

圃場条件下における根粒超着生ダイズ品種作系 4 号と エンレイ・タマホマレとの収量性比較

島村聡¹⁾・高橋幹²⁾・中村卓司¹⁾・中山則和¹⁾・山本亮¹⁾・金栄厚³⁾・島田信二³⁾

(¹⁾ 作物研究所, ²⁾ 国際農林水産業研究センター, ³⁾ 中央農業総合研究センター)

要旨：近年、根粒超着生ダイズ品種作系 4 号（関東 100 号）はエンレイだけではなくタマホマレからも由来した育成品種であることが明らかにされた。本研究では、作系 4 号が有する根粒超着生形質が収量向上に貢献しているのかを確認するために、エンレイおよびタマホマレとともに、その生産性を水田転換畑圃場で 2 年間比較し、作系 4 号の収量改善効果について解析した。作系 4 号の開花期、成熟期および子実中窒素含有率はエンレイとタマホマレの間にあった。2004 年の収量を比較すると、作系 4 号は不耕起狭畦密植・窒素増肥条件下で最高収量 297 kg/10 a を示し、エンレイに対してほぼ同程度か高い傾向を示した。ところが、不耕起狭畦密植区のタマホマレは標準施肥条件下で 368 kg/10 a、窒素増肥条件下で 322 kg/10 a を示し、作系 4 号の最高収量を大きく上回っていた。一方、2005 年では、播種時期の連続した降雨により播種が適期より 1 ヶ月程度遅れ、さらに茎疫病などの発生により栽植密度がやや減少して作系 4 号の能力が発揮できない状況下では、作系 4 号の最高収量は 233 kg/10 a で、エンレイ、タマホマレよりも明らかに低かった。また、作系 4 号は開花期に地上部乾物重が 200 kg/10 a を超えた場合には、その収量はエンレイを大きく優るとされるが、本研究ではその現象を確認できなかった。以上の結果より、作系 4 号の収量は耕起狭畦密植・窒素増肥条件下ではエンレイと同程度以上であるが、タマホマレよりは劣ることが明らかとなった。従って、作系 4 号が持つ根粒超着生形質による収量向上への貢献は困難であると判断された。

キーワード：根粒超着生，自然交雑，収量，生育，ダイズ。

ダイズは子実中のタンパク質含有率が 40% 程度と極めて高く、子実生産のために多量の窒素を必要とする。これまでに窒素施肥によるダイズの多収化について検討されてきたが、窒素肥料の多用は根粒着生と窒素固定活性を抑制して、必ずしも多収に結びつかないとされている (McClure and Israel 1979, 松本ら 1982, Vessey ら 1988)。そこで窒素肥料の利用でなく窒素固定活性を増やすことで多収化が試みられてきた。その一つとして、根粒の着生数を増すことにより窒素固定が向上すると期待して、根粒が通常品種の数倍から 10 倍以上着生する根粒超着生品種・系統 (super nodulation あるいは hyper nodulation) が育成された。ところがこれら根粒超着生系統は根粒形成および窒素固定に光合成産物が多量に消費されるとともに根の発達が抑制されて養水分の吸収が不利になる結果 (Ohyama ら 1993)、いずれの系統も生育・収量が原品種より劣った (Wu and Harper 1991, Pracht ら 1994, Song ら 1995, Zhao ら 1998)。わが国でも農業生物資源研究所において、品種エンレイをエチルメタンスルホン酸 (EMS) で処理して突然変異を誘発し、根粒超着生系統 En6500 が作出されたが (Akao and Kouchi 1992)、この系統の生育・収量もまたエンレイより極めて劣り、しわ・へこみ粒が多発した。

そこで農業研究センター（現・作物研究所）において、これら不良形質の改良を目的として En6500 に対してエンレイへの戻し交配を行い、選抜・固定して根粒超着生品種「作系 4 号（現・関東 100 号（平成 17 年 12 月種苗法によ

る品種登録済み）」が育成された (Takahashi ら 2003, 高橋ら 2003)。高橋 (2005) は、作系 4 号の収量は 3~4 年平均で窒素肥沃度の高い普通畑圃場における耕起栽培法ではエンレイとほぼ同等であることを報告した。一方、肥沃度の低い水田転換畑圃場における耕起栽培法ではエンレイに比べて低収であったが、不耕起・狭畦・窒素増肥栽培条件下では同条件および耕起栽培法のエンレイに比べてそれぞれ 17%, 26% 増収した。不耕起狭畦密植・窒素増肥条件下で作系 4 号が多収となる理由は、個体あたりの生育量が小さいためにそれを補うための密植効果、栽植密度は同じであるが畦間を狭めて株間を広げることにより密植下で初期の個体間競合を緩和できる狭畦栽培効果、さらに初期生育を促進する窒素増肥効果のためとされている。

