

2016 年度

修士論文

子実用トウモロコシに対する千鳥播(ツインロー)、狭畦(ナローロー)栽培による増収効果と、その作物学的要因に関する研究

21531010 Song liang(宋粮)

指導教員 飼料作物学 教授 義平大樹

酪農学園大学大学院 酪農学研究科

目次

第 I 章 緒言

第 II 章 材料および方法

1. 狭畦栽培, 千鳥播栽培における増収効果と, 収量関連形質からみた多

収要因 (試験 1) 13

(1) 栽培場所と供試品種 13

(2) 栽植様式および栽植密度処理 14

(3) その他栽培方法

(4) 調査方法 15

1) 生育調査 15

2) 収量調査 15

(5) 気象概要

2. 成長解析と受光態勢からみた狭畦栽培, 千鳥播栽培の多収要因

(試験 2) 13

(1) 栽培場所と供試品種 13

(2) 栽植様式および栽植密度処理 14

(3) その他栽培方法

(4) 調査方法 15

1) 生育ステージ 15

2) 収量調査および倒伏程度	15
(5) 気象概要	
3. 狭畦栽培、千鳥播栽培における栽植密度反応 (試験 3)	13
(1) 栽培場所と供試品種	13
(2) 栽植様式および栽植密度処理	14
(3) その他栽培方法	
(4) 調査方法	15
1) 生育調査	15
2) 収量調査	15
(5) 気象概要	
4. 播種時期が千鳥播および狭畦栽培による増収効果に及びす影響 (試験 4)	
(1) 栽培場所と供試品種	13
(2) 栽植様式および栽植密度処理	14
(3) その他栽培方法	
(4) 調査方法	15
1) 生育調査	15
2) 収量調査	15
(5) 気象概要	

5. 実規模栽培における千鳥播および狭畦栽培による増収効果 (試験 5)

(1) 栽培場所と供試品種	13
(2) 栽植様式および栽植密度処理	14
(3) その他栽培方法	
(4) 調査方法	15
1) 生育調査	15
2) 収量調査	15
(5) 気象概要	

第Ⅲ章 狭畦栽培, 千鳥播栽培における増収効果と, 収量関連形質からみた多収要因

- (1) 極早生品種
- (2) 早生品種
- (3) 中晩生品種
- (4) 考察

第Ⅳ章 成長解析と受光態勢からみた狭畦栽培, 千鳥播栽培の多収要因

- (1) 早生品種
- (2) 中晩生品種
- (3) 考察

第Ⅴ章 狭畦栽培、千鳥播栽培における栽植密度反応

(1)極早生品種

(2)早生品種

(3)中晩生品種

(4)考察

第Ⅵ章 播種時期が千鳥播および狭畦栽培による増収効果に及びす影響

(1)極早生品種

(2)早生品種

(3)考察

第Ⅶ章 実規模栽培における千鳥播および狭畦栽培による増収効果

(1)極早生品種

(2)中晩生品種

(3)考察

第Ⅷ章 総合考察

謝辞

参考文献

図表

第 I 章 緒言

1. 子実用トウモロコシの普及と、増収技術の必要性

トウモロコシ (*Zea mays* L.) は、イネやムギと並んで最も重要な作物の 1 つであり、世界の三大作物と呼ばれ、約 9 億 6793 万トン億にも及び、世界の食を支える重要な作物である (米国農水省 2016)。輸入穀物飼料のうち日本国内のトウモロコシの用途は、約 60% が配合飼料に使用され (財務省 2010)、畜産経営における輸入穀物価格の上昇は問題視され、国産飼料トウモロコシへの転用と、これまで以上の安定的な多収技術が求められている。多くの主要作物が C3 型植物であるのに対して、トウモロコシは C4 型植物であり、個葉光合成能力が高く大型の植物体を形成する。このため、単位面積当たりの生産力が主要作物の中で最高水準にある。

北海道中央部における水田転換畑では、主要作物としてコムギとダイズが作付され、両作物の交互作を実施している地域が多い。しかし、連作障害が起こりやすく、収量が低下している。その回避のため、第 3 の作物の導入が求められており、一部地域では子実用トウモロコシの栽培が増えつつある。

2. 子実用トウモロコシに関する既往の研究

子実用トウモロコシの栽培方法に関しては、北海道総合研究機構中央農業試験に関する一連の研究がある。中津ら (2015a) によ

れば安定的に機械収穫適水分(約 30%以下)に達するためには、早生の早および早生の中晩生品種が有望で、5月中旬に播種すれば概ね 800~1000kg/10a の子実収量が見込まれ、その飼料成分(デンプン含量 65%程度、粗タンパク含量 9%程度)は市販の濃厚飼料と大差がない。また多収をねらうには、窒素施肥量をサイレージ用トウモロコシの基準より 1~2kg/10a 増肥した 16kg/10a 程度を適量で基肥し、10kg/10a を上限とし残りを 4~5 葉期に追肥することが適当であるとしている(中津ら、2015b)。さらに、道央地域における最適栽植密度は RM73 のクウィスおよびチベリウスともに増収効果、折損リスクが考えて 9,000 本/10a としている(中津ら、2015c)。

3. 他の畑作物と比較した場合のトウモロコシの栽植密度反応の特徴

一般に畑作物の収量向上のためには適切な栽植密度が重要であり、現有品種の多収性を引き出すための数多くの栽植密度試験がなされてきた。寒地・寒冷地(北日本)の事例を中心に、主要畑作物のトウモロコシ、コムギ、ダイズの間で、その栽植密度反応の特徴を比較してみる。

サイレージ用トウモロコシにおいては、品種の早晩性は相対熟

度(Relative maturity)で区分され、極早生(RM73)から極晩生品種(RM130)までが存在し(佐藤ら 2010)、北日本で主要な早生、中生品種(RM85, 100)の栽植密度は、1980年代までは 6,500~7,500 本/10a とされてきた(岩田 1973)。近年、直立葉型、極早生品種(RM75)の開発、狭畦、千鳥播栽培などの新しい栽植様式の普及にともない、極早生品種(RM75)、早生品種(RM85)、中生品種(RM100)それぞれ 10,000~12,000、9,000~10,000、8,000~9,000 本/10a が適正栽植密度として推奨され(林ら 2006, 義平 2015)、従来よりも多収をねらった密植栽培が普及しつつある。このように、トウモロコシでは品種の早晩性と適正栽植密度の関係は明らかであるのに対して、同じ相対熟度の品種で比較し、その栽植密度反応の品種間差異があるという報告は、新旧品種で比べた場合を除いて、ほとんどみられない。これは、ダイズ、コムギに比べて、トウモロコシ、特にデントコーンにおいて分げつの発生が非常に少なく、栽植密度に対する可塑性の低さが反映している結果であると思われる。

コムギにおいても、1980年代以降にドリル播種機が普及して以降、播種量は、品種を問わず春播コムギは 340 粒 m^{-2} 、秋播コムギは 250 粒 m^{-2} が基準(吉村 2011)とされ、天候や他の作物の管理作業のために、どうしても晩播になった場合には、減収防止技術

として播種量が多くすることが推奨されている(鈴木ら 1998)。近年、育成された秋播コムギ品種きたほなみは分けつ能力が高いために、従来の6割程度の150粒 m^{-2} で良いとする報告(中村ら 2011)以外に品種による栽植密度反応の差異が議論されることは少ない。

4. サイレージ用トウモロコシにおける千鳥播栽培に関する既往の研究

トウモロコシの多収栽培方法として、アメリカのコーンベルトでは飼料用トウモロコシの千鳥播き栽培(Twin-row)や北海道においては釧路地区で極早生・早生品種において、狭畦栽培(Narrow-cultivation)がある程度普及している(林ら 2006)。

Twin-row とは株を左右にずらしてジグザクに点播する播種方法である。Twin-row 栽培の多収要因は、十分に解明されていない部分も多い。Agrigold Reserch(2010)によれば、各個体の生育特性にと深く関係しており、①慣行栽培と比べて雌穂着穂高はほとんど変わらずに、稈が長く太くなるので乾物収量が向上し、かつ、耐倒伏性が増すこと、②個体当りの根域が広くなり、養水分吸収が活発化すること、③雌穂長の増加により雌穂収量が増収すること、④千鳥播きにより受光態勢が改善し、群落光合成速度が高まるため、雌穂や茎葉の生長に必要なエネルギーがより多く生産されるために生長速度が速まり、増収する。

William J.(2006)によれば子実収量では狭畦栽培>千鳥栽培>慣行栽培で、6月中旬に除草剤する、収量の増収効果が顕著を与えなかった。一方、義平大樹(2015)によればデントコーンは、個体収量がきわめて高い一方で、ほとんど分げつが出現しないため、他の作物に比べて、栽植密度に対する可塑性が非常に小さい。そのため、他の作物以上に栽植密度反応が激しく、栽培者がいかに、個体間距離を計画的に考え、精度の高い播種を行えるかが多収実現の大きなポイントになる。個体間距離を確保しながら密植を可能にする方法として Twin row 栽培や狭畦栽培が考えられる。Twin row 栽培はアメリカのコーンベルトでは、飼料用トウモロコシの多収栽培技術の一つである千鳥播栽培(Twin row)が活用され、普及している(Mark Jeschke 2010)。Twin row とは、株を左右にずらしてジグザグに点播する播種方法である。また、狭畦栽培とは林ら(2006)の釧路地方の現地試験結果によれば、畦幅 50cm の狭畦栽培の増収効果は高く、通常の畦幅 70cm のマルチ栽培と同等もしくは、それ以上の増収を示している。また、狭畦栽培においても、栽植本数を 11,000~11,500 本/10a 程度にしたい場合に、総体乾物収量、雌穂乾物収量ともに最も高い。その際の株間は 17.5cm 程度である。

5. サイレージ用トウモロコシにおける狭畦栽培に関する既往の

研究

サイレージ用トウモロコシに比べての刈取り適期の黄熟後期の子実水分が 50%であるのに対して、子実用トウモロコシではコンバインで脱穀できるように子実水分を 30%以下に低下させる必要がある。そのため、北海道中央部においても早生品種の栽培が奨められることが多い。Twin-row の増収効果は、狭畦栽培 (Narrow-cultivation) と比較される。William D.(2002)によれば若干の品種では畦間が減少するため、収量の増収効果が顕著する；狭畦栽培ではトウモロコシの飼料品質に影響を与えなかった。しかし、義平ら (2013) によると、サイレージ用トウモロコシにおいて狭畦栽培と Twin-row 栽培の比較した例はあるものの、子実用トウモロコシにおいてはみられない。Fernando (2001) によれば狭畦栽培では栄養成長期間の相対照度が上昇するため、子実収量が増加します。狭畦栽培の増収効果について、林ら(2006)の研究結果と比較した。林らによれば、狭畦栽培における増収効果が最大となる栽植本数は概ね 11.0 本 m^{-2} で最大となっており、栽植本数 12.0 本 m^{-2} 以上となると収量は減少する傾向にあった。また、増収効果は栽植密度によって異なり、栽植本数 9.3 本 m^{-2} のやや疎植、 14.1 本 m^{-2} の超密植では増収効果がみられなかったのに対して、栽植本数 11.0 本 m^{-2} 前後の密植では 20%程の増収がみられ

た。この結果は本試験におよび千鳥播栽培、狭畦栽培においても同様の傾向を示していた。

6. 千鳥播および狭畦栽培の増収効果とその関連要因に関する解析の手順

本研究は、本年度は昨年度と同様の、早生品種(RM85 日)と中生品種(RM93 日)、新たに早生品種(RM90 日)を供試し、Twin row 栽培、Narrow row 栽培、Narrow twin row 栽培を 5 段階の栽植密度で実施し、増収効果の大きくなる最適密度を検討、および密度の品種間、年次間差異についても検討した。また、その多収要因を収量構成要素や倒伏関連形質などから明らかにしようとした。また、子実水分の低下に及ぼす栽植様式、栽植密度の影響も調査した。

まず、子実用トウモロコシにおいて早生から中晩生品種において千鳥播栽培、狭畦栽培、狭畦千鳥栽培において増収が確認されている(宋粮ら 2015, 一関ら 2015, 土屋ら 2015.)。その増収要因を成長解析、受光態勢から検討している例は非常に少ない。しかし、トウモロコシ群落内の草冠が閉じる前(栄養生長中期)までの千鳥播栽培において有利性は確認されている。菅原ら(2014)によれば慣行栽培に比べて千鳥播栽培では葉長がやや長くなるため葉面積の上昇が早く、葉面積当たりの受光率が高くなることや、個体間

競争が慣行区に比べて千鳥播栽培では遅いために葉の相互遮蔽が少なくなることで受光態勢が良くなるということがわかっており、これらの要因が増収効果に関与することが確認されている。また、吉田ら(2013)によれば以上の増収効果は直立葉型の品種よりも水平葉に近い品種ほど高いとされている。

さらに、子実用トウモロコシにおける Twin row が収量に及ぼす影響を明らかにするため、早生品種(RM85 日)と中生品種(RM93 日)と晩生品種(RM100 日)を供試し、Twin row 栽培、Narrow row 栽培、Narrow twin row 栽培を実施し、その増収効果が大きくなる栽植密度を検討した。また、その多収要因を収量構成要素や成長解析などから明らかにしようとした。

William J.(2001) によれば実規模試験の狭畦栽培では 10 本 m^{-2} の栽植密度と $2.25kg\ m^{-2}$ の窒素肥力の条件で子実収量が高かった。長沼町の水田転作畑において相対熟度 85、100 日の 2 品種を供試し、専用播種機を用いて千鳥播(Twin-row)栽培および狭畦(Narrow-row)栽培を実施して慣行栽培と比較し、実規模レベルでの増収効果と関連形質を検討した。

北海道中央部の水田転作としてコムギとダイズの交互作を実施している地域が多い。しかし、連作障害が起こりやすく、新規作物の導入が求められており、一部地域では子実用トウモロコシが

導入されている。一方、サイレージ用トウモロコシでは千鳥播 (Twin row) および狭畦 (Narrow row) 栽培による増収効果が認められ普及しつつある。この2つの栽培方法を子実用トウモロコシにおいて適用できるか倒伏を含めて実規模レベルで調査した。

第Ⅱ章 材料および方法

試験 1 として「狭畦，千鳥播栽培における増収効果と，収量関連形質からみた多収要因」を，試験 2 として「成長解析と受光態勢からみた，狭畦栽培，千鳥播栽培の多収要因」を，試験 3 として「狭畦栽培，千鳥播栽培における栽植密度反応」，試験 4 として「播種時期が千鳥播および狭畦栽培による多収効果」，試験 5 として「実規模栽培における千鳥播および狭畦栽培による増収効果」を実施した．

1. 狭畦栽培，千鳥播栽培における増収効果と，収量関連形質からみた多収要因（試験 1）

（1）栽培場所と供試品種

試験は 2014, 2015 両年ともに酪農学園大学フィールド教育研究センター作物生産ステーション(江別市)にて，実施した．供試品種として 2014 年には相対熟度 85, 100 日(以下, RM85, 100)の P8025 と P9838 を用いた．2015 年には前年に供試した P8025 のほか，RM93, 100 の P9027 と P0023 を用いた．いずれもパイオニア社育成で，従来は下記の通りサイレージ用品種であるが，その熟期なりに子実収量が多収であるため，子実用として供試した．

P8025 はデントコーンとフリントコーン交雑品種で，サイレー

ジ用としては主に十勝，網走，上川地方等の比較的冷涼な栽培地帯向け品種である。

P9074 はサイレージ用としては十勝を含む道東・網走・道北の比較的温暖な栽培地向けの品種である。

P9838 はデント系の品種である。P0023 はサイレージ用としては十勝・網走・上川の一部温暖な地域，道央南の栽培地帯向けで，子実収量が極めて高い。しかし，子実用としては，熟期がやや遅い傾向にある。高デンプンで栄養性が高いが，耐倒伏性にはやや劣る。

(2) 栽植様式および栽植密度処理

Table II -2 に栽植様式と栽植密度処理の概要を示した。栽植様式は，2014 年においては慣行区(C: Conventional cultivation)および狭畦区(T: Twin row cultivation)を設けた。Fig II -1 に各様式区におけるトウモロコシの個体配置の様式図を示した。2015 年には C, T に加えて狭畦区(N: Narrow row cultivation)を設置した。

栽植密度は，2014 年には P8025 が 70×18, 14, 12 cm (7,937, 10,204, 11,904 本/10a), P9838 が 70×22, 18, 15cm (6,494, 7,937, 9,524 本/10a) とした。2015 年においては P8025, P9027, P0023 の 3 品種共通して 75×19, 15, 10cm, 50×28.5, 22.5, 16.5cm (7,017, 8,888, 12,121 本

/10a)とした。

試験区配置は兩年ともに、栽植様式を主区、栽植密度を副区、品種を副々区とする 3 反復分割区法である。

(3) その他栽培方法

基肥として、北海道施肥標準に基づいて硫安アンモニウム、過リン酸石灰、硫酸カリをそれぞれ、N-14, P_2O_5 -18, K_2O -14kg/10a を全層施肥した。窒素追肥として 2015 年に N3kg/10a を硫安で、2016 年に N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ 9、10、6 kg/10a を硫安アンモニウム、過リン酸石灰、硫酸カリにより表層施肥した。

播種はそれぞれ 2014 年 5 月 12 日、2015 年 5 月 10 日にタイネギの移植機を改良した播種機によるて播種深度 3cm になるように播種し、その後ホーで鎮圧した。そして、土壌処理としてゲザノンフロアブル(アトラジン・メトラクロール水和剤)を 250 倍に希釈して動力噴霧器で全面土壌散布した。出芽後は間引きをし、1 株 1 本立てとした。欠株は間引き個体を移植ごとにより補植し欠株のない、均一な群落の確保につとめた。なお補植個体は調査から除外した。試験配置は品種を主区、栽植様式を副区とする分割区法 3 反復とした。

(4) 調査方法

1) 生育調査

生育調査として草丈，葉数，稈径を継時的に調査した．草丈は株下から最上位葉の先端までの長さを定規で測定した．葉数は完全に展開している葉を 1 枚として数え，未展開抽出葉は，2 枚前の完全展開葉を 1 とし，その相対値とした．稈径は株元から 1 つ目の節間中央部(下位第 1 節間)の長径と短径を電子ノギスで測定した．下記の式により稈の断面積を計算し，稈の太さとした．

$$\text{稈断面積(cm}^2\text{)} = \pi/4 \times \text{長径(cm)} \times \text{短径(cm)}$$

2) 収量調査

完熟期を迎えたことを確認して収量調査を行った．生育中庸な 15 個体を選んで地際部を選定畝で刈取り，全重を電子天秤で測定した．さらに中庸な個体を 3 個体選抜し，茎葉と雌穂に分けて上述の乾物調査を行った．サンプリングした 18 個体から，雌穂をもぎ取り，残った茎葉を茎葉原物重として電子天秤で測定した．選抜した 3 個体は測定後，細断して紙袋に入れて乾燥機で 5 日間以上乾燥させた後に茎葉乾物重を測定した．雌穂を薄い包皮だけが残るようにもぎ取り，15 個体分を電子天秤で雌穂原物重として測定した．さらに，中庸な雌穂を 5 個体選抜して子実調査を行った．選抜した雌穂サンプルは，網袋に入れて通風乾燥機で 5 日間以上

乾燥させた後に雌穂乾物重を測定した。

(5) 気象概要

試験 1 を実施した 2014 年と 2015 年における江別市の気象概要と比較する。Fig II -3, 4 に 2014 年, 2015 年の気象概要を示した。

2014 年の平均気温は平年と比較すると、6 月上旬に高温、6 月下旬-7 月下旬にやや高温に推移した。2014 の降水量は、平年と比較すると、6 月下旬-7 月中旬にかけて少雨に 9 月中旬が多雨に経過した。日射量は、平均に比べて 6 月上旬、7 月中下旬に多照 8 月下旬-9 月中旬にやや多照 6 月下旬と 8 月上旬に寡照した、すなわち、2014 年の気象は、栄養成長初期の 6 月上旬および栄養成長後期 6 月下旬-7 月下旬の高温、多照、少雨、生殖成長期初期の 8 月上旬のやや寡照生殖成長後期 9 月中旬の多雨として特徴づけられる。

2015 年の平均気温を平均と比較すると 6 月上旬、6 月下旬～7 月上旬、8 月下旬～9 月上旬にかけてやや低温に推移した。降水量は平均と比べて 6 月上旬に多雨、8 月下旬に少雨に経過した。日射量は平年と比べて 6 月下旬、7 月下旬に寡照に推移した。以上より、2015 年の気象は栄養成長初期の 6 月上旬低温多雨、生殖成長中期の 8 月下旬～9 月上旬の低温、少雨として特徴づけられる。

2. 成長解析と受光態勢からみた狭畦栽培，千鳥播栽培の多収要因(試験 2)

(1) 栽培場所と供試品種

2014, 2016 両年ともに酪農学園大学フィールド教育研究センター作物生産ステーション(江別市)にて，実施した．

供試品種として，2014 年には早生品種の P8025(RM85)，中晩生品種の P9838(RM100)を，2015 年には晩生品種の 36B08(RM100)，P1543(RM105)を用いた．これら 4 品種はいずれもパイオニア社育成の品種である．

Fig II -2 に 2015 年に供試した 36B08 と P1543 の乳熟期における草姿を示した。36B08 はパイオニア社育成の品種で、大型の草型で茎が太く茎葉の収量が多い特徴がある。すす紋病抵抗性とごま葉枯病抵抗性に極めて優れている。また、北海道優良品種に指定されている(ホクレン 2013)。

P1543 はパイオニア社育成の品種で、相対熟度 105 日の晩生品種。雌穂が大きく、茎葉は垂直に成長する、アップライトリーフと呼ばれる品種である。すす紋病抵抗性を持ち、耐倒伏性にも優れる(ホクレン 2013)。

(2) 栽植様式および栽植密度処理

栽植様式は，2014，2015 両年ともに狭畦区(T: Twin row cultivation)，狭畦区(N: Narrow row cultivation) を設置し慣行区(C: Conventional row cultivation)と比較した．

栽植密度は，2014 年には P8025 が 70×18, 14, 12cm(7,937, 10,204, 11,904 本/10a)，P9838 では 70×22, 18, 15cm (6,494, 7,937, 9,524 本/10a)の疎植，標準，密植(L, M, H)の 3 水準とした．試験配置は栽植密度を主区，栽植様式を副区，品種を副々区とする分割区法 3 反復とした．

2015 年においては栽植密度は 1 水準とし両品種とも，75×13cm(10,256 本/10a)，50×19.5cm (10,256 本/10a)とした．試験配置は栽植様式を主区，品種を副区とする分割区法 3 反復とした．

(3) その他栽培方法

基肥として，北海道施肥標準に基づいて硫安アンモニウム，過リン酸石灰，硫酸カリをそれぞれ，N-14，P₂O₅-18，K₂O-14kg/10a を全層施肥した．播種はそれぞれ 2014 年 5 月 12 日，2015 年 5 月 10 日に播種した．その他の栽培管理は試験 1 と同様である．

窒素追肥は 2015 年に N3kg/10a を硫安で、2016 年に N ,P₂O₅ ,K₂O をそれぞれ 9、10、6 kg/10a を硫安アンモニウム，過リン酸石灰，硫酸カリにより表層施肥した。

(4) 調査方法

1) 受光率

5～6 葉期から草冠が閉じる時期にかけて、オプトリーフ R-3D フィルムの感光を測定し、群落上面および群落外の感光と比較して相対照度を求めた。個体の生育に合わせて、7 月上旬には草丈 0, 20, 40cm, 7 月中下旬には草丈 0, 50, 100cm の高さにオプトリーフを設置した。加えて、最葉上面の相対照度を測るために、遮蔽のない場所に 4 か所オプトリーフを設置した。そのオプトリーフの退色率を求め受光率とした。

2) 部位別乾物重と葉面積指数

7～8 葉期，絹糸抽出期，登熟初期，登熟後期～完熟期を目安として P8025 では 7/15, 8/8, 8/28, 9/13 に P9838 では 7/17, 8/8, 8/30, 9/22 にそれぞれ部位別乾物重を調査した。各栽植区より生育中庸な 4 個体をサンプリングし，葉身，稈および葉鞘，雌穂に分けて電子天秤にて原物重(生重)を測定した。また葉面積計(LI-3200)を用いて葉面積を調査し，葉面積指数(LAI)を算出した。各部位は原物重測定後に紙袋に入れ，70℃の通風乾燥機で 5 日間以上乾燥した。その後，乾燥機より取り出して紙袋ごとビニール袋に入れて 30 分間放冷した。電子天秤により乾物重を測定した。

3) 成長解析

これら部位別乾物重と LAI の推移より，平均葉面積指数 (MLAI)，個体群成長速度 (CGR) および雌穂重増加速度 (EGR) を下記の式により求めた。

サンプリング日をそれぞれ t_1, t_2 とし， t_1 の地上部全乾物重および雌穂を W_1, E_1 ，LAI を L_1 ， t_2 の地上部全乾物重および雌穂を W_2, E_2 ，LAI を L_2 とすると， t_1 から t_2 の MLAI，CGR，EGR はそれぞれ

$$\text{平均葉面積指数 (MLAI)} = (L_2 - L_1) / (\log_e(L_2) - \log_e(L_1))$$

$$\text{個体群成長速度 (CGR)} = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

$$\text{雌穂重増加速度 (EGR)} = (E_2 - E_1) / (t_2 - t_1)$$

4) 生育調査および収量調査

試験 1 と同様に草丈，葉数，稈径を調査した。完熟期を迎えたことを確認して収量調査を行った。収量調査の方法は試験 1 と同様である。

(5) 気象概要

試験 2 を実施した 2014 年および 2016 年の気象概要を比較する。
Fig II -5 に 2016 年の気象概要を示した。

平年と比較すると、2016 年の降水量は 8 月の多雨、9 月下旬～

10 月上旬の少雨、平均気温は 6 月上旬の低温寡照、7 月中下旬のやや低温、8 月中旬～9 月上旬の高温、日射量は 6 月上旬～中旬の寡照、8 月下旬の多照、9 月上旬のやや寡照に推移した。すなわち、2016 年の気象は栄養成長初期の 6 月上旬低温、栄養成長後期の 7 月中下旬の低温、生殖成長初期の 8 月上旬の多照、8 月中旬の多雨、生殖成長中期の 9 月上旬の高温、やや寡照として特徴づけられる。

3. 狭畦栽培，千鳥播栽培における栽植密度反応(試験 3)

(1) 栽培場所と供試品種

試験は 2015, 2016 両年ともに酪農学園大学フィールド教育研究センター作物生産ステーション(江別市) にて実施した。

供試品種として 2015 年には早生品の RM85, 93, 100 の P8025, P9027 (RM85, 93)と中晩生品種の P0023(RM100)を用いた。2016 年には P8025, P9027 と，早生品種の KD420(RM90)を用いた。

KD420 はカネコ種苗育成の品種である。RM90 のデント種である。サイレージ用としては沿岸部、山間部を除く道東・道北の比較的寒冷な地域向け品種である。耐倒伏性が高く、安定した子実収量が見込める。

(2) 栽植様式および栽植密度処理

栽植様式は、2014、2015 両年ともに狭畦区(T: Twin row cultivation), 狭畦区(N: Narrow row cultivation) を設置し慣行区(C: Conventional row cultivation)と比較した。

栽植様式は、2015、2016 両年ともに千鳥区(T: Twin row cultivation), 狭畦区(N: Narrow row cultivation)および狭畦千鳥区(NT: Narrow twin row cultivation)を設置し、慣行区(C: Conventional row cultivation)と比較した。

栽植密度は、7.0, 7.8, 8.9, 10.3, 12.1 本 m^{-2} の5水準設置し、その栽植様式は C, T において 75×19, 17, 15, 13, 11cm, N, NT において 50×28.5, 25.5, 22.5, 19.5, 16.5cm とした。試験区配置は両年ともに、品種を主区、栽植様式を副区、栽植密度を副々区とする3反復分割区法である。(表 II -1)

(3) その他栽培方法

基肥として、北海道施肥標準に基づいて硫安アンモニウム、過リン酸石灰、硫酸カリをそれぞれ、N-14, P_2O_5 -18, K_2O -14kg/10a を全層施肥した。窒素追肥として2015年にN3kg/10aを硫安アンモニウムで、2016年にN, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ9、10、6 kg/10aを硫安アンモニウム、過リン酸石灰、硫酸カリにより表層施肥した。

播種はそれぞれ 2015 年 5 月 6 日, 2016 年 5 月 3 日に手動移植機を用いて播種深度 3cm になるように播種し, その後ホーで鎮圧した. そして, 土壌処理としてゲザノンフロアブル(アトラジン・メトラクロール水和剤)を 250 倍に希釈して動力噴霧器で全面土壌散布した. 出芽後は間引きをし, 1 株 1 本立てとした. 欠株は間引き個体を移植ごとにより補植し, 均一な群落の確保につとめて補植個体は調査から除外した. 試験配置は品種を主区, 栽植様式を副区とする分割区法 3 反復とした.

(4) 調査方法

生育調査と収量調査を実施した. その方法は試験 1 と同様である.

