

根粒の有無がダイズの生育ならびに体内成分に及ぼす影響*

浅 沼 興 一 郎

EFFECTS OF NODULATION ON THE GROWTH AND THE CHEMICAL COMPOSITION IN SOYBEAN PLANTS

Koh-ichiro ASANUMA

To obtain some information about the effects of nodulation on the growth, the flowering and podding, and the chemical composition in soybean plants, cultivar 'Akiyoshi', grafted on nodulating and non-nodulating isolines, were examined. The results obtained may be summarized as follows:

(1) Nodulation increased the stem length, the number of branches and leaves, and the dry weights of each organ in later stages of growth, especially after the flowering time. From the results of growth analysis, however, nodulation reduced the dry matter production at very young stages because of one-sided symbiosis.

(2) In the non-nodulating plants, the flowering occurred later and the period of flowering was shorter than in nodulating one. The yield and its components were all reduced in non-nodulating plants, and they were not sufficiently recovered by top dressing.

(3) The contents of carbon and nitrogen in each organ were higher in nodulating plants, especially of nitrogen, and this difference became more remarkable with growth progressed.

(4) Judging from the results mentioned above, the fixed nitrogen by root nodules has the important role for the plants at the flowering and maturing stages as the source of nitrogenous compounds in pods and seeds, and it is more effective than the absorbed nitrogen from the soil.

根粒の有無がダイズの生育, 開花結実, 体内成分に及ぼす影響を調べようとして, 根粒着生ならびに非着生 isolate を地下部とし, 栽培品種を地上部とした接木植物を育成して実験した。結果の要約は以下のとおりである。

1. 生育は開花期頃より着生区で優っていたが, それぞれに追肥を施した場合の効果は非着生区で大であった。しかし生長解析の結果からみれば, 生育の初期には非着生区で, 以後は着生区で乾物生長が優った。

2. 開花は非着生区において遅延し, 開花期間も短く, かつその数も少なかった。収量構成要素はいずれの要素とも非着生区で著しく低い値を示し, 窒素を追肥した場合でも着生区の無追肥の値に速く及ばなかった。

3. 各器官における体内成分は, 着生区で炭素, 窒素とも高く推移しており, とくに窒素において著しかった。この差異は生育の後期に至るほど大となった。

4. 以上の諸点より, 根粒菌の固定する窒素は生育前半よりも, 開花結実期に, とくに莢・子実への窒素源として重要な役割を果たしていること, および土壌中窒素より有効であるものと推察された。

結 言

ダイズがその生育に必要な窒素成分を, 土壌中から吸収したのみでなく, 共生する根粒菌の固定したものにも依存していることはよく知られた事実である。そのため, ダイズの窒素施肥に対する反応は他作物の場合に比べて鈍く, また土壌の肥沃度に対する適応性も比較的広いものである。またダイズはその子実に多量のタンパク質, 脂肪を貯えるなど, デンプンを主体とする他の作物とは異なる代謝上の特徴を有しているといえよう。

* 日本作物学会第164回講演会において発表

このようにダイズの窒素栄養は著しく複雑でかつ特異的な側面を持っているため、この面における根粒菌共生の意義については研究報告も多い^(1,3,4,6,8,9,10,11,12,17,19)。特に近年は根粒非着生および着生 isoline^(18,19)の利用によって研究が著しく進展している状況にある。しかし、ダイズの乾物生産や子実生産の面から根粒菌共生の意義を論じようとするものは必ずしも多くはない^(10,14,15)。本研究は上述の isoline を利用することによってこの問題を解明しようとする研究の第1段階として、まず計画・実施されたものである。若干の知見が得られたのでここに報告し、今後の研究における基礎資料としたい。

