

根粒超着生ダイズ品種作系 4 号の宮城県における生育・収量 —栽植密度の効果—

前川富也¹⁾・国分牧衛²⁾

(¹⁾ 日本大学生物資源科学部, ²⁾ 東北大学大学院農学研究科)

要旨：根粒超着生ダイズ品種作系 4 号は、窒素固定能と葉面積当りの光合成能が高いことから多収のポテンシャルを持つと期待されているが、宮城県において慣行的に栽培した場合、初期生育が劣ることがわかった。単位面積当りの初期生育量の確保には、単位面積当りの個体数で補完する意味で密植が有効と考えられるため、標準区とその 2 倍の栽植密度の密植区を設けて栽培し、親品種のエンレイおよび根粒非着生系統 En1282 と生育・収量を比較した。試験 1 (2003 年, 鳴子) では、密植により、乾物重と葉面積指数 (LAI) は品種・系統にかかわらず有意に増加したが、収量は作系 4 号でのみ有意な増加がみられた。試験 2 (2004 年, 仙台) では、密植により、作系 4 号の乾物重および LAI は有意に増加したが、収量は 3 品種・系統とも有意な増加はみられなかった。供試した 3 品種・系統の収量は、標準区と密植区のいずれも、エンレイ > 作系 4 号 > En1282 の傾向がみられ、開花期と子実肥大期の乾物重の差を反映していた。節数、莢数、粒数および結実率などの収量構成要素について、エンレイと作系 4 号を比較すると、主茎では両品種とも密植により増加が顕著であったが、分枝ではエンレイのみで明瞭な増加がみられ、作系 4 号では減少した。以上のように、作系 4 号に対する密植の効果は認められたが、収量はエンレイを上回ることにはなかった。作系 4 号は、密植した場合に分枝の成長が劣ることから、多収化のためには主茎により大きく依存した栽培条件が必要と推測される。

キーワード：根粒超着生, 栽植密度, ダイズ, 密植, 宮城県。

ダイズはタンパク質を多量に含む食品素材として、また近年では様々な機能性成分を含む作物として注目を集めている (Fukushima 2000)。換金性や食品としての機能性の高さから、長い栽培の歴史を持つ日本やアジアだけではなく、今後世界的にも需要が一層増加すると予測され、その需要増加に対応するためにダイズ単収の向上が求められている (国分 2001)。

ダイズはイネ科作物のイネ、コムギなどよりも単収が低く、窒素要求量が高い作物として知られている。これはダイズの持っている生理的な特徴によるところが大きく、イネ科作物より高タンパク質・高脂質の種子を生産すること (Sinclair and de Wit 1975) や、光合成に対する窒素利用効率が低いこと (Sinclair and Horie 1989) に起因することが報告されている。また、ダイズは根に根粒菌を共生させ、空気中の窒素を固定できることも大きな特徴である。ダイズの収量は窒素吸収量と正の相関関係を持つため (Sinclair 2004)、ダイズの多収化には窒素吸収量の増加が必須である。しかし、ダイズは窒素施肥により土壤中の硝酸態窒素濃度が増加すると根粒の窒素固定能が阻害され、結果的に全窒素吸収量は増加しにくい特性があるため (Harper 1987)、マメ科植物はイネ科植物のような窒素施肥による窒素吸収量の増加は困難である。

ダイズの窒素固定能を維持しながら全窒素吸収量を高める窒素施肥技術については、いくつか試みられており、その効果も認められている (中野ら 1987, 中野ら 1989, 荒垣・藤井 1991, Takahashi ら 1991, 高橋 1995)。しかし、多量の窒素施肥は、耕地外への窒素化合物の流出を招き、環境

へ悪影響を与えるおそれがある。一方、堆肥の施用量が減少し、田畑輪換が多くなっている最近のダイズ栽培では、土壌の可給態窒素の減少が指摘されている (住田ら 2005)。これらのことから、窒素固定能に依存した窒素吸収量の増大による多収化が望まれている。

ダイズの遺伝的な窒素固定能の改良により全窒素吸収量を高める方法の 1 つとして、多量に根粒を着生させることによって窒素固定能を高めた根粒超着生系統の活用が期待されている (国分 2001)。これまでにいくつかの根粒超着生系統が作出されてきた (Carroll ら 1985a, b, Gremaud and Harper 1989, Akao and Kouchi 1992) が、いずれも生育が著しく劣り実用に耐えうるものがなかった (Herridge and Rose 2000, 国分 2001)。近年、日本で育成された作系 4 号は、実用性を兼ね備えた根粒超着生品種であり、その特性解明と特性を活かした栽培技術の開発が期待されている (高橋ら 2003, Takahashi ら 2003)。

作系 4 号の収量性は、関東地方においては親品種のエンレイを上回る場合があることが報告されている (Takahashi ら 2003)。また、高橋は、水分条件が良好に保たれた条件下や窒素肥沃度の高い条件下、不耕起・狭畝・窒素増肥区でエンレイよりも高い収量を得たことを報告している (高橋 2005)。関東地域で実証されている作系 4 号の多収性を、他の地域でも検証することは、今後、根粒超着生品種を活用していくうえで重要な知見を提供するものと思われる。筆者らはこれまで、作系 4 号の窒素肥料の施用量に対する光合成・生育反応を解析し、作系 4 号は窒素施用量にかかわらず葉内窒素含量が高く、光合成能が高いことを明らか

にし、多収に望ましい特性を持っていることを報告している (Maekawa ら 2003, 2005). しかし、作系 4 号の生育初期の生育量は親品種のエンレイよりも劣っていた (Maekawa ら 2003, Matsunami ら 2004). 前報では、初期生育の促進方法として、速効性と緩効性窒素肥料の施用効果を解析した. その結果、緩効性肥料の施用効果は認められるもののその程度は小さいこと、作系 4 号の収量は生育前半の生育量に大きく制限されていることを解明した (前川・国分 2005).