このように作系 4 号は根粒超着生形質を維持しながら不良形質を排除したことで、その収量がエンレイ並になったとされてきた。ところが、山本ら (2004) は単純配列反復 (SSR: Simple Sequence Repeats) マーカーを用いて解析したところ、作系 4 号はその育成過程において品種タマホマレが自然交雑した後代である可能性が高いことを明らかにした。しかしながら圃場において作系 4 号とエンレイおよびタマホマレの収量を同時に比較した報告はない。作系 4 号は根粒超着生による負を補う形質がタマホマレから導入されて収量が向上したと考えられることから、本研究では根粒超着生形質が収量向上の要因になり得るのかを確認するために、作系 4 号、エンレイおよびタマホマレの生産性

を比較し、作系4号の収量改善要因について解析した。

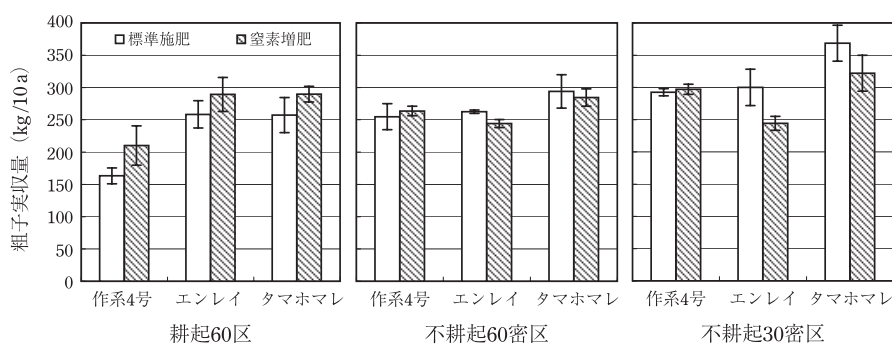
材料と方法

実験は茨城県稲敷市（旧新利根町）太田新田営農組合の水田転換畑圃場（泥炭土、山土客土）で行った。供試したダイズ品種は作系4号、エンレイおよびタマホマレであった。栽植条件として耕起条件で畦間60 cmの区（耕起60区）、不耕起・密植条件で畦間60 cmの区（不耕起60密区）、不耕起・密植条件で畦間30 cmの区（不耕起30密区）の3処理区および施肥条件として標準施肥区（ $N-P_2O_5-K_2O$: 3-12-12 kg/10 a を播種溝の横に側条施用）と窒素増肥区（標準施肥に加え、硫酸を窒素成分量で10 kg/10 a を播種後に全面施用）の2処理区で、それぞれの要因を組み合わせ、各試験区につき2004年は4反復（計72区）、2005年は3反復（計54区）で実験を行った。なお、1試験区の畦長

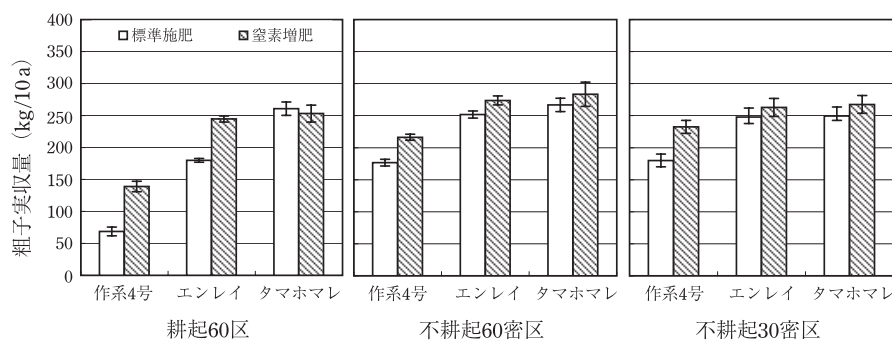
は3.6 mで、その面積は21.6 m²以上とした。2004年6月23日（本地域の標準播種期）および2005年7月20日に播種を行った。2005年に播種が遅れたのは標準播種期の降雨（参考：6/15から7/10までの積算降水量は隣接する龍ヶ崎市で208 mm）のためであった。耕起区では耕起播種機、不耕起区では汎用型不耕起播種機を使用し、栽植密度が耕起60区約17本/m²、不耕起60密区と不耕起30密区約25本/m²になるように播種量を調節した。成熟期実測値は2004年では耕起60区15.5本/m²、不耕起60密区25.0本/m²、不耕起30密区23.4本/m²、2005年では耕起60区7.9本/m²、不耕起60密区18.7本/m²、不耕起30密区18.3本/m²で、2005年の栽植密度が減少した要因は生育初期に茎疫病などによる立ち枯れが発生したためであった。また、耕起区では中耕培土、不耕起区では無中耕無培土で栽培し、他の管理作業は慣行に準じた。開花期および成熟期を調査するとともに、2004年8月4日および2005年8月30日に1反復につき24本を供試し、80℃で48時間以上風乾して地上部乾物重を測定した。収量調査では1反復につき3.6 m²坪刈り（1.8 m×2 m）を行い、粗子実収量（15%水分換算）を測定し、そのうち1.2 m²（1.2 m×1 m）については稔実莢数と粒茎比（茎は80℃で48時間以上風乾）を調査した。また、粒選後に百粒重と近赤外分光分析機（Infratec 1241 Grain Analyzer, Foss Tecator 社）で子実中の窒素含有率を測定し、単位面積あたりの子実への窒素集積量（粗子実収量×0.85×子実窒

