっては、インゲン根粒であってもかなり高い ARA を示す場面があることに留意し、それを低下させる要因を明らかにすることがむしろ必要であろう。PIHA と MUNNS<sup>17)</sup> は、インゲンの窒素固定能力がダイズに比べ低い原因は、インゲンの ARA が低いからではなく相対エネルギー効率 (RE と略す) が低いためであろうと推定している。しかし、彼らの実験結果をみるとインゲン根粒の RE は uptake-hydrogenase を保持しない根粒菌で形成されたダイズ根粒の RE の一般的な値と大差なく 55~70% を示しており、むしろ、ダイズ根粒が uptake-hydrogenase 保持菌株によって形成されたものであることを示唆して 100% に近い。本実験ではダイズ根粒菌として uptake-hydrogenase 非保持菌株を用いたが、インゲンとダイズの窒素固定能力の比較に関しては、後で考察するようにインゲン根粒の ARA の急激な低下に注目する必要があると考えられる。

根と根粒の可溶性全糖濃度について比較すると、42 日目のインゲンの場合を除いて根粒のほうが明らかに高かったが、これは比較的頻繁に認められる現象のようである。STREETER<sup>18)</sup> はインゲンの根と根粒のでんぷんおよび糖濃度を比較し、根粒のほうがいずれも数倍高いことを報告している。また、LAFONTAINE ら<sup>19)</sup> は、インゲン根粒菌野生株とジカルボン酸輸送変異株を接種した実験において、いずれの場合でも、炭水化物とほとんどの有機酸の濃度が根よりも根粒で高いことを報告している。最近、STREETER はダイズ根粒についてバクテロイドとバクテロイド包膜との間に多量の菌体外多糖が含まれていると述べており (1991 年九州大学農学部での講演)、代謝回転速度の遅いと考えられる根粒中のこのような糖類が、根の糖濃度との差を生み出している可能

性がある。本実験の結果をみると、ダイズでは、根、根粒ともに 26 日目から 42 日目にかけて可溶性糖濃度が顕著に上昇しており、でんぷん等の不溶性糖類を定量していないので断定はできないが、炭素収支は、地下部の糖消費に対して地上部からの糖供給のほうが勝る方向に推移していると推定される。インゲンでは、この間の変化が根ではほとんど認められず、根粒ではダイズとは逆に低下している。すなわち、インゲンでは地下部、とくに根粒での糖消費に対して、地上部からの糖供給が不足する方向に推移していると推定される。インゲンの根粒重当たり ARA は、ダイズのそれに比べて 26 日目から 42 日目にかけて著しく低下した（第 4 図）が、この現象には、根粒の齢の進行に伴う一般的な低下とエネルギー源および炭素源の不足による低下とが複合して関与していると考えられる。インゲンでは、光合成器官が相対的に小さく根と根粒がダイズよりも著しく大きな割合を占めていることによりこのような結果が生じたのであろう。

42 日目のインゲンでは、青色の失活根粒が生じる一方で、同時に桃色の小さな根粒が多数認められたが、この時点のインゲン根系が上述のように光合成産物の供給不足の状態にあることを前提にすれば、この現象が起きる機構として次の二つの場合を想定することができる。第 1 の場合は、根系の部位によって光合成産物の供給状態が異なり、供給のよい部位で新たな根粒の分化や肥大が進行し、供給の悪い部位の根粒が失活する場合である。第 2 の場合は、根粒器官の分化や初期肥大に必要な光合成産物の根への供給水準と、窒素固定活性をもつある程度肥大した根粒の維持に必要な光合成産物の供給水準とが異なり、後者のほうが高い場合である。これらの点については、根粒菌の新たな感染の状況の問題も含めて今後の検討が必要である。

色別に分類した 3 群の根粒では、窒素固定活性を比較的高く保持していると思われる赤色根粒群で可溶性全糖濃度が最も低く、活性を喪失していると思われる青色根粒群で最も高かった。これは、窒素固定過程および固定産物の同化過程で必要とされるエネルギー・炭素源の消費が旺盛であるか否かを反映した結果であって、糖供給の多少を反映したものではないと考える。すなわち、42 日目のインゲン根系はダイズに比べ全体としてエネルギー・炭素源不足の状態にあると考えられるので、青色根粒の場合、エネルギー・炭素源不足の結果として窒素固定能が失われ糖消費が減退した後も、地上部からの糖供給がしばらくは継続し再び糖濃度が上昇したものであろう。類似した現象は、LAFONTAINE ら<sup>19)</sup>によっても報