これまでの実験は慣行の栽培条件で実施しており、根粒超着生品種の生育特性に適した栽培条件を意識したものではなかった. 作系 4 号の個体生育量が小さいという特性を考慮すると、密植により単位面積当たりの生育量を高めるような栽培条件を探る必要性がある. そこで、本研究では栽植密度が異なる場合の作系 4 号の生育・収量性を親品種 (根粒普通着生品種) のエンレイ、根粒非着生系統 En1282 と比較・解析し、その結果から作系 4 号に適した宮城県内の栽培法について考察した.

材料と方法

2003 年には、鳴子町川渡 (試験 1) で、2004 年には仙台市七郷 (試験 2) で圃場実験を行った. 主要な栽培条件を第 1 表に示した.

第 1 表 試験 1, 2 の栽培条件と開花日およびサンプル時期.

	試験 1	試験 2
年	2003	2004
場所	川渡町 鳴子	仙台市 七郷
播種日	5月 23日	6月 2日
反復	3	3
施肥量 (g m^{-2})		
窒素 (N)	3	3
リン酸 (P_2O_5)	15	10
カリ (K_2O)	15	10
栽植密度	2	2
	(標準, 密植)	(標準, 密植)
標準区		
畝間 (cm)	60	70
株間 (cm)	15	15
株密度 (m^{-2})	11.1	9.5
密植区		
畝間 (cm)	60	70
株間 (cm)	7.5	7.5
株密度 (m^{-2})	22.2	19.1
開花期	8月5日	7月28日
サンプル時期 R1	8月5日	7月28日
R4	--	8月25日
R5	9月10日	--
R8	10月18日	10月27日

サンプル時期の R1 ~ R8 の表示は、Fehr ら (1971) による.

1. 材料

根粒超着生品種作系 4 号と親品種のエンレイ、根粒非着生系統 En1282 の 3 品種・系統を用いた. 作系 4 号はエンレイの突然変異種 'En6500' にエンレイを戻し交雑し、その後系統選抜した品種である (高橋ら 2003). また、選抜の過程でタマホマレが自然交雑したことが推定されている (山本ら 2004). En1282 は、農業生物資源研究所で育成されたエンレイ由来の根粒を着生しない突然変異系統である.

2. 試験 1 (鳴子町川渡, 2003 年)

3 品種・系統を東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センターの試験圃場 (鳴子町川渡, 非アロフェン質黒ボク土) に 5 月 23 日に播種した. 栽植密度として、標準区は $0.6 \times 0.15 \text{ m}$, 密植区は $0.6 \times 0.075 \text{ m}$ ($11.1, 22.2$ 個体/ m^2) とした. 1 株 2 粒を播種し、出芽後間引いて 1 株 1 本とした. 肥料は N, P_2O_5 , K_2O を成分でそれぞれ 3, 15, 15 g m^{-2} 相当を、尿素、過磷酸石灰、塩化カリウムで施肥した. 肥料は畦に沿って条施し、間土した後施肥位置の直上部に播種した. 3 品種・系統と 2 栽植密度を組み合わせ 3 反復として各区 3 畝 $\times 6 \text{ m}$ (10.8 m^2) の計 18 区を分割区法 (主試験区: 栽植密度, 副試験区: 品種) で配置した.

開花期 (R1, Fehr ら 1971), 子実肥大期 (R5) および成熟期 (R8) にそれぞれ連続 10 個体を選び、子葉節で切断し地上部を採取した. 開花期と子実肥大期のサンプルは中庸な個体の葉面積を測定した後、各器官 (葉, 葉柄と茎, 根, 根粒) に分け、 80°C で 2 日間以上乾燥させ乾物重を測定した. 単位面積当たりの葉面積 (葉面積指数, LAI) は葉面積測定個体と他の個体との乾物重の比を用いて算出した. 成熟期のサンプルについては茎の乾物重の他に節数, 莢数, 粒数および粒重を測定した.

3. 試験 2 (仙台市七郷, 2004 年)

試験 1 と同様の試験を仙台市七郷の転換畑 (灰色低地土) で実施した. 肥料は N, P_2O_5 , K_2O を成分でそれぞれ 3, 10, 10 g m^{-2} 施肥した. 肥料は、化成肥料 [N: P_2O_5 : K_2O = 30:100:100 g kg^{-1}] (昭光通商 (株), ニューブライト 600) を用いた. 栽植密度は標準区 $0.7 \times 0.15 \text{ m}$, 密植区 $0.7 \times 0.075 \text{ m}$ ($9.5, 19.1$ 個体/ m^2) とし、6 月 2 日に 1 株 2 粒ずつ播種した. 出芽後間引いて 1 株 1 本とした. 3 品種・系統, 2 栽植密度を組み合わせ 3 反復として各区 5 畝 $\times 4 \text{ m}$ (14 m^2) の計 18 区を分割区法 (主試験区: 栽植密度, 副試験区: 品種) で設けた.

開花期 (R1), 莢伸長期 (R4) および成熟期 (R8) にそれぞれ連続 10 個体の地上部を採取した. 乾物重, LAI, 収量および収量構成要素の測定は、試験 1 と同様である. その際、連続採取した 10 個体のうちの中庸 3 個体を用い、収量関連形質の詳細な調査を行った. すなわち、主茎と分

枝別の節数、着莢節数、莢数、胚珠数、粒数および結実率を調査した。結実率は総胚珠数に対する総粒数（粒数と不完全粒数の和）とした。

試験1, 2 いずれも、中耕・培土を行い、病虫害防除は適宜実施した。いずれの試験においても根粒菌の接種（まめぞう、十勝農協連、帯広）を行った。仙台および鳴子の気象データは気象庁のウェブサイトから入手した。生育・収量関連形質については、試験ごとに分散分析を行い、栽植密度間あるいは品種・系統間の差の有意性を検定した。

結 果

1. 試験1

第2表に乾物重および成長パラメータを示した。開花期、子実肥大期の乾物重は、子実肥大期の En1282 では有意差がみられないが、他の2品種・系統の密植区で有意に高かった。LAI は開花期では密植区で有意に高く、子実肥大期に

においても密植区でわずかに高まる傾向があった。純同化率（NAR）は密植によりエンレイと En1282 では減少し、作系4号では増加する傾向があった。個体群成長速度（CGR）は密植により作系4号においてのみ有意（5%水準、以下同様）に高まり、エンレイと En1282 では変動がみられなかった。作系4号で認められた密植による CGR の増加は、LAI および NAR の増加による。

