

ダイズの根粒活性制御機構の解明(1)

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
巻/号	683
掲載ページ	p. 301-306
発行年月	1997年6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



ダイズの根粒活性制御機構の解明 (第1報)

— ダイズの根粒活性に及ぼす窒素の影響 —*

田村 有希博**

キーワード ダイズ根粒, 根粒比活性, 窒素含有率, 硝酸態窒素濃度

1. はじめに

ダイズの収量は、地上部の乾物生産量に依存するところが大きい¹⁾。また、多くの乾物生産量を確保するためには多くの窒素吸収量を必要とし、ダイズの多収のためには効率的な窒素供給が不可欠である。ダイズの窒素吸収量のうち、固定窒素の占める割合は40~70%であり²⁾、根粒の役割は大きい。

窒素施用により根粒着生が抑制されることが知られており、硝酸態窒素が根粒着生を阻害するとの報告がある³⁻⁵⁾。その原因として、吸収窒素の同化に光合成産物が消費され、根粒への供給量が減るためとの報告⁶⁻⁹⁾と、硝酸から生成した亜硝酸の影響であるとの報告^{10,11)}がある。そのため、根粒の機能を生かしつつ窒素を施肥することは困難である。しかし、窒素無施用では根粒着生量は増大するものの必ずしも多収とはならない¹²⁾。

根粒の窒素固定には多くのエネルギーが必要であるため、窒素の施用により根粒着生を抑え、窒素固定で消費される光合成産物を節約して収量を確保しようとする考え^{13,14)}から、窒素肥料の多量施用によってダイズの増収を得た事例はあるが、必ずしも多収とはなっていない¹²⁾。そのため、窒素固定と窒素施肥を両立させることがダイズ多収に必要であるとしている^{12,15)}。

窒素固定と窒素施肥の両立を図ろうと、緩効性肥料の利用、深層施肥、有機物施用等の多くの試みがなされており、ある程度の増収効果の報告もあるが、その効果は期待したほどではない¹²⁾。そこで、窒素固定と窒素施肥を両立させる施肥法を検討する中で、ダイズの窒素栄養状態と根粒活性の関係を検討したので報告する。

2. 実験方法

多湿黒ボク土を充填した1/2000 aポットでダイズ(ナンブシロメ)を栽培し、実験に供した。

根粒活性の測定はアセチレン還元法で行い、エチレンは、ガスクロマトグラフィー(FID検出)で測定した。

窒素含有率はケルダール法によって分析した。また、硝酸態窒素はフェノールジスルホン酸法によって分析した。

1) 根圏の一部に追肥した窒素の影響

1/2000 aポットの中央をアクリル板で仕切って2等分し、物質の移動がないように隔壁を接着剤で固め、基肥として化成肥料(N-P₂O₅-K₂O=0.21-0.7-0.7 g pot⁻¹)を添加した土壤を充填した。隔壁は、土壤面から5 cm以上高く、灌水時や追肥時に物質が反対側に移ることがないようにした。このポットにダイズの幼苗を根が隔壁をまたぐように移植して栽培したダイズを実験に供した(第1図)。

開花期に片側の根圏に硫酸を窒素として、0 g, 0.42 g, 0.84 g, 1.68 g, 3.36 g追肥して10日後に根圏ごとの根粒着生量と根粒活性並びに地上部の窒素含有率を測定した。

2) 基肥窒素量が根粒活性に及ぼす影響

基肥としてリン酸およびカリウム(P₂O₅-K₂O=0.7-0.7 g pot⁻¹)を共通に施用し、ポット当たり硫酸を窒素として0 g, 1 g, 2 g, 3 g, 4 g, 5 g施肥して1/2000 aポットで栽培したダイズを実験に供した。開花期7日前、開花期後7, 14および21日目に調査した。地上部は部位別に解体して80°Cで熱風乾燥した。地下部は1部を分析用に熱風乾燥し、残りで根粒活性を測定した。活性測定後、根粒を根から分離して乾物重を計測し、根粒の乾物1 g当たりの活性(根粒比活性)を求めた。乾燥試料は粉碎して全窒素および硝酸態窒素分析に供した。

3) 窒素葉面散布が根粒活性に及ぼす影響

基肥(N-P₂O₅-K₂O=0.21-0.7-0.7 g pot⁻¹)を施用

* 本報告の概要は、1994年土壤肥料学会京都大会で発表した。

** 東北農業試験場(現在、富山県農業技術センター農業試験場 939 富山市吉岡 1124-1)

1996年4月17日受付・1996年7月26日受理

日本土壤肥料学雑誌 第68巻 第3号 p.301~306(1997)