第1表 ダイズ3品種の開花期と成熟期。

年次	品種	開花期 (月/日)	成熟期 (月/日)
2004年	作系4号	8/2	10/22
	エンレイ	7/31	10/15
	タマホマレ	8/7	11/2
2005年	作系4号	8/22	10/25
	エンレイ	8/20	10/20
	タマホマレ	8/24	11/7



第1図 粗子実収量に及ぼす品種、栽植および施肥条件の影響（2004年）。
平均値±標準誤差（n=4）。



第2図 粗子実収量に及ぼす品種、栽植および施肥条件の影響（2005年）。
平均値±標準誤差（n=3）。

第2表 各品種の百粒重、稈実英数および粒茎比.

品種	栽培条件	百粒重 (g)				稈実英数 (英 / m ²)				粒茎比			
		2004年		2005年		2004年		2005年		2004年		2005年	
		標準施肥	窒素増肥	標準施肥	窒素増肥	標準施肥	窒素増肥	標準施肥	窒素増肥	標準施肥	窒素増肥	標準施肥	窒素増肥
作系4号	耕起60区	29.9 ± 0.46	29.1 ± 0.49	23.5 ± 0.48	24.0 ± 0.17	330 ± 31	440 ± 53	163 ± 16	326 ± 18	2.66 ± 0.21	2.90 ± 0.15	5.06 ± 0.67	5.40 ± 0.29
	不耕起60密区	30.2 ± 0.28	30.2 ± 0.72	24.9 ± 0.34	24.1 ± 0.11	541 ± 29	601 ± 24	410 ± 23	510 ± 22	2.05 ± 0.20	2.08 ± 0.14	4.25 ± 0.23	3.44 ± 0.14
	不耕起30密区	30.4 ± 0.47	29.5 ± 0.29	24.2 ± 0.99	24.6 ± 0.42	643 ± 32	656 ± 8	438 ± 35	534 ± 17	2.16 ± 0.11	1.80 ± 0.10	3.70 ± 0.09	3.32 ± 0.15
エンレイ	耕起60区 ¹⁾	35.7	36.6	27.1 ± 0.69	27.1 ± 0.84	560 ± 22	599 ± 21	320 ± 41	521 ± 27	1.64 ± 0.15	1.58 ± 0.20	4.22 ± 0.22	4.10 ± 0.09
	不耕起60密区 ²⁾	35.0 ± 0.30	33.9 ± 0.57	26.6 ± 0.56	25.9 ± 0.51	543 ± 24	551 ± 21	528 ± 9	578 ± 9	1.68 ± 0.08	1.42 ± 0.06	3.02 ± 0.02	3.02 ± 0.11
	不耕起30密区 ²⁾	35.7 ± 0.48	35.8 ± 0.56	26.0 ± 0.22	26.8 ± 0.14	584 ± 51	501 ± 9	520 ± 19	534 ± 27	1.56 ± 0.14	1.28 ± 0.11	3.41 ± 0.19	2.79 ± 0.13
タマホマレ	耕起60区	27.8 ± 0.35	27.6 ± 0.46	23.6 ± 0.27	23.9 ± 0.22	617 ± 17	787 ± 41	655 ± 30	621 ± 21	1.45 ± 0.15	1.68 ± 0.23	3.91 ± 0.23	3.67 ± 0.08
	不耕起60密区	28.0 ± 0.24	28.2 ± 0.29	24.4 ± 0.20	24.4 ± 0.21	708 ± 61	700 ± 47	654 ± 23	692 ± 30	1.75 ± 0.04	1.50 ± 0.09	2.94 ± 0.14	2.76 ± 0.03
	不耕起30密区	28.1 ± 0.31	28.4 ± 0.26	23.1 ± 0.35	24.2 ± 0.27	803 ± 43	741 ± 72	684 ± 12	700 ± 26	1.53 ± 0.08	1.53 ± 0.07	2.52 ± 0.04	2.32 ± 0.07

数値は平均値 ± 標準誤差 (2004年: n = 4, 2005年: n = 3).

1) 百粒重において, 2004年エンレイ耕起60区では被害粒が多く, 粒選後の測定に必要な量 (100粒以上) が確保できなかった試験区があり標準施肥区で1反復, 窒素増肥区で2反復となった. そのため参考値として表示した.

2) 百粒重において, 2004年エンレイ不耕起60密・30密区の窒素増肥条件では, 1)と同様に各1試験区で粒選後の測定が不可能であったため3反復となった.

素含有率 × 0.01) を算出した.