次に、収量・収量構成要素を第3表に示した。収量は作系4号においてのみ密植区で増加の傾向がみられたが、エンレイと En1282 では明瞭な密度の影響はみられなかった。莢数、粒数は品種・系統によって反応が異なり、作系4号は密植により増加する傾向がみられたのに対し、エンレイと En1282 では僅に減少の傾向があった。100粒重は品種・系統にかかわらず密植による増加の傾向がみられたが、1莢粒数には明瞭な差がなかった。粒茎比は密植区で有意に減少した。作系4号の節当り莢数は密植による有意な減少

第2表 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の地上部乾物重および成長パラメータに及ぼす影響(試験1, 2003・鳴子)。

	地上部乾物重 (R1, g m ⁻²)	LAI (R1, m ² m ⁻²)	地上部乾物重 (R5, g m ⁻²)	LAI (R5, m ² m ⁻²)	NAR (R1-5, g m ⁻² d ⁻¹)	CGR (R1-5, g m ⁻² d ⁻¹)
標準区						
エンレイ	105 a	2.0 a	346 a	2.6 a	3.4 ns	6.7 a
作系4号	45 b	0.8 b	118 b	1.2 b	2.4 ns	2.0 b
En1282	61 b	0.7 b	148 b	1.2 b	3.5 ns	2.4 b
密植区						
エンレイ	206 a	2.8 a	455 a	2.6 ns	2.5 a	6.9 a
作系4号	94 b	1.6 b	246 b	1.9 ns	2.7 a	4.2 b
En1282	128 b	1.8 b	208 b	1.5 ns	1.3 b	2.2 c
区間差						
エンレイ	*	*	*	ns	ns	ns
作系4号	*	*	*	ns	ns	*
En1282	*	*	ns	ns	*	ns

* は5%水準で有意差があること、ns は有意差がないことを示す。

同一区内において同一のアルファベットが付された数値間では、5%水準で有意差がないことを示す。

第3表 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の収量および収量構成要素に及ぼす影響(試験1, 2003・鳴子)。

	収量 (g m ⁻²)	茎重 (g m ⁻²)	莢数 (m ⁻²)	粒数 (m ⁻²)	100粒重 (g)	粒茎比	1莢粒数	節当り莢数
標準区								
エンレイ	152 a	87 a	392 a	646 a	23.8 ns	1.75 a	1.64 ns	0.95 ns
作系4号	82 b	45 b	223 b	358 b	23.1 ns	1.84 a	1.66 ns	0.66 ns
En1282	67 b	51 b	206 b	370 b	18.1 ns	1.31 b	1.79 ns	0.57 ns
密植区								
エンレイ	158 a	149 a	344 a	616 a	25.7 a	1.06 b	1.80 ns	0.59 ns
作系4号	132 a	94 b	313 ab	504 a	26.3 a	1.42 a	1.63 ns	0.57 ns
En1282	67 b	83 b	194 b	312 b	21.2 b	0.80 c	1.63 ns	0.37 ns
区間差								
エンレイ	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	*
作系4号	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
En1282	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*

* は5%水準で有意差があること、ns は有意差がないことを示す。

同一区内において同一のアルファベットが付された数値間では、5%水準で有意差がないことを示す。

第4表 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の節数に及ぼす影響(試験1, 2003・鳴子).

	主茎節数 (m ⁻²)	分枝節数 (m ⁻²)	総節数 (m ⁻²)	主茎節数割合
標準区				
エンレイ	223 ns	190 a	413 ns	0.54 b
作系4号	226 ns	113 b	339 ns	0.67 a
En1282	207 ns	155 ab	362 ns	0.57 ab
密植区				
エンレイ	423 ns	159 ns	582 ns	0.73 ns
作系4号	442 ns	109 ns	551 ns	0.81 ns
En1282	411 ns	107 ns	518 ns	0.79 ns
区間差				
エンレイ	*	ns	*	*
作系4号	*	ns	*	ns
En1282	*	*	*	*

*は5%水準で有意差があること, nsは有意差がないことを示す.
同一区内において同一のアルファベットが付された数値間では, 5%水準で有意差がないことを示す.

がみられなかったが, エンレイと En1282 では有意に減少した. 以上のように, 作系4号の密植による収量増加は, 莢数, 粒数および100粒重の増加によることが認められた.

エンレイの乾物重, LAI, 収量, 茎重, 莢数および粒数は概して作系4号より有意に大きかった(第2, 3表). 密植区の収量, 莢数, 粒数と莢伸長期のLAIは, 作系4号よりエンレイで高い傾向がみられたが有意差はなかった. NARは作系4号とエンレイに有意な差がないことから, 開花期のLAIが小さいことが作系4号のCGRおよび乾物重を小さくしている要因と判断される. 作系4号の粒茎比は, 密植区で特に他の品種・系統よりも有意に高かった(第3表).

栽植密度が最終的な節数に及ぼす影響を第4表に示した. 面積当りの主茎節数は, 3品種・系統ともに密植により有意に増加した. これに対して, 分枝節数は密植により

減少の傾向にあった. 総節数はいずれの品種・系統においても密植により有意な増加がみられた. 総節数に対する主茎節数の割合(主茎節数割合)は, エンレイと En1282 では密植により有意に増加したのに対し, 作系4号では増加の傾向があったが有意ではなかった.

面積当りの主茎節数は栽植密度にかかわらず, 作系4号とエンレイはほぼ同程度であったが, 分枝節数はエンレイが作系4号を上回った. 総節数では作系4号とエンレイには有意差はみられなかった. 主茎節数割合は, 作系4号において高い傾向がみられた.

2. 試験2

第5表に3品種・系統の乾物重および成長パラメータを示した. 莢伸長後期に乾物重およびLAIは, 作系4号では密植により有意な増加が認められ, エンレイと En1282 では有意ではないが増加の傾向があった. NARはエンレイを除いて他の品種・系統では密植により減少する傾向があった. また, CGRは品種・系統にかかわらず密植により増加する傾向がみられた.