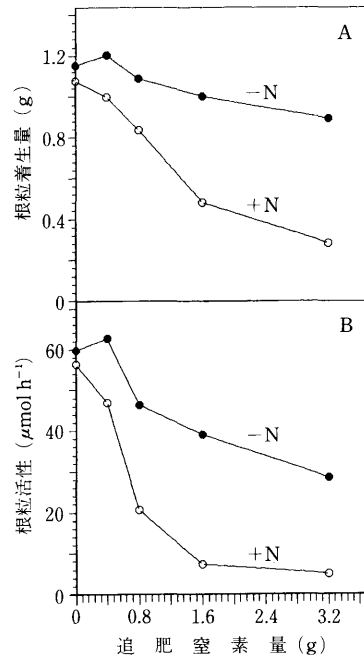
して1/2000 aポットで栽培したダイズ(標準栽培ダイズ)を実験に供した。開花期に0.5%尿素溶液を噴霧器によって1~4回(1回/1日)葉の両面に噴霧した。噴霧時に尿素液が土壌に混入することを防ぐため、ビニールでポット面を覆った。窒素の葉面散布処理終了1週間後に調査した。地上部は、噴霧した残存窒素を除くため速やかに水洗し、解体して熱風乾燥した。地下部は1部を熱風乾燥し、残りで根粒比活性を求めた。乾燥試料は粉碎して全窒素および硝酸態窒素分析に供した。

3. 結果と考察

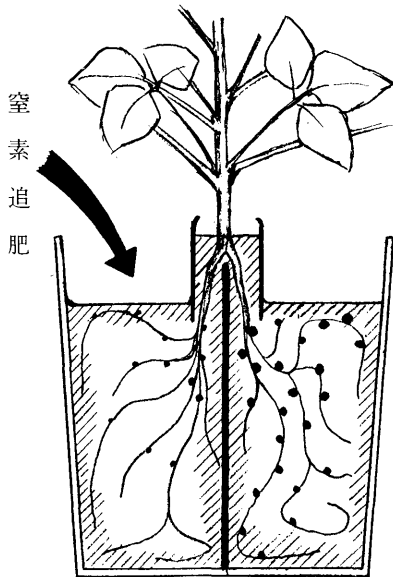
1) 根圏の一部に追肥した窒素の影響

第2図に示すとおり、窒素を追肥した側の根粒着生量および根粒活性は著しく低下した。同時に窒素を追肥しなかった側の根粒着生量および根粒活性も低下した。すなわち、根圏の一部に窒素を供給した場合、他の部分の根粒もその影響を受けることが明らかとなった。HINSONは同じ根分け法により、一方に窒素を供給すると他方の根粒重の増加が抑えられることを示しており¹⁶⁾、今回の結果と一致した。また、追肥側と無追肥側を合わせて求めた根粒比活性と葉の窒素含有率との負の相関関係が認められ(第3図)、根粒活性は、地上部の窒素栄養状態に依存していることが認められた。

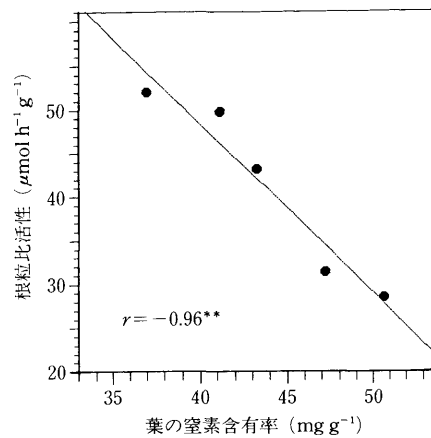
2) 土壌中無機態窒素濃度とダイズの窒素濃度との関係
基肥窒素量を変えたポット試験において、開花期1週間後の土壌中には硝酸態窒素が残存していた。このとき、土壌中の硝酸態窒素濃度とダイズの根の硝酸態窒素濃度とを比較したところ、第4図に示したとおり、有意