1) 引き倒し力

引き倒し力は、引き倒し力が最も安定すると報告(濃沼ら, 1996)されている絹糸抽出日約 5 週間後(以下、「5WAS」(5 week after silking)と記す)に測定した. 測定方法は濃沼ら(2001)の方法に準じ、アルミニウムパイプ製の固定器具をトウモロコシの稈基部に装着し、この固定器具を地表から高さ 1m のところで稈と直角の方向に弧を描くように引き倒したときに要した最大荷重をデジタルフォースゲージ(FGP-5、日本電産シンポ(株)社製)で

測定した。なお、各区 15 株について測定し、中庸な 10 株を平均した。

2) 子実水分含有率

登熟後期～完熟期にかけて各品種の生育中庸な 6 個体の雌穂のみをもぎ取り、縦粒数と横列数を計測した。また、子実、芯、包皮に分けて電子天秤にて原物重(生重)を測定した。各部位は原物重測定後に紙袋に入れ、70℃の通風乾燥機で 5 日間以上乾燥した。その後、乾燥機より取り出して紙袋ごとビニール袋に入れて 30 分間放冷した。電子天秤により乾物重を測定した。

子実水分含有率(%)に下記の式による計算した。子実水分含有率(%) = (1 - 原物重/乾物重) * 100

(5) 気象概要

試験 3 実施した 2015 年と 2016 年における気象概要を比較。2015 年の平均気温を平均と比較すると、栄養成長初期に当る 6 月上旬、栄養成長中期に当る 6 月下旬から 7 月上旬、生殖成長初期から中期に当る 8 月下旬から 9 月上旬にかけてやや低温に推移した。降水量は平均と比べて 6 月上旬に多雨、8 月下旬に少雨に経過した。日射量は平年と比べて栄養成長期に当る 6 月下旬、開花期に当る 7 月下旬に寡照に推移した。以上より、2015 年の気象は栄養成長

初期の 6 月上中旬に低温・少雨、生殖成長中期の 8 月下旬から 9 月上旬の低温・少雨として特徴づけられる。平年値と比較すると、2016 年の平均年次は 5 月上中旬の播種期の高温、栄養成長中期に当る 6 月中旬から 7 月上旬にかけて低く推移し、生殖成長中期に当る 9 月上旬にも低温に推移した。2016 年の降水量は栄養成長初期に当る 6 月中旬に多雨、8 月中旬の開花期および水熟期に極多雨に遭遇した。日射量は、播種時の 5 月中旬、栄養成長中期に当る 6 月中旬から 7 月中旬および 7 月下旬から 8 月上旬の開花期に多照に遭遇した。また、6 月上中旬に寡照に推移した。以上より、2016 年の気象概要は播種から出芽期の高温・多照、栄養成長初期の低温・寡照、栄養成長中期のやや低温・多照、開花期と生殖成長初期の高温・多雨、生殖成長後期のやや低温と多照として特徴づけられる。2016 年の気象を 2015 年と比較すると、栄養成長中期のやや低温、生殖成長初期から中期のやや高温・多雨を年次としてとらえることができる。

4. 播種時期が千鳥播および狭畦栽培による増収効果に及ぼす影響(試験 4)

(1) 栽培場所と供試品種

試験 1 として 2015 年と 2016 年相対熟度(以下 RM)85, 93,100

日の P8025, と P9027, を用いた。用いた 4 品種はパイオニア社育成の品種である。P8025 はサイレージ用のトウモロコシで、熟期クラス 85 日のデントとフリントの交雑品種である。サイレージ用として主に十勝・網走・上川等の比較的冷涼な栽培地帯向け品種である。P9027 はサイレージ用のトウモロコシで熟期クラス 93 日のデント種である。サイレージ用としては十勝を含む道東・網走・道北の比較的温暖な栽培地帯向けで道央南のサイレージ用早生品種、子実栽培用品種としても適する。

(2) 栽植様式および栽植密度処理

栽植様式は疎植，標準，密植(L1, L2, M, H1, H2)それぞれ，両年に P8025, P9027, P0023 (KD420) では 75×19, 17, 15, 13, 11 cm(7.0, 7.8, 8.9, 10.3, 12.1 本 m⁻²), 50×28.5, 25.5, 22.5, 19.5, 16.5cm (7.0, 7.8, 8.9, 10.3, 12.1 本 m⁻²)として。

(3) その他栽培方法

基肥として，北海道施肥標準に基づいて硫安アンモニウム，過リン酸石灰，硫酸カリをそれぞれ，N-14, P₂O₅-18, K₂O-14kg/10a を全層施肥した。播種はそれぞれ 2015 年に 5 月 6, 16, 26 日，2016 年に 5 月 3, 16, 29 日に播種深度 3cm になるように播種し，その後ホーで鎮圧した。2015 年に N3kg/10a を硫安アンモニウムで、2016

年に N, P_2O_5, K_2O をそれぞれ 9、10、 $6g\ m^{-2}$ を硫酸アンモニウム、過リン酸石灰、硫酸カリにより表層施肥した。他の栽培方法な試験と同様である。

(4) 調査方法

1) 生育および収量調査

試験 1 と同様の方法で、生育調査と収量調査を実施した。

2) 部位別乾物重と葉面積指数

部位別乾物重と葉面積指数については試験 2 と同様の方法で調査した。

(5) 気象概要

試験 4 と実施した 2015 の長沼町と 2016 年の江別市の気象概要を比較した、FigII -7 に 2015 年における長沼町の気象概要を示した。平均気温を平年値と比較すると、栄養成長中期に当る 6 月下旬～7 月上旬が低温に推移した。降水量は栄養成長初期に当る 6 月上旬の多雨に経過し、と湿害、栄養成長中期に当る 6 月中～下旬日射量は栄養成長中期に当る 6 月中～下旬に多照に経過したがそれ以外の時期には概わ寡照またはやや寡照に推移した。特に栄養成長後期に当る 7 月下旬が日照不足であった。したがって、2015 年の気相は栄養成長初期生育の初期の低温多湿、栄養成長中期の

やや干ばつと多照、栄養成長後期から生殖成長期の全般的なやや寡照として特徴づけることができる。

5. 実規模栽培における千鳥播および狭畦栽培による増収効果 (試験 5)

(1) 栽培場所と供試品種

2014 年では P8025(相対熟度 85 日)と P9838(相対熟度 100 日)の 2 品種を用いた。2015 年では P8025(相対熟度 85 日)と P0023(相対熟度 100 日)の 2 品種を用いた。

(2) 栽植様式および栽植密度処理

栽植様式は千鳥播区、慣行区、狭畦区(N)を設けた。栽植密度処理は、T, C では疎植区(L), 標準区(M), 密植区(H)の 3 処理を設けた。L では、C は 7,207 本/10a, T は 7,500 本/10a 程度、M では、C は 8,600 本/10a, T は 8,500 本/10a 程度、H では、C は 10,667 本/10a, T は 10,929 本/10a 程度とした。N では M, H の 2 処理を設け、M は 8,696 本/10a, H は 10,582 本/10a 程度とした。成熟期に子実収量および収量関連形質を、9 月上中旬に引き倒し抵抗と稈径を調査した。

2015 年栽植様式として千鳥播区(T:Twin row cultivation), 狭畦区(N:Narrow row cultivation)を設け、慣行区(C:Conventional row

cultivation)と比較した。

栽植密度処理は、表 1 に示した。T、C では疎植区 (L)、標準区(M)、密植区 (H) の 3 処理を設けそれぞれ栽植様式に関わらず 7,300、8,500、10,600 本/10a でほぼ統一して栽植した。栽植様式と栽植密度は、C においては、L 区が 75×18.9cm(7,207 本/10a)、M 区が 75×15.7cm (8,493 本/10a) H 区が 75×12.5cm (10,667 本/10a)、T においては L 区が 75×18.5cm (7,207 本/10a) M 区が 75×15.5cm (8,602 本/10a) H 区が 75×12.2cm (10,929 本/10a)、N においては、M 区が 50×23.0cm (8,696 本/10a) H 区が 50×18.9 cm(10,582 本/10a) 2 水準、栽植密度処理を設置して試験区配置は栽植様式を主区、品種を副区とする 3 反復の分割区法である。

(3) その他栽培方法

播種は 5 月 7 日に行い、長沼町柳原農場で実施し、T においては、千鳥播専用機グレートプレーンズ(IDECA)で、C および N は畦幅を可変できる播種機(NG plus, MONOSEM)で実施した。窒素追肥は 2015 年に N3kg/10a を硫酸で、2016 年に N、P₂O₅、K₂O をそれぞれ 9、10、6 kg/10a を硫酸、過石、硫酸により表層施肥した。

(4) 調査方法

生育および収量調査は試験 1, 2, 3, 4 と同様の方法で実施した。

5) 気象概要

試験 5 を実施した 2014 年と 2015 年における長沼町の気象概要を比較した。図 II -6 に 2014 年における長沼町柳原農場の気象概要を示した。平年値と比較すると、平均気温は出芽期の 5 月下旬と栄養成長中～後期に当る 6 月下旬から 7 月中旬がやや高温に経過した。降水量は栄養成長初期の 6 月中旬と乳熟期に当る 9 月中旬に極多雨に経過し、栄養成長中期に当る 6 月下旬から 7 月中旬に栄養成長中期に少雨に推移した。日射量は栄養成長初期の 6 月中旬と栄養成長後期の 7 月下旬にが寡照に経過したものの。それ以外の時期には全般的にやや多照および多照に推移した。したがって 2016 年の気象は栄養成長初期の多雨・寡照、栄養成長後期の寡照、生殖成長中期の多雨、それ以外の全般的の多照として特徴づけられる。

第Ⅲ章 狭畦栽培、千鳥播栽培における増収効果と、収量関連形質からみた多収要因

(1) 極早生品種

Fig.Ⅲ-1 に 2014 年における早生品種 P8025 の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの栽植密度においても $T > C$ であった。また、栽植密度に伴って増加した。その増加程度は T が C に比べて高い傾向にあった。

地上部乾物重は子実収量と同様にどの栽植密度においても $T > C$ であり、栽植密度にともなって増加程度は $T \geq C$ であった。これに対して、収穫指数はどの栽植密度でも $T > C$ の傾向にあったものの密度にもなって減少した。子実収量＝地上部乾物重×収穫指数の関係からみると、子実収量は収穫指数よりも地上部乾物重に大きく依存した。

一穂粒数はどの栽植密度でも $T > C$ であった。また密度にもなって低下して、その低下の程度は T が C に比べて小さかった。100 粒重も一穂粒数と同様に密度にともなって減少した。しかし、一穂粒数ほとんどの栽植様式間の差異は小さく、不安定であった。

Fig.Ⅲ-2 に 2014 年における早生品種 P8025 の倒伏程度およびその関連形質を示した。倒伏程度はすべてのほで 0.5 未満と軽微で

あった。T が C に比べてどの密度区でもやや小さい傾向にあった。

稈の断面積をみるに、両区とも栽植密度にともなって低下した。どの密度においても $T > C$ であった。これに対して着穂高は栽植密度に伴う変化は少なく、どの密度においても $T < C$ の傾向にあった。両区とも密度にともなって減少し、その減少程度は $T < C$ であった。先端不稔長は逆にどの密度においても $T < C$ であった。また、密度にともなって増加し、その増加の程度は $T < C$ であった。

Fig. III-3 に 2015 年における早生品種 P8025 の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの密度においても $C < T$ 、 $N < NT$ の傾向を示した。どの様式も密度に伴って増加し、その増加程度は $C < T$ 、 N 、 NT であった。

地上部乾物重は子実収量と類似傾向を示し、すべての密度において $C < T$ 、 $N < NT$ の傾向を示した。すべての区密度に伴って上昇し、その上昇程度は $C < T$ 、 N 、 NT であった。収穫指数はすべての様式において密度にともなって減少した。7,9 本 m^{-2} の密度区では $C > T$ 、 $N > NT$ の傾向を示した。したがって、2015 年においても 2014 年と同様、子実収量の様式間差異、密度間差異は地上部乾物重の反応に依存した。

Fig. III-4 に 2015 年における早生品種 P8025 の一穂粒数および百

粒重を示した。一穂粒数はどの様式も密度にともなって漸減する傾向を示した。しかし、様式間差異は小さかった。これに対して100粒重はどの密度区においても $C < T, N, NT$ であった。密度にともなってすべての様式で減少した。その減少程度は $C > T, N, NT$ であった。したし、 T, N, NT の間には大きな差異はみられなかった。

Fig. III-5 に 2015 年における早生品種 P8025 の雌穂長と先端不稔割合を示した。雌穂長はすべての様式において密度に伴って漸減したものの様式間の明確な差異はみられず、2014 年と異なる傾向を示した。先端不稔長は、 N が他の処理区に比べて長く。すべての様式で $9 \text{ 本 } m^{-2}$ 以上の密度区で長くなる傾向を示したものの、全体として大きな変化はみられなかった。

Fig. III-6 に 2015 年における早生品種 P8025 の倒伏程度およびその関連形質を示した。倒伏程度は T と C は 0.5 未満と軽微であった。これに対して N と NT は T と C に比べてやや高い傾向を示した。

稈の断面積は、どの様式も密度にともなって減少した。またどの密度においても $T > N \geq NT > C$ の傾向を示した。 T と C の差異は $9 \text{ 本}/m^{-2}$ 以下の疎植区で大きかった。着穂高はどの様式においても密植にともなって上昇する傾向を示した。その上昇程度は T が

C に対して、また NT が T に対して小さい傾向を示したが、全体として大きな様式間差異はみられなかった。

Table III-1 に 2014 年における早生品種 P8025 の子実収量および収量関連形質の分散分析結果を示した。栽植様式と栽植密度の二元の分散分析の結果。子実収量、地上部乾物重および一穂粒数において栽植様式、栽植密度ともに有意な処理間差異をみとめられた。しかし、収穫指数においては様式と密度ともに処理間差異が認められなかった。栽植密度と栽植様式の交互作用をみると、100 粒重において 10%水準の有意な交互作用がみとめられたほかはいずれも有意差はみとめられなかった。

Table III-2 に 2015 年における早生品種 P8025 の子実収量および収量関連形質の分散分析結果を示した。栽植様式と栽植密度の二元の分散分析の結果。子実収量、地上部乾物重および一穂粒数において栽植様式、栽植密度ともに有意な処理間差異をみとめられた。しかし、収穫指数においては様式と密度ともに処理間差異が認められなかった。栽植密度と栽植様式の交互作用をみると、100 粒重において 10%水準の有意な交互作用がみとめられたほかはいずれも有意差はみとめられなかった。

(2)早生品種

Fig.Ⅲ-7に2015年における早生品種 P9027 の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの栽植密度においても $T > C$ 、 $NT > N$ であった。また、栽植密度に伴って増加した。その増加程度は T が C に比べて高い、 NT が N に比べて低い傾向にあった。

地上部乾物重は子実収量と同様にどの栽植密度においても $T > C$ 、 $NT > N$ であり、栽植密度にともなって増加程度は $T \geq C$ 、 $NT > N$ であった。これに対して、収穫指数はどの栽植密度でも $T < C$ 、 $NT < N$ の傾向にあったものの密度にもなって減少した。子実収量＝地上部乾物重×収穫指数の関係からみると、子実収量は収穫指数よりも地上部乾物重に大きく依存した。

Fig.Ⅲ-8に2015年における早生品種 P9027 の一穂粒数および百粒重を示した。一穂粒数はどの栽植密度でも $T < C$ 、 $NT \div N$ であった。また密度にもなって低下して、その低下の程度は T が C に比べて多かった。100粒重も一穂粒数と同様に密度にともなって減少した。しかし、一穂粒数ほとんどの栽植様式間の差異は小さく、不安定であった。

Table Ⅲ-3に2015年における P9027 の子実収量および収量関連形質の分散分析を示した。栽植様式と栽植密度の二元の分散分析の結果。子実収量、地上部乾物重、収穫指数および一穂粒数にお

いて栽植様式、栽植密度ともに有意な処理間差異がありました。しかし、百粒重においては様式と密度ともに処理間差異が認められなかった。栽植密度と栽植様式の交互作用をみると、100粒重において10%水準の有意な交互作用がみとめられたほかはいずれも有意差はみとめられなかった。

(3)中晩生品種

Fig.III-9に2014年における中晩生品種P9838の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの栽植密度においても $T > C$ であった。また、栽植密度に伴って増加した。その増加程度は T が C に比べて高い傾向にあった。

地上部乾物重は子実収量と同様にどの栽植密度においても $T > C$ であり、栽植密度にともなって増加程度は $T > C$ であった。これに対して、収穫指数はどの栽植密度でも $T < C$ の傾向にあったものの密度にもなって減少した。子実収量＝地上部乾物重×収穫指数の関係からみると、子実収量は収穫指数よりも地上部乾物重に大きく依存した。

一穂粒数はどの栽植密度でも $T > C$ であった。また密度にもなって低下して、その低下の程度は T が C に比べて小さかった。100粒重も一穂粒数と同様に密度にともなって減少した。

Fig.Ⅲ-10 に 2015 年における中晩生品種 P0023 の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの栽植密度においても $T > C$ 、 $NT > N$ であった。また、栽植密度に伴って増加した。その増加程度は T が C 、 NT が N に比べて高い傾向にあった。

地上部乾物重は子実収量と同様にどの栽植密度においても $T > C$ であり、栽植密度にともなって増加程度は $T > C$ であった。これに対して、収穫指数はどの栽植密度でも $T < C$ の傾向にあったものの密度にもなって減少した。子実収量＝地上部乾物重×収穫指数の関係からみると、子実収量は収穫指数よりも地上部乾物重に大きく依存した。

Fig.Ⅲ-13 に 2015 年における早生品種 P0023 の一穂粒数および百粒重を示した。一穂粒数はどの栽植密度でも $T > C$ 、 $NT > N$ であった。また密度にもなって低下して、その低下の程度は T が C に比べて小さかった。100 粒重も一穂粒数と同様に密度にともなって減少した。

TableⅢ-4 に 2014 年における P9838 の子実収量と収量関連形質およびその分散分析を示した。栽植様式と栽植密度の二元の分散分析の結果、子実収量および百粒重において栽植様式、栽植密度ともに有意な処理間差異をみとめられた。しかし、地上部乾物重、

収穫指数においては様式と密度ともに処理間差異が認められなかった。栽植密度と栽植様式の交互作用をみると、100粒重において10%水準の有意な交互作用がみとめられたほかはいずれも有意差はみとめられなかった。

TableⅢ-5に2015年における中晩生品種P0023の子実収量と収量関連形質およびその分散分析を示した。栽植様式と栽植密度の二元の分散分析の結果。子実収量、地上部乾物重および一穂粒数において栽植様式、栽植密度ともに有意な処理間差異をみとめられた。しかし、収穫指数においては様式と密度ともに処理間差異が認められなかった。栽植密度と栽植様式の交互作用をみると、100粒重において10%水準の有意な交互作用がみとめられたほかはいずれも有意差はみとめられなかった。

(4) 考察

1) 慣行区の栽植密度反応

試験1、2を通したC区の栽植密度試験の結果をまとめると子実収量では上の圃場のピークが11,000本/10a、下の圃場のピークが9,000本/10aであった。この要因を子実収量＝地上部乾物重×収穫指数の関係性からみると、収穫指数は密植にともなってやや減少する傾向にあるものの変化が少ないのに対して、地上部乾物重では子実収量と同様に地上

部乾物重は上の圃場(試験 1)では 11,000 本/10a、下の圃場(試験 2)では 9,000 本/10a で最大を示したことから、子実収量の差異はほぼ地上部乾物重の差異によって決定づけられているといえる。

次に子実収量＝一穂粒数×百粒重の関係性から考察すると、一穂粒数は、7000 本/10a で最大となり、13,000 本/10a で最小となり、11,000 本/10a 以上の栽植密度で大きく減少した。100 粒重をみると 7,000 本/10a で最大となり、密植にともなって減少し、13,000 本/10a で最も小さかった。9,000 本/10a 以上の栽植密度で大きく減少した。一穂粒数が急減した栽植密度の 11,000 本/10a と子実収量の 11,000 本/10a が一致しているので、上圃場の収量は 100 粒重よりも一穂粒数に規程されているといえる。

2)慣行区(C)と千鳥区(T)の比較

C 区と T 区で比較すると、試験 1 では子実収量で C 区は 9,000 本/10a 以上になると減少しているのに対し、T 区では 9,000 本/10a 以上でも上昇している。最適栽植密度は $T > C$ であった。試験 2 においても最大収量を示す最適栽植本数は 9,000 本/10a と共通していたがそれ以上の密植における子実収量の減少は $T < C$ であった。この傾向は地上部乾物重でもほぼ同様であった。したがって C と T 区の子実収量の差も地上部乾物重の密植反応に規定されているとされているといえる。

一方、収穫指数をみると、試験 1 では、C、T 両区ともに疎植区から密

植区にかけて減少傾向にあった。一穂粒数をみると、密植にともなって一穂粒数はどの品種も減少し、その減少程度は早生品種で小さく、晩生品種で大きいものに対して、密度にともなう 100 粒重の減少は早生品種で大きく、晩生品種で小さかった。

3) 慣行区(C)と狭畦区(N)の比較

C 区と N 区を比較すると、子実収量をみると、試験 1 では子実収量で C 区は 9,000 本/10a 以上になると減少しているのに対し、N 区では 9,000 本/10a 以上でも上昇していた。最適栽植密度は $N > C$ であった。試験 2 においては最大収量を示す最適栽植本数は 9,000 本/10a と共通していたが、全体的な収量は $N > C$ であった。この傾向は地上部乾物重でもほぼ同様であった。

一方、収穫指数をみると、試験 1 では C、N 両区ともに疎植区から密植区にかけて減少傾向にあったが、N 区の方が減少傾向が大きかった。試験 2 では、C 区で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあったが、一穂粒数を見てみると、C、N 両区ともに疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。最大最小の差は N 区の方が大きかった。

一穂粒数をみると、試験 1 で C、N 両品種ともに疎植区から密植区にかけて減少傾向にあったが、N 区では 11,000 本/10a に上昇傾向があった。試験 2 においても疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。100 粒重は、試験 1 では C、N 両区ともに疎植区から密植区にかけて減

少傾向にあり、C 区の減少程度が大きかった。試験 2 では C、N 両区ともに疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。

4) 慣行区(C)と狭畦千鳥区(NT)の比較

C、NT 区を比較すると、試験 1 では子実収量で C 区は 9,000 本/10a 以上になると減少するのに対し、NT 区では 9,000 本/10a 以上でも上昇している。最適栽植密度は NT>C であった。試験 2 においても最大収量を示す最適栽植本数は 9,000 本/10a と共通していたが、最大収量は NT 区の方が大きかった。この傾向は地上部乾物重でもほぼ同様であった。一方収穫指数をみると、試験 1、試験 2 の C、NT 両区で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあったが NT 区が減少傾向が大きかった。一穂粒数をみると、試験 1、試験 2 の C、NT 両区で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。100 粒重をみると試験 1 では疎植区から密植区にかけて減少傾向にあったが NT 区は 9,000 本/10a 以上ではほとんど減少しなくなった。試験 2 では、疎植区から密植区にかけて減少傾向にあったが NT 区の方が緩やかに減少している。

5) 千鳥区(T)と狭畦区(N)の比較

T 区と N 区を比較すると、子実収量をみると試験 1 では疎植区から密植区にかけて増加した。増加程度は T>N であった。試験 2 では 9,000 本/10a で最大となり、それ以上では減少傾向にあった。減少傾向は N>T であった。地上部乾物重をみると試験 1、試験 2 で共通して 9,000 本

/10a で最大となり、それ以上では減少した。子実収量の変化は $T > N$ であった。収穫指数をみると試験 1 では両品種とも疎植区から密植区にかけて減少傾向にある。減少傾向は $N > T$ であった。試験 2 では 9,000 本/10a まで減少し、それ以上では上昇した。減少程度は $T > N$ であった。

一穂粒数をみると、T 区は疎植区から密植区にかけて減少傾向であった。N 区は 9,000 本/10a あたりまで減少し、それ以上で上昇した。試験 2 では両区画で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。100 粒重をみると、試験 1 では T 区は 9,000 本/10a、N 区は 7,000 本/10a で減少傾向になった。試験 2 では両区画で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。

6) 狭畦千鳥区(NT)と狭畦区(N)の比較

NT 区と N 区を比較すると、子実収量をみると、試験 1 では両区画疎植区から密植区にかけて上昇している。試験 2 は両区画ともに 9,000 本/10a で最大となり、それ以上で減少傾向であった。地上部乾物重をみると、試験 1 では両区画で疎植区から密植区にかけて上昇傾向にあった。試験 1 では両品種で 9,000 本/10a で最大となり、それ以上では減少傾向となった。減少傾向は $NT > N$ であった。収穫指数をみると、両区画ともに疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。減少傾向は $N > NT$ であった。試験 2 では、N 区は疎植区から密植区にかけて上昇傾向にあった。NT 区は、疎植区から密植にかけて減少傾向にあった。

一穂粒数をみると、試験 1 では N 区は 19,000 本/10a あたりまで減少し、それ以上で上昇した。NT 区は疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。試験 2 では両区画で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。100 粒重をみると、両区画で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。NT 区は 11,000 本/10a で減少しなくなった。試験 2 では、両区画で疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。両区画の減少程度に差異は少なかった。

第Ⅳ章 成長解析と受光態勢からみた狭畦栽培、千鳥播 栽培の多収要因

(1) 早生品種

Table IV-1 に P8025,P9838 の子実収量および地上部乾物重の分散分析を示した。2014 年における P8025,P9838 の子実収量および収量関連形質を示した。両品種ともすべての栽植区において Twin row が Single row に比べて有意に高かった。その増加率をみると、P8025 では密植において最も高く、20%もの増収効果が確認できた。P9838 も同様の傾向がみられた。密度と様式の交互作用も 10%水準で有意であったことから、子実収量は両品種とも、密植にともない増収効果が高まった。収穫指数をみると両品種とも栽植様式による差は少なく、また、密度と様式の間の交互作用も有意ではなかった。

Table IV-2 に子実収量および地上部乾物重の分散分析を示した。

栽植様式、栽植密度、品種の3元の分散分析の結果、子実収量、地上部乾物重、一穂粒数、100粒重において、様式と密度および密度で品種の交互作用においては有意な差異がみとめられた。しかし、他の要因においては有意差はみとめられなかった。収穫指

数においてはすべての要因にすべて有意ではなかった。

Fig. IV-1 に 2014 年における中晩生品種 P8025 の葉面積指数と緑被率を示した。葉面積指数は疎植と密植両区において T が C に比べてやや高く推移した。緑被率は疎植においては 7/5 から 7/15 にかけて、密植区では 7/5 から 7/25 にかけて T が C に比べて高く推移した。それ以降は T と C 伴い差異はみられなかった。

Fig. IV-2 に 2014 年における中晩生品種 P9838 の葉面積指数と緑被率を示した。葉面積指数は密植区において T が C に比べてやや高く推移したものの、早生品種ほどの様式間差異はみられなかった。緑被率は疎植、密植両区においては 6/26 から 7/17 にかけて T が C に比べて高く推移し、それ以降は T と C の差異はみられなかった。6 月下旬から 7 月上旬にかけての緑被率の T と C における差異は早生品種と同様に疎植区か密植区に比べて大きかった。

Fig. IV-3 に 2014 年における中晩生品種の受光率の推移を示した。早生品種における受光率は疎植、密植両区ともに T が C に比べて高く推移した、7/21 以降、T と C 両区伴う様式間の差異はみられなかった。T は疎植区に比べて密植区において受光率の上昇が早までに対して、C は密度を変化しても受光率の推移の変化は少なく。したがって、T と C の受光率の差異は疎植区よりも密植区

において大きい傾向を示した。

中晩生品種における受光率は早生品種に比べて、T,C 両区とも上昇が遅かったものの、栽植様式間の差異はほぼ、早生品種と類似した傾向を示した。

Fig. IV-4 に 2014 年における中晩生品種の平均葉面積指数を示した。葉面積当たりの緑被率は P8025 と P9838 両品種ともに第 7 葉期(雄穂分化期) 以前において $T > C$ であった。この栽植様式間の差異は疎植区が密植区に比べて大きかった。葉面積当たりの緑被率は P9838 においては雄穂分化期以降も 7/10 頃まで $T > C$ であった。

Fig. IV-5 に 2014 年における中晩生品種 P8025 の部位別乾物重を示した。最終的な完熟期の地上部乾物重は T,C 両区とも密植区が疎植区に比べて高かった。部位別に分けてみても各器官の乾物重はそれぞれ密植区が疎植区に比べて大きかった。

Fig. IV-6 に 2014 年における中晩生品種 P8025 の葉面積指数(LAI) および部位別乾物重を示した。地上部乾物重はどの密度区においても T が C に比べて高く推移し、この栽植様式間の差異は密度にともなって拡大した。葉面積指数はどの密度区においても T が C に比べて高く推移した。最大期の葉面積指数における様式

間の差異は密度にともなって拡大した。

Fig. IV-7 に 2014 年における中晩生品種 P8025 の平均葉面積指数 (MLAI) および雌穂重増加速度 (EGR) を示した。個体群成長速度は栄養成長後期 (7/15-8/8) 生殖成長前期 (8/8-8/28) 生殖成長後期 (8/28-9/13) の 3 時期を通して $T > C$ であった。個体群成長速度と平均葉面積指数と純同化率に分解してみても、平均葉面積指数と純同化率ともに 3 時期を通して総いて $T > C$ であった。純同化率の様式間の差異は栄養成長後期に大きく生殖成長期間には小さかった。

Fig. IV-8 に 2014 年における中晩生品種 P9838 の部位別乾物重の推移を示した。最終的な完熟期の地上部乾物重は T, C 両区とも密植区が疎植区に比べて高かった。部位別に分けてみても各器官の乾物重はそれぞれ密植区が疎植区に比べて大きかった。これらの密度にともなる増加は P9838 が P8025 に比べて高かった。

Fig. IV-9 に 2014 年における中晩生品種 P9838 の部位別乾物重の推移を示した。地上部乾物重はすべての密度区において、T が C に比べて高く推移し、最大期の地上部乾物重における T と C の差異は標準区が最も高かった。葉面積指数はすべての密度区において T が C に比べて高く推移した。最大期の葉面積指数における

T と C の差異は M,H 区が L 区に比べて大きかった。

Fig. IV-10 に 2014 年における中晩生品種 P9838 の平均葉面積指数 (MLAI) および雌穂重増加速度 (EGR) を示した。個体群成長速度は生育期間を通じて $T > C$ で推移した。個体群成長速度のピークは L と M 区においては、生殖成長後期であったが、H 区において生殖成長前期が最も高く、様式間差異も大きかった。

個体群成長速度と平均葉面積指数と純同化率に分けてみるて、平均葉面積指数は生育期間を通して $T > C$ であったらに対して。純同化率は L と M 区においては生殖成長後期に $T > C$ であったのに対して H 区では生殖成長前期に $T > C$ であった。

Table IV-3 に子実収量および地上部乾物重の分散分析を示した。子実収量をみるて、36B08 と P1543 両品種ともに T と N が C に比べて高かった。この様式間の差異と地上部乾物重と収穫指数に分解すると、地上部乾物重は両品種において $T, N > C$ であったのに対して収穫指数には様式間の差異はみとめられなかった。

一穂粒数と 100 粒重の関係からみると、36B08 においては一穂粒数には様式間差異がみとめられず、100 粒重においてのみ $T, N > C$ であったのに対して P1543 では一穂粒数と 100 粒重両者において $T, N > C$ であった。

(2) 中晩生品種

Fig. IV-11 に 2016 年における中晩生品種 36B08 の葉面積指数 (LAI) および地上部乾物重を示した。完熟期の地上部乾物重は T と N が C に比べて高かった。部位物に分けてみると、N の乾物重が C, T に比べてやや高く推移し、葉面積指数はどの時期でみても T, N が C に比べて高く推移した。

Fig. IV-12 に 2016 年における中晩生品種の平均葉面積指数 (MLAI) および雌穂重増加速度 (EGR) を示した。個体群成長速度は生殖成長前期 (8/4-8/29) と生殖成長後期 (8/29-9/26) の 2 時期を通して、36B08、P1543 両品種ともに $T, N > C$ であった。これを平均葉面積指数と純同化率に分けてみると両品種ともに平均葉面積指数においても純同化率においても $T, N > C$ の傾向を示し、純同化率の様式間差異が平均葉面積の様式間差異に比べて大きかった。

Fig. IV-13 に 2016 年における中晩生品種 36B08 の層別部位別乾物重, 相対照度および吸光係数を示した。36B08 における相対照度と部位別乾物重の垂直分布および積算葉面積指数と相対照度との関係について示した。層別部位乾物重とみると、C, T の草高 100cm 以下の葉および稈の乾物重の地上部乾物重に占める割合は

C,T が N に比べて高かった。相対照度は草高 200cm から 100cm への減少率に様式間の差異がみられ、T,C の減少率が N に比べて低い傾向がみられた。さらに、草高 100cm の相対照度は T が C,N に比べてやや高い傾向を示した。したがって、吸光係数は T が N に比べて低い傾向を示した。

Fig. IV-14 に 2016 年における中晩生品種 P1543 の層別部位別乾物重,相対照度および吸光係数を示した。直立葉型 P1543 における相対照度と部位別乾物重の垂直分布および積算葉面積指数と相対照度との関係について示した。P1543 における層別部位別乾物重および 36B08 でみられた地上部乾物重に占める草高 100cm 以下層の割合は様式間において明確な差異はみられなかった。さらに相対照度の草高に対する減少率およびは様式間で大きな差がみられず。下位層部の相対照度も様式間差異は明らかではなかった。したがって、吸光係数においても様式の間で差異はみられなかった。