第6表に栽植密度が収量および収量構成要素に及ぼす影響を示した. いずれの品種・系統においても, 収量は密植による有意な増加はみられなかった. 密植により莢数はエンレイと作系4号では有意な増加がみられたが, 粒数においてはエンレイのみに有意な増加がみられた. 作系4号とエンレイの100粒重は, 密植によりわずかに減少の傾向があった. En1282においては, 収量, 茎重, 莢数, 粒数および100粒重の各形質において, 密植による有意な増加はなかった. いずれの品種・系統においても, 粒茎比と節当り莢数は密植により減少する傾向があった. 1莢粒数は密植により, エンレイでは増加し, 作系4号では減少する傾向を示した.

品種・系統間の成長パラメータおよび収量構成要素の値

第5表 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の地上部乾物重および成長パラメータに及ぼす影響(試験2, 2004・仙台).

	地上部乾物重 (R1, g m ⁻²)	LAI (R1, m ² m ⁻²)	地上部乾物重 (R4, g m ⁻²)	LAI (R4, m ² m ⁻²)	NAR (R1-4, g m ⁻² d ⁻¹)	CGR (R1-4, g m ⁻² d ⁻¹)
標準区						
エンレイ	243 a	4.0 a	785 a	5.6 a	5.0 ns	19.3 a
作系4号	98 b	1.7 b	384 b	3.8 b	6.4 ns	10.2 b
En1282	225 a	3.4 a	548 ab	4.1 b	3.3 ns	11.5 ab
密植区						
エンレイ	287 a	4.9 a	971 a	6.7 ns	5.1 ns	24.4 a
作系4号	156 b	2.7 b	544 b	5.3 ns	5.5 ns	13.9 b
En1282	296 a	4.8 a	668 b	5.2 ns	2.7 ns	13.3 b
区間差						
エンレイ	ns	ns	ns	ns	ns	ns
作系4号	ns	ns	*	*	ns	ns
En1282	*	ns	ns	ns	ns	ns

*は5%水準で有意差があること, nsは有意差がないことを示す.
同一区内において同一のアルファベットが付された数値間では, 5%水準で有意差がないことを示す.

第6表 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の収量および収量構成要素に及ぼす影響(試験2, 2004・仙台).

	収量 (g m ⁻²)	茎重 (g m ⁻²)	莢数 (m ⁻²)	粒数 (m ⁻²)	100粒重 (g)	粒茎比	1莢粒数	節当り莢数
標準区								
エンレイ	510 a	201 a	729 a	1371 a	36.3 a	2.55 a	1.88 a	1.54 a
作系4号	397 a	130 b	692 a	1219 a	33.2 a	3.08 a	1.76 ab	1.48 a
En1282	192 b	157 b	422 b	693 b	25.1 b	1.20 b	1.63 b	0.92 b
密植区								
エンレイ	579 a	252 a	948 a	1837 a	35.9 a	2.29 b	1.94 a	1.40 a
作系4号	390 b	138 c	744 b	1203 b	32.9 a	2.84 a	1.62 b	1.24 a
En1282	195 c	196 b	462 c	768 c	26.1 b	1.00 c	1.66 ab	0.72 b
区間差								
エンレイ	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns
作系4号	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*
En1282	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

*は5%水準で有意差があること, nsは有意差がないことを示す.

同一区内において同一のアルファベットが付された数値間では, 5%水準で有意差がないことを示す.

を比較すると, 莢伸長期の密植区の葉面積, 標準区の莢数, 粒数を除き, エンレイの乾物重, LAI, CGR, 収量, 茎重, 莢数, 粒数は概して作系4号よりも有意に大きかった(第5, 6表). En1282は収量, 莢数, 粒数, 節当りの莢数, 粒茎比, 100粒重の各形質が他の2品種よりも有意に小さかった. 作系4号の粒茎比はエンレイおよびEn1282よりも有意に大きかった(第6表). 作系4号のCGRは, 試験1と同様にLAIが小さいことによりエンレイを大きく下回った(第5表).

栽植密度が節数に及ぼした影響を第7表に示した. 面積当りの主茎節数はいずれの品種・系統でも密植により増加した. それに対して, 分枝節数は作系4号のみ密植により減少し, 他の2品種・系統では増加の傾向があった. 総節数, 主茎節数割合は3品種・系統とも密植により有意な増

加がみられた.

作系4号の面積当りの主茎節数は標準区ではエンレイよりも多く, 密植区ではエンレイとほぼ同程度であったが, 分枝節数は両区でエンレイよりも少ない傾向があり, 密植区では有意に少なかった. その結果, 総節数では密植区において作系4号はエンレイを下回った. 主茎節数割合は, 常に作系4号で高かったが, 密植区では有意差がなかった.

以上のように, 作系4号と他の2品種・系統との収量性の違いには, 主茎と分枝の密植に対する反応性の違いが反映されていることが窺えたので, 主茎と分枝別により詳細な収量関連形質の解析を試みた(第1, 2図).