材料および方法

供試材料としては、根粒非着生および着生 isoline (T201, T202)⁽¹⁸⁾ならびに暖地で普通に栽培される品種アキヨシを用いた。これらの isoline を用いた従来の研究報告においては、isoline を普通に生育させて比較しているものがほとんどである。しかし本研究においては、普通に栽培すれば根粒を着生する品種から根粒を除去する手段として isoline を用いた。すなわち T201, T202 を地下部とし、それぞれにアキヨシを地上部とした接木植物を育成し、実験を行なった。その結果、T201 を地下部とした場合には根粒着生が全生育期間を通じて認められず、T202 を地下部とした場合には多量の根粒着生が認められ、所期の目的を達成していた。

接木の方法について述べると、まず地下部とする T201, T202 を6月12日に、次いで地上部とするアキヨシを6月17日にそれぞれ播種し、アキヨシの子葉が展開した6月23日に、胚軸の部分で割接ぎを行なった。その後は十分に灌水し、寒冷紗を覆うなど、活着を促進させた。

次に7月1日、接木の成功した個体の中から平均的なものを選んで堀取り、根をよく水洗して、直径30cmの植木鉢に2本ずつ移植した。肥料は基肥として硫安1.7g、過石4.2g、硫加1.7gを施し、8月20日に追肥(硫安1.0g)を施した区を加え、全部で4つの区を設けて実験を行なった (Table 1 参照)。

Table 1. Schedule of experiment

Sampling time		I	II	III	IV	V	VI	VII
Date		Jul. 1	Jul. 20	Aug. 6	Aug. 21	Sept. 6	Sept. 21	Nov. 3
Stage of growth		Trans-planting	Early growing	Flower bud formation	Full flowering	Late flowering	Young pod developing	Maturing
Non-nodulated (T201)	Without top dressing (A ₁)	○	○	○	○	○	○	○
	With top dressing (A ₂)				×	△	△	△
Nodulated (T202)	Without top dressing (B ₁)	●	●	●	●	●	●	●
	With top dressing (B ₂)				×	▲	▲	▲

○, △, ●, ▲: Sampling ×: Top dressing

分析方法について述べると、葉緑素は生葉を用い、80%アセトンで抽出後、比色法(波長660mμ)で定量した。またC, Nは凍結乾燥後、粉碎した試料を供試し、柳本工業製の元素分析計(CHNコーダー)によって定量した。

結果および考察

1. 生育

一般生育状況および器官別乾物重の推移をFig. 1, 2に示した。これによれば、生育の初期には着生区で生育がやや良好であったが、非着生区との差は大きいものではなかった。しかしその後、生育が進むにつれて、分枝数、葉数、乾物重において顕著に差異がみられるようになり、着生区における生育量は非着生区におけるよりかなり大となった。このことはFig. 3に示した非着生区における葉緑素含量の低下とも関連していると考えられ、また生育後期の非着

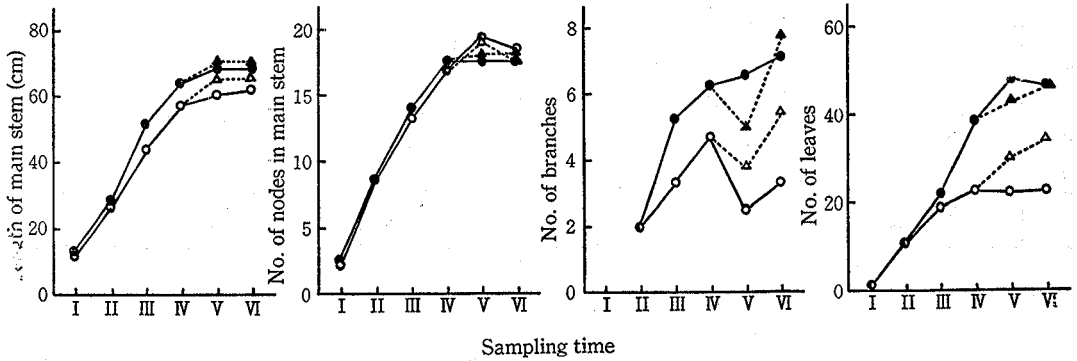


Fig. 1. Changes in growth status. Symbols are the same as those in Table 1.