第2図 根分け試験における窒素追肥側(○)と無追肥側(●)の追肥窒素量と根粒着生量(A)および根粒活性(B)との関係



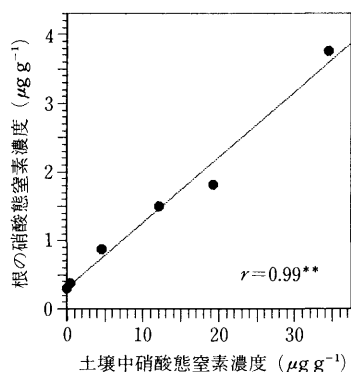
第1図 根圏を2等分したポットを用いて実施した窒素追肥試験の概念図



第3図 根分け試験における窒素追肥側と無追肥側を合わせて求めた根粒比活性と葉の窒素含有率との関係

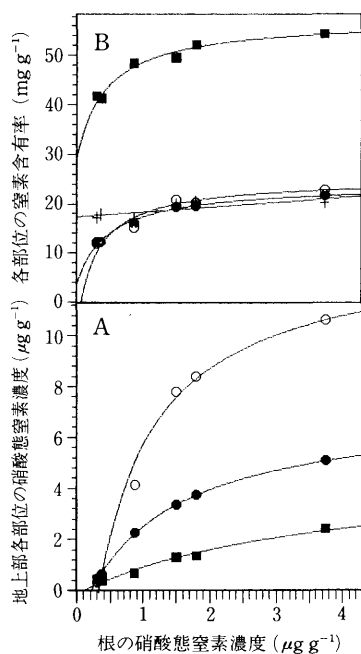
** 1%有意水準。

な正の相関が認められた。すなわち、根の硝酸態窒素濃度は、土壤中の硝酸態窒素濃度に比例することが示された。また、第5-A図には、その根の硝酸態窒素濃度と茎、葉柄および葉の硝酸態窒素濃度との関係を示したが、根の硝酸態窒素濃度の増大に伴い、茎、葉柄および葉の硝酸態窒素濃度は増加したが、頭打ちになる傾向を示した。このとき、各部位の硝酸態窒素濃度には大きな



第4図 開花期から1週間後の土壤中硝酸態窒素濃度とダイズの根の硝酸態窒素濃度との関係

** 1%有意水準。



第5図 開花期1週間後の根の硝酸態窒素濃度と地上部各部位の硝酸態窒素濃度(A)と各部位の窒素含有率(B)との関係

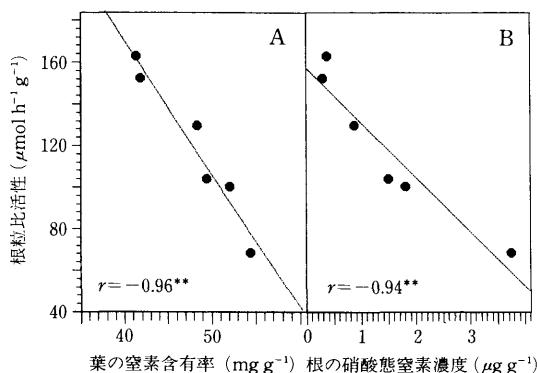
● 茎, ○ 葉柄, ■ 葉, + 根。

差が認められた。すなわち、葉柄の硝酸態窒素濃度が最も高く、葉の5倍、茎の2倍程度であった。このことから、硝酸態窒素は、葉柄に集積して葉への移行は制限されているものと推察された。また、根の硝酸態窒素濃度と各部位の窒素含有率を比較すると、根の硝酸態窒素濃度の増加に伴い、根を除く各部位の窒素含有率は、葉では53 mg g⁻¹程度、茎および葉柄では22 mg g⁻¹程度で頭打ちとなった。すなわち、過剰な窒素を与えても硝酸態窒素として主に葉柄に集積し、各部位の窒素含有率が一定値以上には上がらないことが示された。また、根の硝酸態窒素濃度と根の窒素含有率とは比例関係にあったが、根の窒素含有率の変動幅は最も小さかった。

3) 硝酸態窒素濃度および窒素含有率と根粒比活性との関係

根粒の着生を抑制する要因として根の硝酸態窒素が知られている⁶⁻¹²⁾。そこで、根の硝酸態窒素が根粒活性に及ぼす影響について検討した。基肥窒素施用量を変えて栽培したダイズの開花期1週間後の葉の窒素含有率および根の硝酸態窒素濃度と根粒比活性との関係を第6図に示した。第6-A図に示したとおり、葉の窒素含有率と根粒比活性とに負の相関関係が認められた。すなわち、基肥窒素の増施により開花期1週間後の葉の窒素含有率が高まると根粒比活性が低下した。このときの根の硝酸態窒素濃度と根粒比活性との関係を第6-B図に示したが、葉の窒素含有率と同様に根の硝酸態窒素濃度と根粒比活性とは負の相関関係を示した。このことから、硝酸態窒素は、根粒の活性を低下させる可能性が示された。