Fig. IV-15 に 2016 年における中晩生品種平均葉面積指数 (MLAI)と雌穂重増加速度(EGR)の関係を示した。葉の基部、中部、先端部の葉身傾斜角度を示した。36B08 と P1543 の葉身傾斜角度を比較するて、直立葉型の P1543 は第 9 葉以降の上位葉の傾斜角

度が 36B08 に比べて高く、その差は葉の基部で小さく、葉の先端で最も大きかった。

栽植様式間の差異をみると、P1543 では葉のどの部位においても差異が少ないのに対して、36B08 では同じ部位の葉位で比較すると総いて $T > N \geq C$ の傾向がみられ。この様式間の差異は葉の先端が最も大きく、葉の基部で最も小さかった。

Fig. IV-16 に 2016 年における中晩生品種 36B08 の葉身傾斜角度を示した。36B08 における葉身傾斜角度の様式間の差異を三角関数を いて図示した。下位葉、中位葉の平均では明らかな様式間の差異はみられないが、上位葉においては $T > N > C$ であった。また、N は T に比べて葉身傾斜角度が大きいものの狭畦であるため。75cm 畦幅の T に比べて相互遮蔽が大きいと予想

Fig. IV-17 に 2016 年における中晩生品種 P1543 の葉身傾斜角度を示した。直立葉型品種 P1543 における葉身傾斜角度の様式間差異を示した。36B08 の場合の差あり、下位葉、中位葉、上位葉において明確な様式間の差異はみられなかった。

Fig. IV-18 に 2016 年における中晩生品種 14 葉期における群落上面の葉の配置を示した。第 14 葉期における群落上面からみた草姿を示した。C においては上位第 3 葉以下の葉が畦と垂直方向に

大きく直なり、相互遮蔽が大きいのに対して T においては上位葉は近隣の葉を避けるように位置し、葉身傾斜角度が大きかった。

(3) 考察

1) 収量構成要素からみた要因

子実収量は P8025、P9838 は密植にともない増収し、Twin row と Single row の差は密植区において最大となった。また、早晩性の異なる品種でも、子実収量、地上部乾物重および雌穂乾物重に Twin row による増収が確認された。

この要因を収量構成要素から考察する。雌穂収量を地上部乾物重と収穫指数の積に分解して考えると、両品種とも地上部乾物重における Twin row と Single row の差が明らかであり、Twin row による増収効果が認められた。逆に収穫指数における差はわずかであったことから、Twin row による増収要因は、地上部乾物重による影響が収穫指数による影響に比べてはるかに大きいと推察できる。

また、雌穂収量を一穂粒数と粒重の積に分解して考えると、一穂粒数および粒重は、両品種共に Twin row による増加がみられた。それぞれを多収要因と考えることが出来る。しかし、Twin row による一穂粒数の増加は安定しているのに対して、100 粒重の増加は密植区を中心にみられたことから、Twin row による多収は主として一穂粒数の増加であり、密植区においては 100 粒重の増加も関与していると位置づけられる。

2016 年の試験を通して、子実用トウモロコシに対して千鳥播、狭畦栽培を導入することで、乾物収量が供試品種共通して慣行区に比べて増加した。

36B08, P1543 が千鳥播、狭畦栽培により両品種の子実収量が慣行栽培に比べて増加した要因を、収量構成要素からみると両品種とも 100 粒重が増加したことが要因としてあげられる。P1543 においては一穂粒数も増加しており、100 粒重と合わさって増収したと推察される。

2) 成長解析からみた要因

また、Twin row における増収効果を成長解析から分析すると、平均葉面積指数(MLAI)と雌穂重増加速度(EGR)が、登熟期前半以降の生育を通して Twin row が Single row に比べて高く推移していた(図 15)。また、栄養成長期後半における受光率も Twin row が Single row に比べて高く推移し、草冠が閉じるのも早かった(図 18)。これらのことから、受光率の栄養成長期以降の高さが登熟初期の葉面積および雌穂重の増加につながり、登熟期前半以降の MLAI や EGR が高く推移したことが主たる多収要因と結論付けられる。

また、子実収量を品種間差で比べると、RM85 日の密植区において Twin row が 1258kg/10a、Single row が 1047kg/10a だったのに対し、RM100 日の密植区における子実収量は Twin row で 1519kg/10a、

Single row で 1271kg/10a と、中生品種が早生品種に比べて増収傾向にあった(表 1)。他のどの密度区においても Twin row による増収効果は、相対熟度の大きい中生品種が早生品種と比べて大きかった。濱村ら(2011)によれば、道央地帯での子実用トウモロコシの収量レベルは早生の早で 800kg~900kg/10a、早生の中で 900kg~1100kg/10a 程度だった。本試験における Twin row による増収程度とその品種の早晚性の関係も、濱村らの報告とほぼ類似する。

義平ら(2012B)によれば、Twin row の増収要因の 1 つは受光態勢の向上である。すなわち、1 個体当たりの占有面積が広くなり、隣接する葉の配置に大きな空間が発生し、光競合が起こりにくい。また、吉田ら(2013)によると、Twin row の振幅距離が広がるにつれて、その傾向がより顕著になる。本試験においても Twin row による受光率および緑被率の早期の上昇が確認され、受光態勢の向上が裏付けられた(図 18-19)。また、近年のトウモロコシ品種は、草型が改良され直立葉型(アップライトリーフ)品種が増えつつある(義平 2013)。この受光態勢の向上が、草型が異なる品種でも同様の結果が得られるか、検討する必要がある。

Twin row による増収効果は両品種とも共通してみられ、RM85 日では 10,000 本以上/10a、RM100 日では密植にするほど増収効果が高まることが確認された(試験 1)。高垣ら(2012)によれば Twin row による増収効果は地力が高い圃場で密植区、地力が低い圃場では疎植区で高くなる。

今後、Twin row による栽植密度の関係だけでなく、肥沃度との関係についても詳しく検討する必要がある。

2016 年の部位別乾物重、葉面積指数の推移から見ると両品種とも、8 月半ばから 9 月半ばまでの生殖生長期間での雌穂重増加速度が千鳥区、狭畦区では慣行区に比べて高く維持されていた。また、葉、稈の乾物重および葉面積指数に関しても千鳥区、狭畦区では 8 月半ばまで成長が続いているのに対して 36B08 は慣行区では 8 月半ばから成長が鈍ることから増収に繋がったと推察される。

成長パラメータでは、両品種とも個体群成長速度、平均葉面積指数、純同化率の全てにおいて生殖生長後半に比べて生殖生長前半で千鳥区、狭畦区が慣行区に対して高く推移してしたことから生殖生長前半でのこれらの増加が増収に起因したと推察される。

相対照度および吸光係数から見ると、草冠が閉じ始めた時期である 7/26 の時点においてやや水平葉型の品種である 36B08 の千鳥区、狭畦区では、草高 150cm から 100cm での相対照度の減衰率が慣行区に比べて小さく、さらに千鳥区は草高 100cm での相対照度が他の処理区に比べてやや高かった。吸光係数をみても千鳥区は他の処理区に比べて小さい値を示していたことから、他の処理区に比べて受光態勢が良いことが推察される。

一方、直立葉型の品種である P1543 に関しては、相対照度、吸

光係数のどちらにおいても栽植様式間で大きな差異を確認できなかったことから、栽植様式間で受光態勢の差が少ないということが推察される。

雄穂抽出期である 8/9 時点での相対照度および吸光係数からみると、36B08 では草高 200cm から 100cm での相対照度の減衰率が千鳥区と狭畦区では慣行区に比べて小さかった。また、千鳥区は草高 100cm から 50cm での相対照度の減衰率も他の処理区に比べて小さかった。吸光係数をみても、千鳥区は他の処理区に比べて小さい値を示していたことから、7/26 の時点から引き続いて受光態勢が良いということが推察される。

P1543 においては 7/26 の時点と同様に栽植様式間で大きな差異がなかったことから、栽植様式間で受光態勢の差が少ないことが推察される。

葉身傾斜角度を見ると、36B08 では葉先において栽植様式間で大きな差が表れ、上位葉ほど慣行区で葉身傾斜角度は小さく、千鳥区と狭畦区で大きいという傾向がみられた。

一方、P1543 では栽植様式間で大きな差は存在せず、葉先においても慣行区では葉身傾斜角度が大きいという傾向がみられた。

よって、36B08 では慣行区において上位葉が垂れており、千鳥区と狭畦区では上位葉が立っていることから光りの透過率が良く、

受光態勢が慣行区に比べて良いということが推察される。しかし、狭畦区においては畦間が他の処理区に比べて狭いため、千鳥区よりも受光態勢では少し劣ると推察される。P1543 では、慣行区においても上位葉が垂れていることから栽植様式間で受光態勢に差がないことが推察される。

14 葉期（草冠が閉じ始めた時期）における群落上面の葉の配置を見ても、千鳥区では上位葉が葉を避けるように回っていることから葉の相互遮蔽が少なく、慣行区に比べて受光態勢が良いということが推察される。

第 V 章 狭畦栽培、千鳥播栽培による増収効果の栽植密度 反応

(1) 極早生品種

Fig. V-1 に P8025 における 2 ケ年の子実乾物収量を示した。どの栽植様式においても子実収量は 2016 年か 2015 年に比べて高かった。子実収量が最大となる栽植密度は C においては 8.8 本 m^{-2} であったのに対して T, N, NT では 9.7 本 m^{-2} まで増収した。

収量の高かった 2016 年においてもすべての密度区において T, N, NT > C であった。子実収量における C と他の様式区の差異は 2015 が 2016 年比べて明らかであった。2016 年においては子実収量を最大とする栽植密度（最適栽植密度）は様式間の差はみられず、いずれも、 $9.5\text{-}9.8 \text{ 本 m}^{-2}$ であった。

Table V-1 に 2 ケ年における早生品種 P8025 の子実収量と収量関連形質およびその分散分析を示した。

栽植密度を平均すると子実収量は NT が最も高く、C が最も低く。栽植様式で平均すると子実収量は $75 \times 15 \text{ cm}$ 区で最も高かった。子実収量においては栽植密度および交互作用に有意性が認められたために対して収穫指数では栽植様式、栽植密度については有意ではなかった。栽植密度を平均すると子実収量は N が最も高

い傾向にあったが 2015 年ほどの差異はみられなかった。

Fig. V-2 に P8025 における 2 ヶ年の地上部乾物重と収穫指数を示した。地上部乾物重は子実収量と同様に 2016 年が 2015 年に比べて高かった。また、両年ともに地上部乾物重は T, N, NT > C の傾向を示し、C と他の様式区との間の差異は 2015 が 2016 年に比べて大きく、この傾向は子実収量と同様であった。

また、地上部乾物重を最大とする栽植密度も 2015 年においては C が 9 本 m^{-2} であったのに対して、T, N, NT では 9.9-10.1 本 m^{-2} 程度であった。しかし、収量の高かった 2016 年ではすべての様式区で地上部乾物重は 10.0-10.6 本 m^{-2} で最大を示した。この傾向も子実収量と類似していた。

収穫指数をみると、2015 年ではどの様式区においても密度に伴って減少した。その低下の程度、すなわち、栽植密度に対する収穫指数の回帰直線の傾きは C が T, N, NT に比べて大きく、したがって 10 本 m^{-2} 以上の密植区においては収穫指数は T, N, NT > C であった。

2016 年においてはすべての密度区で N, NT が C, T に比べて高い傾向を示した。収穫指数は密度に伴って低下するが、その低下の程度は総して 2016 年が 2015 年比べて小さい傾向を示した。

Fig. V-3 に P8025 における一穂粒数と百粒重を示した。一穂粒数は多収であった 2016 年がすべての様式区において 2015 年に比べて高かった。密度に伴う一穂粒数の低下は総して T, N, NT が C に比べて低い傾向を示し、この傾向は 2016 年が 2015 年に比べて顕著であった。

100 粒重は、どの密度区においても多収であった 2016 年が 2015 年に比べて大きかった。栽植様式間で比較すると、両年とも T, N, NT が C に比べて高い傾向を示した。すべての様式区において 100 粒重は密度に伴って低下した。しかし、一穂粒数の場合と異なり、その低下程度においては様式間の差異がみられなかった。

Table V-2 に栽植密度に対する回帰式からみた P8025 における子実収量と地上部乾物重の最適栽植密度と密植に伴う収穫指数、一穂粒数、百粒重の低下程度を示した。子実収量の最適栽植密度は 2015 年では $T(9.5), N(9.7), NT(9.8) > C(8.8)$ 本 m^{-2} であるのに対して、2016 年では $C(9.6), T(9.5), N(9.6) \leq NT(10.1)$ 本 m^{-2} であり。子実収量の高かった 2016 年では様式間の差異が小さいのに対して低収年次の 2015 年においては様式間の差異が大きかった。

地上部乾物重の最適栽植密度は多収年次の 2016 年には $C(10.0), T(9.9), N(10.0), NT(10.1)$ 本 m^{-2} と様式間の大きな差異はみとめら

れなかったのに対して低収の 2014 年においては T(9.9), N(10.1), NT(9.9) > C(9.3) 本 m^{-2} と様式間差異がみとめられ。子実収量の最適栽植密度と同様の傾向がみろめられた。

密植に伴う収穫指数の低下程度、すなわち栽植密度に対する収穫指数の回帰直線の傾きは 2015 年において C(-1.7) < T(-0.4), N(-0.7), NT(-0.3)。2016 年においても C(-1.4) < T(-0.7), N(-0.5), NT(-0.2) と C が両年共通して T, N, NT に比べて低く、密植に伴う収穫指数の低下が激しかった。

一穂粒数の密植に伴う低下程度は栽植密度に対する一穂粒数の回帰直線の傾きは 2015 年において C(-9.0) > T(-4.1), N(-5.9), NT(-4.3)。2016 年には C(-1.8), T(-2.1), N(-1.4), NT(-1.8) 本 m^{-2} と様式間の大きな差異はみとめられなかった。

100 粒重の密植に伴う低下程度は栽植密度に対する 100 粒重の回帰直線の傾きは 2015 年において C(-2.1) > T(-2.0), N(-1.6), NT(-0.9)。2016 年においても C(-) > T(-3.7), N(-13.1), NT(-6.5) と C が両年共通して T, N, NT に比べて高く、密植に伴う一穂粒数の低下が激しかった。

Fig. V-4 に P8025 における有効雌穂長を示した。有効雌穂長は多収であった 2016 年が 2015 年に比べてどの栽植様式も高かった。

すべての様式区で有効雌穂長は両年とも密植に伴って減少したが、2016年の低下の程度は T, N, NT が C に比べて小さかった。

Fig. V-5 に P8025 における引き倒し抵抗値とモーメント比を示した。引き倒し抵抗値も多収であった 2016 年が 2015 年に比べてどの栽植様式でも大きかった。すべての様式区で引き倒し抵抗値は両年とも密植に伴って低下した。しかし、その低下の程度は両年通いて様式間差異ほとんどみられなかった。

Table V-3 に 2015 年における P8025 の子実収量と収量関連形質およびその分散分析結果を示した。栽植密度を平均すると子実収量は NT が最も高く、C が最も低く。地上部乾物重は T が最も高く、C が最も低かった。したがって、収穫指数 T が最も低かった。一穂粒数は他の様式区 NT がやや高く、100 粒重は T, N, NT > C であった。栽植様式で平均すると子実収量、地上部乾物重は 75 × 15cm 区で最も高かった。収穫指数、一穂粒数および 100 粒重は密植に伴って低下した。子実収量、地上部乾物重においては栽植密度および交互作用に有意性が認められたために対して収穫指数では栽植様式、栽植密度については有意ではなかった。一穂粒数は様式および密度と様式の交互作用の有意であったのに対して 100 粒数は密度に有意性がみとめられた。

Table V -4 に 2016 年における P8025 の子実収量と収量関連形質および分散分析結果を示した。栽植密度を平均とすると子実収量、地上部乾物重は N が最も高い傾向にあったが 2015 年ほどの差異はみられなかった。一穂粒数は NT、100 粒重は T, N が最も大きかった。栽植様式を平均すると子実収量、地上部乾物重は 75×13cm 区が最も高かった。収穫指数、一穂粒数、100 粒重は密植に伴って低下し、75×19cm 区が最も高く、75×11cm 区が最も低かった。

分散分析結果をみると、様式においては子実収量、地上部乾物重、一穂粒数、100 粒重については有意性がみとめられたのに対して栽植密度において 100 粒重以外に有意性はみとめられなかった。栽植密度と栽植様式の交互作用についてはどの項目においても有意性がみとめられなかった。

(2) 早生品種

Fig. V -6 に P9027 における子実収量を示した。子実収量は P8025 と同様どの様式区においても 2016 年が 2015 に比べて大きかった。しかし、その年次間差異は P8025 に比べて小さかった。栽植様式間で比較すると両年ともに T, N, NT>C であった、2016 年では T が、2015 年においては N, NT が最も大きかった。子実収

量を最大とする栽植密度は、多収であった、2016 年においては 10 本 m^{-2} 、2015 年では T, N, NT が 10 本 m^{-2} と変わらなりののに対して C では 9 本 m^{-2} 程度であり。この傾向は P8025 と極めて類似した。

Fig. V-7 に P9027 における地上部乾物重と収穫指数を示した。地上部乾物重はどの栽植様式においても多収であった 2016 年が 2015 年に比べておおきかった。様式間で比較すると両年とも T, N, NT > C であった。地上部乾物重を最とする栽植密度は両年ともすべての栽植様式期において 9-10 本 m^{-2} であった。

収穫指数は C と T においては年次間差異が少なかったのに対して N と NT においては 2015 年 > 2016 年であった。収穫指数の密植に伴う低下は P8025 に比べて小さく、様式間で比較すると両年ともに T, N, NT > C であった。

Fig. V-8 に P9027 における一穂粒数と 100 粒重を示した。一穂粒数は多収であった 2016 年によりもおよる 2015 年の分かどの栽植様式でも大きい傾向を示した。一穂粒数は両年とも密植に伴って減少した。その減少程度は 2015 年においては栽植様式間で差異はみられなかったが、2016 年においては T, N, NT > C であった。

百粒重は多収であった。2016 が 2015 年に比べて大きかった。

様式間で比較するとどの密度においても 2015 年においては T, N, NT>C であったのに対して 2016 年では様式間差異は小さかった。密植に伴う百粒重の低下程度は兩年とも様式間で差異がみられなかった。

Fig. V-9 に P9027 における有効雌穂長を示した。有効雌穂長は P8025 に比べて年次間差異が小さかった。これを様式間で比較すると兩年を置いてどの栽植密度においても T, N, NT>C であった。この栽植様式間の差異は疎植区ほど大きい傾向を示した。

Fig. V-10 に P9027 における引き倒し抵抗値とモーメント比を示した。引き倒し抵抗値は多収であった 2016 年が 2015 年に比べてどの密度においても高かった。栽植様式間で比較すると、2015 年においては差異がみられなかったのに対して 2016 年では 8 本 m^{-2} 以下の疎植区において T, N, NT>C であった。したがって、引き倒し抵抗値は密植に伴って低下し、その低下の程度は 2015 年では栽植様式間で差異はみられなかったのに対して 2016 年では T, N, NT>C の傾向にあった。

Table V-5 に 2015 年における P9027 の子実収量と収量関連形質およびその分散分析結果を示した。栽植密度を平均すると、子実収量、地上部乾物重、100 粒重、いずれも T, N, NT が C に比べて

高かった。栽植様式で平均すると子実収量、地上部乾物重、100粒重ともに 75×15cm 区が最も高かった。それに対して収穫指数の差異は少なく、100 粒重は密度に伴って低下した。分散分析結果をみると、子実収量と地上部乾物重については栽植様式、栽植密度および様式区密度の交互作用に対していずれも有意性が認められた。これに対して収穫指数には栽植様式と栽植密度に有意性が認められなかった。一穂粒数と 100 粒重については栽植様式については有意性は認められなかったが栽植密度および密度と様式の交互作用については有意であった。

Table V -6 に 2016 年における P9027 の子実収量と収量関連形質およびその分散分析結果を示した。栽植密度で密度平均すると、2015 年と同様に子実収量、地上部乾物重、一穂粒数について T, N, NT>C であった。栽植様式で比較すると、子実収量と地上部乾物重は 75×13cm 区が最も高かった。収穫指数、一穂粒数、100 粒重は栽植密度に伴って低下し、75×19cm 区が最も大きく、75×13cm 区が最も小さかった。

Fig. V -11 に 2015 年における P0023 の子実収量を示した。子実収量は様式間で比較すると、どの栽植密度区においても T, NT>N>C の傾向にあった。すべての栽植様式において子実収量が

最も高くなる栽植密度は 9 本 m^{-2} であった。

Fig. V-12 に 2015 年における P0023 の地上部乾物重および収穫指数を示した。どの栽植様式においても地上部乾物重は 8-9 本 m^{-2} で最も高かった。N においては栽植密度が 8-10 本 m^{-2} の場合は C に比べて高い傾向を示した。栽植密度が 7、12 本 m^{-2} の疎植区と密植区においては C との差異はみられなかった。収穫指数は、栽植様式間で比較するとどの密度区においても T, N, NT>C であった。

Fig. V-13 に 2015 年における P0023 の一穂粒数および百粒重を示した。一穂粒数は、T, NT においてはどの栽植様式においても T, NT>C であったが、N においては 9 本 m^{-2} では N>C であるが、それ以上の密植区では N と C の間に差異がみられなかった。100 粒重はすべての処理区において 9 本 m^{-2} 以下の疎植区においては T, N, NT>C であったが、10 本 m^{-2} 以上の密植区においては T, N, NT と C との間に大きな差異はみられなかった。

Fig. V-14 に 2015 年における P0023 の有効雌穂長を示した。有効雌穂長は T においては 8 本 m^{-2} 以上の密植区において T>C であった。これに対して N においては C との差異がみとめられなかった。また、NT は 8 本 m^{-2} 以下の疎植区においては NT>C であったも

の、9本 m^{-2} 以上の密植区においては C との差異はみられなかった。

Fig. V-15 に 2015 年における P0023 の引き倒し抵抗値とモーメント比を示した。どの栽植様式においても密植様式においても密植に伴って引き倒し抵抗値が低下した。しかし、その低下の程度は栽植様式間でみられなかった。モーメント比はどの密度においても N, T, NT が C に比べて高かった。特に T, NT と C の差異が大きかった。これは上記の引き倒し抵抗値が変わらないことから、T, NT の地上部モーメントが C に比べて高かったことに起因すると考えられる。

Table V-7 に 2015 年における P0023 の子実収量と収量関連形質の分散分析結果を示した。栽植密度で平均すると、子実収量、地上部乾物重、一穂粒数は T, NT が最も高く、C が最も低かった。100 粒重は T, N, NT > C であった。

栽植様式で平均すると、子実収量と地上部乾物重は $75 \times 15\text{cm}$ 区が最も高かった。一穂粒数と 100 粒重は密植に伴って低下し、 $75 \times 19\text{cm}$ 区が最も高く、 $75 \times 11\text{cm}$ が最も低かった。

分散分析の結果、子実収量と地上部乾物重においては栽植様式、栽植密度、様式と密度の間の交互作用ともに有意性がみとめられ

た。

これに対して収穫指数については密度と様式の交互作用のみ有意性がみとめられた。栽植密度および、密度と様式の交互作用において有意性がみとめられた。

(3)中晩早生品種

Fig. V-16 に 2016 年における KD420 の子実収量を示した。子実収量を栽植様式で比較する、どの栽植密度においても $T \geq N \geq NT > C$ の傾向がみられた。子実収量は C, N においては 9-10 本 m^{-2} の密度において最も高いのに対して T, NT では 10 本 m^{-2} 以上の密植区においても増収する傾向を示した。

Fig. V-17 に 2016 年における KD420 の地上部乾物重と収穫指数を示した。どの栽植様式においても地上部乾物重は 8-9 本 m^{-2} で最も高かった。N においては栽植密度が 8-10 本 m^{-2} の場合は C に比べて高い傾向を示した。栽植密度が 7、12 本 m^{-2} の疎植区と密植区においては C との差異はみられなかった。収穫指数は、栽植様式間で比較するとどの密度区においても $T, N, NT > C$ であった。

Fig. V-18 に 2016 年における KD420 の一穂粒数および百粒重を示した。一穂粒数は、T, NT においてはどの栽植様式において

も T, NT>C であったが、N においては 9 本 m^{-2} では N>C であるが、それ以上の密植区では N と C の間に差異がみられなかった。100 粒重はすべての処理区において 9 本 m^{-2} 以下の疎植区においては T, N, NT>C であったが、10 本 m^{-2} 以上の密植区においては T, N, NT と C との間に大きな差異はみられなかった。

Fig. V-19 に 2016 年における KD420 の有効雌穂長を示した。有効雌穂長は T においては 8 本 m^{-2} 以上の密植区において T>C であった。これに対して N においては C との差異がみとめられなかった。また、NT は 8 本 m^{-2} 以下の疎植区においては NT>C であったものの、9 本 m^{-2} 以上の密植区においては C との差異はみられなかった。

Fig. V-20 に 2016 年における KD420 の引き倒し抵抗値とモーメント比を示した。どの栽植様式においても密植様式においても密植に伴って引き倒し抵抗値が低下した。しかし、その低下の程度は栽植様式間でみられなかった。モーメント比はどの密度においても N, T, NT が C に比べて高かった。特に T, NT と C の差異が大きかった。これは上記の引き倒し抵抗値が変わらないことから、T, NT の地上部モーメントが C に比べて高かったことに起因すると考えられる。

Table V -8 に 2015 年における P0023 の子実収量と収量関連形質の分散分析結果を示した。栽植密度で平均すると、子実収量、地上部乾物重、一穂粒数は T, NT が最も高く、C が最も低かった。100 粒重は T, N, NT > C であった。

栽植様式で平均すると、子実収量と地上部乾物重は 75×15cm 区が最も高かった。一穂粒数と 100 粒重は密植に伴って低下し、75×19cm 区が最も高く、75×11cm が最も低かった。

分散分析の結果、子実収量と地上部乾物重においては栽植様式、栽植密度、様式と密度の間の交互作用ともに有意性がみとめられた。

これに対して収穫指数については密度と様式の交互作用のみ有意性がみとめられた。栽植密度および、密度と様式の交互作用において有意性がみとめられた。

(4) 考察

1) 各栽植様式の増収効果

標準栽植本数である 7.8 本 m^{-2} における T, N, NT の増収効果を年次間差異含めて検討した。2015 年の P8025 では、子実収量において NT が最も高く、次いで T, N であった。NT は C と比べて 26% の増収がみられたが、T, N においては 8、6% と NT ほどの増収

はみられなかった。

一方、2016 年は子実収量においては T と N で最も多く、5%の増収、NT においても 1%の増収がみられた。地上部乾物重は T、NT で最も多く、5%の増収、N で 4%の増収と大差はなかった。子実収量においては $T \approx N > NT$ 、地上部乾物収量においては $T \approx N \approx NT$ であった。

栽植様式による増収効果を二ヶ年の平均からみると P8025 の子実収量では、T と N でそれぞれ約 5～10%の増収、NT では 0～20%程度であると言える。これに対して、地上部乾物重では T で 5～15%、N で 5～10%、NT で 5～20%であると判断できた。子実収量は地上部乾物重と類似していた。

次に 2015 年の P9027 では子実収量において N で最も増収しており、次いで T、NT であった。N は C と比べて 16%もの増収がみられ、T、N においてもそれぞれ 8、6%の増収がみられた。

栽植様式による増収効果を二ヶ年の平均からみると、P9027 の子実収量はいずれの栽植様式においてもおおむね 10%程度の増収が見込め、T では 5～15%、N で 10～15%、NT で 5～10%で増収は推移すると考えられる。続いて、地上部乾物重の増収効果はおおむね、T, N, NT でそれぞれ 15～20%, 10～15%, 5～25%であり、増収はこの範囲で推移すると考えられた。

次に P0023 の子実収量をみると、NT で最も多く 29%もの増収がみられ、次いで T の 26%、N の 20%であった。いずれの栽植様式とも C と比べて大きく増収していた。次に地上部乾物重でも子実収量と同様に、NT が最も多く、次いで T、N となっていた。NT で 25%もの増収がみられ、T で 18%、N で 11%の増収がみられた。

次に KD420 の子実収量をみると、T で最も多く 4%、次いで N の 2%となっており、NT では増収がみられなかった。地上部乾物重をみると、T で最も増収しており、2%の増収であった。N、NT においては地上部乾物重による増加はみられなかった。

2015 年の 3 品種の平均からみると、子実収量で 10~20%の増収がみられた。NT の増収が最も多く 20%、次いで T と N の 14%であった。一方、2016 年の 3 品種の平均から子実収量をみると、T の増収が最も多く 7%、次いで N の 6%、NT の 2%となっていた。2015 年と 2016 年では栽植様式による増収効果に差があった。この要因として、土壌肥沃度の違いが考えられる。2015 年は追肥 N が 3g m^{-2} であったのに対し、2016 年は N, P, K をそれぞれ 9, 10, 6g m^{-2} 施肥を行った。これにより、土壌肥沃度に差がついたためだと考えられる。2015 年のようなやや少量の追肥の場合、C の収量が低いため、T, N, NT の増収が大きくなるが、2016 年のような追肥量の多い年だと、C の収量が T, N, NT に追いつくため、C と比

べて大幅な増収に繋がらなかったと考えた。そのため、2016 年の方が 2015 年よりも収量は高いが、T, N, NT による増収割合は 2016 年の方が 2015 年よりも小さくなった。

2) 収量を最大とする最適栽植密度

収量を最大とする最適栽植密度は品種によって差異がみられた。早生品種の P8025, P9027 共通して最適栽植密度に年次間差異がみられ、2015 年では $8.9 \sim 10.3$ 本 m^{-2} であったのに対して、2016 年には 10.3 本 m^{-2} であった。これに対して、中晩生品種の最適栽植密度は P0023 では 8.9 本 m^{-2} で最大となっていた。KD420 が 10.3 本 m^{-2} で最大となっていた。この要因は、倒伏と追肥量の違いであると考えられる。2015 年は倒伏が多く、特に P0023 においては多くの倒伏が発生した。そのため、中晩生品種を中心に高密度での収量がふるわず、最適栽植密度が下がっていたと考えた。さらに窒素追肥量は 2016 年の方が 2015 年よりも多かったため、2016 年は最適栽植密度が上昇し、その差が年次として現れたと考えられる。

3) 収量関連形質からみた、各栽植様式の増収要因

各栽植様式の増収要因を収量関連形質からみた。増収要因を子実収量 = 地上部乾物重 × 収穫指数の関係性から考察すると、総じて、地上部乾物重は 2 次の回帰直線に近似して、子実収量と同様に最