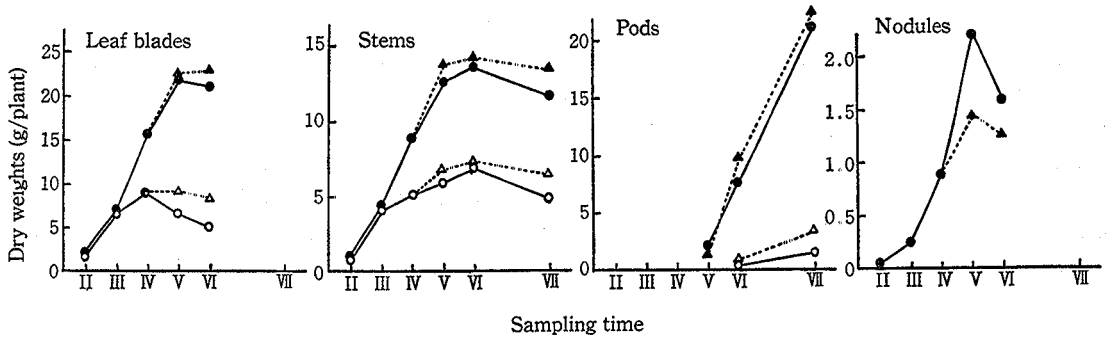


Fig. 2. Changes in dry weights of each organ. Symbols are the same as those in Table 1.

生区で茎の色が赤褐色を呈し、明らかな窒素欠乏症状が認められていたことも関連していたものと考えられる。すなわち、非着生区においては窒素が欠乏状態にあったため、光合成が低下し、後期生育が著しく抑制されたものと推察された。

一方、これらの両区に対し、追肥を施した場合の結果についてみると、非着生区においてはその効果が明確に認められ、葉身は緑色を回復し、生育も良好となった。しかし着生区においては、生育がやや良好になったとはいえ、根粒乾物重は減少し、その効果は非着生区の場合に比べて小さかった。鎌田⁽⁹⁾、田中⁽¹⁵⁾によれば、窒素施肥は根粒の着生ならびに活力を低下させると報告しているが、本研究の結果も同様であったといえよう。さらに ALLOS ら⁽¹⁾、BHANGOO ら⁽⁸⁾、OLSEN ら⁽¹⁸⁾、WEBER⁽¹⁹⁾も、窒素施与量が多くなるほど根粒による固定窒素の占める割合が小さくなることを認めており、ダイズにおける窒素栄養の複雑さの一端がうかがわれていた。

つぎに全乾物重ならびに葉面積の推移から個体としての生長解析を行ない、二、三、のパラメータの推移を Fig. 4 に示した。これによると、根粒の有無による差異は顕著であって、RGR, CGR, NAR は生育初期に非着生区で高く、その後は逆に着生区で高い値を示した。このように根粒着生が初期にはむしろダイズの生育を抑制した原因としては、根粒菌の片利共生が考えられよう。すなわち、根粒菌の根への侵入→根粒の形成といった

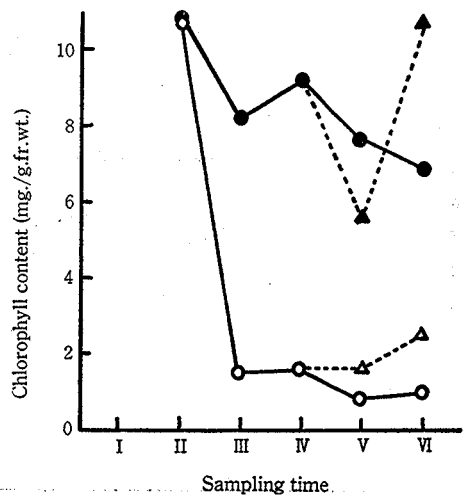


Fig. 3. Changes in chlorophyll content in leaf blades. Symbols are the same as those in Table 1.