結 果

1. 各品種の開花期および成熟期

栽植条件および施肥条件により各品種の開花期および成熟期は変わらなかった. 開花期と成熟期は2004年ではそれぞれエンレイ 7/31, 10/15, 作系4号 8/2, 10/22, タマホマレ 8/7, 11/2であった. また, 2005年ではそれぞれエンレイ 8/20, 10/20, 作系4号 8/22, 10/25, タマホマレ 8/24, 11/7であった. 2カ年とも作系4号の開花期および成熟期はエンレイとタマホマレの間にあった (第1表).

2. 作系4号, エンレイ, タマホマレの粗子実収量と収量関連形質

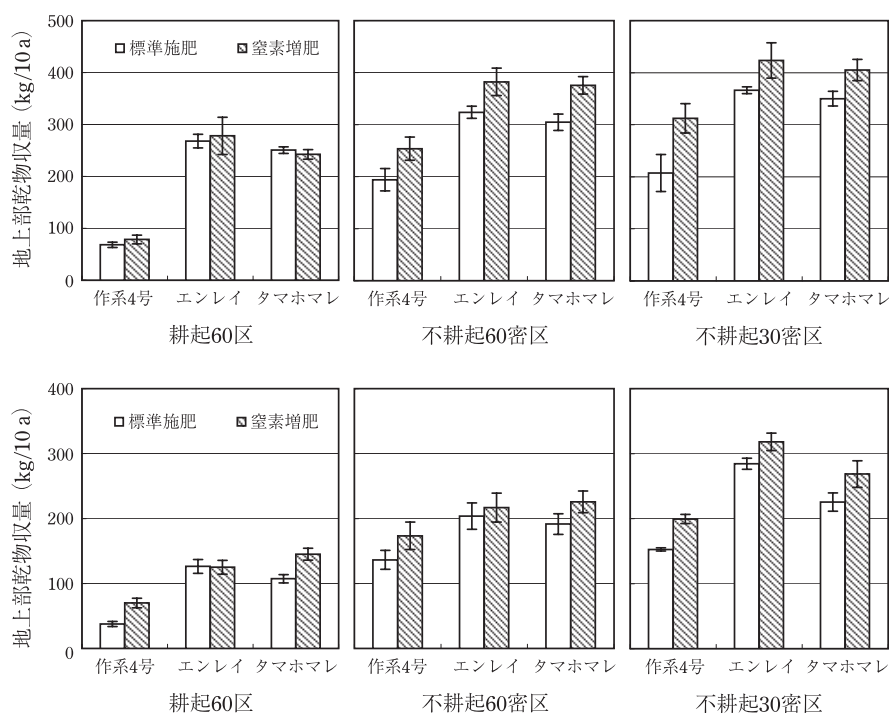
第1図には2004年における各品種の粗子実収量を示した. 耕起60区では窒素増肥により3品種で増収する傾向があったが, 不耕起条件下ではその効果はなかった. 作系4号の収量は不耕起30密区 > 不耕起60密区 > 耕起60区の順で高く, エンレイと比べると耕起条件下では標準施肥区で95 kg/10a, 窒素増肥区で79 kg/10a低かったが, 不耕起条件下では標準施肥区ではほぼ同程度, 窒素増肥区ではやや高かった. 一方, タマホマレに対しては, 同じ処理条件ではいずれの区においても収量は下回った. 最高収量は作系4号では不耕起30密・窒素増肥区の297 kg/10aに対して, エンレイとタマホマレではそれぞれ不耕起30密・標準施肥区の300 kg/10aと368 kg/10aであった.

第2図には2005年における各品種の粗子実収量を示した. 播種期が標準時期より1ヶ月程度遅れたために2004年よりもいずれの試験区で粗子実収量は低下した. 作系4号の収量は標準施肥区に比べて窒素増肥区で高まる傾向を示し, 最高収量は不耕起30密・窒素増肥区の233 kg/10aであったが, その収量値は他の2品種と比較するとエンレイ耕起60・標準施肥区を除く全ての試験区より12~51 kg/10a低かった.

第2表には各品種の百粒重, 稈実英数および粒茎比を示した. 百粒重をみると2004年はエンレイ > 作系4号 > タマホマレ, 2005年はエンレイ > 作系4号 = タマホマレの順であった. いずれの品種も窒素増肥による粒大への正の効果は認められず, 2005年は播種が遅れたために2004年よりも小粒化した. また, 稈実英数は2カ年ともいずれの試験区でタマホマレが最も多く, 作系4号は不耕起30密区で他の区より増加する傾向を示した. 粒茎比はいずれの試験区で作系4号がエンレイ, タマホマレより高かった.