大値を示す栽植密度が存在する傾向にあった。地上部乾物重の最適栽植密度は、早生品種の P8025 と P9027 共通して 10.3 本 m^{-2} , KD420 では C, N が 10.3 本 m^{-2} , T, NT が 12.1 本 m^{-2} 、中晩生品種の P0023 では 8.9 本 m^{-2} であり、子実収量の最適栽植密度と一致していた。このことから地上部乾物重の密度反応が子実収量の密度反応を左右するといえる。収穫指数は密度にともなって低下し、その低下程度は 1 次の直線傾向に近似する。しかし、その低下程度が増大する変曲点が存在し、その変曲点は、P8025, P9027 両品種は 10.3 本 m^{-2} , KD420 と P0023 は 8.9 m^{-2} であった。すなわち、この変曲点を越えずに、地上部乾物重が最大となる密度で子実収量が最大となり、この事は品種も早晩性の違いがあっても共通していると言えよう。収穫指数は密植にともなって減少するものの、その減少程度は密植時に小さいのに対して、地上部乾物重では収穫指数が減少するのにつれ、高くなる傾向にあった。つまり、収穫指数の減少程度が小さいため子実収量が増加していたと考えられる。

次に子実収量 = 栽植本数 \times 一穂粒数 \times 百粒重の関係性からみると、一穂粒数は 7.0 本 m^{-2} で最大となり、 12.1 本 m^{-2} で最小となり、 10.3 本 m^{-2} 以上の栽植本数で大きく減少した。100 粒重をみると、 7.0 本 m^{-2} で最大となり、 12.1 本 m^{-2} で最小となった。栽植本数 10.3

本 m^{-2} 以上の密植で大きく減少した。一穂粒数の密植にともなう減少程度は総じて百粒重の減少程度よりも大きかったため、子実収量は一穂粒数よりも百粒重によるものだと考えられる。

4) 既往の研究との比較

狭畦栽培の増収効果について、林ら(2006)の研究結果と比較した。林らによれば、狭畦栽培における増収効果が最大となる栽植本数は概ね 11.0 本 m^{-2} で最大となっており、栽植本数 12.0 本 m^{-2} 以上となると収量は減少する傾向にあった。また、増収効果は栽植密度によって異なり、栽植本数 9.3 本 m^{-2} のやや疎植、 14.1 本 m^{-2} の超密植では増収効果がみられなかったのに対して、栽植本数 11.0 本 m^{-2} 前後の密植では 20%程の増収がみられた。この結果は本試験および千鳥播栽培、狭畦栽培においても同様の傾向を示していた。

第VI章 播種時期が千鳥播および狭畦栽培による増収効果に及び す影響

(1)極早生品種

Fig.VI-1 に 2015 年における早生品種 P8025 の子実収量を示した。子実収量は密植区、疎植区ともに同じ播種期で比較すると、 $T \geq C \geq N$ の傾向を示した。どの栽植様式区においても晩播に伴って子実収量は低下した。その低下の程度は $T \geq N > C$ の傾向を示した。この低下程度は総じて疎植区が密植区に比べて小さい傾向を示した。

Fig.VI-2 に 2015 年における早生品種 P8025 の地上部乾物重と収穫指数を示した。密植区の地上部乾物重はどの播種期においても $T > C, N$ の傾向を示した。すべての栽植密度区において晩播に伴って地上部乾物重が低下した。この低下程度に栽植密度間で差異がみられなかった。疎植区に密植に比べてすべての栽植区において低かった。しかし、栽植様式間の差異、晩播に伴う低下とろろ程度はほぼ密植区と同様の傾向を示した。

収穫指数は密植に伴って両密度区ともに低下した。また、疎植区の収穫指数は総いて密植区に比べて高かった。疎植においてはどの播種期においても明確な栽植様式間の差異はみとめられなか

った。しかし、疎植区においては晩播にともなう収穫指数の低下は $T, N > C$ の傾向がみられた。

Fig.VI-3 に 2015 年における早生品種 P8025 の一穂粒数と 100 粒重を示した。一穂粒数はすべての密植で晩播に伴う漸減した。また、どの区においても疎植区が密植区に比べて高かった。密植区でみると、一穂粒数は $T \geq N > C$ の傾向を示した。百粒重も一穂粒数と同様に、晩播に伴って低下した。その低下の程度は一穂粒数の変化に比べて大きかった。

Fig.VI-4 に 2016 年における早生品種 P8025 の子実収量を示した。子実収量は晩播に伴って減少した。その減少程度は $C > T, N$ の傾向を示した。したがって、5/31 播種区においても子実収量は $T, N > C$ であった。

Fig.VI-5 に 2016 年における早生品種 P8025 の地上部乾物重と収穫指数を示した。地上部乾物重は晩播に伴って減少した。その減少程度は $C > T, N$ の傾向を示した。したがって、5/31 播種区においても子実収量は $T, N > C$ であった。収穫指数はどの播種期においても $T > C, N$ の傾向を示した。収穫指数は晩播に伴って増加した。その増加程度は $T > N, C$ の傾向を示した。

Fig.VI-6 に 2016 年における早生品種 P8025 の一穂粒数と 100 粒

重を示した。一穂粒数はすべての密植で晩播に伴う漸減した。その減少程度は $N \geq T, C$ の傾向を示した。百粒重は晩播に伴って C, N が低下した。その低下の程度は一穂粒数の変化に比べて大きかった。

(2) 早生品種

Fig.VI-7 に 2015 年における早生品種 P9027 の子実収量を示した。子実収量は密植区、疎植区ともに同じ播種期で比較すると、 $T > N \geq C$ の傾向を示した。どの栽植様式区においても晩播に伴って子実収量は低下した。その低下の程度は $C > T \geq N$ の傾向を示した。この低下程度は総じて疎植区が密植区に比べて小さい傾向を示した。

Fig.VI-8 に 2015 年における早生品種 P9027 の地上部乾物重と収穫指数を示した。密植区の地上部乾物重はどの播種期においても $T > C, N$ の傾向を示した。すべての栽植密度区において晩播に伴って地上部乾物重が低下した。この低下程度に栽植密度間で差異がみられなかった。疎植区に密植に比べてすべての栽植区において低かった。しかし、栽植様式間の差異、晩播に伴う低下とろろ程度はほぼ密植区と同様の傾向を示した。

収穫指数は T が密植に伴って両密度区ともに低下し、 C と T が

増加した。疎植においてはどの播種期においても明確な栽植様式間の差異はみとめられなかった。しかし、疎植区においては晩播にともなう収穫指数の低下は $N > C, T$ の傾向がみられた。

Fig.VI-9 に 2015 年における早生品種 P9027 の一穂粒数と 100 粒重を示した。一穂粒数はすべての密植で晩播に伴う漸増した。また、C, T 区においても疎植区が密植区に比べて高かった。密植区でみると、一穂粒数は $N \geq T > C$ の傾向を示した。百粒重も一穂粒数と同様に、晩播に伴って低下した。その低下の程度は一穂粒数の変化に比べて大きかった。

Fig.VI-10 に 2016 年における早生品種 P9027 の子実収量を示した。

子実収量は晩播に伴って減少した。その減少程度は $C > T, N$ の傾向を示した。したがって、5/31 播種区においても子実収量は $T, N > C$ であった。

Fig.VI-11 に 2016 年における早生品種 P9027 の地上部乾物重と収穫指数を示した。地上部乾物重は C と T が晩播に伴って減少した。その減少程度は $C > T$ の傾向を示した。したがって、5/31 播種区においても子実収量は $T, N > C$ であった。収穫指数はどの播種期においても $T > C, > N$ の傾向を示した。収穫指数は晩播に伴って

減少した。その増加程度は $N > T, C$ の傾向を示した。

Fig.VI-12 に 2016 年における早生品種 P9027 の一穂粒数と 100 粒重を示した。一穂粒数はすべての密植で晩播に伴う漸減した。その減少程度は $N \geq T, C$ の傾向を示した。百粒重は晩播に伴って C, N が低下した。その低下の程度は一穂粒数の変化に比べて大きかった。T が増加した。

(3) 考察

1) 播種期の増収効果およびその多収要因

2015 年の長沼町における播種期にともなる子実収量の変化をみたものです。子実収量は、播種期が遅くなるにつれて、減少する傾向になっておりました。この減少程度は慣行区と狭畦区に比べて千鳥区が最も少なくなりました。この播種期にともなる子実収量の変化を地上部乾物重と収穫指数の関係から検討してみますと、地上部乾物重は子実収量と同様に晩播にともなる減少し、その減少程度は千鳥播区が慣行区と狭畦区に比べて、小さい傾向を示しました。これに対して収穫指数はどの処理区とも播種期にともなう変化が少なかった。

子実収量の変化を一穂粒数と 100 粒重の関係からみてみますと、播種期にともなう一穂粒数の変化は狭畦でやや低下しているもの

の小さい結果となりました。これに対して 100 粒重は晩播にともなる減少が大きく、この減少程度は千鳥区が慣行区、狭畦区に比べて、小さくなっております。つまり、晩播にともなる子実収量の低下は一穂粒数の減少よりも主として 100 粒重の減少によることが多いと考えられた。

密植区における 2 年間の播種期にともなる子実収量の変化をみたものです。2015 年の標準区でみたものと同様に 5 月上旬から下旬に播種期を移動させた場合の子実収量の減少は 2016 が 2015 年に比べて大きい傾向になりました。その減少程度は両年を通（とお）して千鳥区が他の区に比べて小さい傾向になっておりました。また、地上部乾物重と収穫指数の関係でみると、2016 年の狭畦区を除いて晩播にともなる地上部乾物重の減少が大きく。その程度は千鳥区が低い傾向にあったのに対して、収穫指数は栽植様式間の差異が少ないことが分かります。一穂粒数と 100 粒重の関係でみると、晩播にともなる減少は一穂粒数より 100 粒重で大きい傾向にあり。2015 年においては千鳥区の変化が他の区に比べて小さいことか分かる。

2) 収量関連形質からみた、各栽植様式の増収要因

各栽植様式の増収要因を収量関連形質からみた。2016 年江別市における P9027 の子実収量および収量関連形質で栽植様式と播種

期の 2 要因の分散分析をおこなう時の表です。子実収量、地上部乾物重、収穫指数においては栽植様式、播種期で有意性がみとめられました。また、地上部乾物重と収穫指数では、様式と播種期の間に交互作用が有意でございました。次に品種、栽植様式、播種期の 3 要因での分散分析の結果です。子実収量、地上部乾物重、収穫指数には様式と播種期の間の有意性がみとめられ。また、一穂粒数は播種期で有意性がみとめられなかったのに対して 100 粒重は有意性がみとめられ。晩播による雌穂形質の変化は一穂粒数よりも 100 粒重の低下を中心に起こることがわかる。

第Ⅶ章 実規模栽培における千鳥播および狭畦栽培による増収効果

(1) 極早生品種

Fig.VII-1 に 2014 年における早生品種 P8025 の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの栽植密度においても $T > C$ であった。地上部乾物重は子実収量と同様にどの栽植密度においても $T > C$ であり。これに対して、収穫指数はどの栽植密度でも $T > C$ の傾向にあったものの密度にともなって減少した。子実収量＝地上部乾物重×収穫指数の関係からみると、子実収量は収穫指数よりも地上部乾物重に大きく依存した。

一穂粒数はどの栽植密度でも $T > C$ であった。100 粒重も一穂粒数と同様に密度にともなって減少した。

Fig.VII-2 に 2014 年における早生品種 P8025 の倒伏程度およびその関連形質を示した。倒伏程度はすべてのほで 2 未満と軽微であった。T が C に比べてどの密度区でもやや小さい傾向にあった。

稈の断面積をみるて、両区とも栽植密度にともなって低下した。どの密度においても $T > C$ であった。これに対して着穂高は栽植密度に伴う変化は少なく、どの密度においても $T < C$ の傾向にあった。

先端不稔長はどの密度においても $T > C$ であった。また、密度にともなって増加し、その減少の程度は $T < C$ であった。

Fig.VII-3 に 2015 年における早生品種 P8025 の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの密度においても $C < T$ の傾向を示した。どの様式も密度に伴って増加し、その増加程度は $C < T, N$ であった。地上部乾物重は子実収量と類似傾向を示し、すべての密度において $C < N < T$ の傾向を示した。すべての区密度に伴って上昇し、その上昇程度は $C < T, N$ であった。収穫指数はすべての様式において密度にともなって減少した。7,9 本 m^{-2} の密度区では $C > N > T$ の傾向を示した。したがって、2015 年においても 2014 年と同様、子実収量の様式間差異、密度間差異は地上部乾物重の反応に依存した。一穂粒数はどの様式も密度にともなって漸減する傾向を示した。しかし、様式間差異は小さかった。これに対して 100 粒重は 9 本 m^{-2} の密尾 d 区では $N > C > T$ 、10 本 m^{-2} では $T > N > C$ であった。

Fig.VII-4 に 2015 年における早生品種 P8025 の引き倒し抵抗値およびその関連形質を示した。引き倒し抵抗値はどの密度においても $C > T > N$ の傾向を示した。これに対して N は T と C に比べてやや低い傾向を示した。

稈の断面積は、C と T の密度にともなって減少した。またどの密度においても $N \geq C > T$ の傾向を示した。着穂高はどの様式においても密植にともなって上昇する傾向を示した。その上昇程度は T が C に対して、また NT が T に対して小さい傾向を示したが、全体として大きな様式間差異はみられなかった。

(2) 中晩生品種

Fig.VII-5 に 2014 年における早生品種 P9838 の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの栽植密度においても $T > C$ であった。地上部乾物重は子実収量と同様にどの栽植密度においても $T > C$ であり。これに対して、収穫指数は 9 本 m^{-2} , 12 本 m^{-2} の栽植密度でも $T > C$ の傾向にあったものの密度にともなって減少した。子実収量 = 地上部乾物重 \times 収穫指数の関係からみると、子実収量は収穫指数よりも地上部乾物重に大きく依存した。

一穂粒数はどの栽植密度でも $T > C$ であった。100 粒重も一穂粒数と同様に密度にともなって減少した。

Fig.VII-6 に 2014 年における早生品種 P9838 の倒伏程度およびその関連形質を示した。倒伏程度はすべてのほど 0.5 未満と軽微であった。T が C に比べてどの密度区でもやや小さい傾向にあった。

稈の断面積をみるに、両区とも栽植密度にともなって低下した。

どの密度においても $T > C$ であった。これに対して着穂高は栽植密度に伴う変化は少なく、どの密度においても $T < C$ の傾向にあった。

先端不稔長はどの密度においても $T > C$ であった。また、密度にともなって増加し、

Fig.VII-7に2015年における早生品種 P0023の子実収量および収量関連形質を示した。子実収量はどの密度においても $C < T$ の傾向を示した。どの様式も密度に伴って増加し、その増加程度は $C < T, N$ であった。地上部乾物重は子実収量と類似傾向を示し、すべての密度において $C < N < T$ の傾向を示した。すべての区密度に伴って上昇し、その上昇程度は $C < T, N$ であった。収穫指数はすべての様式において密度にともなって減少した。7,9本 m^{-2} の密度区では $C > N > T$ の傾向を示した。したがって、2015年においても2014年と同様、子実収量の様式間差異、密度間差異は地上部乾物重の反応に依存した。一穂粒数はどの様式も密度にともなって漸減する傾向を示した。しかし、様式間差異は小さかった。これに対して100粒重は9本 m^{-2} の密尾d区では $N > C > T$ 、10本 m^{-2} では $T > N > C$ であった。

Fig.VII-8に2015年における早生品種 P0023の引き倒し抵抗値お

よびその関連形質を示した。引き倒し抵抗値はどの密度においても $C > T > N$ の傾向を示した。これに対して N は T と C に比べてやや低い傾向を示した。

稈の断面積は、 C と T の密度にともなって減少した。またどの密度においても $N \geq C > T$ の傾向を示した。着穂高はどの様式においても密植にともなって上昇する傾向を示した。その上昇程度は T が C に対して、また NT が T に対して小さい傾向を示したが、全体として大きな様式間差異はみられなかった。

(3) 考察

子実収量は相対熟度 85 では密植区で増加したが、相対熟度 100 日では標準区で多収傾向であった。その要因として P0023 は慣行および狭畦栽培で倒伏が多く出たためであると考えられる。だが千鳥播栽培では他の栽植様式より倒伏が少ない。千鳥播き栽培では株間が離れ、根の競合が起きにくいため、根の伸張方向が水平に伸びる。また稈の断面積の上昇および稈径当たりの引倒し抵抗値の上昇により耐倒伏性が高い。千鳥播栽培による増収効果を大きくして多収をねらうには、8,000～10,000 本程度の密植栽培が有効であると考えられた。しかし、P0023 については密植にともない倒伏程度の上昇が明らかであったため、倒伏しやすい圃場では 8,000～8,500 本程度に留める必要があると考えられる。

また、十勝地方ではトウモロコシの稈長が伸長しやすく、倒伏の発生頻度が北海道中央部に比べて高いことが知られている。他の地域や年次でも試験を実施し確認する必要がある。

また、Twin の多収要因を収量構成要素からみると、両品種で子実収量の差は収量指数の差よりも地上部乾物重の差により生じていられる。Twin-row 栽培は収量性に加えて倒伏の抑制にも効果があるためより安定的に多収が実現できると考えられた。

以上より、キャンパス内圃場で行なった精密試験（一関ら 2015）と比較し、共通点は各品種類の栽植密度反応が密植で収量が上がる傾向にあり、相異点は倒伏程度が精密試験より実規模試験の方が高く特に P0023 や標準区においても高い倒伏程度が出た。また子実収量の品種間差異が小さい。これらの相違点の原因は機械播きでは栽植密度が機械によりバラツキが出るためであると考えられる。

第Ⅷ章 総合考察

(1) 狭畦栽培、千鳥播栽培における増収効果と、収量関連形質からみた多収要因

2014 年の結果から、子実用トウモロコシにおいても、サイレージ用トウモロコシと同様に Twin row による増収効果が確認できた。その増収効果は密植区ほど高くなる傾向にある。また、多収要因についてもこれまでサイレージ用トウモロコシに関して報告されている結果とほぼ同様の傾向を示し、栄養成長期葉面積の以降の葉面積の高さと、それにともなう登熟期の雌穂重増加速度の高さ、また、栄養成長中期の受光率の上昇の早さからもたらされていると考えられた。さらに、試験 1、2 を通して、供試した相対熟度の異なる 5 品種すべてにおいて、子実水分含有率は 10 月中～下旬までに適正とされる 30% 以下まで低下すると予想される。

2015 年の結果から、RM85 日程度の早生品種を用いて多収を狙う場合には、11,000 本以上の密植にすることが重要であり、Twin row および狭畦栽培どちらも同様の栽植密度において増収効果が高くなると考えられた。

これに対して、RM100 日の晩生品種は 9,000 本/10a 程度で子実収量は最大となる。Twin row および狭畦栽培による増収効果は疎植区、標準区で大きく、密植区で小さかった。密植にともなう増収効果の減少は Twin row に比べて狭畦栽培で顕著であった。狭畦千鳥区の増収効果

は、早生品種において密植区で、晩生品種においては疎植区で高かった。

これらの変化を収量構成要素でみると、地上部乾物重の密度反応により説明できた。また、P8025 においては 100 粒重の変化、P0023 においては一穂粒数の低下によってもたらされたと考えられた。RM93 日の P9074 は両者の中間でやや RM85 日に類似した傾向を得た。

(2) 成長解析と受光態勢からみた狭畦栽培、千鳥播栽培の多収要因

1) 草冠閉じる前

草冠が閉じる前についての増収効果については確認されています。しかし、栄養生長後期から生殖生長後期の草冠が閉じた後の受光態勢が千鳥播栽培と狭畦栽培のその増収効果との関係性は未検討です。そのため、草冠が閉じた後の受光態勢とこの受光態勢と乾物生産、収量の関係性を栽植様式間の差異から検討を行ないました。

慣行区 C は 5～6 葉期で相互遮蔽が多いのに対して、千鳥区 T は相互遮蔽はまだ少ないことがわかります。受光率の推移をみると上の密植区、下の疎植両区において T が C に比べて高く推移し、その差は密植区に比べて大きいことがわかります。疎植区と密植区の緑被率は T が C に比べて高く推移し、緑比率の上昇が早いこ

とが分かります。これを用面積指数と葉面積当りの緑被率に分けてみると、葉面積指数は T が C に比べてやや高く推移しています。また、LAI 当りの緑被率は T が C に比べて栄養成長中期まで高く推移し、その差異は疎植区が密植区に比べて大きくなっておりま
す。以上、栄養成長中期までの群落構成からみた多収要因は T が C に比べて受光率の上昇が早いことが関与していると考えられます。これは緑被率の上昇が早いことと密接な関係があり、これは LAI がやや高く推移することと、LAI 当りの緑被率が高く維持されることに由来すると考えられる。

2)草冠閉じた後

36B08 における部位別乾物重を見ていきますと慣行区 (C) に比べると千鳥区 (T) と狭畦区 (N) の雌穂重は高い値を示しており、生殖生長期間での雌穂の増加が高い結果となりました。葉面積指数の推移を見ていきますと、葉面積指数も慣行区 (C) に比べて千鳥区 (T) と狭畦区 (N) が高い値を示す結果となりました。個体群成長速度は登熟前半において慣行区 (C) より千鳥区 (T) と狭畦区 (N) が高い値を示す結果となりました。それを平均葉面積指数と純同化率に分けると平均葉面積指数は慣行区 (C) よりも千鳥区 (T) と狭畦区 (N) でやや高い値を示し、純同化率では登熟前半で千鳥区 (T) と狭畦区 (N) で高い値を示す結果と

なりました。

36B08 の雄穂抽出期である 8/9 における層別乾物重、相対照度および吸光係数をみると、千鳥区 (T) の相対照度を見ると、慣行区 (C) に比べて 200cm から 100cm で相対照度の減衰率が小さい結果となりました。そして、100cm から 50cm での相対照度の減衰率においては千鳥区が他の処理区に比べても小さい値を示していることから下位葉にも光をこぼしている結果となりました。吸光係数を見ても、千鳥区は小さい値を示しているため受光態勢が他の処理区に比べて良い結果となりました。

直立葉型品種 P1543 における葉身傾斜角度の様式間差異を示した。36B08 の場合の差あり、下位葉、中位葉、上位葉において明確な様式間の差異はみられなかった。慣行区では上位葉が垂れているのに対して千鳥区、狭畦区においては上位葉が立っていることから光の透過率が慣行区に比べて高い結果となりました。しかし、狭畦区は千鳥区よりも畦間が狭いために千鳥区よりも光の透過率では劣ることがわかります。慣行区では上位第三葉以下から相互遮蔽が多いですが、対して千鳥区では上位葉が葉を避けるように回っているために中位葉から下位葉にかけてなだらかに暗くなっていくことが推察されます。

(3) 狭畦栽培、千鳥播栽培による増収効果の栽植密度反応

1)増収効果の多収要因

目的は千鳥播き、狭畦、狭畦千鳥播きの増収効果について、密度反応として最適栽植密度、昨年との年次間差異、品種間差異の有無を明らかにすること、さらに子実水分および倒伏関連形質をみることです。

P8025 の 2015 年は C で栽植本数 9000 本、T,N,NT は 10,000 本で最大となっておりました。2016 年はどの栽植様式でも栽植本数のピークは 10,500 本となっておりました。2016 年はどの様式においても 10500 本で最大となりました。全体として、2015 年よりも 2016 年が大きく収量が高く、なっておりました。地上部乾物重は子実収量と同様の傾向を示しており、C と比べて T,N,NT は収量が高い傾向にありました。2015 年の地上部乾物重は 9000 本で最大ですが、2016 年は 10,500 本が最大となり、より高密度で増収しておりました。収穫指数は兩年とも密度に伴い減少しておりますが、減少程度は T,N,NT が C に比べて小さかった。一穂粒数、百粒重は 2015 年、2016 年ともに密植に伴って減少しております。一穂粒数の減少程度は C と比べて T、N、NT は小さかったです。百粒重は 9000 本までは C と比べ T,N,NT の百粒重は重いですが、それ以上の密植になると、差は見られない。一穂粒数、百粒重ともに 2016 年の方が多かったです。

P9027 の 2015 年をみてみますと、C の栽植本数は 9000 本で最大であるのに対し、T,N,NT は多少の差はありますが、10000 本で最大となりました。

2015 年に供試した相対熟度 100 日の P0023 と 2016 年のみに供試した

相対熟度 90 日の KD420 の子実収量を示したものです。P0023 では全ての栽植様式において 9,000 本で収量が最大となり、それ以上の密植では収量が低下しておりました。KD420 の栽植本数は 11,000 本/10a で収量が最大となりました。また、T,NT では密植でも増収しておりました。早生品種と中晩生品種を比べた場合に密度反応に品種間差がありますが、早生品種、中晩生品種にかかわらず、T、N、NT だと増収がみられました。両品種とも 2015 年においては子実収量と地上部乾物重、一穂粒数ともに様式と密度、その両者の交互作用に有意性が確認されました。しかし、2016 年では栽植密度と栽植様式間の交互作用がみとめられませんでした。P0023 は栽植様式で倒伏程度に差異がみられ、T,NT 最高収量が C、N に比べてが高かったことより、子実収量、地上部乾物重、一穂粒数、100 粒重、それぞれに様式と密度の間に交互作用がみられました。しかし、KD420 は密度反応の栽植様式間の差異が小さく、どの収量関連形質においても様式と密度の間に交互作用がみとめられませんでした。

2)倒伏程度と子実水分

P8025,P9027、P0023 の倒伏程度ですが、早生品種ではすべての様式区において問題となるな倒伏は発生しませんでした。しかし、P0023 においては密植にともなって倒伏程度は増加し、この傾向は N、NT で明らかで、10,000 本を超えるとかなりの倒伏がみられ減収要因となりました。子実水分が 40%以下になると完熟とな

って収穫が可能となり、30%以下になるとコンバイン脱穀が可能となります。子実水分の減少は密植ほど遅くなっております。Cでは密植ほど子実水分の減少が遅くなっておりますが、T、N、NTでは密度による差がCほどみられませんでした。早生品種においてはコンバイン収穫が可能となることを考えれば、子実水分の密度による差の小さいTが良いと判断できます。

(4)播種時期が千鳥播および狭畦栽培による増収効果に及びす影響

千鳥播および狭畦栽培による子実用トウモロコシの収量は増収することが分かっています。しかし、その増収効果が、播種期が早く収量レベルが高い時により増収するのか、晩播して収量レベルが低い時に増収するのかは明らかではありません。そこで、播種期が千鳥播および狭畦栽培の増収効果に及ぼす影響を検討しました。

子実収量はP8025と同様どの様式区においても2016年が2015に比べて大きかった。しかし、その年次間差異はP8025に比べて小さかった。栽植様式間で比較すると両年ともにT, N, NT > Cであった、2016年ではTが、2015年においてはN, NTが最も大きかった。子実収量を最大とする栽植密度は、多収であった、2016年においては10本 m⁻²、2015年ではT, N, NTが10本 m⁻²と変

わらなりののに対して C では 9 本 m^{-2} 程度であり。この傾向は P8025 と極めて類似した。地上部乾物重はどの栽植様式においても多収であった 2016 年が 2015 年に比べておおきかった。様式間で比較すると両年とも T, N, NT > C であった。地上部乾物重を最とする栽植密度は両年ともすべての栽植様式期において 9-10 本 m^{-2} であった。収穫指数は C と T においては年次間差異がなかったのに対して N と NT においては 2015 年 > 2016 年であった。収穫指数の密植に伴う低下は P8025 に比べて小さく、様式間で比較すると両年ともに T, N, NT > C であった。一穂粒数は多収であった 2016 年によりもおよる 2015 年の分かどの栽植様式でも大きい傾向を示した。一穂粒数は両年とも密植に伴って減少した。その減少程度は 2015 年においては栽植様式間で差異はみられなかったが、2016 年においては T, N, NT > C であった。百粒重は多収であった。2016 が 2015 年に比べて大きかった。様式間で比較するとどの密度においても 2015 年においては T, N, NT > C であったのに対して 2016 年では様式間差異は小さかった。密植に伴う百粒重の低下程度は両年とも様式間で差異がみられなかった。次に品種、栽植様式、播種期の 3 要因での分散分析の結果です。子実収量、地上部乾物重、収穫指数には様式と播種期の間の有意性がみとめられ。また、一穂粒数は播種期で有意性がみとめられなかったのに対し

て 100 粒重は有意性がみとめられ。晩播による雌穂形質の変化は一穂粒数よりも 100 粒重の低下を中心に起こることがわかります。

(5) 実規模栽培における千鳥播および狭畦栽培による増収効果

2014 年の結果から、狭畦栽培 (Narrow) と狭畦千鳥 (Narrow-Twin) の収量に大きな差異がみられないことから、狭畦と千鳥を兼ね備えた狭畦千鳥を実施するよりも、狭畦もしくは千鳥播を選択し播種精度を高くした播種作業を実施するかが望ましいと考えられた。P8025 は、密植にするほど増収しました。栽植様式間で比較すると、同じ栽植密度では T、N が C に比べて高い傾向にあり、収穫指数は T、N がやや減少しました。P0023 は、C、T、N とともに標準区で最も高く、密植区では減収しました。また標準区、密植区では T、N が C に比べて高い傾向にありました。P8025 は軽微な倒伏のみでした。P0023 では標準区以上の密植でかなり挫折倒伏が出ました。T の倒伏は少なく、UAV 画像からも確認出来ました。稈径当たりの引き倒し抵抗値は T だいたい C だいたい N の傾向で耐倒伏性が向上する可能性があります。

2015 年の結果から、栽植密度の適性範囲は P8025 は 10,000 本程度の密植区が適性で、P0023 は 8,500 本程度の標準区が適性栽植密度と考えられます。狭畦栽培と千鳥播栽培を比較すると、P8025 の収量性はほぼ同等でありました。P0023 の収量性は同等

もしくは千鳥播栽培の方が多収になる傾向がありました。また耐倒伏性は狭畦栽培より千鳥播栽培の方が耐倒伏性が高い傾向にあり、その理由として狭畦栽培は着穂高の上昇程度が大きいことと、Tの稈径当たりの引倒し抵抗値の低下があげられます。

(6) 結論

1)狭畦栽培、千鳥播栽培における増収効果と、収量関連形質からみた多収要因

晩生品種(P0023)と早生品種(P8025)を比較すると、子実収量でみると、試験 1 では早生品種は疎植区から密植区上昇しているが、晩生品種は9,000本/10aまで少し減少傾向にあったから9,000本/10a以上から上昇していた。試験 1 では早生品種、晩生品種ともに9,000本/10aで最大になり、その後減少傾向にあった。地上部乾物重をみると、試験 1 では早生品種、晩生品種ともに疎植区から密植区にかけて上昇傾向にあった。試験 2 では、早生品種、晩生品種ともに9,000本/10aで最大になり、その後減少傾向にあった。収穫指数をみてみると、試験 1 では疎植区から密植区にかけて上昇傾向にあった。試験 2 では9,000本/10aで最大になり、その後減少傾向にあった、晩生品種が9,000本/10a以上の減少程度がおだやかであった。一穂粒数でみると、早生品種、晩生品種ともに試験 1、試験 2 では疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。減少傾向はP0023>P8025であった。100粒重も同様に、早生品種、晩

生品種ともに試験 1 では疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。子実収量において試験 1 では晩生品種と類似した傾向にある。地上部乾物重において同様であった。収穫指数でみると試験 1 は疎植区から密植区にかけて減少しており、その減少傾向は早生品種に類似していた。試験 2 をみてみると 9,000 本/10a で最大になり、それ以上では減少傾向にあった。この傾向は晩生品種と類似した。一穂粒数は試験 1、試験 2 ともに疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。この傾向は晩生品種と類似。100 粒重をみてみると一穂粒数と同様に疎植区から密植区にかけて減少傾向にあった。