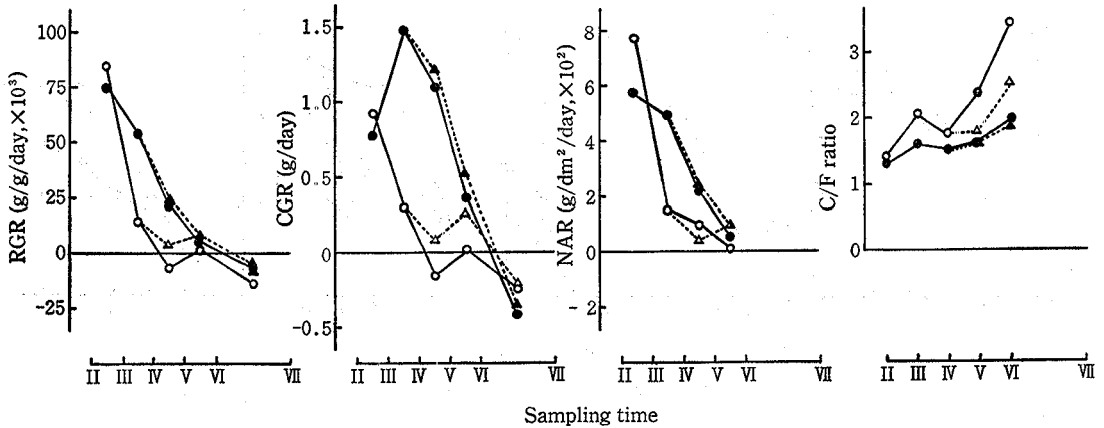


Fig. 4. Changes in growth parameters. Symbols are the same as those in Table 1.

ごく初期には根粒菌がダイズに寄生的関係を有しているが、その後、活発な窒素固定を行なってダイズの方へ供給するようになり、真の共生関係となり、生育が旺盛になったものと推察される。なお追肥の影響は着生区、非着生区とも認められ、いずれの場合も各パラメータは高い値を示した。その効果は非着生区の方で大であった。

以上のとおり、生育、乾物生産の結果からみれば、初期には根粒菌とダイズとの間に養分の争奪が行なわれるため、必ずしも根粒着生を有利とはしないが、その後、根粒が肥大し、窒素固定が活発になるに伴い、着生区における生育、乾物生産が優れたものと推察された。また追肥の影響については、着生区、非着生区ともその効果が認められたが、その程度は非着生区の場合に顕著であった。しかしこの場合でも非着生区に追肥を施した区の生育もみられるべきほどのものではなかった。