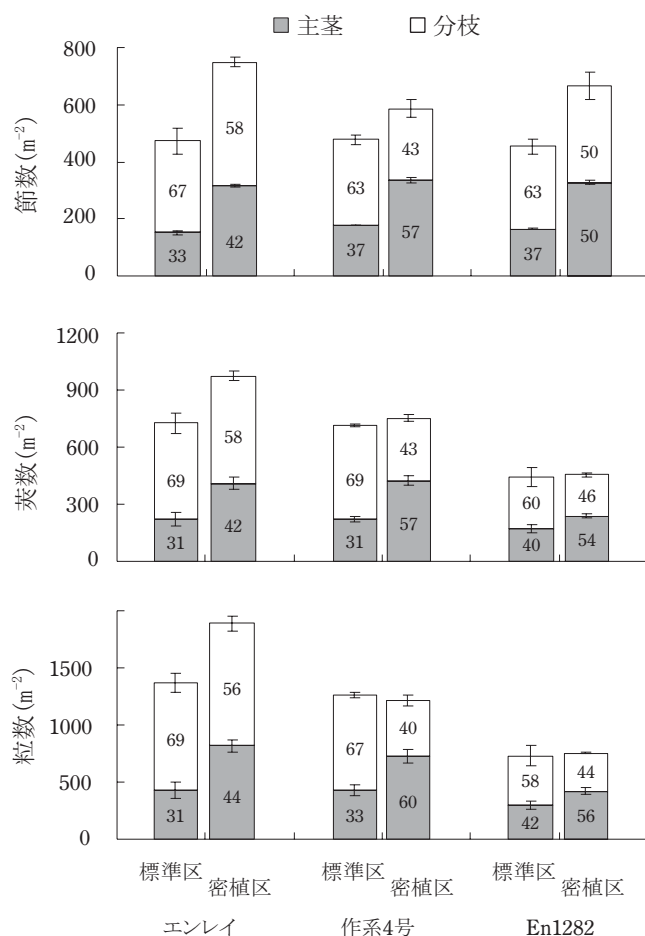
第1図には, 節数, 莢数および粒数を主茎と分枝別に示した. 面積当りの節数は主茎・分枝により反応が異なった. 主茎節数は密植により3品種・系統とも増加したが, 分枝節数は密植によりエンレイでは増加し, 作系4号では減少した. 主茎莢数は密植により3品種・系統とも増加したが, 分枝莢数はエンレイでは増加し, En1282では減少し, 作系4号では著しく減少した. これらの結果, 総莢数は密植によりエンレイでは増加したが, 他の2品種・系統では増加しなかった. 次いで, 粒数を着生部位ごとに分けて解析すると, 主茎に着生した粒数の変化は莢数の変化と類似していた. 主茎の結実率は, いずれの品種・系統においても栽植密度による差がみられなかった. 分枝の結実率はいずれの品種・系統においても主茎よりも低かった. 作系4号の結実率は, 主茎, 分枝にかかわらずエンレイよりも低く, 特に密植区に分枝では著しく低く有意な品種間差があった(第2図). 以上のように, 密植による作系4号とエンレイの差は, 分枝の節数, 莢数および結実率, そしてその結果としての粒数の差に起因していた.

第7表 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の節数に及ぼす影響(試験2, 2004・仙台).

	主茎節数 (m ⁻²)	分枝節数 (m ⁻²)	総節数 (m ⁻²)	主茎節数割合
標準区				
エンレイ	159. b	314 ns	473 ns	0.34 b
作系4号	179 a	287 ns	466 ns	0.40 a
En1282	166 b	290 ns	455 ns	0.37 ab
密植区				
エンレイ	312 ns	366 a	678 a	0.48 ns
作系4号	330 ns	271 b	601 b	0.57 ns
En1282	332 ns	312 ab	644 ab	0.55 ns
区間差				
エンレイ	*	ns	*	*
作系4号	*	ns	*	*
En1282	*	ns	*	*

*は5%水準で有意差があること, nsは有意差がないことを示す.

同一区内において同一のアルファベットが付された数値間では, 5%水準で有意差がないことを示す.

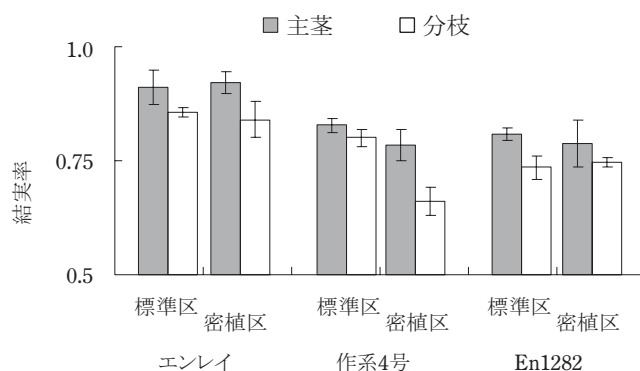


第1図 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の節数、莢数および粒数に及ぼす影響 (試験2: 仙台)。図中の数字は主茎と分枝の着生割合 (%)。

考 察

収量と各収量構成要素 (総節数、莢数、粒数) および成長パラメータの相関を調べたところ、収量は全ての品種・系統において莢数、粒数、乾物重 (R1, R4-5)、LAI (R1, R4-5)、CGR と 5%、1%あるいは 0.1% 水準で有意な正の相関がみられた (データは省略)。第3図に各時期の乾物重と収量の関係を示した。各時期の乾物重と収量には、開花期の作系4号を除き 0.1% 水準で有意な相関関係がみられた。また、開花期の作系4号においても 5% 水準で有意な相関関係がみられた。乾物重に対する収量の効率性は、作系4号がもっとも高く、続いてエンレイ、En1282の順であった。このことから、さらに密植にして乾物重を増加させた場合、作系4号の収量が増加する可能性があるかと推察された。

開花期、莢伸長期および子実肥大期における地上部の乾物重と葉面積に対する栽植密度の影響を解析した結果、いずれの品種・系統においても密植によりこれらの形質が増加する傾向が認められた (第2, 5表)。収量は、密植により作系4号では試験1で増加の傾向がみられたが、試験2



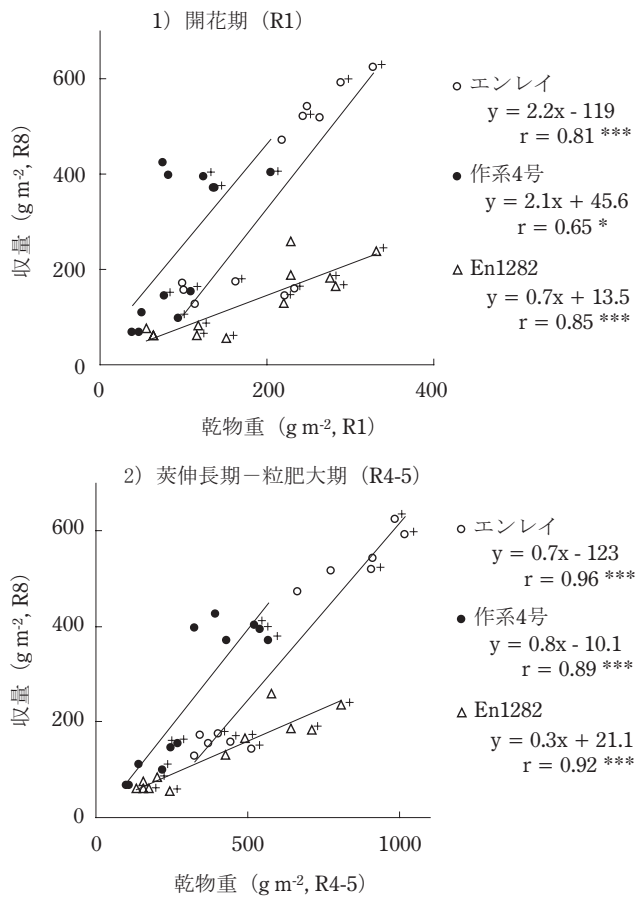
第2図 栽植密度が根粒着生程度の異なるダイズ品種・系統の部位別の結実率に及ぼす影響 (試験2: 仙台)。