3. 開花期前後の地上部乾物重と粗子実収量との関係

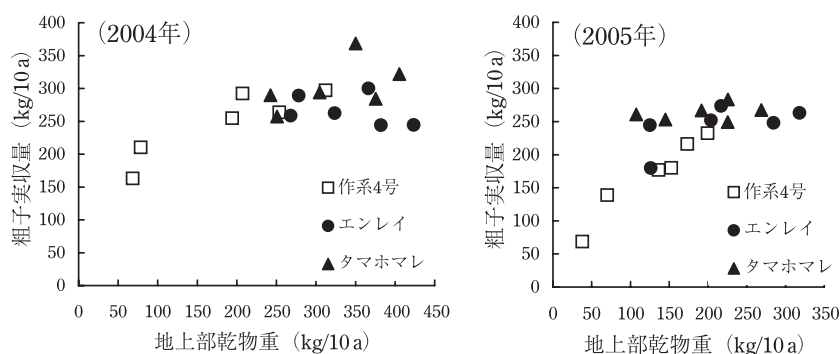
開花期前後の単位面積あたりの地上部乾物重をみると (第3図), 2カ年ともいずれの品種においても栽植条件では不耕起30密区で最も高く, 次いで不耕起60密区, 耕起



第3図 開花期前後の各品種の地上部乾物重.

上段：2004年8月4日，平均値±標準誤差（n=4）.

下段：2005年8月30日，平均値±標準誤差（n=3）.



第4図 開花期前後の地上部乾物重と粗子実収量との関係.

60 区の順であり，施肥条件では不耕起条件下で標準施肥区より窒素増肥区で高くなる傾向であった．作系4号の乾物重は，同じ処理区においては常にエンレイとタマホマレよりも劣っていた．

開花期前後の地上部乾物重と粗子実収量との関係を第4図に示した．作系4号をみると，2カ年とも単位面積あたりの乾物重が200 kg/10 a程度まではその増加にしたがって収量も増加した．しかし，2004年はその後は頭打ち状態の傾向を示した．一方，エンレイとタマホマレは地上部乾物重の増加による収量への効果は認められなかった．

4. 子実中の窒素含有率と単位面積あたりの子実への窒素集積量

子実中の窒素含有率は栽培条件よりも品種の影響が大きく，いずれの年もエンレイ>作系4号>タマホマレの順で

高い傾向であった（第3，4表）．また，10 aあたりの子実窒素集積量は各品種の最大値でみると，2004年では作系4号は不耕起30密・窒素増肥区19.2 kg/10 aであったのに対して，エンレイは不耕起30密・標準施肥区19.8 kg/10 a，タマホマレは不耕起30密・標準施肥区21.1 kg/10 aであった（第3表）．2005年では作系4号は不耕起30密・窒素増肥区13.7 kg/10 aであったのに対して，エンレイは不耕起60密・窒素増肥区16.5 kg/10 a，タマホマレは不耕起60密・標準施肥区15.8 kg/10 aであった（第4表）．

考 察

作系4号の根粒超着生形質は，今までに報告されている他の根粒超着生ダイズと同じく，根粒着生数を制御する遺伝子（*NTS1/GmNARK*）への突然変異によってもたらされているが（Arai ら2005），作系4号は根粒超着生形質であっ

第3表 子実中の窒素含有率と子実への窒素集積量 (2004年).

品種	栽培条件	子実窒素含有率 (%)		子実窒素集積量 (kg/10a)	
		標準施肥	窒素増肥	標準施肥	窒素増肥
作系4号	耕起60区	6.29 ± 0.03	6.16 ± 0.04	10.3 ± 0.82	13.0 ± 1.94
	不耕起60密区	6.40 ± 0.04	6.44 ± 0.04	16.3 ± 1.29	17.0 ± 0.58
	不耕起30密区	6.46 ± 0.04	6.45 ± 0.05	18.9 ± 0.42	19.2 ± 0.51
エンレイ	耕起60区 ¹⁾	6.61	6.47	19.1	20.6
	不耕起60密区 ²⁾	6.61 ± 0.02	6.55 ± 0.02	17.3 ± 0.20	16.1 ± 0.55
	不耕起30密区 ²⁾	6.61 ± 0.03	6.62 ± 0.05	19.8 ± 1.92	15.6 ± 0.59
タマホマレ	耕起60区	5.57 ± 0.05	5.53 ± 0.03	14.3 ± 1.62	16.0 ± 0.71
	不耕起60密区	5.76 ± 0.02	5.68 ± 0.02	16.9 ± 1.46	16.2 ± 0.81
	不耕起30密区	5.73 ± 0.03	5.70 ± 0.03	21.1 ± 1.64	18.3 ± 1.64

数値は平均値 ± 標準誤差 (n=4).

1) エンレイ耕起60区では被害粒が多く、粒選後の測定に必要な量が確保できなかった試験区があり標準施肥区で1反復、窒素増肥区で2反復となった。そのため参考値として表示した。

2) エンレイ不耕起60密・30密区の窒素増肥条件では、1)と同様に各1試験区で粒選後の測定が不可能であったため3反復となった。

第4表 子実中の窒素含有率と子実への窒素集積量 (2005年).