第7-B図に根の硝酸態窒素濃度の推移を示した。開花期1週間後には基肥窒素増施区の硝酸態窒素濃度は、無窒素区を大きく上回っていたが、開花期2週間後で



第6図 開花期から1週間後の葉の窒素含有率(A)および硝酸態窒素濃度(B)と根粒比活性との関係

** 1%有意水準。

は、最も基肥窒素量が多かった区においても硝酸態窒素はほとんど消失した。この時期においても基肥窒素施用量が多いほど葉の窒素含有率は高く (第 7-A 図)、第 8-A 図に示したとおり、葉の窒素含有率と根粒比活性とは負の相関関係を示した。このとき第 8-B 図に示したとおり、根の硝酸態窒素濃度と根粒比活性との関係には有意な相関関係は認められなかった。すなわち、根の硝酸態窒素が消失しても葉の窒素含有率が高い状態では、根粒活性が抑制されていることが認められた。よって、開花期 1 週間後の根に硝酸態窒素が残存している状態で、根の硝酸態窒素濃度と根粒比活性とに相関が認められた結果も、両時期に共通して認められる葉の窒素含

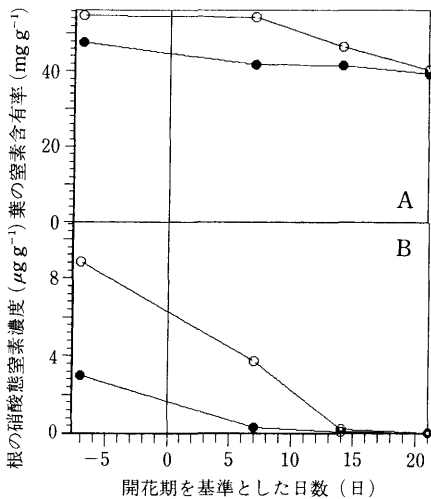
有率と根粒比活性との関係にもとづくものと解釈できる。このことから、根粒比活性の低下は硝酸態窒素の影響ではないとの示唆を得た。

硝酸態窒素の根粒への影響については、硝酸から生成した亜硝酸が根粒活性を阻害するとの報告¹⁰⁾と、根粒の着生および肥大は抑制するが、根粒活性には影響しないとの報告¹⁷⁾があるが、本報の結果は後者を支持した。

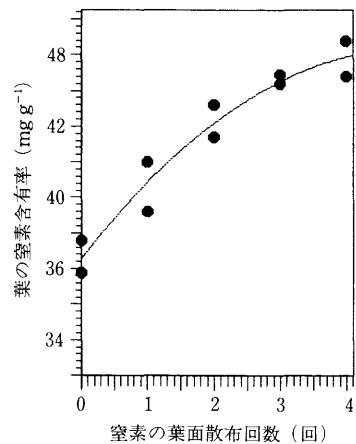
4) 窒素葉面散布の根粒活性に及ぼす影響

根粒活性は地下部の硝酸態窒素濃度ではなく、葉の窒素含有率に影響されるとの示唆を検証するため、根から窒素源を与えるのではなく、葉に直接窒素源を供給した場合の根粒活性に及ぼす影響を検討した。

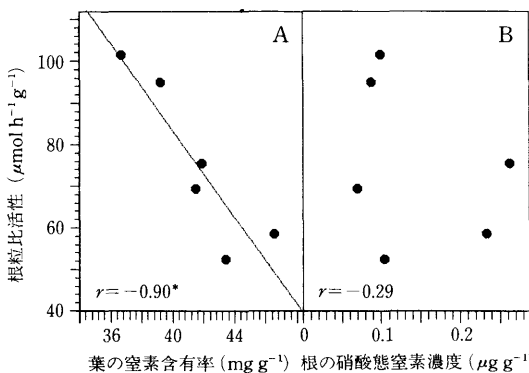
窒素を葉面散布することにより、葉の窒素含有率は、散布回数とともに増加した (第 9 図)。このとき、第 10-A 図に示すとおり、葉の窒素含有率と根粒比活性と