2) 成長解析と受光態勢からみた狭畦栽培、千鳥播栽培の多収要因

千鳥播栽培および狭畦栽培において増収する要因として今までには、栄養生長中期の草冠が閉じる前までの時期に受光率の上昇が早く、葉の相互遮蔽が少ないことが要因として挙げられていました。しかし、今回の試験の結果から草冠が閉じた後の葉身傾斜角度が千鳥播栽培および狭畦栽培で小さいという結果が得られました。穂重増加速度は平均葉面積指数と純同化率の掛け算で求められます。そのため、登熟期に渡る上位葉の葉身傾斜角度の差が純同化率を上昇させたために穂重の増加速度が上昇し、それが上記の要因と組み合わさることによって増収につながったと考えられます。また、これらの傾向は直立葉型の品種よりも水平葉に近い

品種ほど顕著に出ると考えられます。

本試験の結果から、子実用トウモロコシにおいても、サイレージ用トウモロコシと同様に Twin row による増収効果が確認できた。その増収効果は密植区ほど高くなる傾向にある。また、多収要因についてもこれまでサイレージ用トウモロコシに関して報告されている結果とほぼ同様の傾向を示し、栄養成長期葉面積の以降の葉面積の高さと、それにとまなう登熟期の雌穂重増加速度の高さ、また、栄養成長中期の受光率の上昇の早さからもたらされていると考えられた。さらに、試験 1、2 を通して、供試した相対熟度の異なる 5 品種すべてにおいて、子実水分含有率は 10 月中旬～下旬までに適正とされる 30% 以下まで低下すると予想される。

草冠が閉じる前（栄養生長中期）までの千鳥播栽培において慣行栽培に比べて千鳥播栽培では葉長がやや長くなるため葉面積の上昇が早く、葉面積当たりの受光率が高くなることや、個体間競争が慣行区に比べて千鳥播栽培では遅いために葉の相互遮蔽が少なくなることで受光態勢が良くなるということがわかっており、これらの要因が増収効果に関与することが確認されている。以上の要因が、本試験が行われる前まで千鳥播き栽培の増収要因として挙げられていた。しかし、本試験から草冠が閉じた後の葉身傾斜角度において千鳥区と狭畦区で大きく、相対照度、吸光係数を

見ても千鳥区で受光態勢が良かったことが確認された。穂重増加速度は平均葉面積指数と純同化率の掛け算で求められる。したがって、登熟期に渡る葉身傾斜角度による受光態勢の良さが純同化率を上昇させ、それにより穂重増加速度が上昇し、千鳥播栽培で収量の増加に繋がったと考えられる。しかし、直立葉型品種である P1543 では、受光態勢が栽植様式間で大きな差が生じなかったことから、以上の傾向は直立葉型の品種に比べて水平葉に近い品種ほど差が顕著に表れると推察される。

3)狭畦栽培、千鳥播栽培による増収効果の栽植密度反応

P8025 と P9027 では 2015 年と 2016 年では収量に大きな差がみられ、その要因は追肥量と気象条件が大きいと考えられる。T,N,NT の増収効果は 2015 年のようなやや追肥の少ない年ですと、C の最適栽植密度が下がるため、1000～2000 本多い密度で最大となり、2016 年のような追肥量の多い場合は C の最適栽植密度で最も高くなりました。収量レベルが高い時には様式間の差が無く、やや低い時には T,N,NT が C と比べて最適栽植本数高くなる。T,N,NT の増収要因は収穫指数および一穂粒数の密植による減少程度が小さかったためだと考えられます。子実水分の低下は C の密植で遅く、T,N,NT の密度間では差がみられませんでした。引倒

抵抗値においては 9000 本まで栽植本数であれば、T,N,NT が C に比べて値が高く、10000 本以上だと様式による差は見られなくなりました。以上のことから、T,N,NT は C と比べて増収効果はあると結論付けられる。

推奨される栽植様式です。子実用トウモロコシの増収を狙うために、生産者がどの栽植様式を選択するか意思決定に、参考となる情報を本実験で得たデータをもとに、整理した。RM85 から 93 の早生品種においては多収、低収年次を共通して、T, N, NT どの栽植様式をとっても増収効果は変わらない。しかし、その増収効果は低収年次で高く、多収年次で低いと考えられた。

RM100 程度の中晩生品種においては、データが無いため多収年次は今後、検討する必要がある。低収年次においては倒伏の関係から、T が最も増収効果が高く、次いで NT, N の順に高かった。中晩生品種においては子実収量から考えると狭畦栽培よりも千鳥播栽培を重点的に選択すべきである。

4)播種時期が千鳥播および狭畦栽培による増収効果に及びす影響

狭畦栽培、千鳥播栽培の増収効果は早生品種共通して晩播区ほど大きくなる傾向にあり、出芽期の気温が低く経過する年ほど明らかである。この増収効果の変化を収量関連形質からみるて、地上部乾物重の変化が収穫指数に比べて、また、100 粒重の変化が

一穂粒数に比べて大きく関わっていると考えられました。さらに、このことを成長解析からみると、早期播種では、雌穂収量の差が栄養成長後期から生殖成長初期の純同化率の差のみに起因するのに対して晩播区では、それに加えて同時期の平均葉面積指数の差異も加えるため、栽植様式間の雌穂収量の差が拡大すると考えられた。

さらに、このことを成長解析からみると、早期播種では、雌穂収量の差が栄養成長後期から生殖成長初期の純同化率の差のみに起因するのに対して。晩播区では、それに加えて同時期の平均葉面積指数の差異も加えるため、栽植様式間の雌穂収量の差が拡大すると考えられた。

5)実規模栽培における千鳥播および狭畦栽培による増収効果

子実収量は相対熟度 85 では密植区で増加したが、相対熟度 100 日では標準区で多収傾向であった。その要因として P0023 は慣行および狭畦栽培で倒伏が多く出たためであると考えられる。だが千鳥播栽培では他の栽植様式より倒伏が少ない。千鳥播き栽培では株間が離れ、根の競合が起きにくいため、根の伸張方向が水平に伸びる。また稈の断面積の上昇および稈径当たりの引倒し抵抗値の上昇により耐倒伏性が高い。千鳥播栽培による増収効果を大きくして多収をねらうには、8,000～10,000 本程度の密植栽培が有効であると考えられた。しかし、P0023 に

については密植にともない倒伏程度の上昇が明らかであったため、倒伏しやすい圃場では8,000～8,500本程度に留める必要があると考えられる。また、十勝地方ではトウモロコシの稈長が伸長しやすく、倒伏の発生頻度が北海道中央部に比べて高いことが知られている。他の地域や年次でも試験を実施し確認する必要がある。

また、Twinの多収要因を収量構成要素からみると、両品種で子実収量の差は収量指数の差よりも地上部乾物重の差により生じていられる。Twin-row栽培は収量性に加えて倒伏の抑制にも効果があるためより安定的に多収が実現できると考えられた。

以上より、キャンパス内圃場で行なった精密試験(一関ら 2015)と比較し、共通点は各品種の栽植密度反応が密植で収量が上がる傾向にあり、相異点は倒伏程度が精密試験より実規模試験の方が高く特にP0023や標準区においても高い倒伏程度が出た。また子実収量の品種間差異が小さい。これらの相違点の原因は機械播きでは栽植密度が機械によりバラツキが出るためであると考えられる。

第Ⅸ章 参考文献

- 阿部賀斗・義平大樹・佐藤智宏・柳原孝二・照井英樹．2014．子
実用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼす影響—長
沼町における実規模試験、および狭畦千鳥栽培—．日本育種学
会・日本作物学会北海道談話会報 55：(印刷中)．
- Agrigold. 2010. Genetic Interaction In Twin Row Corn.
- Andrade et al. Agron. J. 2002. Yield response to narrow rows depend
on increased radiation interception. Agronomy Journal.
94:975-980.
- Cox and Cherney. Agron J. 2002. Evaluation of narrow-row corn
forage in field-scale studies. Agronomy Journal. 94:321-325.
- Cox et al. Agron. J. 2006. Growth, yield, quality, and economics of
corn silage under different row spacings. Agronomy Journal.
98:163-167.
- Dale E. Farnham.2000. Row Spacing, Plant Density, and Hybrid
Effects on Corn Grain Yield and Moisture. American society of
Agronomy. 93:1049-1053.
- 濱村美由紀．2011．道央地域における子実用トウモロコシの栽培
法．(中央農試・農業環境部・環境保全 G・病虫部・クリーン病害

虫 G)

<http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/24/f2/24.pdf>.

林拓・佐藤尚親・牧野司. 2006. サイレージ用トウモロコシ早生

品種の狭畦路地栽培における生育の特徴. 52(別 1). 56-67

北海道中央部における飼料用トウモロコシに対する千鳥播栽培が

収量に及ぼす影響—中生品種(相対熟度 100 日)における千鳥播

効果と栽植密度の関係—. 日本草地学会誌 58(別): 115.

Kelly A. Nelson and Randall L. Smoot. 2013. Twin-and Single Row

Corn Production in Northeast Missouri. American society of

Agronomy. 8:1049-1053.

Mark Jeschke. 2010. Twin Row Corn Production. Pioneer Hi-Bred

International, In. <https://www.pioneer.com/home/site/us/>

[agronomy/library/corn-twin-rows/](https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/library/corn-twin-rows/)

M. J. Ottman and L. F. Welch. 1960. Planting Patterns and Radiation

Interception, Plant Nutrient Concentration, and Yield in Corn.

American society of Agronomy. 81 : 167-174.

中津智史・濱村美由紀・中本洋・甲田祐幸・飯田憲司・相馬潤.

2015a. 道央地帯における子実用とうもろこしの栽培法 第 1 報

品種の早晚性が生育、収量、子実水分等に及ぼす影響. 北農第

82 卷第 2 号 11－20.

中津智史・濱村美由紀・中本洋・甲田裕幸. 2015b. 道央地帯における子実用とうもろこしの栽培方法 (第 2 報)無機養分の吸収推移と窒素施肥法. 北農第 82 卷第 3 号. 12－18.

中津智史・濱村美由紀・中本洋・甲田裕幸・相馬潤. 2015c.道央地帯における子実用とうもろこしの栽培方法 (第 3 報)栽植密度が子実収量・水分、倒伏に及ぼす影響. 北農第 82 卷第 4 号. 20－25

高垣淳・義平大樹・大野誉史・小阪進一. 2013. サイレージ用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼす影響―地力の異なる圃場における中生品種(相対熟度 100 日)の千鳥播による増収効果と栽植密度の関係―. 北海道畜産草地学会報 1 : 84.

富沢ゆい子. 2013. 子実用とうもろこしの栽培法と道央地域における輪作体系への導入効果. (中央農試・農業環境部・環境保全 G・病虫部・クリーン病害虫 G、生産研究部・生産システム G・畜試・基盤研究部・飼料環境 G・十勝農試・研究部・生産環境 G).

<http://www.naro.affrc.go.jp/harc/contents/seikajoho/folder6601/folder6604/2013kan01.pdf>.

戸澤英男．2005．トウモロコシ—歴史・文化、特性・栽培、加工・利用—．農文協．東京．305-315．

Widdicombe and Thelen Agron. J. 2002. Row width and plant density effect on corn forage hybrids. Agronomy Journal. 94:326-330.

William J. Cox and John J. Hanchar. 2005. Growth, Yield, Quality, and Economics of Corn Silage under Different Row Spacings. American society of Agronomy. 98 : 163-167.

吉田将大・義平大樹・小阪進一．2013．サイレージ用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼす影響—振幅距離が増収効果に及ぼす影響—．日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報 54 : 45—46．

義平大樹・高垣淳・大野誉史・石川弘大・小阪進一．2013a．サイレージ用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼす影響—極早生品種における増収効果および狭畦栽培との比較—．北海道畜産草地学会報 1—84．

義平大樹．2013．作物学．第4章 飼料作物．1.穀類．今井勝・平沢正監修．228—229．文永堂．東京．

義平大樹・石川弘大・小阪進一・佐藤智宏．2012a．北海道中央部における飼料用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼ

す影響—早生品種(RM85~95 日)における千鳥播効果と栽植密度の関係—. 日本草地学会誌 58(別): 116.

義平大樹・石川弘大・小阪進一・佐藤智宏. 2012b. 北海道中央部における飼料用トウモロコシに対する千鳥播栽培が収量に及ぼす影響—中生品種(相対熟度 100 日)における千鳥播効果と栽植密度の関係—. 日本草地学会誌 58(別): 115.

義平大樹. 2015. トウモロコシ栽培における最適個体間距離の検討. 北海道畜産草地学会報.91-95

第Ⅹ章 謝辞.

本試験の実施にあたり、主査の本大学 循環農学類 飼料作物学研究室 義平大樹教授、副査の草地・飼料生産学研究室 三枝俊哉教授、並びに土壌環境学研究室 澤本卓治教授から終始多大なるご指導頂いた。

また、本研究をすすめるにあたり、パイオニアハイブレッッドジャパン株式会社の佐藤智宏氏より有益な御助言・御力添えを賜りましたこと、心から感謝申し上げます。

実験にご協力いただきました環境空間情報学研究室の小川健太准教授に心から感謝申し上げます。

試験圃場の管理をはじめ、栽培から収穫までご指導や貴重なアドバイスを下さいました、フィールド教育研究センター作物生産ステーションの方々に心より御礼申し上げます。

最後に、本研究の作業および調査で多大な協力をして下さった作物学研究室の皆さまに心から感謝いたします

Table II -1. Abstract of 6 field experiments.

No. of experiment	Description chapter	Title of experiment	Test contents	Year	Experimental location	Sowing date (Month/date)	Cultivars	Planting pattern		Planting density (Cultivar) (m ⁻²)
								(Row spacing(cm)×Distance between plants(cm), Cultivar)		
Exp. 1	Chapter III	Grain yield increase due to twin and narrow row cultivation, and the factors of high-yielding on the basis of yield component.	Planting pattern (3 levels planting density)	2014	Rakuno	5/12	P8025, P9838	Convention, Twin		7.9, 10.2, 11.9 (P8025) 6.5, 7.9, 9.5 (P9838)
								70×18, 14, 12 (P8025)	70×22, 18, 15 (P9838)	
				2015	Rakuno	5/10	P8025, P9027, P0023	Convention, Twin	Narrow, Narrow twin	7.5, 9.5, 13.0 (P8025) 7.0, 8.9, 12.1 (P9838)
								75×19, 15, 11 (3 Cultivars)	50×28.5, 22.5, 16.5 (3 Cultivars)	
Exp. 2	Chapter IV	Factors of high-yielding on the basis of growth analysis and light-intercepting character.	Before plant canopy closes Light-receiving ratio After plant canopy closes Relative light intensity Clipping method	2014	Rakuno	5/12	P8025, P9838	Convention, Twin		7.9, 10.2, 11.9 (P8025) 6.5, 7.9, 9.5 (P9838)
								70×18, 14, 12 (P8025)	70×22, 18, 15 (P9838)	
				2016	Rakuno	5/10	36B08, P1543	Convention, Twin	Narrow	10.3 (2 Cultivars)
								75×13 (2 Cultivars)	50×19.5 (2 Cultivars)	
Exp. 3	Chapter V	Responses to planting density in the twin and narrow cultivation.	Responses to planting density (5 levels planting density)	2015	Rakuno Naganuma	4/30 5/6	P8025, P9027, P0023	Convention, Twin	Narrow, Narrow twin	7.0, 7.8, 8.9, 10.3, 12.1 (3 Cultivars)
								75×19, 17, 15, 13, 11 (3 Cultivars)	50×28.5, 25.5, 22.5, 19.5, 16.5 (3 Cultivars)	
				2016	Rakuno	5/3	P8025, P9027, KD420	(3 Cultivars)		10.3, 12.1
								(3 Cultivars)		
Exp. 4	Chapter VI	Effects of sowing time on grain yield increase in the twin and narrow cultivation.	Sowing time	2015	Naganuma	5/6, 16, 26 5/1, 15, 29	P8025, P9027	Convention, Twin	Narrow	10.3 (2 Cultivars)
								75×13 (2 Cultivars)	50×19.5 (2 Cultivars)	
				2016	Rakuno	P8025, P9838	Convention, Twin	Narrow	6.5, 8.5, 10.8 (2 Cultivars)	
							76×20.2, 15.4, 12.2 (2 Cultivars)	50×23.0, 18.9 (2 Cultivars)		
Exp. 5	Chapter VII	Grain yield increase due to twin and narrow row cultivation in the real scale examination in Naganuma town.	Machine sowing	2014	Naganuma	5/7	P8025, P9838	Convention, Twin	Narrow	7.2, 8.6, 10.9 (2 Cultivars)
								75×18.5, 15.5, 12.2 (2 Cultivars)	50×23.0, 18.9 (2 Cultivars)	
				2015	Naganuma	5/7	P8025, P0023	(2 Cultivars)		10.3 (2 Cultivars)
								(2 Cultivars)		

Convention, Twin, Narrow and Narrow twin indicates conventional cultivation, twin row cultivation, Narrow cultivation, Narrow twin cultivation, respectively

Rakuno:Field crop production station Rakuno Gakuen University in Ebetsu city

Naganuma: Yanaguhara farm in Naganuma town

Table II -2 Planting pattern and density (Exp.1, 2014, 2015).

Year	Cultivar	Sparse density (L)	Standard density (M)	Close density (H)
--Row width×Hill spacing(cm)--				
2014	P8025 (RM85)	70×18 (7.9)	70×14 (10.3)	70×12 (12.0)
	P9838 (RM85)	70×22 (6.5)	70×18 (8.0)	70×15 (9.5)
2015	P8025	75×19 (7.0)	75×15 (8.9)	75×11 (12.1)
	P9027	75×19 (7.0)	75×15 (8.9)	75×11 (12.1)
	P0023	75×19 (7.0)	75×15 (8.9)	75×11 (12.1)

L: Sparse planting, M: Standard planting, H: Dense planting

(): Plants m⁻²

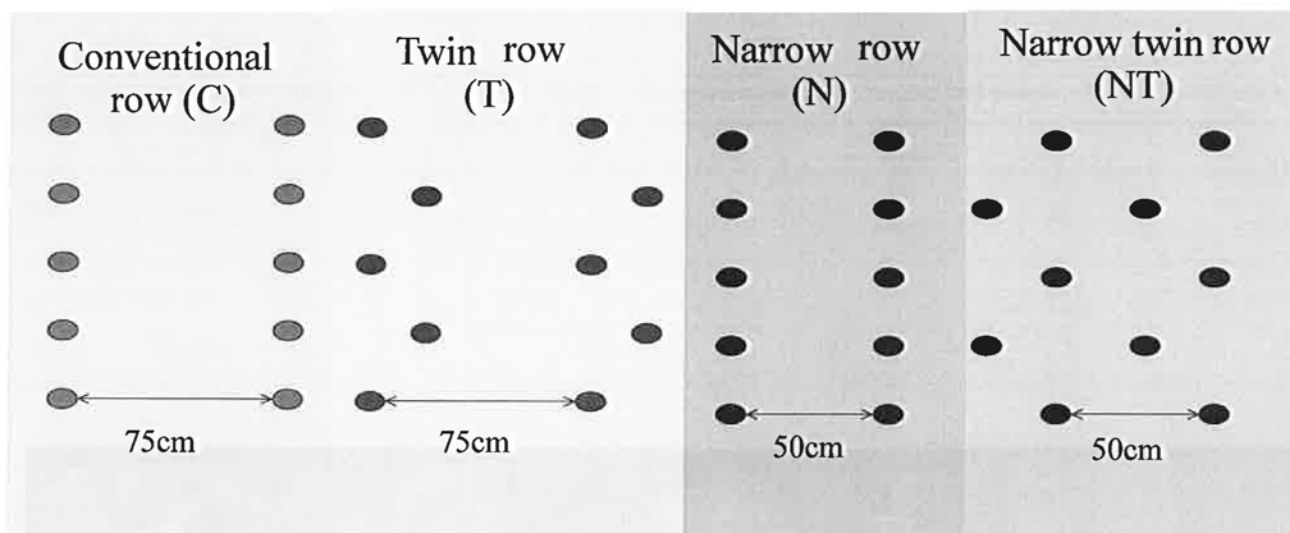


Fig. II -1 Plant placement in each planting pattern (Exp. 1, 3, 5).



Fig. II -2 Plant shape in used cultivars (Exp. 2).



Fig. II -3 Measurement of relative illuminance in the plant canopy
(Exp. 2).

Table II -3 Planting pattern and density (Exp.5, 2014, 2015).

Planting patten	Sparse density (L)	Standard density (M)	Close density (H)
--Row width×Hill spacing(cm)--			
Twin row (T)	75 × 18.5 (7.2)	75 × 15.5 (8.6)	75 × 12.2 (11.0)
Conventional row (C)	75 × 18.9 (7.5)	75 × 15.7 (8.5)	75 × 12.5 (10.6)
Narrow row (N)		50 × 23.0 (8.7)	50 × 18.9 (10.6)

L:Sparse planting, M:Standard planting, H:Dense planting

():Plants m⁻²

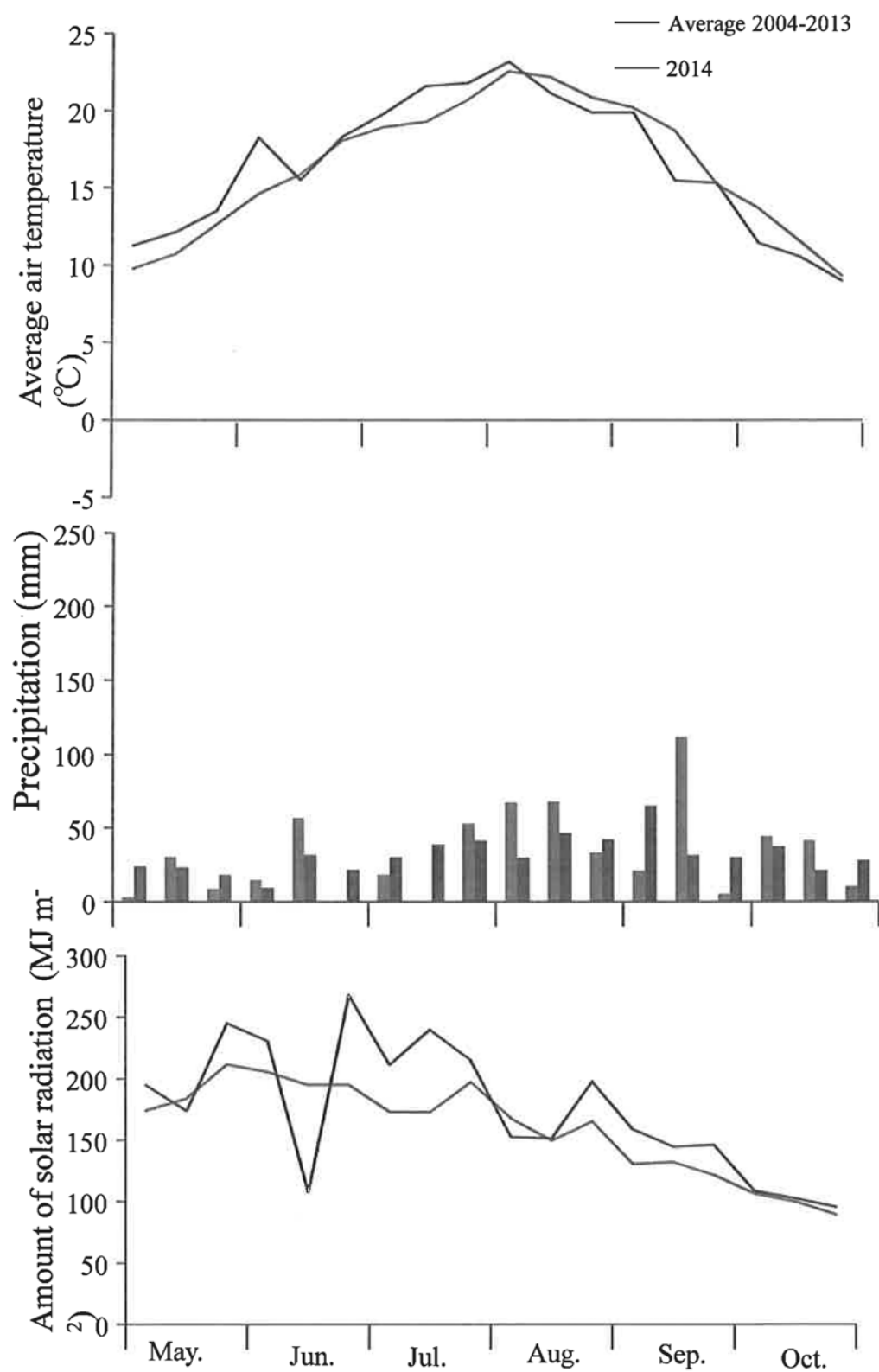


Fig. II -3. Changes in average air temperature, solar radiation and precipitation during the growing seasons (Exp.1, 2, 3, 4, Rakuno, 2014).

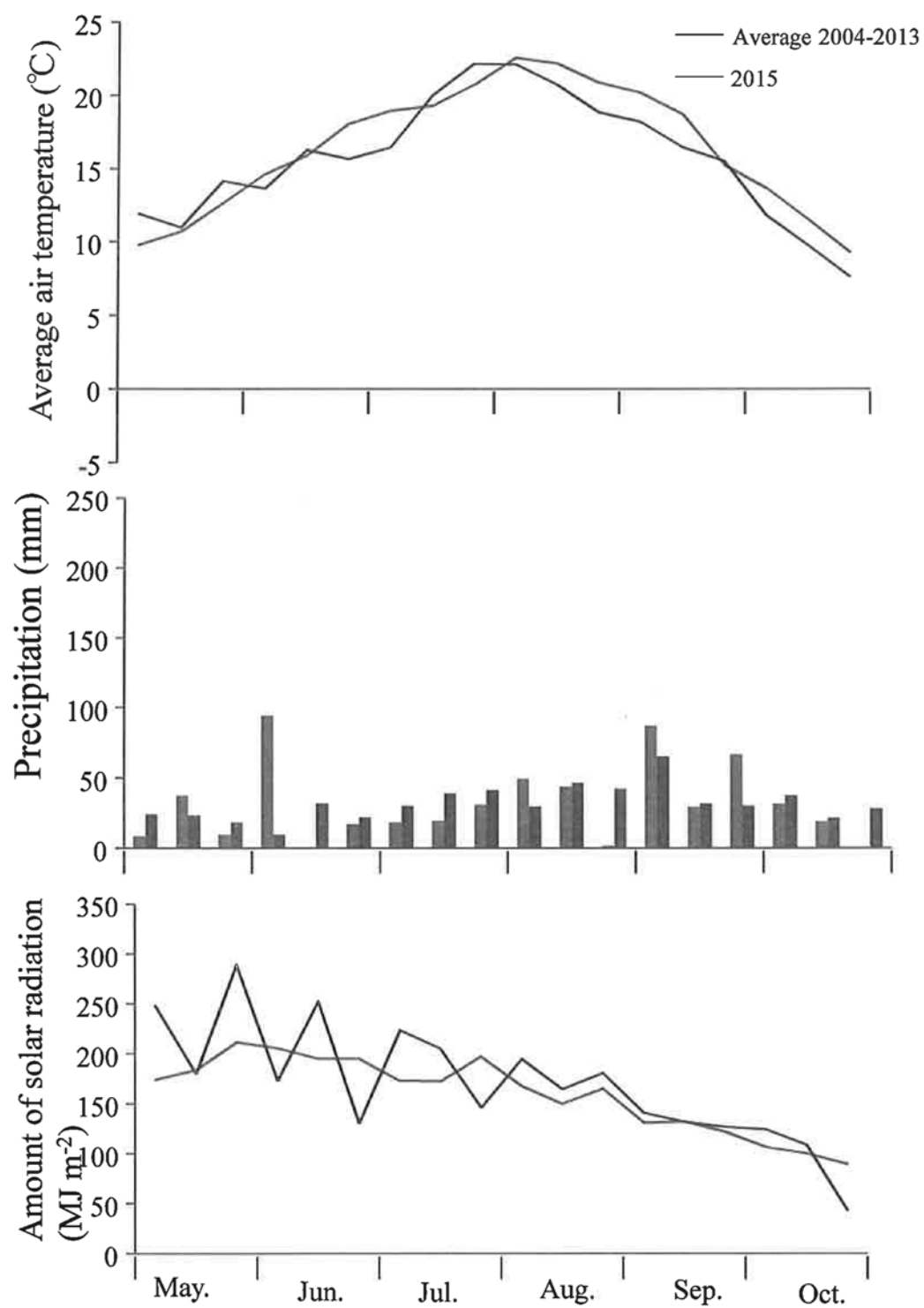


Fig. II -4. Changes in average air temperature, solar radiation and precipitation during the growing seasons (Exp.1, 2, 3, 4, Rakuno, 2015).

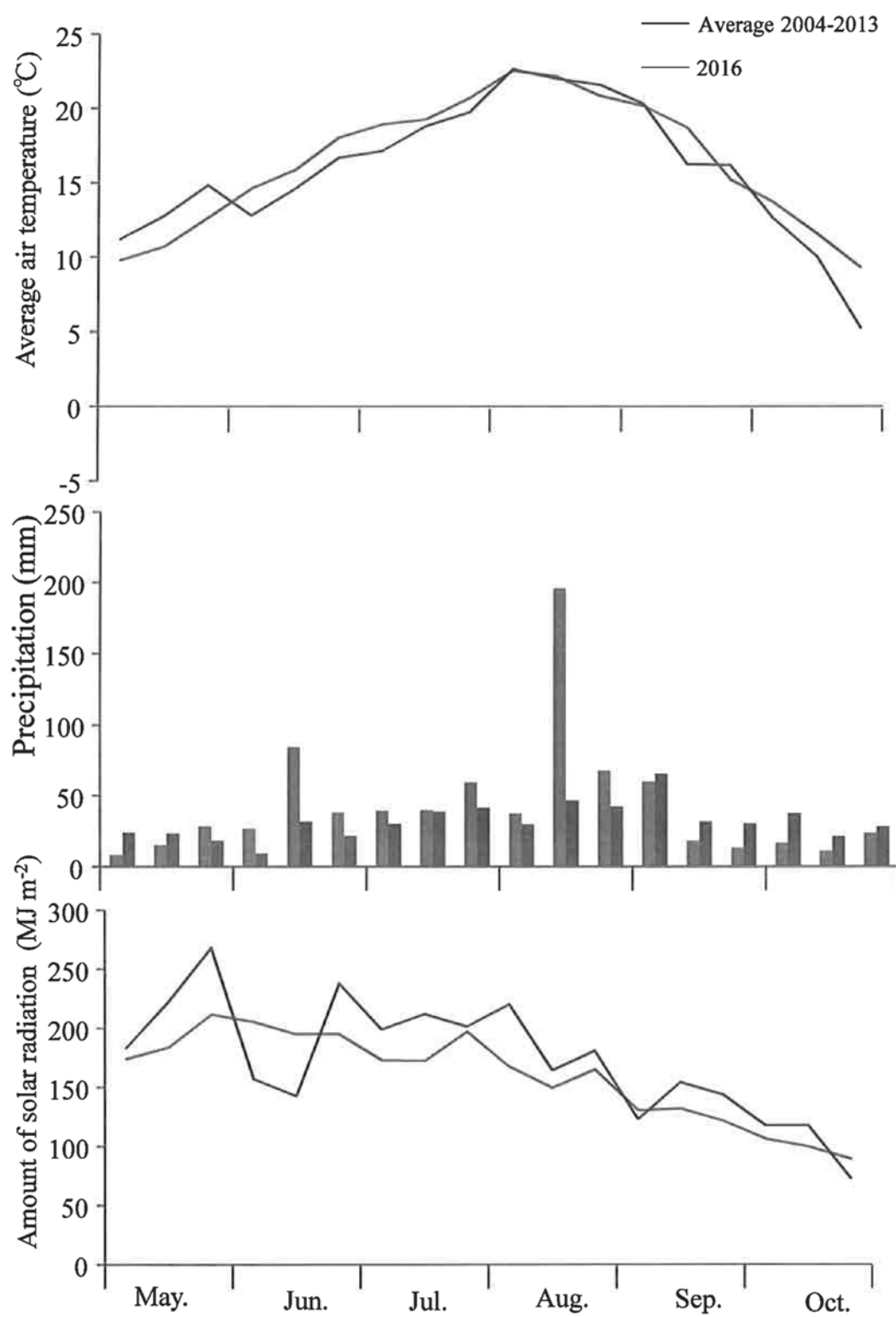


Fig. II -5. Changes in average air temperature, solar radiation and precipitation during the growing seasons (Exp.1, 2, 3, 4, Rakuno, 2016).