や試験1における他の品種・系統では効果がみられなかった (第3, 6表)。試験1は試験2と比べると収量水準がかなり低く、気象条件や土壌条件により子実肥大期や成熟期までに十分な乾物重や LAI を確保されていなかったことから、密植によるこれら形質の促進が収量増加に寄与しなかったものといえよう。 (第3, 6表)。

作系4号の生育量は、試験1, 2間では絶対値が異なるが密植により増加した。作系4号における生育量増加は LAI の増加に伴う CGR の増加によった (第2, 5表)。試験1の作系4号の密植区の収量は、莢数、粒数、100粒重の増加と節当りの莢数の維持により増加した (第3表)。一方、試験2では、密植による生育量増加が収量増加には反映されなかった。試験2においては、密植により莢数が有意に増加したにもかかわらず、節当たりの莢数は有意に減少し、また、1莢粒数も有意ではないが減少したことにより、結果として粒数に変化がなかったことが要因と考えられた (第6表)。

一方、根粒非着生系統 En1282 は、密植により乾物重および LAI は増加するものの、収量への効果は試験1, 2を通してみられなかった。En1282 は根粒を着生しないため、吸収窒素は肥料と土壌からのみの供給である。したがって、根粒非着生系統では密植による単位面積当りの根粒形成数の増加、ひいては窒素固定量の増加が期待できない。根粒活性は、地温に大きく作用されることが報告されており、地温が 30℃ までは地温と窒素固定活性が正の相関を示すと述べている (Denison and Sinclair 1985, Sinclair and Weisz 1985)。本実験においては、地温を測定していないが、低温年であった試験1 (2003年) の平均気温と日照時間を平年よりも高く推移した試験2 (2004年) の平均気温と日照時間を代用し比較すると (第8表)、少なくとも試験1よりも高温年であった試験2 (2004年) では根粒活性が高かったと推察され、これが根粒着生能を持つ2品種と非着生系統との収量差が著しく大きくなった1つの要因と思われる (第3, 6表)。

エンレイの収量は、2つの実験 (試験1, 2) を通して他の2品種・系統よりも高かった (第3, 6表)。これはエン



第3図 地上部乾物重と収量の関係。

*, ***は、それぞれ5, 0.01%水準で有意な相関関係があることを示す。図中の+は密植区のデータを示す。

レイの地上部乾物重、LAIが高く、また、En1282と比べると莢数、粒数、100粒重および節当りの莢数が、作系4号と比べると莢数、粒数、100粒重および節当りの莢数が、それぞれ大きかったことに起因していた。成長解析の結果、エンレイのCGRは試験1, 2とも、他の2品種・系統より有意に大きかった。エンレイと作系4号のNARには有意差がなかったことから、両者の差はLAIの差によると考えられた。一方、作系4号は密植によってLAIが高まるもののエンレイよりも絶対値が小さく、このことがCGRおよび収量増加を制限していると思われる(第2, 5表)。

節数、莢数および粒数に対する栽植密度の効果は、3品種・系統において概して同じ傾向がみられた。しかし、主茎と

分枝に分けて解析すると品種・系統により反応が異なった。主茎の形質については密植の効果は大きく、密植による個体数の増加がこれら形質の増加に大きく寄与していた。分枝の形質においては、密植による増加の効果がみられたエンレイと、減少の効果がみられた作系4号およびEn1282とは対照的であった。その結果、主茎と分枝を合わせた全体の数値の差は、分枝の差に起因していた(第1図)。これら形質の個体全体に対する主茎の割合は、エンレイよりも作系4号で高く、密植によりその傾向が強まった。節当りの莢数、全節数に対する着莢節数の割合は、栽植密度間あるいはエンレイと作系4号の品種間差には、有意な差がなかった(データは省略)。

以上のように、作系4号とエンレイを比較すると、主茎の節数、莢数、胚珠数、粒数および粒重については差が小さいが、分枝に着生するこれらの形質の差が明瞭であることがわかった。そのため、密植による個体数の増加により、単位面積当りの節数、莢数、粒数、粒重はいずれの品種・系統においても主茎では大幅に増加するが、分枝では品種により増加程度が異なるため、最終的な節数、莢数および粒数に品種間差を生じさせていることがわかった。1株着莢節数/全節数(データは省略)や、結実率、節当りの莢数などに大きな差がなかったことから、作系4号は分枝の成長量でエンレイと大きな差があることがわかった。

次に、両年度の気象条件が作物に与えた影響を考察する。第8表に2003年の鳴子(試験1)と2004年の仙台(試験2)の月別の平均気温、日照時間および降雨量を示した。2003年は2004年に比べ月別の気温が全生育期間を通じて約1~3℃低く、日照時間においても6, 7, 8月はかなり低かった。また、積算降雨量は2003年の7, 8月はきわめて多かった。これは、概して、平年値と比べると2003年は冷夏であったのに対し、2004年は初夏に日照時間が多い暑い夏であった。本実験は、以前の実験の結果(前川・国分2005)から判断し生育量をより多く確保することを目的として、試験1では施肥量を増やし畝間の間隔を狭めて栽培した。それにもかかわらず、試験1は以前に行った実験(前川・国分2005)よりも生育量、収量が低くなった。試験1は中山間地域の黒ボク土の畑作地で栽培したのに対し、試験2では仙台市近郊の水田の畑転換の初年目に栽培したこともあり、土壌の肥沃度も大きく影響していたと思われる。また、試験1を行った2003年の夏はまれにみる低温年であり、