品種	栽培条件	子実窒素含有率 (%)		子実窒素集積量 (kg/10a)	
		標準施肥	窒素増肥	標準施肥	窒素増肥
作系4号	耕起60区	5.81 ± 0.02	5.78 ± 0.04	4.0 ± 0.42	8.0 ± 0.48
	不耕起60密区	5.89 ± 0.05	5.77 ± 0.03	10.4 ± 0.31	12.5 ± 0.30
	不耕起30密区	5.96 ± 0.01	5.88 ± 0.03	10.7 ± 0.64	13.7 ± 0.65
エンレイ	耕起60区	6.16 ± 0.03	6.11 ± 0.06	11.1 ± 0.23	14.9 ± 0.37
	不耕起60密区	6.18 ± 0.01	6.02 ± 0.06	15.6 ± 0.33	16.5 ± 0.58
	不耕起30密区	6.11 ± 0.04	6.12 ± 0.01	15.1 ± 0.55	16.1 ± 0.86
タマホマレ	耕起60区	5.60 ± 0.02	5.54 ± 0.04	14.6 ± 0.63	14.0 ± 0.64
	不耕起60密区	5.65 ± 0.05	5.58 ± 0.03	15.1 ± 0.52	15.8 ± 0.97
	不耕起30密区	5.51 ± 0.01	5.58 ± 0.03	13.7 ± 0.40	14.9 ± 0.78

数値は平均値 ± 標準誤差 (n=3).

でも戻し交雑によって不良形質を排除したことで収量性が改善されたと考えられてきた (Takahashi ら 2003, 高橋ら 2003). しかしながら、収量向上の他に開花期と成熟期がエンレイより遅延化し、主茎節が2節程度多く、小葉もやや長形化して生態的にエンレイとやや異なることも観察されている (高橋ら 2003). 本研究においても、作系4号は2カ年とも開花期と成熟期はエンレイに対して遅延化していたが、タマホマレに比べると早熟であった (第1表). また、子実中の窒素含有率についてもエンレイ > 作系4号 > タマホマレの順で高かった (第3, 4表). 山本ら (2004) が指摘しているように、作系4号はエンレイとタマホマレの交雑品種であり、その開花期、成熟期や子実中の窒素含有率が両品種の間になったと考えられる。

作系4号は不耕起狭畦密植・窒素増肥条件で多収性を発揮できるとされているように (高橋ら 2004b, 高橋 2005), 本研究においても各試験区の中ではこの条件下で最高収量

が得られた。そのため、不耕起狭畦密植・窒素増肥条件下における作系4号の収量と各栽培条件下のエンレイ、タマホマレの収量を比較し、その要因について考察してみたい。なお、作系4号は根の発達程度がエンレイより劣るために土壤乾燥ストレスの影響を受けやすいことから (島村ら 2006), 耕起条件下では土壌表層の乾燥化の促進と中耕による断根の影響で生育が劣って極めて低収になったと考えられる。

2004年の収量を比較すると、作系4号は297 kg/10a (不耕起30密・窒素増肥区) で各栽培条件のエンレイに対してほぼ同程度か高い傾向を示し (第1図), これまでの現地圃場試験の結果 (高橋ら 2004b, 高橋 2005) と一致している。ところが、不耕起30密区のタマホマレは標準施肥条件で368 kg/10a, 窒素増肥条件で322 kg/10aを示し、いずれも作系4号の最高収量である297 kg/10aを大きく上回っていた。一方、2005年のように、当地域の播種適期

より1ヶ月程度遅れ、さらに茎疫病などの発生により栽植密度がやや減少して作系4号の能力が発揮できない状況下では、作系4号の最高収量は233 kg/10aで、エンレイ、タマホマレよりも明らかに低かった(第2図)。また、単位面積あたりの子実への窒素集積量は2カ年ともエンレイやタマホマレで作系4号の最大値を超える栽培条件があり(第3, 4表)、根粒超着生形質による窒素集積増大効果は明らかでなかった。

また高橋(2004)は、作系4号はエンレイと異なり開花期における単位面積あたりの地上部乾物重が増加するにしたがって収量も増加するとし、特に乾物重が200 kg/10aを超えた場合には収量はエンレイより大きく優るとしている。ところが本研究では、2004年に作系4号の開花期2日後に調査したところ、不耕起30密・窒素増肥区の地上部乾物重は312 kg/10aで各栽培条件の中では最も高かったにもかかわらず、その収量はエンレイを大きく優るものではなかった。そのため、第4図に示されるように地上部乾物重が十分に確保されても、この年は収量が直線的に伸びなかったが、第2表にあるように作系4号の粒茎比はエンレイよりも高いので地上部生育量が増収に重要であることは示唆された。他方、2005年は播種時期に降雨があり播種の遅延を余儀なくされたとともに、茎疫病などの発生によって栽植密度が低下した影響が大きく、作系4号の開花期8日後の地上部乾物重は200 kg/10a以下と十分な生育量の確保ができなかった。そのため、エンレイよりも低収になったものと推測される。