Table II -4. Average air temperature, solar radiation and precipitation during the growing seasons (Exp.1, 2, 3, 4, Rakuno, 2014-2016).

Month	Average air temperature(°C)				Solar radiation (MJ m ⁻² day ⁻¹)				Precipitation (mm)			
	2014	2015	2016	2004-2013*	2014	2015	2016	2004-2013*	2014	2015	2016	2004-2013*
5	12.3	12.4	13.0	10.7	20.5	24.0	21.7	18.4	14.2	18.5	17.5	21.4
6	17.4	15.2	14.7	15.7	20.2	18.6	17.9	19.2	24.0	37.3	50.0	20.4
7	21.1	19.6	18.6	19.0	22.2	19.2	19.8	17.5	23.8	23.0	46.3	35.7
8	21.4	20.6	22.1	21.2	16.7	18.0	18.3	15.6	56.3	31.7	100.4	38.3
9	16.9	16.7	17.6	17.5	15.0	13.3	14.1	12.4	46.0	61.3	30.5	41.1
10	10.3	9.8	9.3	11.2	10.2	9.2	10.1	9.5	32.2	16.8	17.0	28.2
Total	16.6	15.7	15.9	15.9	105	102	102	93	197	189	262	185

Rakuno: Field crop production station Rakuno Gakuen University

* indicates mean value of 2004-2013.

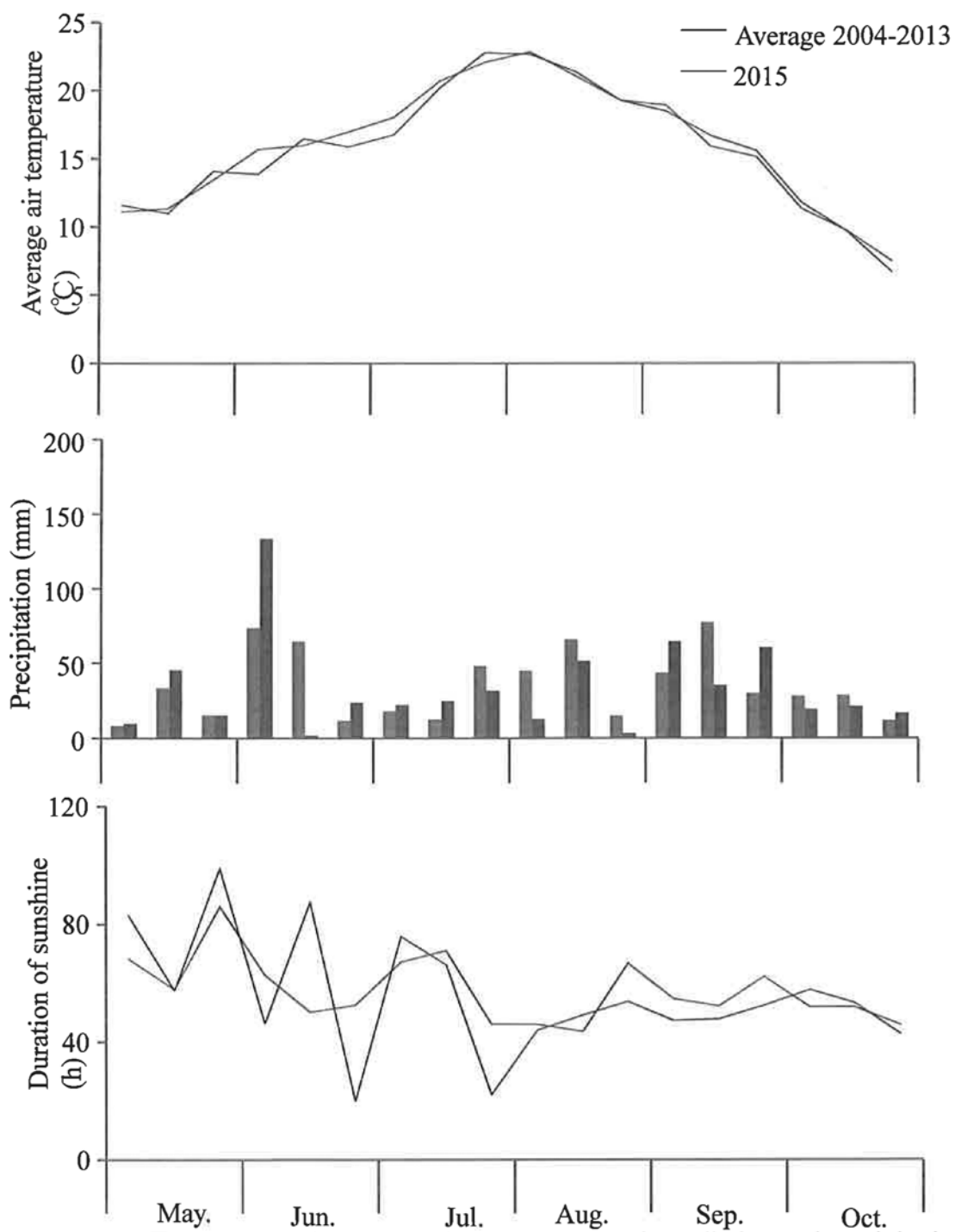


Fig. II -6. Changes in average air temperature, solar radiation and precipitation during the growing seasons (Exp.5, Naganuma, 2015).

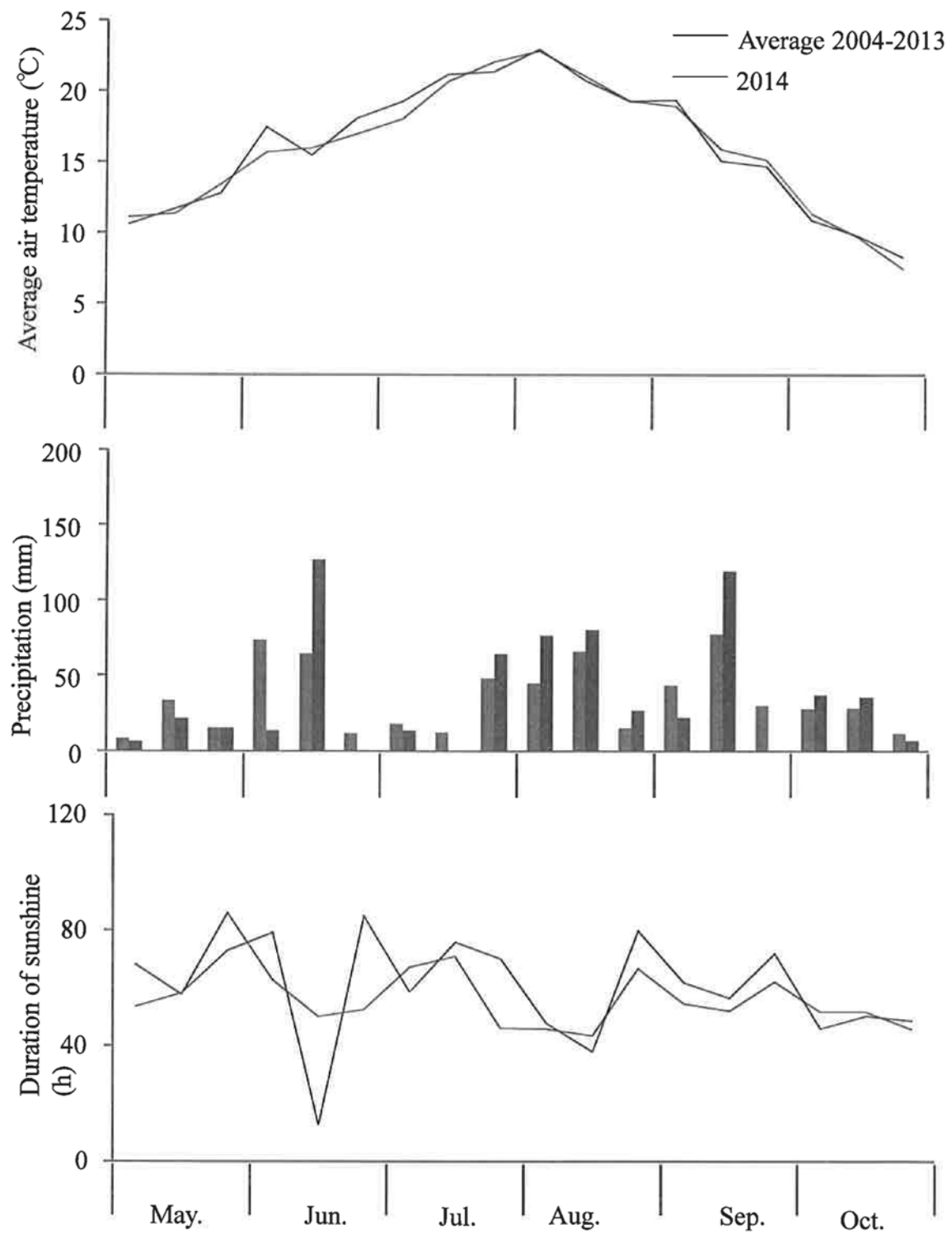


Fig. II -6. Changes in average air temperature, solar radiation and precipitation during the growing seasons (Exp.5, Naganuma, 2014).

Table II -5. Average air temperature, solar radiation and precipitation
during the growing seasons (Exp.5, Naganuma, 2014-2015).

月	Average air temperature (°C)			Precipitation(mm)			Duration of sunshine(h)		
	2014	2015	2004-2013	2014	2015	2004-2013	2014	2015	2004-2013
5	11.7	12.2	10.9	14.7	23.7	24.6	61.8	79.9	58.8
6	17.0	15.4	16.0	47.0	53.2	24.4	59.1	51.4	53.8
7	20.6	19.9	19.5	26.2	26.5	36.6	68.4	54.8	46.0
8	21.0	21.1	21.7	61.3	22.7	42.1	55.4	49.0	52.6
9	17.1	16.9	17.8	11.3	53.5	49.3	67.1	49.2	51.7
10	9.7	9.4	11.1	26.7	19.3	27.3	48.5	51.3	48.6
Total	16.2	15.8	16.2	187	199	204	360	336	311

Naganuma: Nanagihara farm in Naganuma town

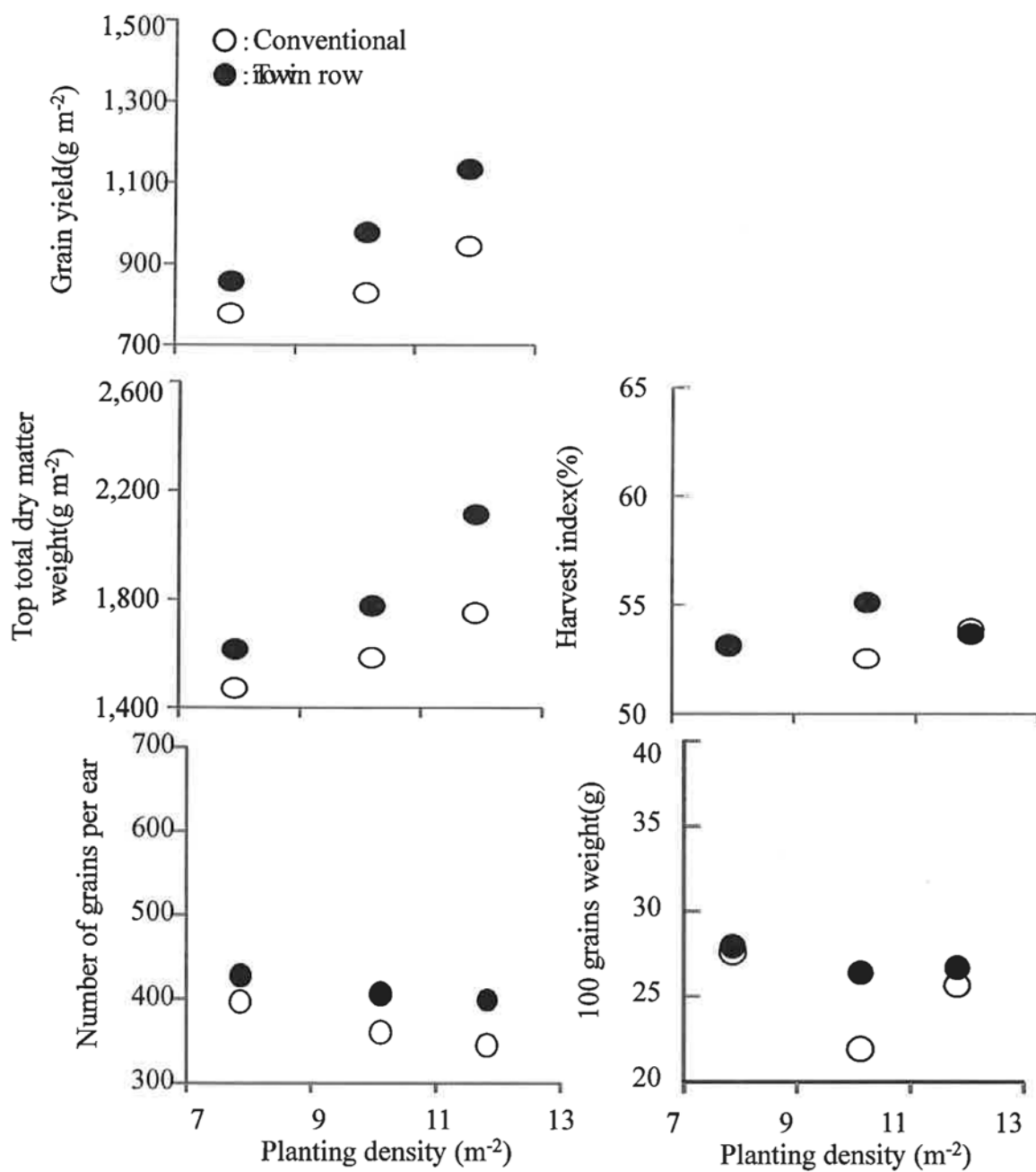


Fig. III-1 Grain yield and related traits(Exp.1, P8025, 2014).

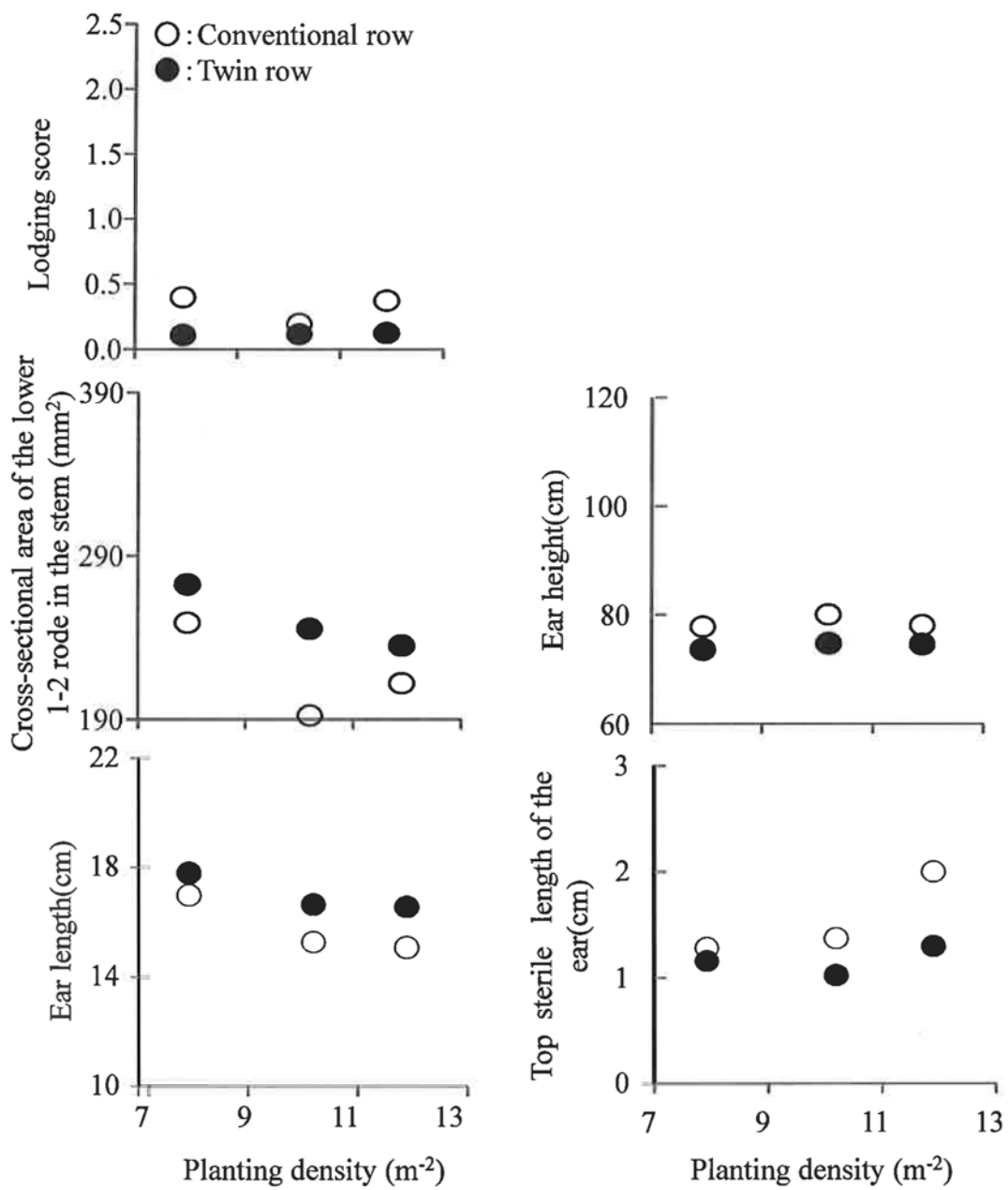


Fig. III-2 Lodging score and ear related traits
(Exp.1, P8025, 2014).

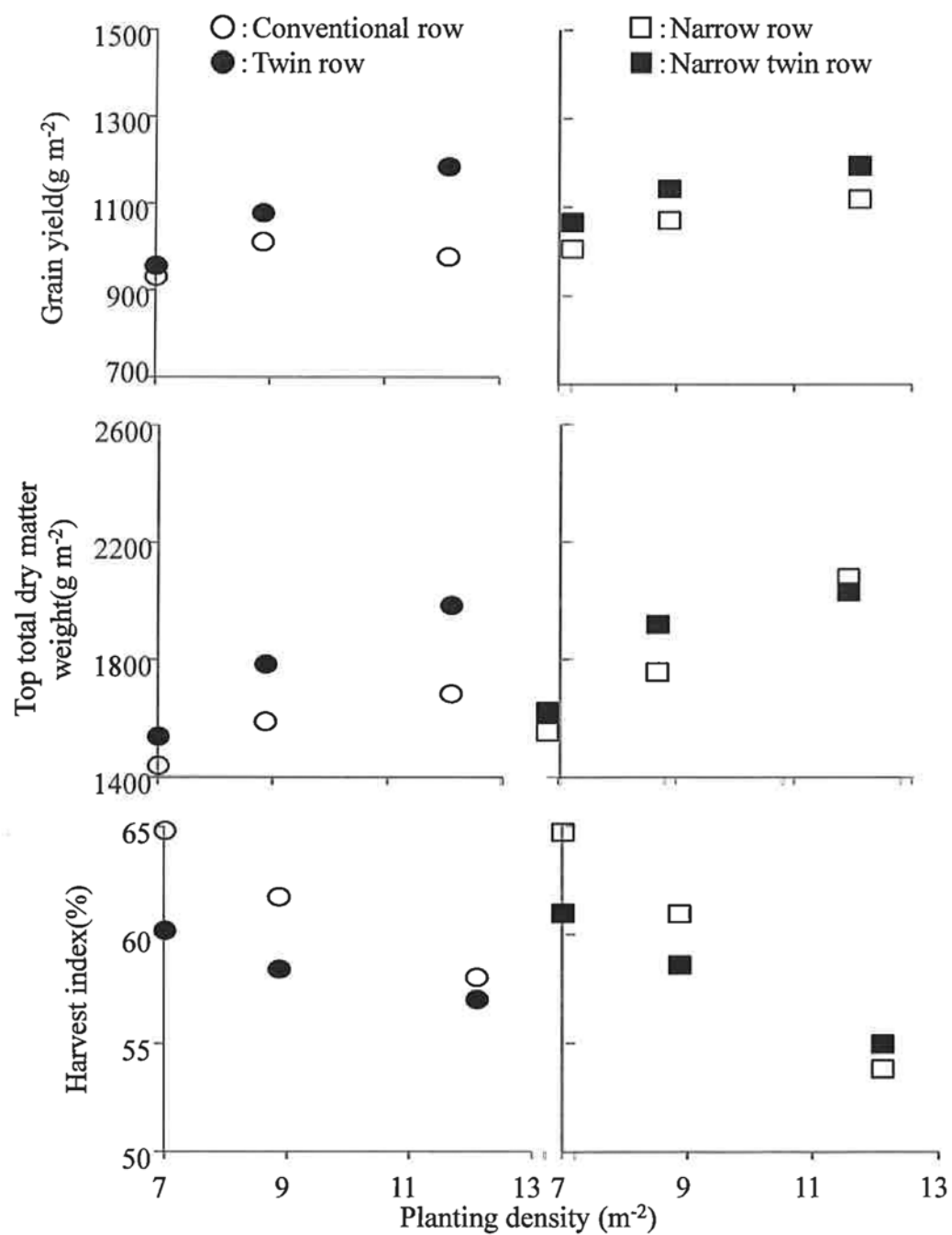


Fig.III-3 Grain yield and related traits
(Exp.1, P8025, 2015).

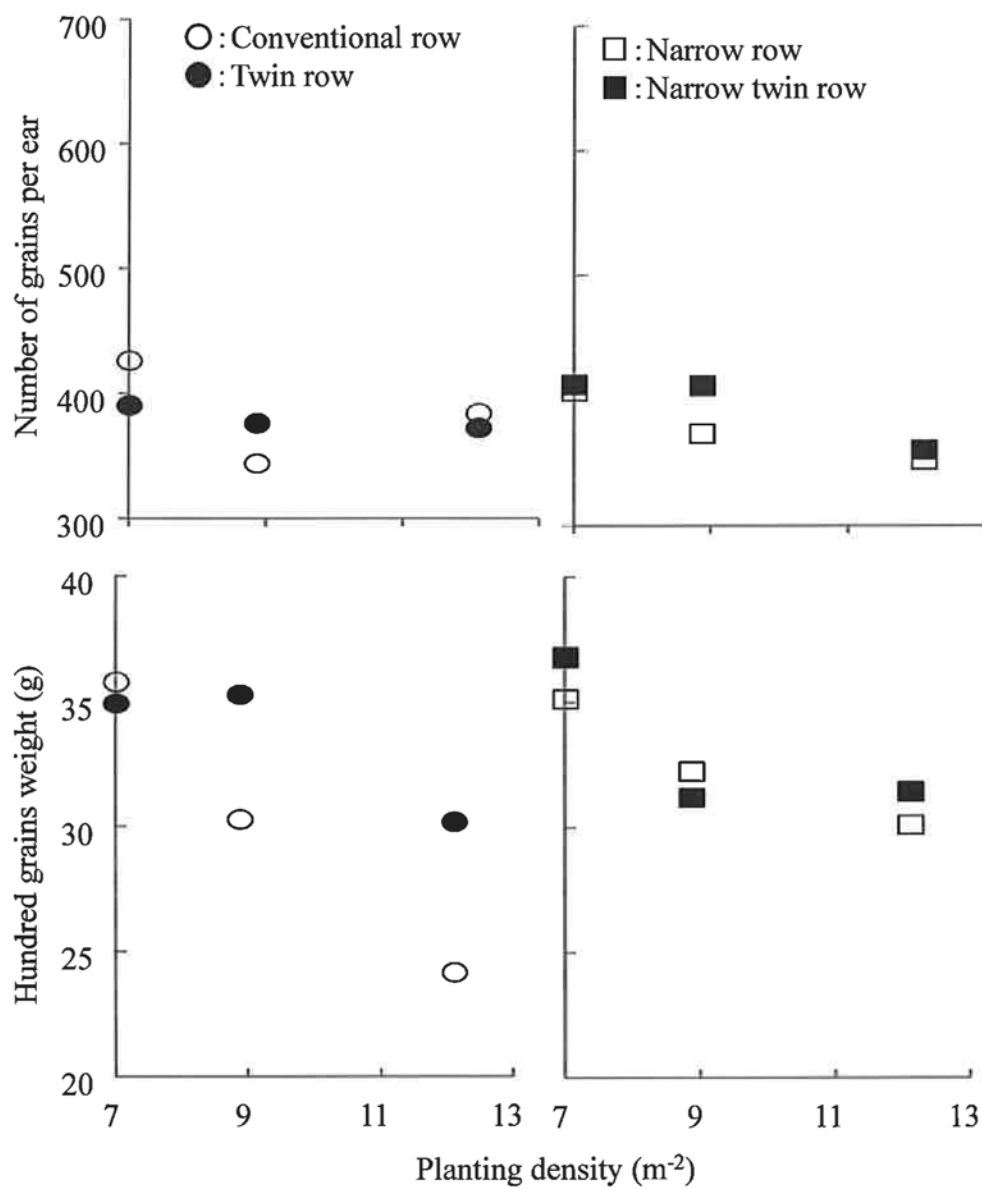


Fig. III-4 Number of grains per ear and hundred grains weight
(Exp.1, P8025, 2015).

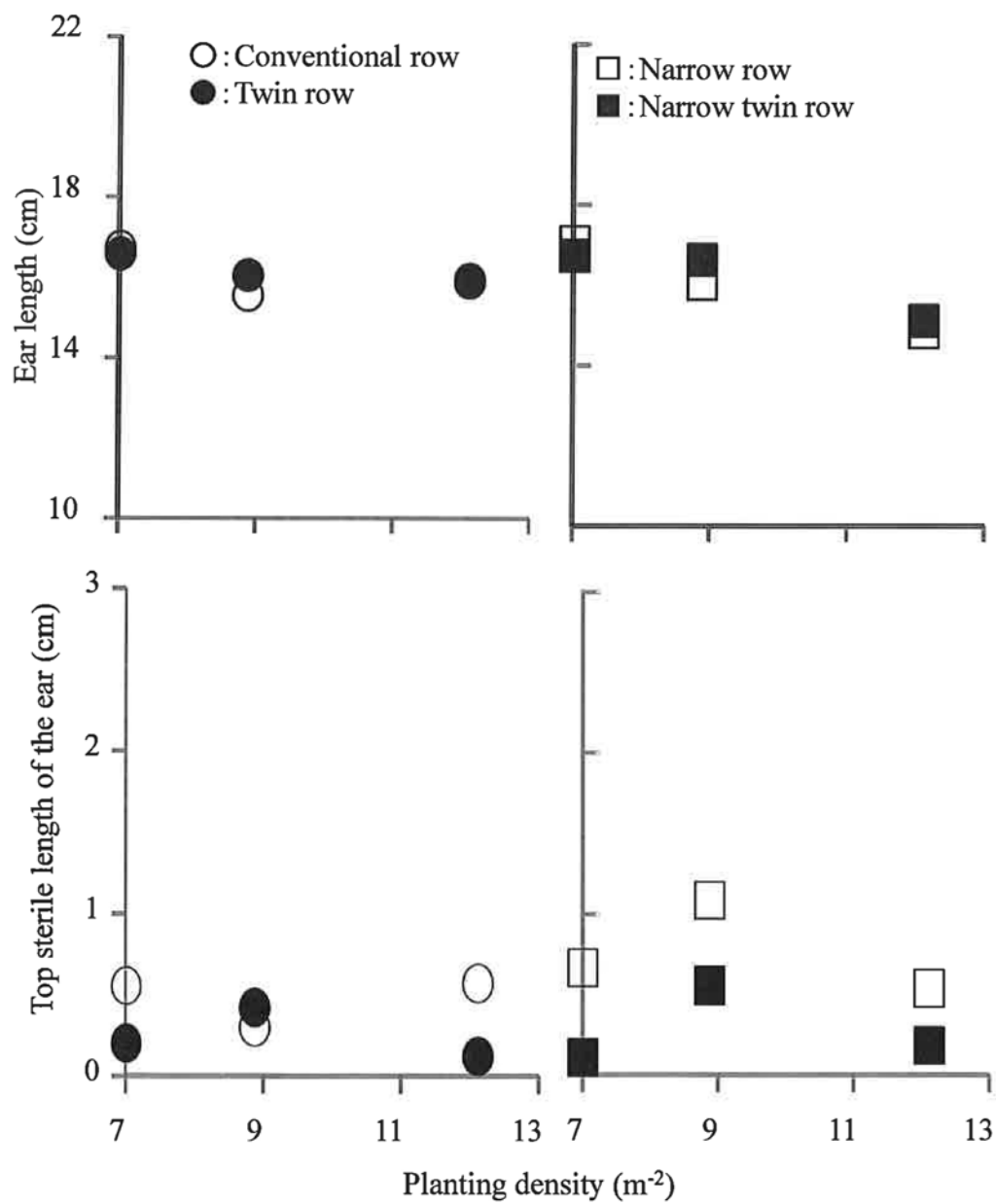


Fig. III-5 Ear length and top sterile length (Exp.1, P8025, 2015).