告されている。彼らの実験は、異なるインゲン個体に有効根粒と無効根粒を形成させて比較したものであるが、炭水化物と有機酸の濃度は、いずれも無効根粒のほうが高い値を示している。STREETER は<sup>18)</sup>、高濃度硝酸態窒素処理したインゲン根粒の ARA 低下が根粒シュクロース濃度の低下とは同調するがグルコース濃度の低下とは同調せず、また、グルコースとフルクトースの低下はシュクロースの低下ほど顕著ではないことからインゲン窒素固定に対する硝酸態窒素ストレスは、単純な炭水化物欠乏説では説明できないとしている。本実験の結果は、根系には糖供給不足のために活性が制限されている活性根粒と糖消費が減退し糖が蓄積傾向にある不活性根粒とが同時に着生している場合があることを示しており、各種環境要因により窒素固定活性が低下しつつある根粒着生根系の、窒素固定活性と根粒へのエネルギー・炭素源供給の関係を考察する場合、根系に着生する根粒を一括して扱うことにより誤った結論が導かれる危険性があることを示すものである。各根粒群の FN/TN 比も可溶性全糖濃度と同じ順番を示したが、この比は、窒素固定を盛んに行った根粒あるいは後期に肥大した根粒ほど低くなると考えられる指標であり、赤色根粒が窒素固定活性を保持した根粒であり青色根粒がそれを喪失した根粒であることを示すものであろう。

本実験では、経根吸収窒素量が著しく制限された条件を与えたが、インゲンの光合成器官と根粒量のバランスは、窒素供給の状況によって変化すると考えられるので、ここでみられたインゲン根への多数の根粒着生や栄養成長段階での青色根粒の発生は、光合成器官の発達那不十分な窒素欠乏的生理状態での特徴かもしれない。施肥窒素供給水準を変えた場合や、土壌窒素が供給される条件の下でのインゲン窒素固定系については、さらに検討が必要である。

## 5. 要 約

<sup>15</sup>N 標識した少量のアンモニア態窒素を基肥として与え、根粒菌を接種したインゲン（品種：ヒメテボウ）とダイズ（品種：エンレイ）をパーミキュライトポットで 42 日間栽培した。植物体各器官の生育と窒素集積、肥料窒素の吸収と分布、根粒数・根粒重・アセチレン還元活性 (ARA)、根粒と根の可溶性全糖濃度を調べ、次のような結果を得た。

1) 乾物の器官別分布について比較すると、インゲンは、根と根粒の割合がダイズに比べ大きく、葉と茎の割合が小さかった。

2) 生育初期において、根粒以外のインゲン各器官の

窒素含有率はダイズに比べて低く、生育が進むにつれてインゲンの根と根粒の窒素含有率はダイズよりも顕著に低下した。

3) 施肥窒素の吸収はインゲンのほうが速く上記 2) の結果と合わせ、インゲンはダイズよりも窒素不足的な状態にあると考えられた。

4) 根粒数・根粒重ともに、インゲンのほうがダイズよりも著しく大きく、従来圃場で認められているインゲンの根粒着生の乏しさは条件的なものであると結論された。

5) 個体当たり ARA もインゲンのほうがダイズよりも著しく高かったが、26 日目から 42 日目にかけてダイズでは上昇したのに対しインゲンでは低下し、その低下は根粒重当たり ARA の著しい低下によっていた。

6) 可溶性全糖濃度は、根より根粒で高く、ダイズ根粒では 26 日目から 42 日目にかけて上昇したのに対しインゲンでは低下し、5) で述べたインゲンの根粒重当たり ARA の急激な低下の一因になっていると考えられた。

7) 42 日目のインゲンでは、赤、桃、青色の外見上異質な 3 種類の根粒が同時に観察され、可溶性全糖濃度は活性根粒と推定される赤色根粒で最も低く、失活根粒と推定される青色根粒で最も高かった。