今まで、作系4号の増収要因として、葉身の窒素含有量(Maekawaら2003)やクロロフィル含量の指標とされるSPAD値(Takahashiら2005b)、光合成速度(Maekawaら2003, Takahashiら2005b)および植物体あたりの根粒活性(Takahashiら2005a)が生育後期においてもエンレイより高く維持されるためと考えられてきた。ところが、本実験結果からエンレイよりも晩生化して生育期間が延長した結果であり、これらは根粒超着生によるものではなくタマホマレから導入された晩生に関する遺伝的形質が大きく関与していると考えられる。収量関連形質において(第2表)、不耕起狭畦密植・窒素増肥条件下でエンレイと同程度以上の収量を得られる要因として、2004年を例に取ればエンレイよりも作系4号の百粒重は約5g低いが、莢数はいずれの試験区より高いこと、すなわちタマホマレから導入された百粒重が小さくなる負の形質を莢数を増加させる正の形質が大きく補っていることが考えられる。ただし、2005年のように播種期が遅れた場合には莢数はエンレイ並になるので、エンレイの収量より優ることは困難である。その一方で、作系4号は粒茎比がエンレイとタマホマレよりも高いことから(第2表)、乾物生産性はやや劣るが子実生産効率の高い独自の特性が不耕起狭畦密植や窒素増肥条件下での莢付きを良くして収量性を改善していることが考えられる。また、フクユタカにエンレイを2回交配して育成さ

れた品種サチユタカは、タマホマレよりもかなり多収となることが報告されている(高橋ら2004a)。さらに、スズユタカを母にエンレイを父として育成された品種ハタユタカは茨城県において、エンレイよりも水戸市で11%(3カ年平均)、龍ヶ崎市で32%(2カ年平均)増収すると報告されている(島田ら2000)。このようにエンレイは他品種との交雑による遺伝的改良により、かなり増収することが知られている。つまり作系4号は根粒超着生形質であっても不良形質を排除したことで収量性が改善されたと考えてきたが、根粒超着生による生育や収量に対する負を補う生育期間の延長や莢数の増加などに関する遺伝的形質がタマホマレから導入された結果、収量が向上してエンレイよりも多収を示す事例が生じたものと考えられる。

以上より、作系4号の収量は耕起狭畦密植・窒素増肥条件で高くなり、エンレイと同程度以上になることもあるが、タマホマレよりも劣ることが明らかとなった。また、開花期までの生育量が十分確保できない条件では、作系4号の収量はエンレイより明らかに劣っており、栽培環境が最適条件でない場合の収量低下は普通品種よりも著しいといえる。従って、これまでの報告(Wu and Hrapner 1991, Prachtら1994, Songら1995, Zhaoら1998)と同様に、作系4号が持つ根粒超着生形質による収量向上への貢献は困難であると判断された。

謝辞：本研究の遂行にあたり、中央農業総合研究センターの濱口秀生主任研究員、緑資源機構の大矢徹治博士、茨城県鉾田地域農業改良普及センターの野原努博士、新潟県農業総合研究所の服部誠研究員、宮城県古川農業試験場の神崎正明研究員および熊本県農業研究センター農産園芸研究所の春口真一研究員に御協力をいただきました。心から感謝いたします。

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.
- Arai, M., M. Hayashi, M. Takahashi, S. Shimada and K. Harada 2005. Expression and sequence analysis of systemic regulation gene for symbiosis, *NTS1/GmNARK* in supernodulating soybean cultivar, Sakukei 4. *Breed. Sci.* 55 : 147–152.
- Maekawa, T., M. Takahashi and M. Kokubun 2003. Responses of a supernodulating soybean genotype, Sakukei 4 to nitrogen fertilizer. *Plant Prod. Sci.* 6 : 206–212.
- 松本重男・松永亮一・古屋忠彦・益山剛 1982. ダイズの栽培種と野生種との肥料反応性の比較. *日作紀* 52 : 293–300.
- McClure, P. R. and D. W. Israel 1979. Transport of nitrogen in the xylem of soybean plants. *Plant Physiol.* 64 : 411–416.
- Ohya, T., J. C. Nicholas and J. E. Harper 1993. Assimilation of $^{15}\text{N}_2$ and $^{15}\text{NO}_3^-$ by partially nitrate-tolerant nodulation mutants of soybean. *J. Exp. Bot.* 44 : 1739–1747.
- Pracht, J. E., C. D. Nickell, J. E. Harper and D. G. Bullock 1994. Agronomic evaluation of nonnodulating and hypernodulating mutants of soybean. *Crop Sci.* 34 : 738–740.