第8表 試験1, 2の気象条件(2003, 2004年)。

	日平均気温(℃)					日照時間(h)					降雨量(mm)					
	月	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
試験1 (2003・鳴子)		18.1	17.5	21.1	18.3	11.7	95	28	51	89	152	126	411	264	70	65
試験2 (2004・仙台)		19.9	23.8	23.6	21.2	14.5	189	196	186	109	115	137	156	72	85	294
平年値(鳴子)		17.3	20.8	22.5	18.4	12.3	101	81	107	97	135	169	202	238	203	124
平年値(仙台)		18.3	22.1	24.1	20.4	14.8	128	128	155	120	152	138	160	174	218	99

かつ中山間地域であったため、十分な生育量が確保できなかった。それに対し、試験2の2004年の夏は高温に恵まれ、施肥量、栽植密度が試験1よりも小さかったにもかかわらず、収量は試験1の3~4倍になった。特に、作系4号では両試験の収量差が大きく現れた。このような試験1と試験2の気象条件と土壌条件の違いが生育量や収量の差の主たる要因と推察された。

また、試験1と試験2で密植による100粒重の増減が逆傾向にあった。100粒重は、粒数とは負の相関がみられ、また粒肥大期の気象・土壌条件によっても変動するが、本実験の範囲ではこれら2つの要因による明確な関連は見出せなかった。未知の要因が関与したのかもしれない。

作系4号をつくばで栽培した結果では、エンレイと同程度、またはそれ以上の収量をあげる場合があることが報告されている (Takahashi ら 2003, 高橋 2005)。特に、狭畦によって収量が増加すること、初期生育促進は窒素施肥で可能になることを報告している。つまり、栽培条件によっては、作系4号は多収品種としての能力を発揮し、実用的に活用されうる可能性を示している。しかし、鳴子および仙台で栽培した本実験では、作系4号がエンレイの収量を上回ることにはなかった。国分 (1988) は、ダイズの LAI と CGR は、生育期間をとおして正の相関を示し、これら両者と収量にも相関が認められること、特に開花期から莢伸長期の LAI, CGR と収量の相関が高いことを報告している。これらのことから、作系4号は、高温で生育が旺盛な年でも開花期までの乾物重と LAI が小さく、このことが開花期以降の CGR を制限し、収量を規制していたと考えられる (第2, 3, 5, 6, 8 表)。

石井 (1983) は、東北地域の各県農業試験場において1979年から4年間にわたって実施されたダイズ多収実証試験の結果を解析し、開花期の乾物重から子実収量をある程度推定できることを報告している。これによると、子実収量 $400 \sim 500 \text{ g m}^{-2}$ の多収が得られた試験例は、開花期の乾物重が $150 \sim 220 \text{ g m}^{-2}$ の範囲にあることを指摘している。本研究の作系4号の開花期乾物重は、密植区であっても試験1では 94 g m^{-2} (第2表) と石井の指摘する乾物重の目安よりかなり少なく、試験2では 156 g m^{-2} (第5表) で目安の下限に近い値であった。したがって、作系4号の開花期までの適度な生育量を得るためには、本研究で用いた栽植密度 ($19.1, 22.2$ 個体/ m^2) を上回る密植が必要であろう。

以上のことから、東北地方において作系4号の多収化を図る場合、開花期までの乾物重や葉面積を高める栽培手段が重要であり、密植はその有効な手段の1つである可能性が窺えた。特に、生育量が少ない圃場・気象条件下では、その効果は大きかった。しかし、密植によっても、対照品種のエンレイを上回ることができなかったが、これには作系4号の分枝の節数および分枝に着生する莢数、粒数、粒重などの収量構成要素の値が小さいことが要因であること

がわかった。したがって、作系4号を用いた多収栽培法を確立するためには、この特性を考慮した方策が必要である。例えば、高橋ら (2005) の報告にあるように、狭畝による超密植化などが考えられる。また、初期生育促進を指標とした遺伝的な改良も必要かもしれない。これらの方策により、開花期までの生育量を十分確保することができれば、作系4号の持つ葉面積当りの窒素含量と光合成速度の高さを活かした多収栽培法が可能となろう。

引用文献

- Akao, S. and H. Kouchi 1992. A supernodulating mutant isolated from soybean cultivar Enrei. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38 : 183–187.
- 荒垣憲一・藤井博 1991. ダイズに対する培土期被覆尿素追肥について. *土肥誌* 62 : 75–78.
- Carroll, B.J., D.L. McNeil and P.M. Gresshoff 1985a. Isolation and properties of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] mutants that nodulate in the presence of high nitrate concentrations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 82 : 4162–4166.
- Carroll, B.J., D.L. McNeil and P.M. Gresshoff 1985b. A supernodulation and nitrate-tolerant symbiotic (*nts*) soybean mutant. *Plant Physiol.* 78 : 34–40.
- Denison, R.F. and T.R. Sinclair 1985. Diurnal and seasonal variation in dinitrogen fixation (acetylene reduction) rates by field-grown soybeans. *Agron. J.* 77 : 679–684.
- Fehr, W.R., C.E. Caviness, D.T. Burmood and J.S. Pennington 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11 : 929–931.
- Fukushima, D. 2000. Recent progress in research and technology for processing and utilization of soybeans. In the Organizing Committee for ISPUC-III ed., *Proc. 3rd Int. Soybean Processing and Utilization Conference (ISPUC- III)*. Korin Publishing, Tokyo. 11–16.
- Gremaud, M.F. and J.E. Harper 1989. Selection and initial characterization of partially nitrate tolerant nodulation mutants of soybeans. *Plant Physiol.* 89 : 169–173.
- Harper, J.E. 1987. Nitrogen metabolism. In Wilcox, J.R. ed., *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*, Second edition. ASA, CSSA, SSSA Inc, Madison. 497–533.
- Herridge, D. and I. Rose 2000. Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. *Field Crops Res.* 65 : 229–248.
- 石井和夫 1983. 東北地域におけるダイズに対する肥培管理 [I] – 生育特性 – . *農業および園芸* 58 : 1394–1398.
- 国分牧衛 1988. 大豆の Ideotype の設計と検証. *東北農試研報* 77 : 77–142.
- 国分牧衛 2001. ダイズ多収化の生理学的アプローチ. *日作紀* 70 : 341–351.
- Maekawa, T., M. Takahashi and M. Kokubun 2003. Responses of supernodulating soybean genotype, Sakukei 4 to nitrogen fertilizer. *Plant Prod. Sci.* 6 : 206–212.
- Maekawa, T. and M. Kokubun. 2005. Relation of leaf nitrogen, chlorophyll and rubisco contents with photosynthesis of a supernodulating soybean genotype, Sakukei 4. *Plant Prod. Sci.* 8 : 419–426.
- 前川富也・国分牧衛 2005. 根粒超着生ダイズ品種作系4号の宮城県における生育・収量－緩効性肥料の効果－. *日作紀* 74 : 165–171.