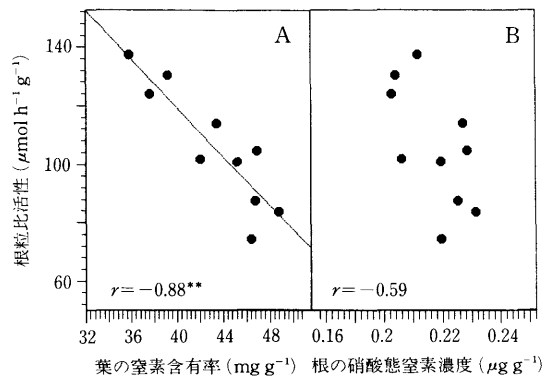
第 7 図 基肥窒素量を変えて栽培したダイズの葉の窒素含有率 (A) および根の硝酸態窒素濃度 (B) の推移
● 無窒素区, ○ 窒素 5 g pot⁻¹ 施用区。



第 9 図 窒素の葉面散布回数と、散布終了 1 週間後の葉の窒素含有率との関係



第 8 図 開花期から 2 週間後の葉の窒素含有率 (A) および根の硝酸態窒素濃度 (B) と根粒比活性との関係
* 5% 有意水準。



第 10 図 窒素の葉面散布 1 週間後の葉の窒素含有率 (A) および根の硝酸態窒素濃度 (B) と根粒比活性との関係
** 1% 有意水準。

の関係は、根から窒素源を与えた場合と同様に負の相関関係が認められた。すなわち、窒素の供給方式にかかわらず、葉の窒素含有率が上がると根粒の活性が低下することが示された。なお、窒素源の葉面散布に伴い、根の硝酸態窒素濃度が若干増加したものの、硝酸態窒素濃度と根粒比活性との関係は認められなかった(第10-B図)。このことから葉の窒素含有率が上がると根粒の活性が低下する現象に硝酸態窒素濃度は関係していないことが示された。

今回の実験は孤立個体での結果であるため、群落状態でのダイズについては議論できない面もあるが、第7-A図に示すとおり、開花期3週間後までには葉の窒素含有率はほぼ一定の水準に収束し、葉の窒素含有率と根粒比活性との関係は明確でなくなる。すなわち、地上部の窒素含有率を一定水準に保つような窒素固定能制御機構が働いているものと考えられる。このため、葉の窒素含有率が一定の水準に収束する時期では、葉の量が根粒への光合成産物の供給制限因子となる。

金野ら¹⁸⁾は、最大繁茂期における根粒着生量が茎葉重に依存するため、地上部の生育を促進するためには、ある程度の基肥窒素施肥が必要であるとしている。そこで、施肥量としては、窒素供給を最も必要とする幼葉伸長期に根粒着生量を確保しつつ、葉の窒素含有率が根粒比活性を低下させない水準になることが理想的である。今後、このことを踏まえた窒素施肥法の検討が必要である。

4. 要 約

窒素の施用によりダイズの根粒の着生が阻害されることが知られている。しかし、施肥窒素の根粒活性への影響については必ずしも明らかではない。そこで、窒素の施用量と施用方法を変えて栽培したポットのダイズの窒素栄養状態と根粒比活性との関係を検討したところ、以下の結果を得た。

1) 根圏の一部に窒素を追肥すると、追肥位置の根粒着生量と根粒活性は著しく低下し、さらに無追肥根圏においても影響が認められた。このときの葉の窒素含有率と根圏全体の根粒比活性とに負の相関関係が認められた。

2) 基肥窒素の増施によりダイズの硝酸態窒素濃度は上昇するが、開花期2週間後までにはほぼ消失し、硝酸態窒素と根粒比活性との関係は認められなくなる。この時期においても、葉の窒素含有率と根粒比活性との負の相関関係は成立することから、根粒活性の低下に硝酸態窒素は直接関係ないものと考えられた。