2. 開花・結実

まず開花の状況について述べると、Fig. 5 に示したように、着生区においては非着生区におけるよりも、開花始め

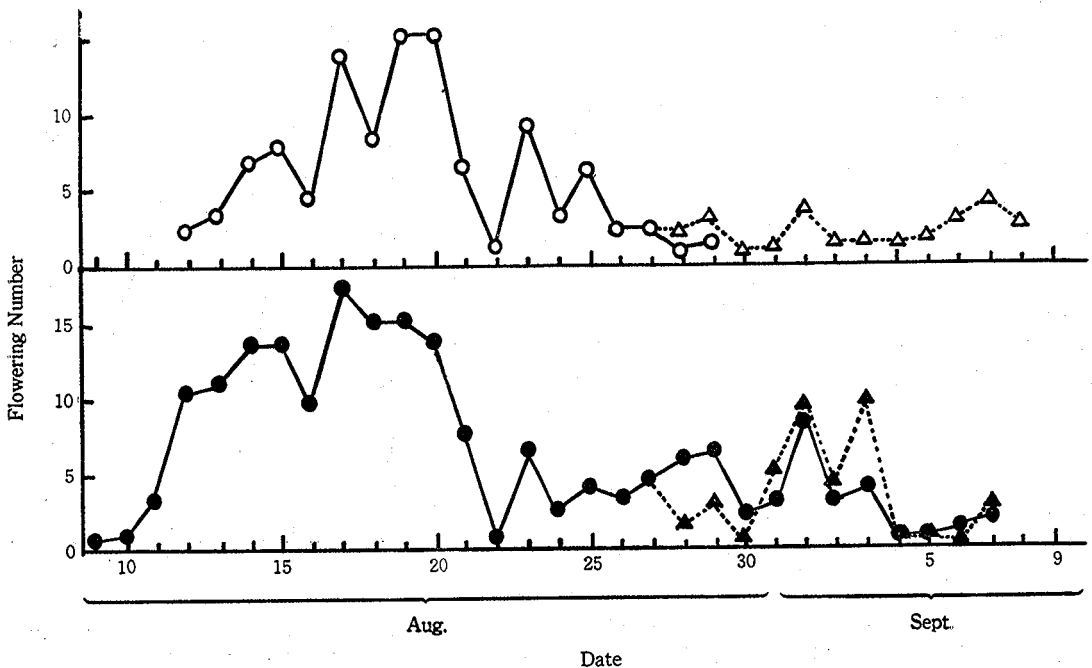


Fig. 5. Changes in flowering number. Symbols are the same as those in Table 1.

が3日早く、開花終りが9日遅く、開花期間としては12日長かった。また開花総数は着生区で209個であったのに対し、非着生区では122個と著しく少なかった。次にこれらに対する追肥の効果についてみると、着生区ではほとんど変化が認められなかったのに対し、非着生区では開花期間が10日延長され、開花数が139個と若干増加した。著者⁽²⁾はすでにダイズの開花数が開花前までの乾物生産と関連の深いことを報告したが、本研究の場合、開花前の乾物重における両区の差は小さく、予期し得ないほどの開花数の差異から考察すれば、根粒の着生がダイズの生殖器官の発達に特異な影響を及ぼしていることが示唆される。事実、Table 2 に示したように、莢数、結莢率、子実数、百粒重、子実重などにおいて、根粒着生の影響は非常に大きく認められた。すなわち、これら収量とその構成要素はいずれも非着生区において著しく低かった。さらにこれらに対する追肥の影響についてみると、着生区、非着生区ともその効果がみられ、とくにその程度は非着生区において大であった。しかし、例えば子実重についてみた場合、非着生区に追肥を施した時が5.6gであって、着生区に追肥を施さない時の14.5gには遠く及ばなかった。

Table 2. Yield and its components

Plot	Number of flowers per plant	Number of pods per plant	Podding percentage	Number of seeds per pod	Number of seeds per plant	Hundred-seed-weight	Seed weight per plant
A ₁	122	5.0	4.1 %	1.56	7.8	20.9 g	1.2 g
A ₂	139	13.5	9.7	1.50	20.3	21.7	5.6
B ₁	209	43.0	20.6	1.66	71.3	22.4	14.5
B ₂	203	47.0	23.5	1.58	75.0	24.4	15.8

これらのことから、根粒による固定窒素はダイズの後期生育にとって非常に有効のものであって、施肥窒素では補い得ないほどの何かがあることをうかがわせた。要するに、アキヨシに根粒が存在しない場合、たとえ追肥を施しても、子実生産にみるべきものはなく、今後は常時栄養分を補給できる状態、例えば水耕法などによって、上述の点を再確認する必要があると思われる。

3. 体内成分

体内成分の分析結果を Table 3 に示した。まず炭素含有率について述べると、葉身においては生育に伴う変動が小さく、根粒着生区でやや高く推移していた。追肥による変化は両区ともほとんどなかった。次に茎においては、着生区で開花終まで漸増し、その後若干減少したのに対し、非着生区では大きな変動を示さなかった。また開花始までは非着生区で、その後は着生区で高く推移していた。追肥の影響については、一定の傾向を認め難かった。莢(子実を含む)においては着生区で成熟に伴い増加し、高い値を示した。非着生区では低い値を示した。