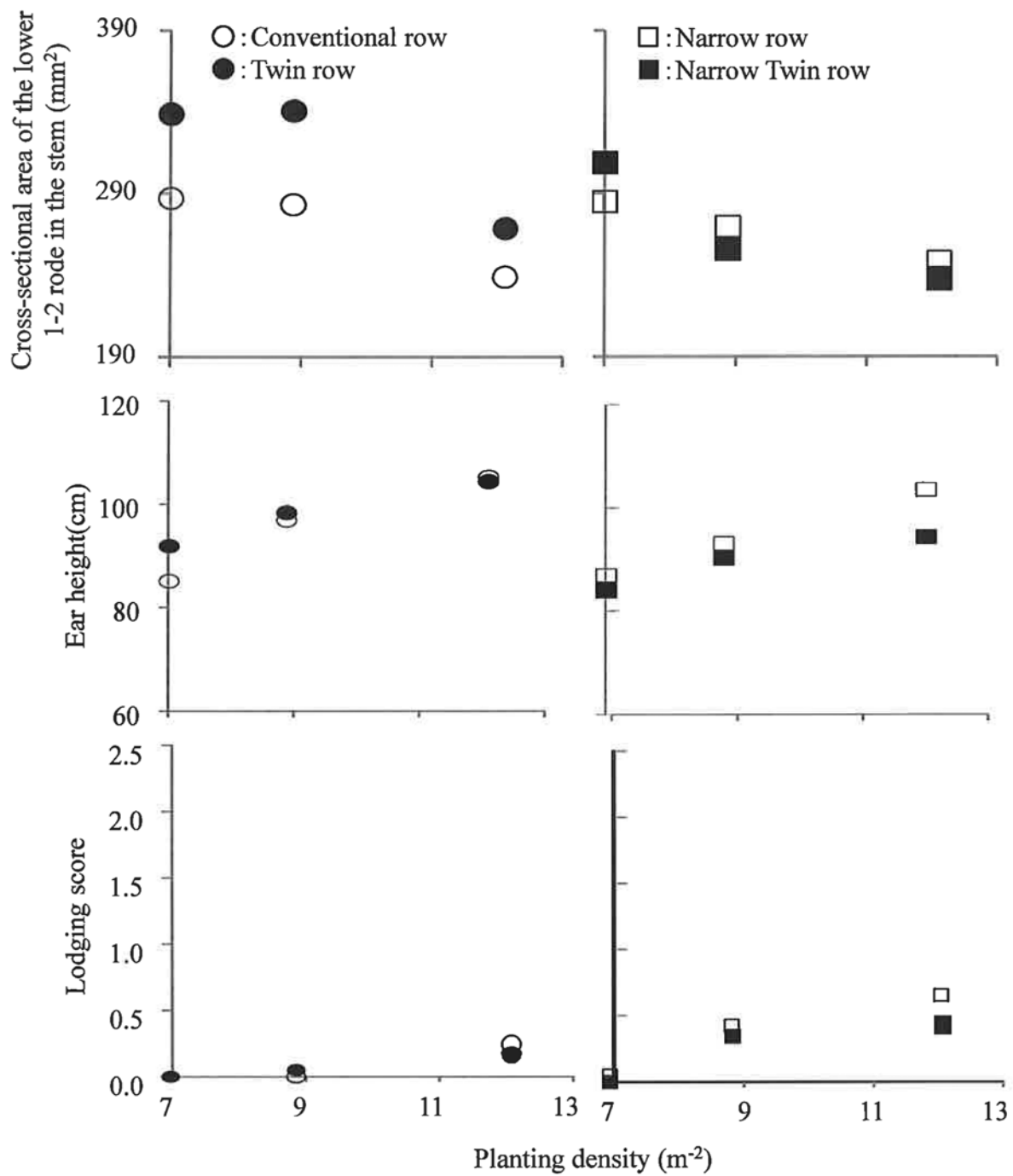


Fig. III-6 Logging score and ear related traits (Exp.1, P8025, 2015).

Table III-1 Analysis of variance in grain yield and related traits (Exp.1, P8025, 2014).

Planting patten	Experimental plot	Grain yield (g m ²)	Top total dry matter weight (g m ²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
C	L	864	1633	52.9	396	27
	M	810	1510	53.6	360	22
	H	1047	1942	53.9	345	26
T	L	952	1794	53.1	428	28
	M	1085	1971	55.0	405	26
	H	1258	2345	53.6	399	26
Planting patten		***	***	ns	**	*
Density		***	**	ns	*	†
Planting patten × Density		†	ns	ns	†	ns

C: conventional row, T: twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

Table III-2 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.1, P8025, 2015).

Planting patten	Planting patten	Planting density	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	hundred grains weight (g)
C	75×19	7.0	968	1439	67	426	35.8
T	75×19	7.0	1006	1538	65	390	34.9
N	50×28.5	7.0	1005	1555	65	407	35.1
NT	50×28.5	7.0	1065	1622	66	412	36.8
C	75×19	8.9	1041	1589	65	344	30.3
T	75×19	8.9	1072	1784	60	376	35.3
N	50×28.5	8.9	1070	1756	61	373	32.2
NT	50×28.5	8.9	1141	1918	59	411	31.2
C	75×19	12.1	1051	1682	62	384	24.1
T	75×19	12.1	1145	1985	58	372	30.2
N	50×28.5	12.1	1118	2077	54	352	30.1
NT	50×28.5	12.1	1193	2028	59	360	31.4
Planting patten			†	***	*	ns	ns
Density			†	***	†	ns	*
Patten×density			***	***	†	***	†

C: conventional row, T:twin row,N:narrow row,NT:narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

(2)早生品種

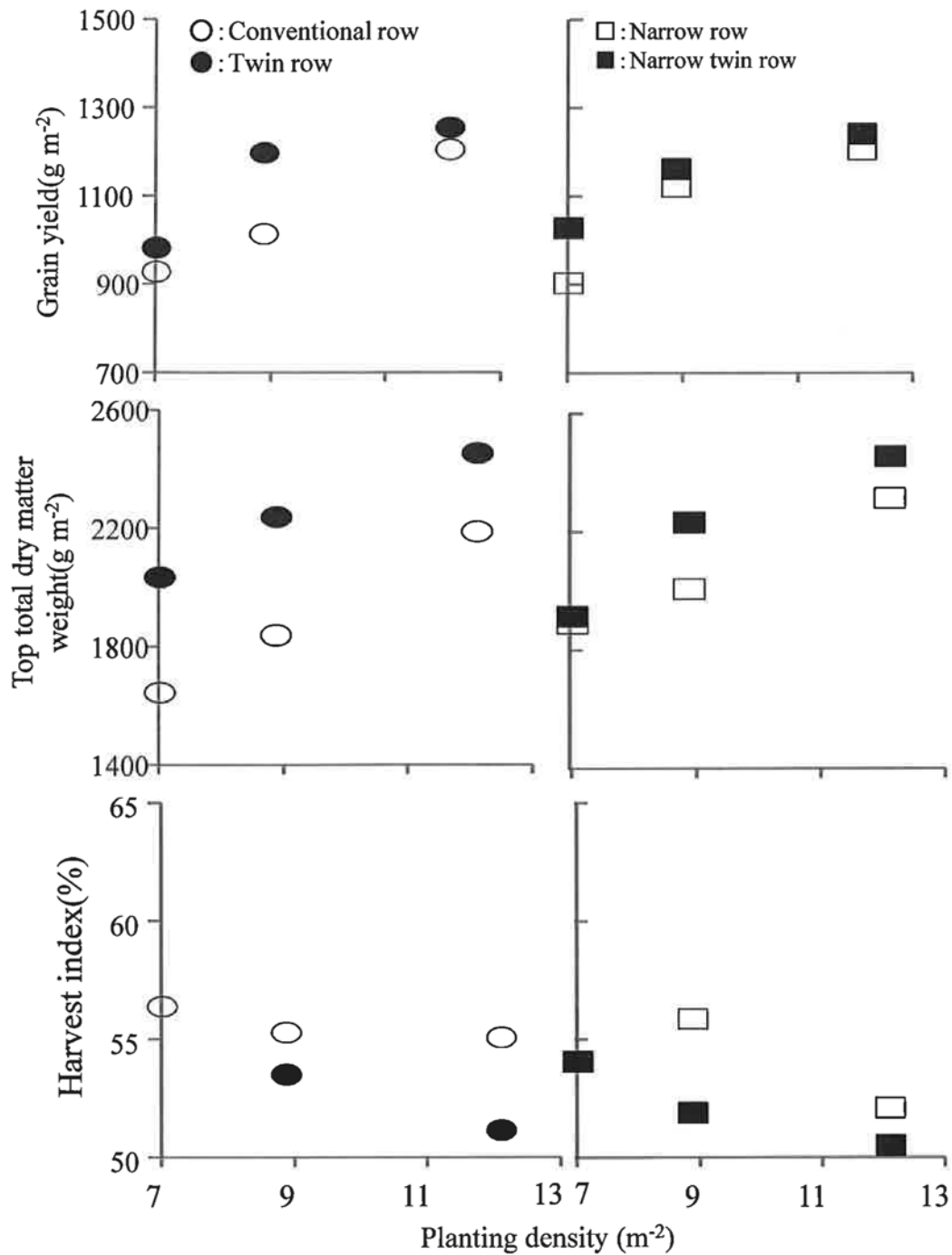


Fig. III-7 Grain yield and related traits (Exp.1, P9027, 2015).

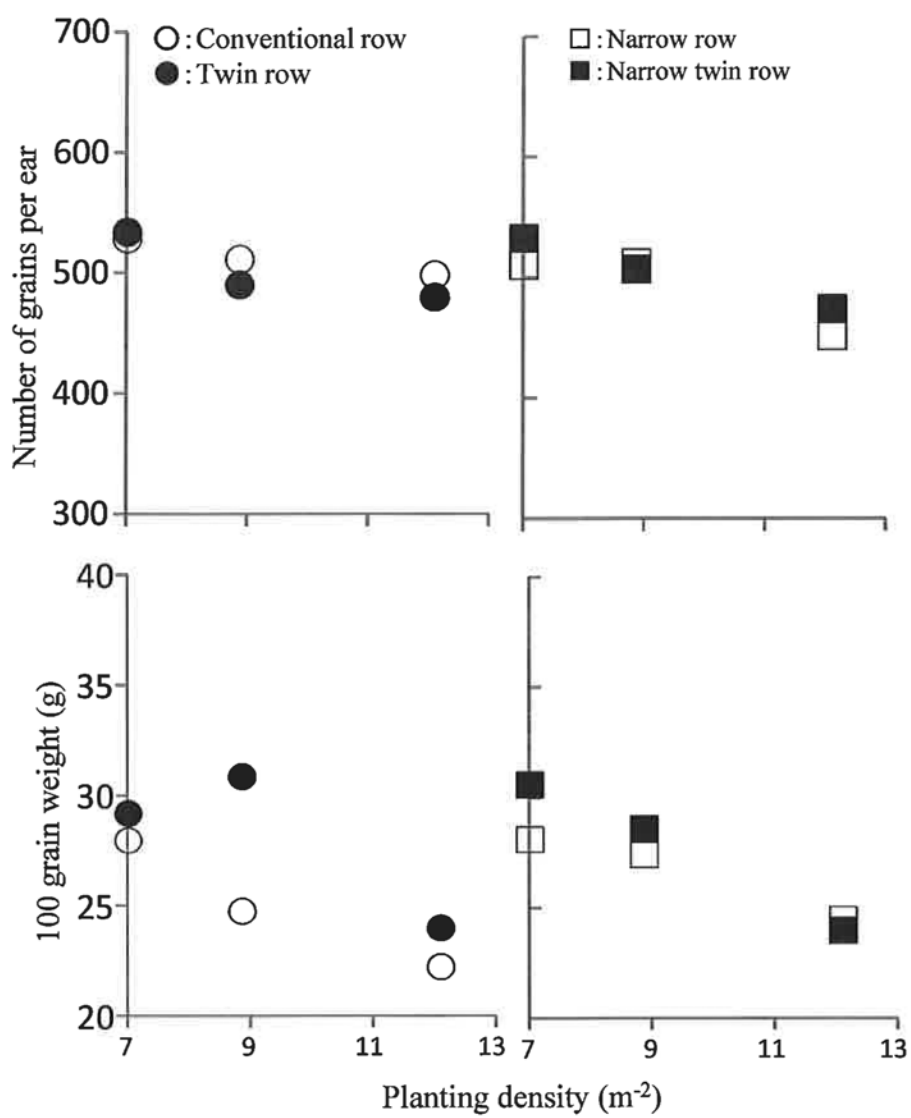


Fig. III-8 Number of grains per ear and hundred grains weight
(Exp.1, P9027, 2015).

Table III-3 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.1, P9027, 2015).

Planting patten	Planting patten	Planting density	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	hundred grains weight (g)
C	75×19	7.0	927	1645	56	528	28.8
T	75×19	7.0	982	1830	54	534	30.1
N	50×28.5	7.0	935	1700	55	510	30.0
NT	50×28.5	7.0	1106	1947	57	532	29.5
C	75×19	8.9	1012	1837	55	511	25.6
T	75×19	8.9	1197	2237	54	490	31.6
N	50×28.5	8.9	1119	1957	57	511	28.3
NT	50×28.5	8.9	1228	2252	55	507	31.3
C	75×19	12.1	1084	2187	50	498	22.9
T	75×19	12.1	1254	2453	51	480	24.8
N	50×28.5	12.1	1195	2179	55	451	24.0
NT	50×28.5	12.1	1317	2352	56	474	24.6
Planting patten			ns	†	*	ns	†
Density			†	†	†	*	ns
Patten×density			*	†	†	***	*

C: conventional row, T: twin row, N: narrow row, NT: narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

(3)中晩生品種

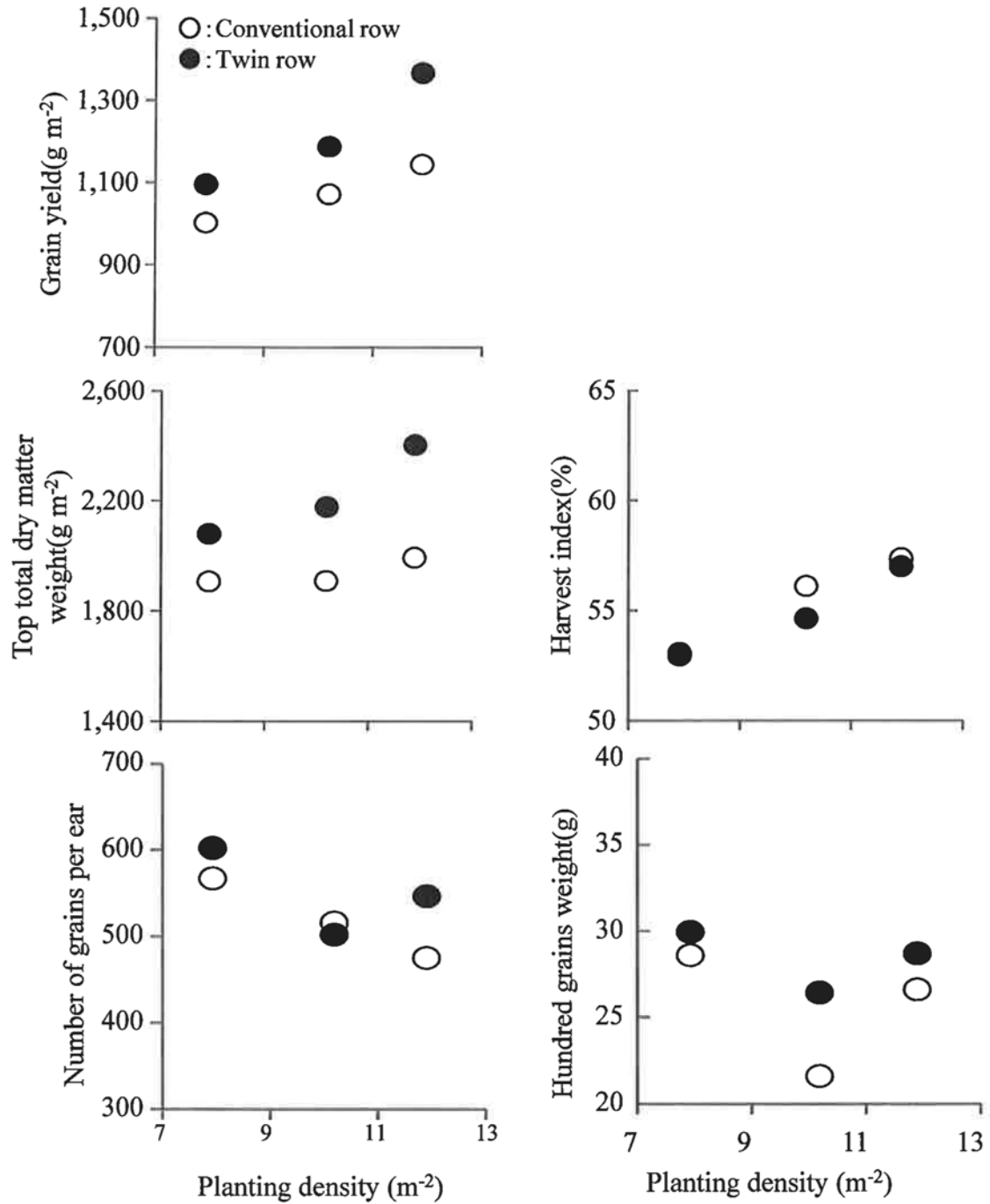


Fig. III-9 Grain yield and related traits
(Exp.1, P9838, 2014).

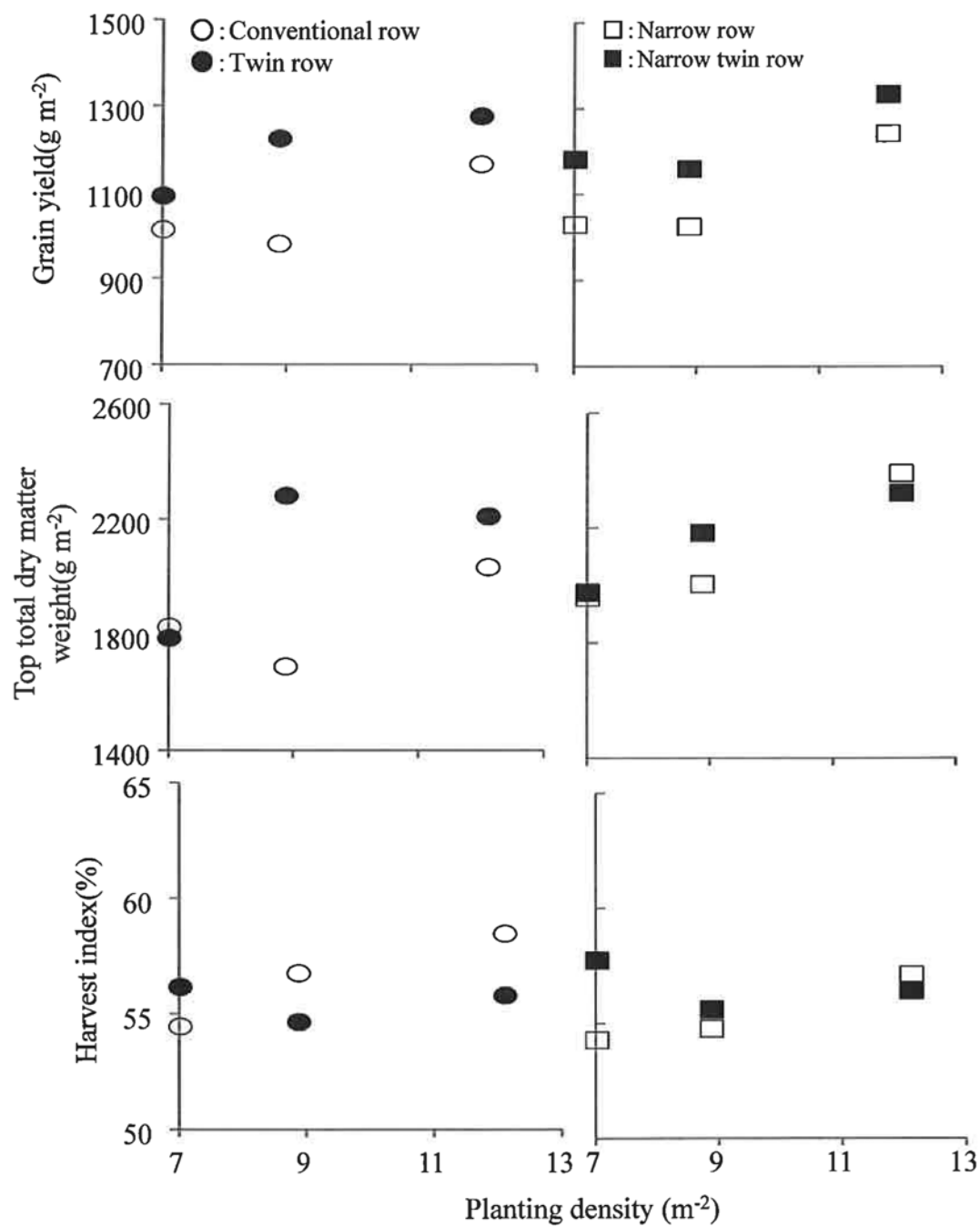


Fig. III-10 Grain yield and related traits
(Exp.1, P0023, 2015).

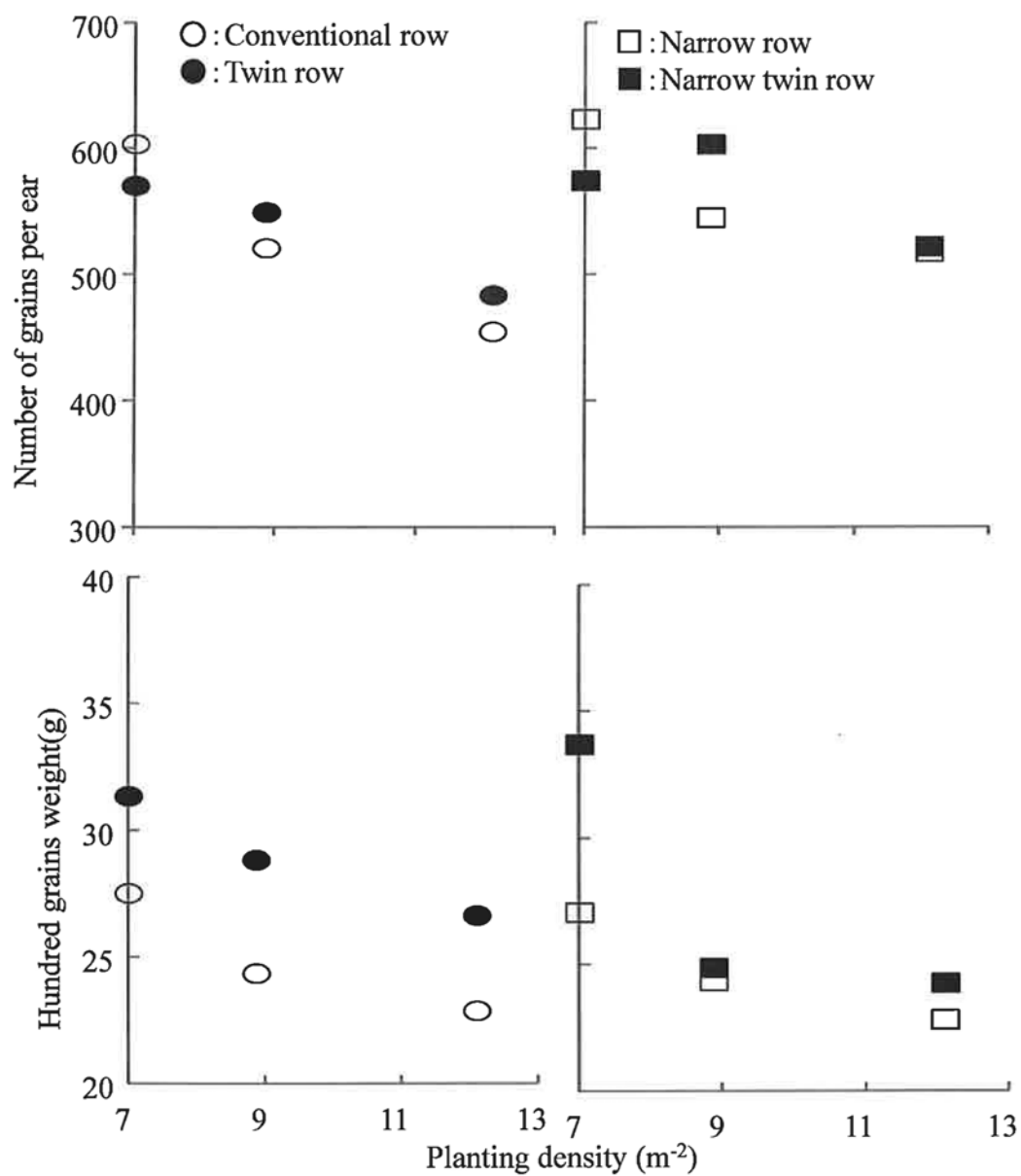


Fig. III-11 Number of grains per ear and hundred grains weight (Exp.1, P0023, 2015).

Table III-4 Analysis of variance in grain yield and related traits (Exp.1, P9838, 2014).

Planting pattern	Experimental plot	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
C	L	1113	2117	52.6	567	30
	M	930	1733	53.7	516	23
	H	1271	2215	57.4	475	28
T	L	1217	2310	52.7	602	31
	M	1105	1987	55.6	502	28
	H	1519	2671	56.9	547	29
Planting pattern		***	***	*	†	*
Density		***	**	ns	†	*
Planting pattern × Density		*	ns	ns	ns	†

C: conventional row, T: twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and not significant, respectively.

Table III-5 Analysis of variance in grain yield and related traits (Exp.1, P0023, 2015).

Planting patten	Planting patten	Planting density	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
C	75×19	7.0	1013	1826	55	603	27.5
T	75×19	7.0	1091	1787	61	570	31.3
N	50×28.5	7.0	1030	1958	53	623	27.1
NT	50×28.5	7.0	1181	1974	60	574	33.7
C	75×19	8.9	980	1690	58	521	24.3
T	75×19	8.9	1224	2281	54	549	28.8
N	50×28.5	8.9	1025	2004	51	545	24.3
NT	50×28.5	8.9	1159	2181	53	603	24.9
C	75×19	12.1	1165	2033	57	454	22.8
T	75×19	12.1	1275	2209	58	483	26.6
N	50×28.5	12.1	1243	2389	52	517	22.8
NT	50×28.5	12.1	1333	2321	57	522	24.2
Plantingpatten			†	†	*	†	†
Density			†	†	†	***	ns
Patten×density			***	*	†	***	***

C: conventional row, T:twin row,N:narrow row,NT:narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

Table IV-1 Analysis of variance in grain yield and related traits (Exp.2, 2014).

Planting density (D)	Planting pattern (P)	P8025 (RM85)					P9838 (RM100)				
		Grain yield	Dry matter weight	Harvest index	Grain number per ear	100 grain weight	Grain yield	Dry matter weight	Harvest index	Grain number per ear	100 grain weight
		(g m ⁻²)	(g m ⁻²)	(%)		(g)	(g m ⁻²)	(g m ⁻²)	(%)		(g)
L	T	857a	1615a	53.1a	428a	28.0a	1095a	2079a	52.7a	602a	29.9a
	C	778b	1470a	52.9a	396a	27.6a	1002a	1906a	52.6a	567a	28.6a
M	T	977a	1774a	55.1a	405a	26.4a	1187a	2179a	54.5a	516a	26.4a
	C	828a	1583b	52.3a	360a	21.9a	1072a	1909b	56.1a	502a	21.6b
H	T	1132a	2111a	53.6a	399a	26.7a	1367a	2404a	56.9a	547a	28.7a
	C	942a	1747b	53.9a	345b	25.7b	1143b	1993b	57.4a	475b	26.6b
Planting pattern		**	**	ns	*	*	*	**	ns	**	**
Planting density		**	**	ns	**	*	*	†	*	*	**
P × D		ns	ns	ns	ns	†	ns	ns	ns	†	ns

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

T: Twin row, C: Conventional row

L: Sparse planting, M: Standard planting, H: Dense planting

Table IV-2 Analysis of variance in grain yield and related traits

Factors	Grain yield	Dry matter weight	Harvest index	Grain number per ear	100 grain weight
Planting pattern(P)	***	***	ns	***	*
Planting density(D)	***	***	ns	***	***
Cultivar(Cul)	ns	ns	ns	ns	ns
P × D	ns	ns	ns	ns	ns
P × Cul	ns	ns	ns	ns	ns
D × Cul	*	*	ns	*	**
P × D × Cul	ns	ns	ns	ns	ns

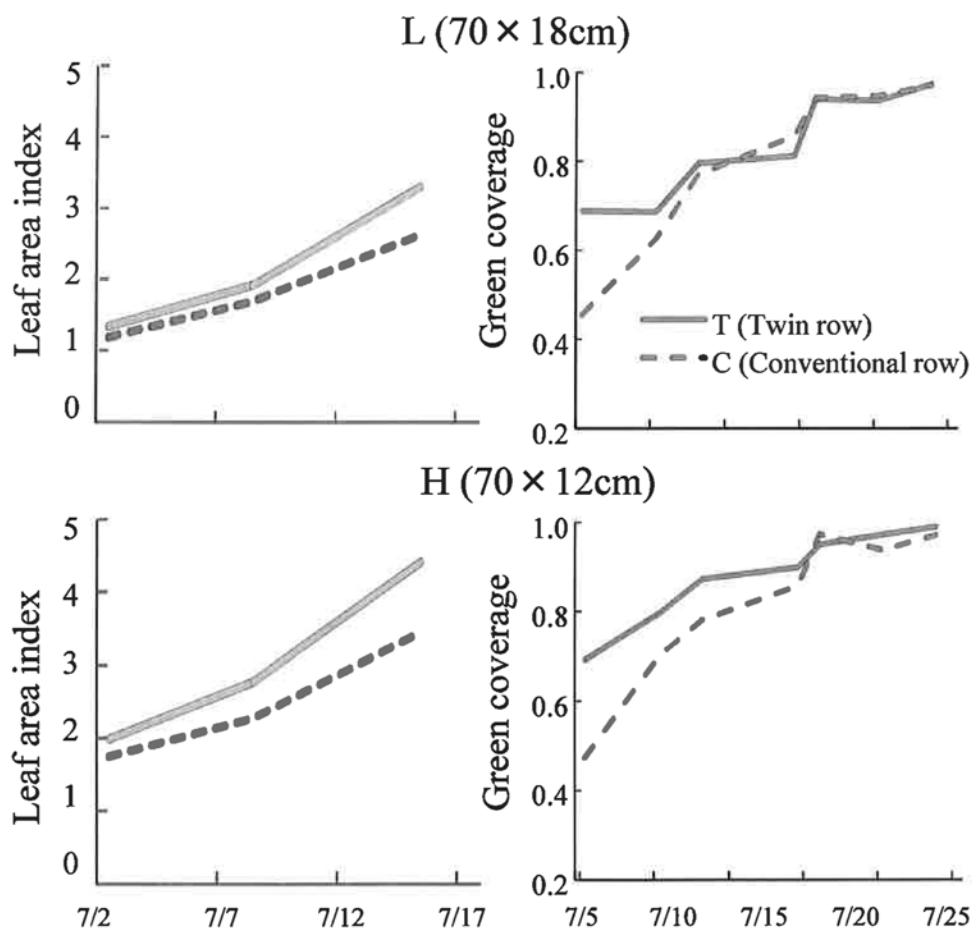


Fig. IV-1 Changes in dry leaf area index and green coverage during the latter half of vegetative growth in early cultivar 'P8025'(Exp.2, 2014).