- Matsunami, T., A. Kaihatsu, T. Maekawa, M. Takahashi and M. Kokubun 2004. Characterization of vegetative growth of a supernodulating soybean genotype, Sakukei 4. *Plant Prod. Sci.* 7 : 165–171.
- 中野寛・桑原真人・渡辺巖・田淵公清・長野間宏・東孝行・平田豊 1987. 大豆の窒素追肥技術 第2報 施肥量と施肥位置の効果. *日作紀* 56 : 329–336.
- 中野寛・渡辺巖・桑原真人・田淵公清 1989. 大豆の窒素追肥技術 第4報 土壌条件が追肥効果に及ぼす影響. *日作紀* 58 : 331–336.
- Sinclair, T.R. and C.T. de Wit 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science* 189 : 565–567.
- Sinclair, T.R. and P.R. Weisz 1985. Responses to soil temperature of dinitrogen fixation (acetylene reduction) rates by field-grown soybeans. *Agron. J.* 77 : 685–688.
- Sinclair, T.R. and T. Horie 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency : A review. *Crop Sci.* 29 : 90–98.
- Sinclair, T. R. 2004. Improved carbon and nitrogen assimilation for increased yield. In Boerma, H.R. and J.E. Specht eds., *Soybeans: Improvement, Production, and Uses*, Third edition. ASA, CSSA, SSSA Inc. Madison. 537–568.
- 住田弘一・加藤直人・西田瑞彦 2005. 田畑輪換の繰り返しや長期畑転換に伴う転作大豆の生産力低下と土壌肥沃度の変化. *東北農研研報* 103 : 39–52.
- Takahashi, Y., T. Chinushi, Y. Nagumo, T. Nakano and T. Ohyama 1991. Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield, and nitrogen fixation of soybean plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 37 : 223–231.
- 高橋能彦 1995. 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開 3 ダイズの深層施肥技術. *土肥誌* 66 : 277–285.
- 高橋幹・有原文二・中山則和・国分牧衛・島田信二・高橋浩司・羽鹿牧太 2003. 根粒超着生ダイズ品種「作系4号」の育成. *作物研究所研究報告* 4 : 17–28.
- 高橋幹 2005. 根粒超着生ダイズの特性と実用化の試み. *日本土壌肥料学会編. ダイズの生産・品質向上と栄養生理*. 108–128.
- Takahashi, M., J. Arihara, N. Nakayama and M. Kokubun 2003. Characteristics of growth and yield formation in the improved genotype of supernodulating soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Plant Prod. Sci.* 6 : 112–118.
- 山本亮・高橋良二・原田久也・高橋幹・島田信二 2004. 根粒超着生変異品種の親子鑑定. *育種学研究* 6 : 149–151.

Growth and Yield of a Supernodulating Soybean Cultivar “Sakukei 4” in Miyagi Prefecture —Effects of Planting Density— :

Tomiya MAEKAWA¹⁾ and Makie KOKUBUN²⁾ (¹⁾*College of Bioresource Sci., Nihon Univ., Kanagawa 252-8510, Japan;* ²⁾*Graduate School of Agricultural Sci., Tohoku Univ.*)

Abstract : The supernodulating soybean cultivar “Sakukei 4” is considered to be potentially high-yielding because of its superior capability of nitrogen fixation and photosynthesis. Despite these desirable traits, Sakukei 4 was found to exhibit inferior initial growth under conventional culture conditions. To explore the method of high-yielding cultivation of this cultivar in Miyagi, we conducted two experiments (Exp.1, 2) at two locations in different years (Naruko・2003 and Sendai・2004). Sakukei 4 was grown at two planting densities (standard and dense planting densities), and its growth and yield were compared with its parental normally-nodulating cultivar “Enrei” and non-nodulating genotype “En1282”. In Exp.1 (Naruko・2003), dense planting increased significantly the growth (dry weight) and leaf area index (LAI), irrespective of cultivars, but it significantly increased yield only in Sakukei 4. In Exp.2 (Sendai・2004), dense planting increased significantly the growth and LAI of Sakukei 4, but it failed to increase the yield of any genotype examined. The yield of the three genotypes tested in both experiments tended to be Enrei > Sakukei 4 > En1282 in this order, reflecting the difference of dry weight at flowering and seed-filling stages. The number of nodes, pods and seeds, and seed-set percentage of main stem were markedly increased by dense planting in both Sakukei 4 and Enrei, but the number of branches was increased only in Enrei. In conclusion, increasing planting rate was effective for increasing the yield in Sakukei 4 to some extent, but the yield of Sakukei 4 failed to exceed that of Enrei. The growth of branches at dense planting rate in Sakukei 4 was inferior to that in Enrei, suggesting that cultivation conditions to enhance yield components on the main stem might be effective for the high-yielding cultivation of Sakukei 4.

Key words : Dense planting, Miyagi, Plant density, Soybean, Supernodulation.