Table 3. Variations of chemical components of each organ

Stage	Carbon					Nitrogen					C/N ratio					
	II	III	IV	V	VI	II	III	IV	V	VI	II	III	IV	V	VI	
Leaf	A ₁	43.4	40.3	41.2	40.8	40.5	4.76	2.14	1.44	1.33	1.34	9.1	18.8	28.6	30.7	30.2
	A ₂	—	—	—	42.1	40.7	—	—	—	1.51	1.62	—	—	—	27.9	25.1
	B ₁	43.3	45.6	44.3	44.4	45.2	4.66	4.05	3.80	3.50	3.62	9.3	11.3	11.7	12.7	12.5
	B ₂	—	—	—	44.9	44.3	—	—	—	3.24	3.70	—	—	—	13.9	12.0
Stem	A ₁	39.3	39.4	37.6	39.6	40.8	2.22	0.71	0.40	0.40	0.39	17.7	55.5	94.0	99.0	104.6
	A ₂	—	—	—	42.2	42.2	—	—	—	0.31	0.40	—	—	—	136.1	105.5
	B ₁	38.7	38.8	39.6	44.5	43.1	2.75	1.85	1.69	0.66	1.37	14.1	21.0	23.4	67.4	32.0
	B ₂	—	—	—	41.1	44.8	—	—	—	0.60	0.88	—	—	—	68.5	50.9
Pod	A ₁	—	—	—	—	40.1	—	—	—	—	2.15	—	—	—	—	18.7
	A ₂	—	—	—	40.1	36.1	—	—	—	1.84	1.70	—	—	—	21.8	21.2
	B ₁	—	—	—	41.8	45.1	—	—	—	3.70	3.63	—	—	—	11.3	12.4
	B ₂	—	—	—	41.4	45.5	—	—	—	3.29	3.68	—	—	—	12.6	12.4

1) Data are shown as % of dry matter basis.

次に窒素含有率の推移⁽⁷⁾について述べると、まず葉身においては、両区とも初期に高く、以後次第に低下する傾向を示し、非着生区におけるこの低下が急激であったために、着生区で非着生区におけるより著しく高く推移した。また追肥を施した場合、着生区では一定の傾向を示さなかったのに対し、非着生区ではやや増加した。莖においては、葉身の場合とほぼ同様の傾向であったが、開花終から登熟初期にかけて、着生区において一時増加した。この点は戸苺⁽¹⁶⁾も報告しているように、窒素成分の一時的蓄積とみられるが、非着生区ではこの現象は認められなかった。莖においては大きな変動もなく推移し、着生区で非着生区におけるよりかなり高い値を示した。

以上のように、窒素成分の場合には根粒の有無による差異が相当顕著に認められ、従って C/N 率にも顕著な違いが認められた⁽⁵⁾。今、根粒着生区および非着生区における地上部全体に含まれる窒素の量を計算し、前者から後者を差引いたものを便宜的に根粒の固定窒素量と考え、全体の窒素量に占める割合を計算した。その結果、その割合は生育に伴って急激に増加し、追肥を施した場合には低下することなどが認められた。もしもこれを根粒菌に対するダイズの依存度と考えることが許されるならば、生育、開花、結実において先述したこととよく一致していた。すなわち根粒菌の固定する窒素はダイズの後期生育、とくに子実生産に対してかなりの役割を演じているものと推察される⁽¹⁷⁾。そしてこのことから、開花期後の窒素追肥は有効であることが予測されるのであるが、それまでの窒素の蓄積量との関係⁽²⁾や、根の老化による吸収不良等もあり、子実生産に対する窒素栄養の問題はなお複雑なものようである。

以上要するに、根粒菌の固定する窒素は生育前半よりも、開花結実期に、とくに莖・子実への窒素源として重要な役割を果たしていること、および土壤中の窒素よりも有効であるものと推察された。また本研究は接木植物を育成して実験を行なったが、以上の結果を従来の isoline による研究結果^(8,4,6,8,10,11,12,14,19)と比較した場合、着生・非着生による差異がより大きく現れていた。従って今後、この種の研究にはより有効な手段として利用できるものと考えられる。