3) 窒素源の葉面散布により葉の窒素含有率を上げた場合も根粒比活性は低下した。

謝 辞 本論文の作成にあたり、ご校閲を賜った東京大学農学部教授の茅野充男博士に厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 田村有希博：ダイズ収量を最大とする乾物生産パターンへの解析，土肥誌，**64**，281～288 (1993)
- 2) 藤井弘志・荒垣憲一・中西政則・佐藤俊夫：ダイズ多収への挑戦 (1)，農及園，**62**，67～74 (1987)
- 3) 橋本綱二：大豆の窒素栄養，農及園，**56**，8～12，395～398，515～518 (1981)
- 4) 星 忍：ダイズの窒素固定と生育・収量，根粒の窒素固定，日本土壤肥料学会編，p. 5～33，博友社，東京 (1982)
- 5) 桑原真人：ダイズの多収条件と窒素代謝，農及園，**61**，473～479，590～598 (1986)
- 6) AZIZ, A. K. and ATTIYA, A. K.: Effects of nitrogen on growth, nodulation and distribution of ¹⁴C-labelled photosynthates in cowpea. *Plant Soil*, **63**, 141～147 (1981)
- 7) ALEXANDER, M.: Introduction to soil microbiology, p. 337～345, John Wiley & Sons, Inc. (1961)
- 8) LATIMORE, M., Jr., GIDDENS, J. and ASHLEY, D. A.: Effect of ammonium and nitrate nitrogen upon photosynthate supply and nitrogen fixation by soybeans. *Crop Sci.*, **17**, 399～405 (1977)
- 9) ORCUTT, F. S. and WILSON, P. W.: The effect of nitrate nitrogen on the carbohydrate metabolism of inoculated soybean. *Soil Sci.*, **39**, 289～294 (1935)
- 10) TRINCHANT, J. C. and RIGAUD, J.: Nitrate inhibition of nitrogenase from soybean bacteroides. *Arch. Microbiol.*, **124**, 49～55 (1980)
- 11) 吉田重方・谷田沢道彦：培地中化合態窒素の形態がダイズの根粒形成に及ぼす影響についての一考察，土肥誌，**38**，21～24 (1967)
- 12) 田中 明・山口淳一・藤田耕之助・浦山 勝：ダイズにおける光合成と窒素代謝の相互関係，グリーンエナジー計画成果シリーズ，II系，No. 8，p. 3～18，農水省農林水産技術会議事務局 (1986)
- 13) JEPSON, R. G., JOHNSON, R. R. and HADLEY, H. H.: Variation in mobilization of plant nitrogen to the grain in nodulating and non-nodulating soybean genotypes. *Crop Sci.*, **18**, 1058～1062 (1978)
- 14) 山口淳一・田中 明：イネおよびダイズにおける呼吸の窒素吸収・固定・同化に対する効率の試算，土肥誌，**52**，43～48 (1981)
- 15) HARPER, J. E.: Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. *Crop Sci.*, **14**, 255～260 (1974)
- 16) HINSON, K.: Nodulation response from nitrogen applied to soybean half-root systems. *Agron. J.*, **67**, 799～804 (1975)
- 17) 藤田耕之助・田中 明：ダイズにおける窒素の固定・吸収・転流に対する化合窒素の影響，土肥誌，**53**，30～34 (1980)
- 18) 金野隆光・斉藤雅典・石井和夫：ダイズ根粒着生と茎葉部の生育量・栄養状態の関係，同上，**61**，396～403 (1990)

Clarification of Control System of Soybean Nodule Activity (No. 1)
— Influence of Nitrogen on Nodule Activity of Soybean —

Yukihiro TAMURA
(*Toyama Agric. Res. Cent.*)

It has been shown that the nodulation of soybeans is inhibited by the application of nitrogen fertilizers. However, the influence of the nitrogen fertilizers on the nitrogen-fixation activity (nodule activity: measured as acetylene-reduction activity) of soybean nodules is not always clear. Therefore, the influence of applied nitrogen on the activity of nodules was examined under several conditions including the amount of nitrogen fertilizer applied and the methods of fertilization. The results are summarized as follows.

1) When soybeans were grown in a split-root system, and fertilizer was applied to only one side, the decreases in nodule dry mass and nodule activity on the fertilized side were significant with increasing nitrogen application. The nonfertilized side of the root system also produced less nodule dry mass and had reduced nodule activity; however, the decrease was not as drastic as that on the fertilized side. In addition, the nitrogen concentration of the leaves showed a negative linear correlation to the specific activity of the nodules on the total root system.

2) The concentration of nitrate nitrogen in the soybean roots was increased by increasing the amount of basal nitrogenous fertilizer; however, this trend disappeared two weeks after the flowering stage. In this time, there was no correlation between the concentration of nitrate nitrogen of the roots and the nodule activity; however, the nitrogen concentration of the leaves correlated negatively to the specific activity of the nodules.

3) The application of nitrogen to the plant leaves was found to decrease nodule activity.

In view of the above results, it is suggested that the concentration of nitrate nitrogen to the roots does not affect the activity of soybean nodules.

Key words nitrate nitrogen concentration, nitrogen concentration, soybean nodule, specific activity of nodule

(*Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 68, 301-306, 1997)