- 島田信二・島田尚典・高橋浩司・高田吉丈・境哲文・足立大山・田
 淵公清・菊池彰夫・湯本節三・中村茂樹・小綿美環子・番場宏治・
 岡部昭典・高橋信夫・渡辺巖・長沢次男・村上昭一・酒井真次
 2000. 豆腐加工適性・広域適応性ダイズ新品種「ハタユタカ」の育
 成. 東北農試研報 96: 1-15.
- 島村聡・高橋幹・野原努・中村卓司・中山則和・山本亮・金榮厚・
 島田信二 2006. 圃場条件下における土壌硬度の違いが根粒超着生
 ダイズ品種作系4号の生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 75:
 480-486.
- Song, L., B. J. Carroll, P. M. Gresshoff and D. F. Herridge 1995. Field
 assessment of supernodulating genotypes of soybean for yield, N₂
 fixation and benefit to subsequent crops. Soil Biol. Biochem. 27: 563
 -569.
- 高橋将一・松永亮一・小松邦彦・中澤芳則・羽鹿牧太・酒井真次・
 異儀田和典 2004a. ダイズ新品種「サチユタカ」の育成とその特性.
 九州沖縄農研報告 45: 15-39.
- 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.
- 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. 作物研報 4
 : 17-28.
- 高橋幹 2004. 生物窒素固定の農業における実用性 (3) 一根粒超着生
 ダイズ品種の実用性の検討一. 農業技術 59: 38-42.
- 高橋幹・島田信二・有原文二・中山則和・島村聡・中村卓司・山本
 亮 2004b. スーパーノジュレーション大豆の不耕起狭畦栽培技術の
 確立. ファーミングシステム研究 5: 35-39.
- 高橋幹 2005. 根粒超着生ダイズの特性と実用化への試み. 日本土壌肥
 料学会編, ダイズの生産・品質向上と栄養生理. 博友社, 東京. 107
 -128.
- Takahashi, M., N. Nakayama and J. Arihara 2005a. Plant nitrogen levels
 and photosynthesis in the supernodulating soybean (*Glycine max* L.
 Merr.) cultivar 'Sakukei 4'. Plant Prod. Sci. 8: 412-418.
- Takahashi, M., S. Shimada, N. Nakayama and J. Arihara 2005b.
 Characteristics of nodulation and nitrogen fixation in the improved
 supernodulating soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivar 'Sakukei 4'.
 Plant Prod. Sci. 8: 405-411.
- Vessey, K. J., K. B. Walsh and D. B. Layzell 1988. Oxygen limitation of
 N₂ fixation in stem-girdled and nitrate-treated soybean. Physiol. Plant.
 73: 113-121.
- Wu, S. and J. E. Harper 1991. Dinitrogen fixation potential and yield of
 hypernodulating soybean mutants: a field evaluation. Crop Sci. 31:
 1233-1240.
- 山本亮・高橋良二・原田久也・高橋幹・島田信二 2004. 根粒超着生
 変異品種作系4号の親子鑑定. 育種学研究 6: 149-151.
- Zhao, L., L. Song, F. P. C. Blamey, S. Fukai and B. J. Carroll 1998. Yield
 and N₂ fixation of backcrossed supernodulating soybean mutants. In
 Proc. 9th Aust. Agron. Conf., Wagg Wagga, NSW, Australia. 375-378.

Comparison of Productivity among Supernodulating Soybean Cultivar 'Sakukei 4' and Wild Type Cultivars 'Enrei' and 'Tamahomare' under Field Conditions : Satoshi SHIMAMURA¹⁾, Motoki TAKAHASHI²⁾, Takuji NAKAMURA¹⁾, Norikazu NAKAYAMA¹⁾, Ryo YAMAMOTO¹⁾, Yeong-Hoo KIM³⁾ and Shinji SHIMADA³⁾ (¹⁾National Institute of Crop Science, Tsukuba 305-8518, Japan; ²⁾Japan International Research Center for Agricultural Sciences; ³⁾National Agricultural Research Center)

Abstract : Recently, it was established that 'Sakukei 4' (Kanto 100) was a supernodulating soybean cultivar derived from not only wild type 'Enrei' but also 'Tamahomare'. To evaluate the effects of the supernodulating characteristic of Sakukei 4 on productivity improvement, we compared the productivity of Sakukei 4 with that of Enrei and Tamahomare, in a drained paddy field for two years. The flowering, maturation stages and seed nitrogen content of Sakukei 4 were in between those of Enrei and Tamahomare in both years. In 2004, the highest yield in Sakukei 4 was 297 kg/10 a under non-tillage, narrow ridge distance, high planting density and high N dosage of fertilizer condition, and it was the same as or at a higher level than Enrei. Under this condition, however, the yield of Tamahomare was 322 kg/10 a, while it was 368 kg/10 a under non-tillage, narrow ridge distance, close planting and standard dosage of fertilizer condition, which was much higher than the highest yield of Sakukei 4 in 2004. On the other hand, the highest yield of Sakukei 4 was 233 kg/10 a, which was clearly lower than that of Enrei and Tamahomare in 2005, because the sowing time was delayed for about one month from the optimal sowing time due to intermissive rainfall during the sowing season, and plant density was decreased by disease injury. In the previous study, the yield of Sakukei 4 was much higher than that of Enrei when the shoot dry weight was greater than 200 kg/10 a at the flowering stage in Sakukei 4. In this study, however, we did not observe such a phenomenon. These results suggest that the yield of Sakukei 4 is the same as or higher than that of Enrei under special conditions, but it is lower than that of Tamahomare. Therefore, we concluded that the supernodulating characteristic may not be beneficial to increase the yield of soybeans.

Key words : Growth, Natural crossing, Soybean (*Glycine max*), Supernodulation, Yield.