本研究に用いた種子 (T 201, T 202) は北海道立十勝農業試験場よりご提供いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- (1) ALLOS, H.F., BARTHOLOMEW, W.V.: Replacement of symbiotic fixation by available nitrogen, *Soil Sci.*, **87**, 61-66 (1959).
- (2) 浅沼興一郎: 開花期前後の遮光が秋ダイズの収量成りに及ぼす影響, 香川大農学報, **29**, 11-16 (1977).
- (3) BHANGOO, M.S., ALBRITTON, D.J.: Nodulating and non-nodulating Lee soybean isolines response to applied nitrogen, *Agron. J.*, **68**, 642-645 (1976).
- (4) DEIBERI, E.J., BIJERIEGO, M., OLSON, R.A.: Utilization of ¹⁵N fertilizer by nodulating and nonnodulating isolines, *Agron. J.*, **71**, 717-723 (1979).
- (5) GIBSON, A.H.: The carbohydrate requirements for symbiotic nitrogen fixation: a "whole plant" growth analysis approach, *Aust. J. Biol. Sci.*, **19**, 499-515 (1966).
- (6) HASHIMOTO, K.: The significance of nitrogen nutrition to the seed yield and its relating characters of soybeans —with special reference to cool summer injury—, *Res. Bull. Hokkaido Nat. Agr. Exp. Sta.*, (114), 1-87 (1975).
- (7) 平井義孝: 大豆の無機栄養に関する調査, 第1報 生育に伴う吸収移動経過について, 北海道立農試集報, (7), 47-57 (1961).
- (8) 石塚潤爾: 北海道の大豆の生育および子実たんぱく生成における可溶性窒素成分の栄養生理学的意義, 北海道農試研報, (101), 51-121 (1972).
- (9) 鎌田悦男: 大豆における根瘤形成に関する生理形態的研究, I. 窒素供給量と根瘤発達について, 日作紀, **25**, 145-146 (1957).
- (10) 串崎光男, 石塚潤爾, 赤松房江: 大豆の栄養生理学的研究 (第1報), 根粒着生の状況が大豆の生育, 収量, 養分吸収に及ぼす影響, 土肥誌, **35**, 319-322 (1964).
- (11) LAWN, R.J., BRUN, W.A., FISCHER, K.S.: Symbiotic nitrogen fixation in soybeans, III. Effects of supplemental nitrogen and intervarietal grafting, *Crop Sci.*, **14**, 22-25 (1974).
- (12) 松本哲男, 山本幸男, 谷田沢道彦: ダイズの窒素栄養における根粒の役割 (第1報), アラントインおよび各種成分含量の時期別推移, 土肥誌, **46**, 471-477 (1975).
- (13) OLSEN, E.J., HAMILTON, G., ELKINS, D.M.: Effect of nitrogen on nodulation and yield of soybean,

- Exp. Agr.*, **11**, 289-294 (1975).
- (14) PARKER, M.B., HARRIS, H.B.: Yield and leaf nitrogen of nodulating and nonnodulating soybeans as affected of nitrogen and molybdenum, *Agron. J.*, **69**, 551-554 (1977).
- (15) 田中 明, 藤山英保, 森谷和仁, OKA, E.I.: 大豆および菜豆の窒素施肥反応, 土肥誌, **49**, 406-411 (1978).
- (16) 戸苺義次, 加藤泰正, 江幡守衛: 大豆の増収機構に関する研究, I. 大豆の生育に伴う植物体各部の成分の消長, 日作紀, **24**, 103-107 (1955).
- (17) 辻村克良: 豆科作物の生育期と窒素固定の関係に就いて, 土肥誌, **21**, 181-184 (1951).
- (18) WEBER, C.R.: Nodulating and nonnodulating soybean isolines, I. Agronomic and chemical attributes, *Agron. J.*, **58**, 43-46 (1966).
- (19) WEBER, C.R.: Nodulating and nonnodulating soybean isolines, II. Response to applied nitrogen and modified soil conditions, *Agron. J.*, **58**, 46-49 (1966).

(1980年5月31日 受理)