## 文 献

- 1) 岩渕晴郎：菜豆の窒素施肥法改善に関する研究，第 1 報 菜豆の窒素施肥反応の特異性と条施肥法の改善，北海道立農試集報，22，61～72 (1970)
- 2) 岩渕晴郎・高島 晃：菜豆の窒素施肥法改善に関する研究，第 2 報 窒素全層施肥法の効果とその実用性，同上，23，31～43 (1971)
- 3) 岩渕晴郎：インゲンの施肥，植物栄養土壌肥料大事典，p. 693～694，養賢堂，東京 (1976)
- 4) 松代平治：根粒菌の接種効果，植物栄養土壌肥料大事典，p. 465～466，養賢堂，東京 (1976)
- 5) 松代平治：根粒菌からみたサイトウの窒素栄養について，中部土壌肥料研究，66，1～15 (1987)
- 6) 田中 明・藤山英保・森谷和仁・OKA, E. I.: 大豆およびサイトウの窒素施肥反応，土肥誌，49，406～411 (1978)
- 7) GRAHAM, P. H.: Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. *Field Crops Res.*, 4, 93～112 (1981)
- 8) MUNNS, D. N.: Mineral nutrition and the legume symbiosis; in A treatise on dinitrogen fixation IV, ed. R. W. F. HARDY and A. H. GIBSON, p. 353～391, Wiley Interscience, New York (1977)
- 9) STREETER, J. G.: Inhibition of legume nodule formation and  $N_2$  fixation by nitrate; in CRC Critical Reviews in Plant Sciences, Vol. 7, Issue 1, p. 1～23 (1988)
- 10) RABIE, R. K., ARIMA, Y. and KUMAZAWA, K.: Growth, nodule activity and yield of soybeans as affected by the form and application method of combined nitrogen. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25, 417～424 (1979)
- 11) 有馬泰紘：初期生育過程におけるダイズ根粒窒素固定能の発達に及ぼす基肥窒素施用の影響，土肥誌，58，542～548 (1987)
- 12) 福井作蔵：硫酸処理を基本とする糖の定量，生化学実験法 1 還元糖の定量法，p. 44～47，学会出版センター，東京 (1969)
- 13) LINDNER, R. C. and HARLEY, C. P.: A rapid method for the determination of nitrogen in plant tissue. *Science*, 96, 565～566 (1942)
- 14) 水野直治・南 松雄：硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法，土肥誌，51，418～420 (1980)
- 15) 有馬泰紘：マイクロ通気蒸留法によるアンモニア態，アミド態，亜硝酸態，硝酸態各窒素の分別定量と  $^{15}N$  濃度測定への利用，同上，49，304～308 (1978)
- 16) 熊沢喜久雄・有馬泰紘：発光分光法による  $^{15}N$  の測定，農学・生物学におけるアイソトープ実験法，p. 135～156，養賢堂，東京 (1982)
- 17) PIHA, M. I. and MUNNS, D. N.: Nitrogen fixation potential of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) compared with other grain legumes under controlled conditions. *Plant Soil*, 98, 169～182 (1987)
- 18) STREETER, J. G.: Effect of nitrogen on acetylene reduction activity and carbohydrate composition of *phaseolus vulgaris* nodules. *Physiol. Plant.*, 68, 294～300 (1986)
- 19) LAFONTAINE, P. J., LAFRENIERE, C., CHALIFOUR, F.-P., DION, P. and ANTON, H.: Carbohydrate and organic acid composition of effective and ineffective root nodules of *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.*, 76, 507～513 (1989)



**Nitrogen Uptake, Root Nodulation, Dinitrogen Fixation Activity  
and Soluble Sugar Content of Nodules in Common Bean  
(*Phaseolus vulgaris*) under Low Basal Application of  
<sup>15</sup>N-ammonium Sulfate: A Comparative Study with Soybean**

Yasuhiro ARIMA

(*Fac. Agric., Tokyo Univ. Agric. Technol.*)

*Rhizobium*-inoculated common bean was cultivated with basal application of 20 mg nitrogen as the form of <sup>15</sup>N-ammonium sulfate in small pot containing artificial vermiculite. Nitrogen uptake and distribution, root nodulation, acetylene reduction activity (ARA) and soluble sugar concentration (SSC) in roots and nodules of the plants were compared after 26 and 42 days of sowing with those of soybean cultured by the same manner.

Smaller plant body and shoot/root ratio, much larger nodule number and nodule weight, and earlier uptake of dressed nitrogen characterized common bean in comparison with soybean. Much higher ARA per plant and per nodule weight were detected in common bean at the both stages, though they were sharply declined in the 42-day-old plants. Also ARA per nodule weight of soybean diminished at the second measurement, but ARA per plant rose in contrast with the case of common bean. In both plant species, SSC based on dry matter was higher in nodules than in roots. And, SSC in nodules of common bean was higher than that of soybean at the 26th day. But the relationship between the two species nodules was reversed at the 42nd day due to that the concentrations were respectively reduced and increased in common bean and soybean nodules, suggesting that the rapid decline of ARA in common bean was related to carbohydrate shortage in nodules.

At the 42nd day, apparently three kinds of nodules were observed on the roots of common bean; these were large red, middle blue and small pink nodules. Although pink one was dominant in number, the red shared more than 70% of total nodule dry weight. SSC was the highest in blue inactive nodules and the lowest in active red nodules, and which may reflect the activity of sugar consumption for nitrogen fixation and assimilation of its product in nodules.

*Key words* common bean, heavy nitrogen, nitrogen fixation, nodule, soybean

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, **64**, 118-125, 1993)