L: Sparse planting (70 × 18cm), H: Dense planting (70 × 12cm)

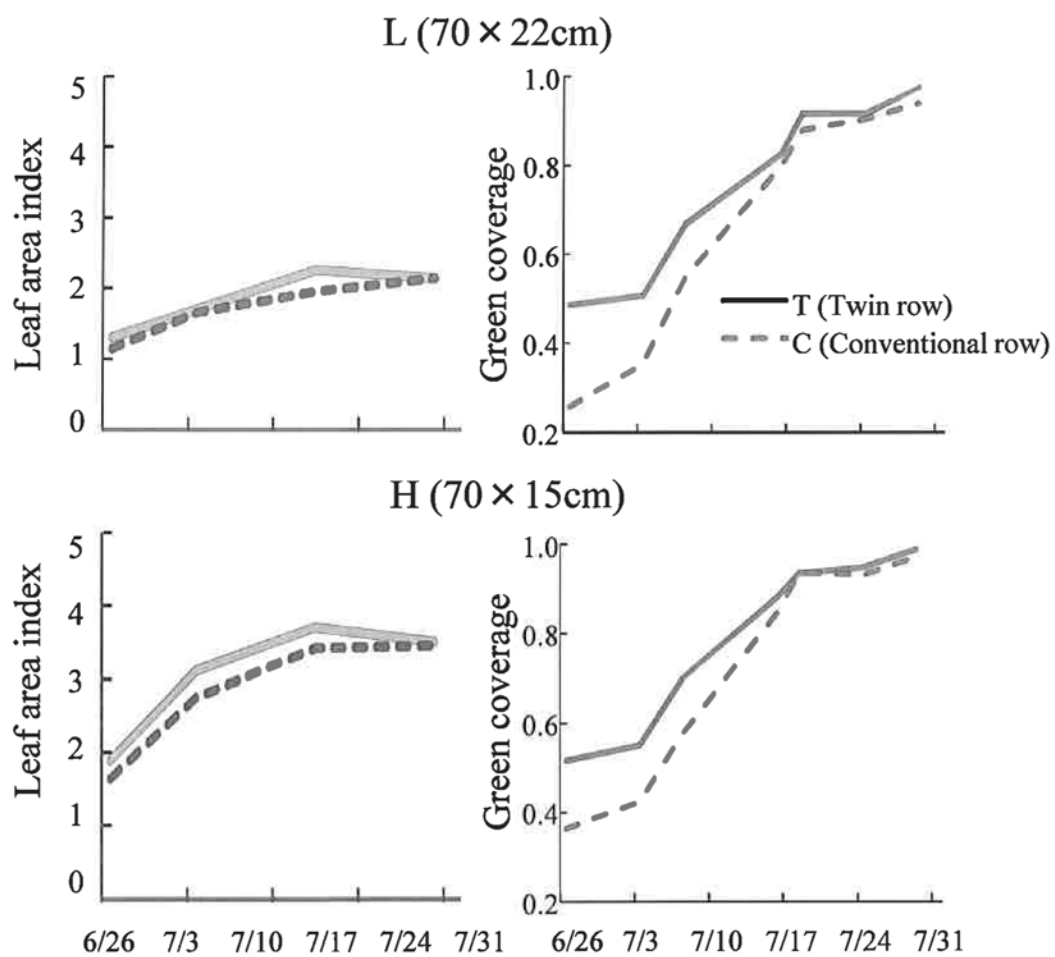


Fig. IV-2 Changes in dry leaf area index and green coverage during the latter half of vegetative growth in late cultivar 'P9838'(Exp.2, 2014).

L: Sparse planting ($70 \times 22\text{cm}$), H: Dense planting ($70 \times 15\text{cm}$)

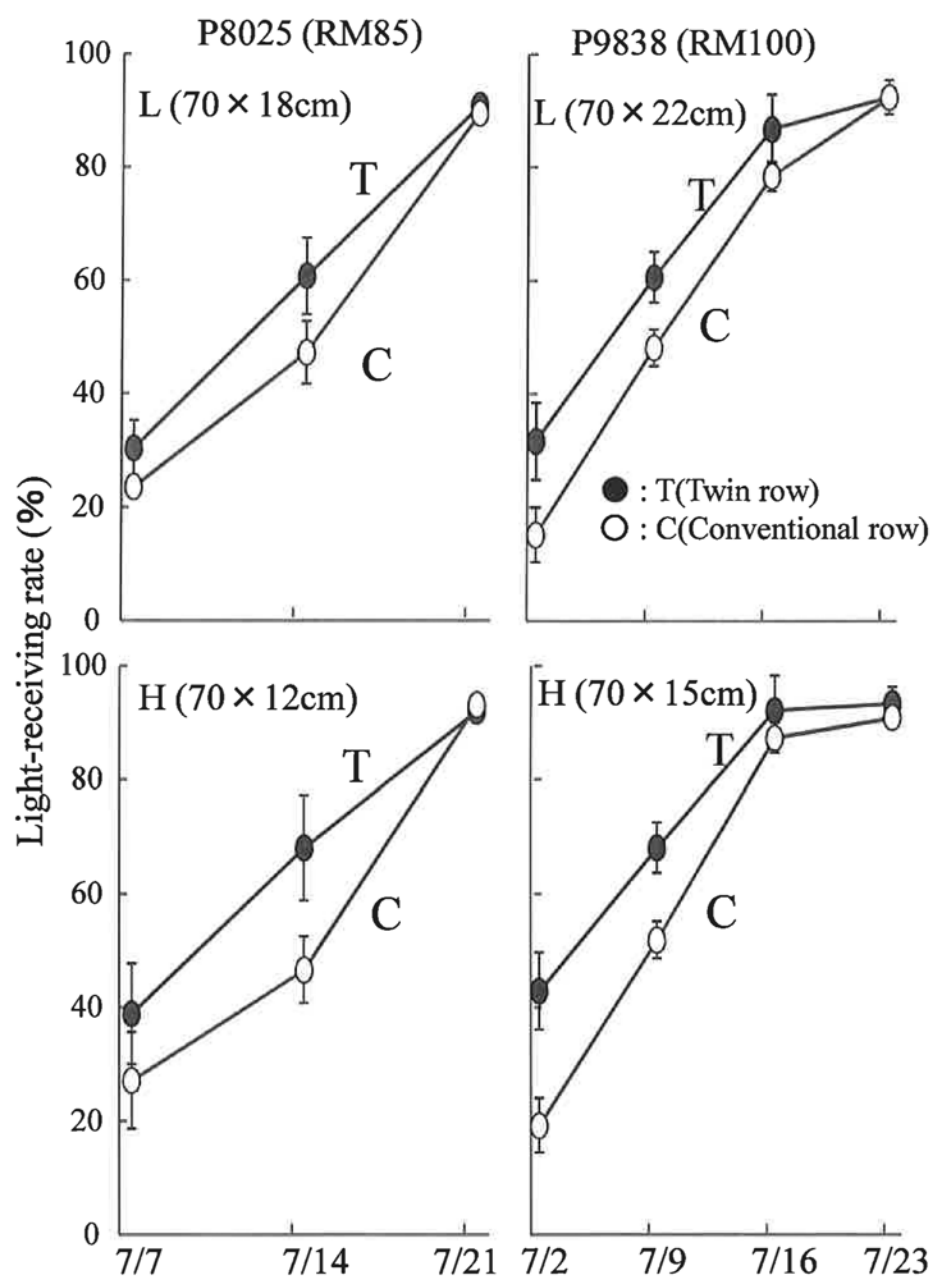


Fig. IV-3 Changes in light-receiving rate checked by opt-leaf during the latter half of vegetative growth (Exp.2, 2014).

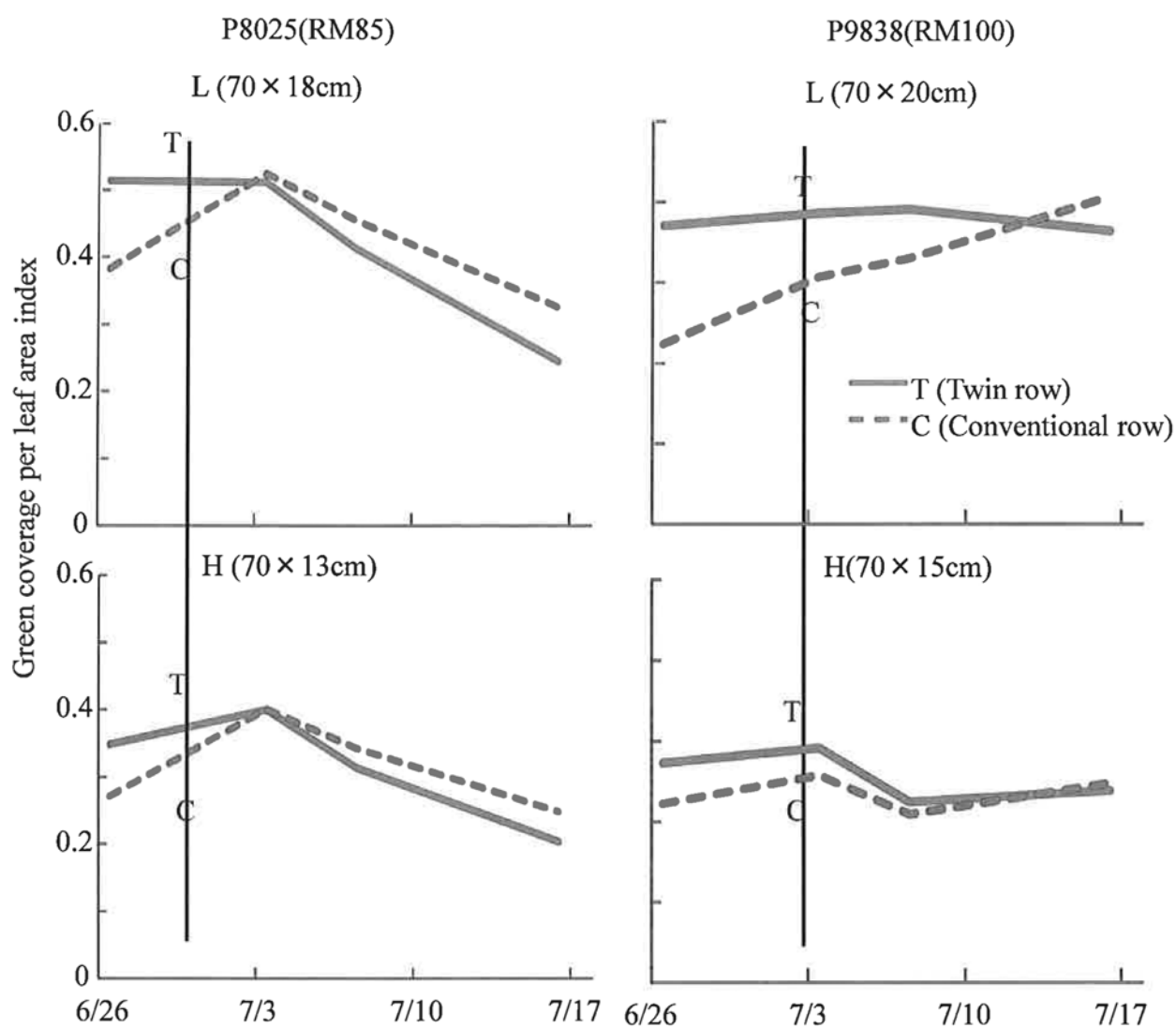


Fig. IV-4 Changes in green coverage per leaf area index during the latter half of vegetative growth (Exp.2, 2014).

Red line indicates the seven leaf stage (tassel formation stage).

L: Sparse planting (70 × 18cm), H: Dense planting (70 × 12cm)

L: Sparse planting (70 × 22cm), H: Dense planting (70 × 15cm)

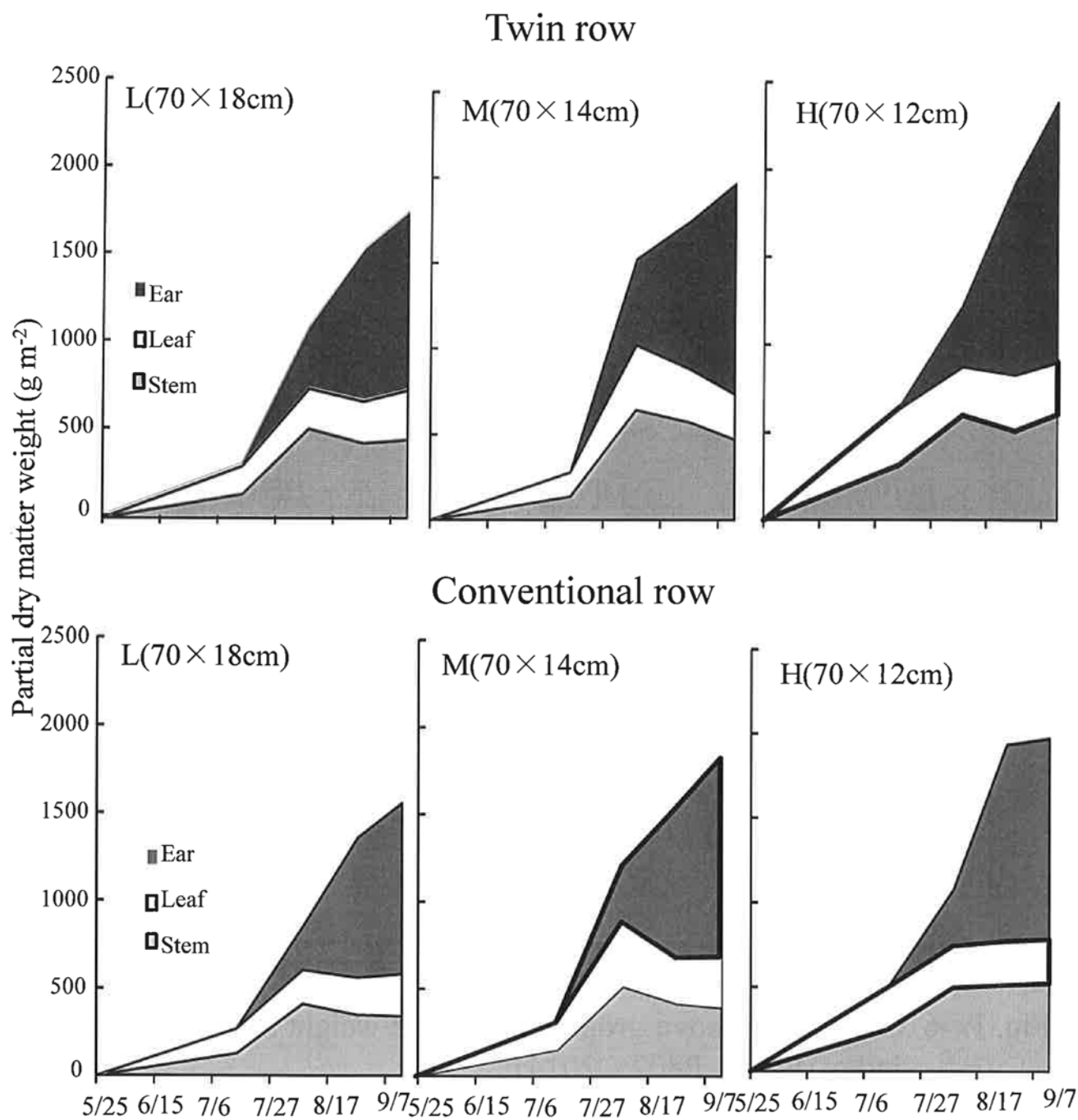


Fig. IV-5 Partial dry matter weight (Exp.2, P8025, 2014).

L: Sparse planting, M: Standard planting, H: Dense planting

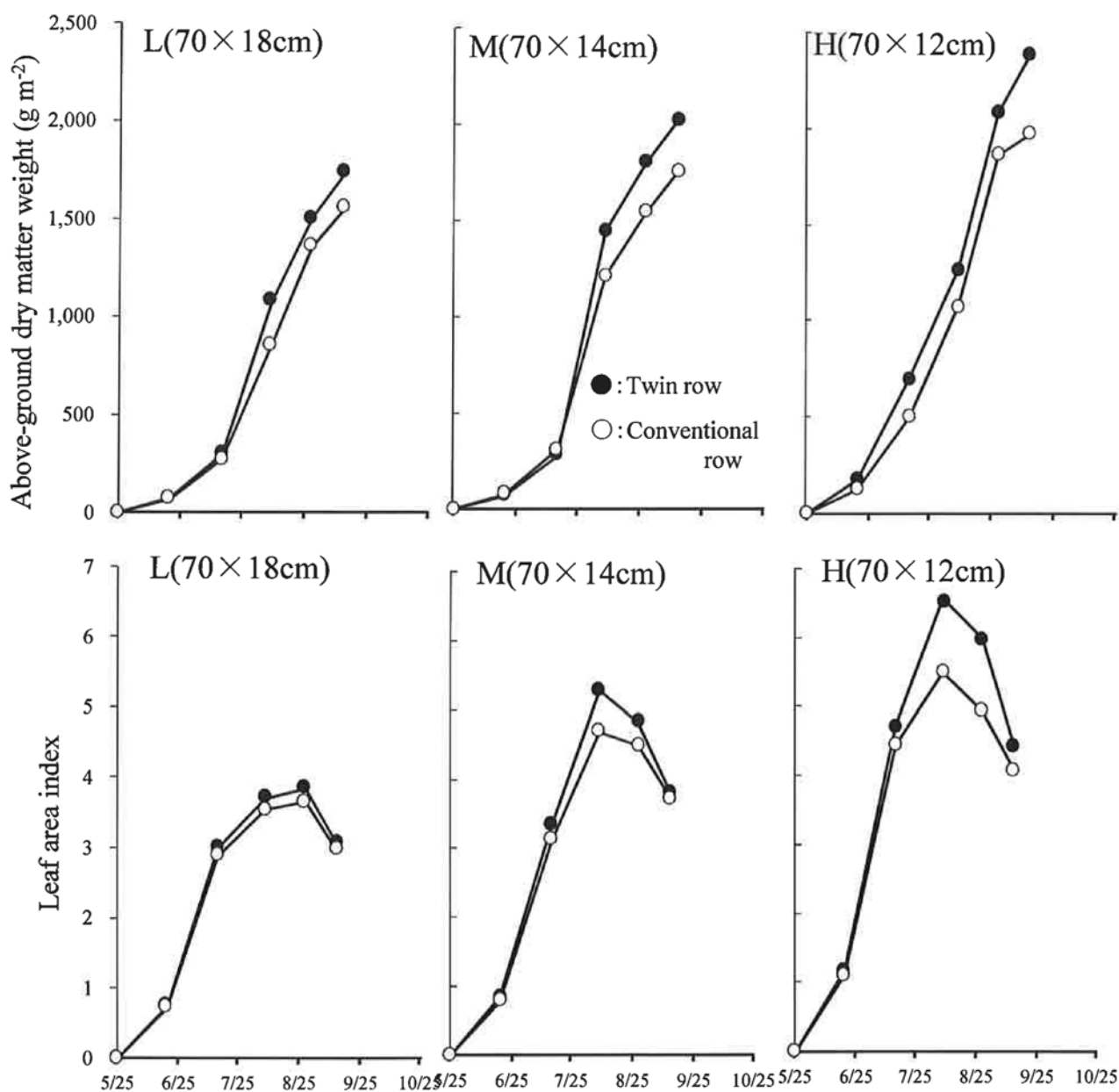


Fig. IV-6 Changes in above-ground dry matter weight and leaf area index (Exp.2, P8025, 2014) .

L: Sparse planting, M: Standard planting, H: Dense planting

T: Twin row, C: Conventional row

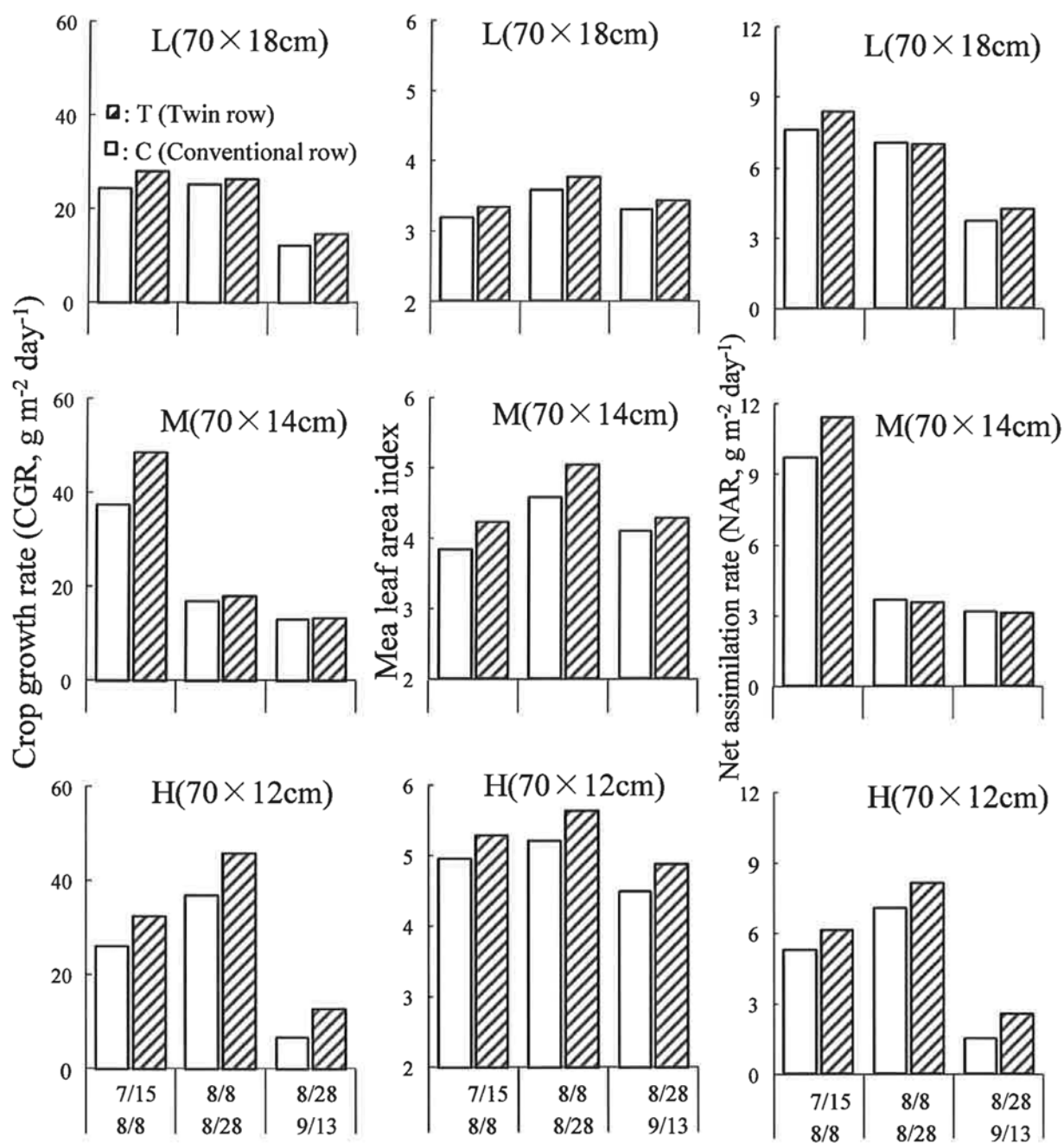


Fig. IV-7 Crop growth rate (CGR), mean leaf area index (MLAI) and net assimilation rate (NAR) (Exp.2, P8025, 2014).

L: Sparse planting, M: Standard planting, H: Dense planting

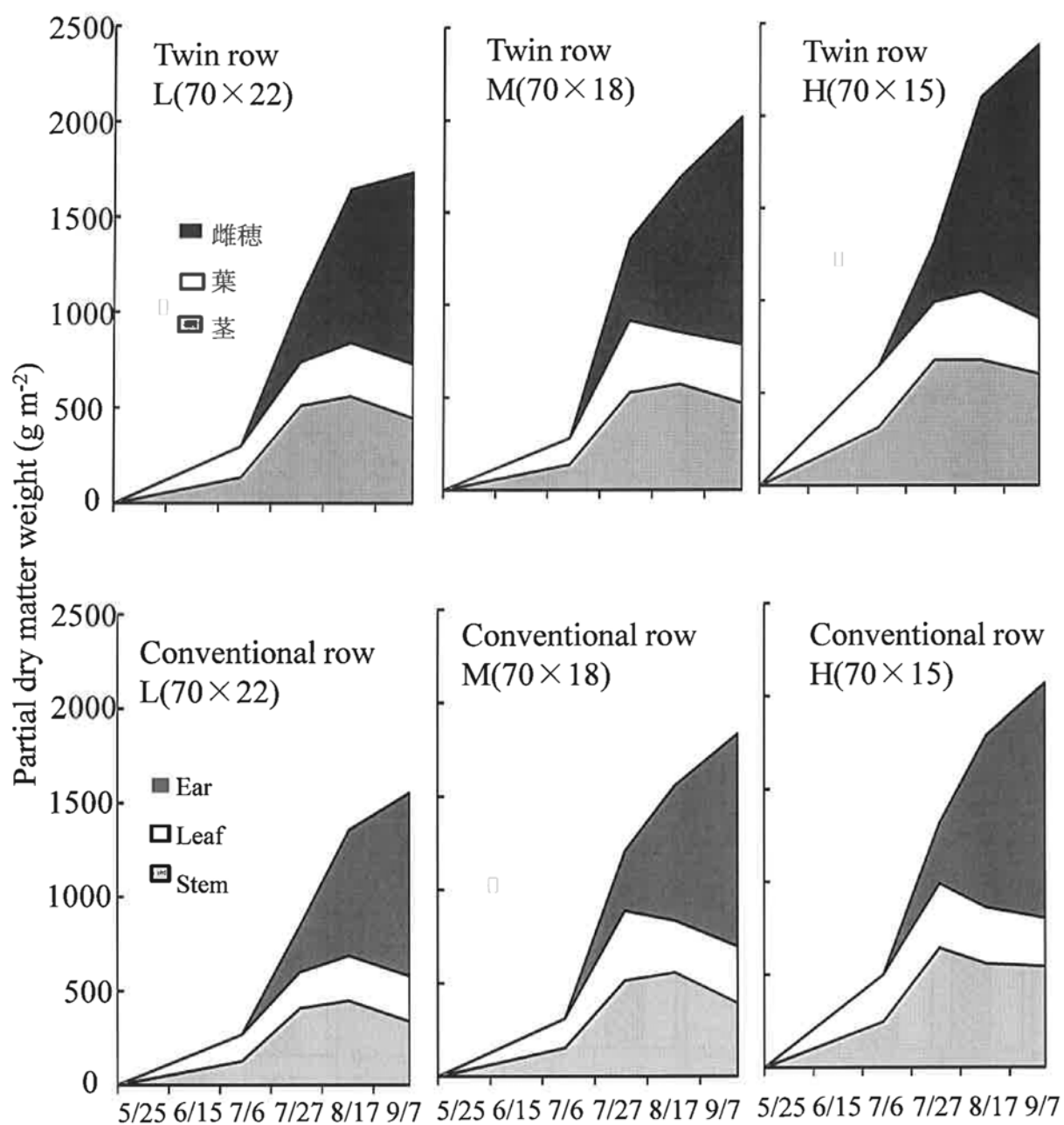


Fig. IV-8 Changes in dry weight of above-ground part (Exp.2, P9838, 2014) .

C: Conventional row, T: Twin row

L: Sparse planting, M: Standard planting, H: Dense planting

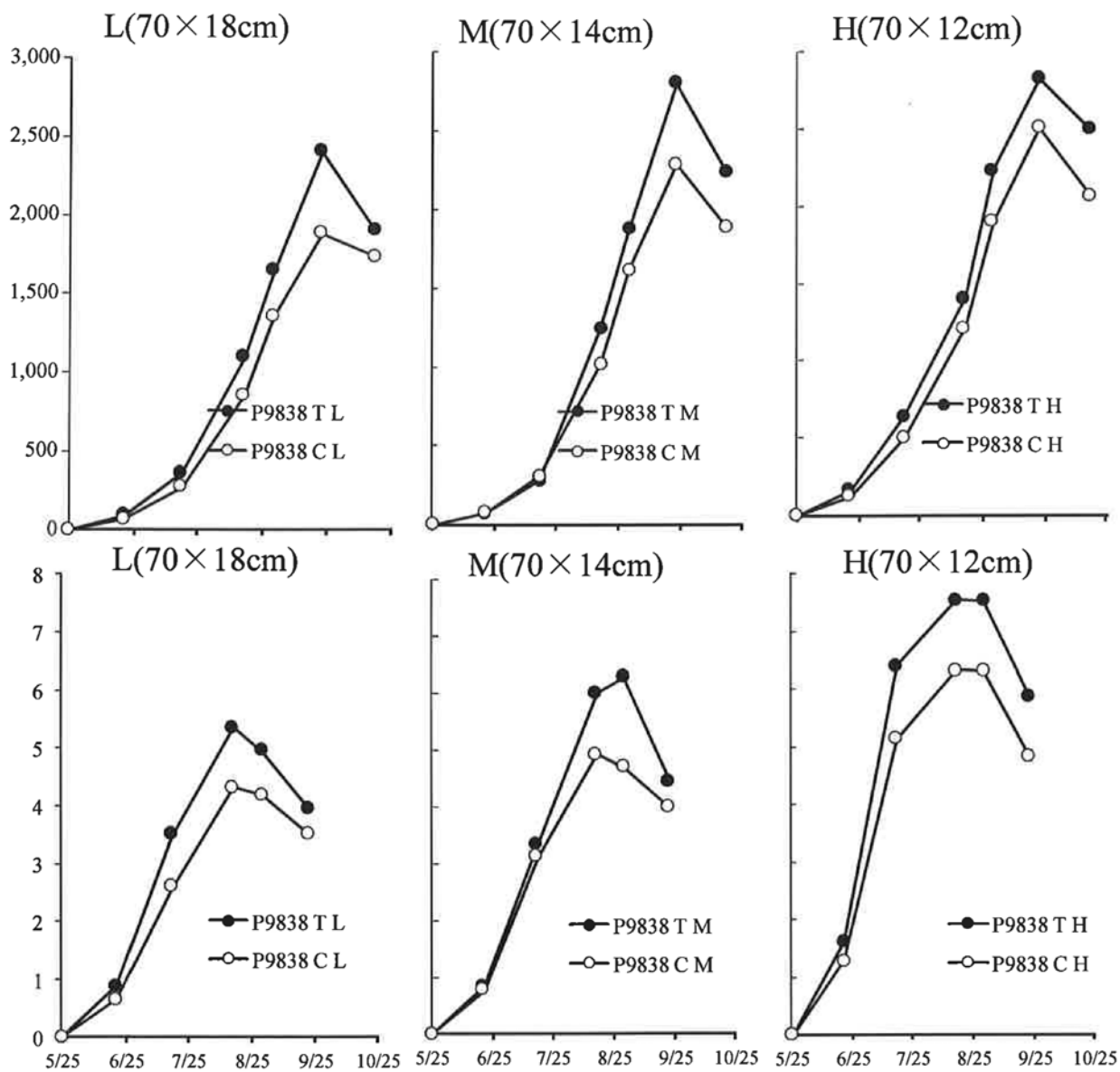


Fig. IV-9 Changes in dry weight of above-ground part (Exp.2, P9838, 2014) .

C: Conventional row, T: Twin row

L: Sparse planting, M: Standard planting, H: Dense planting

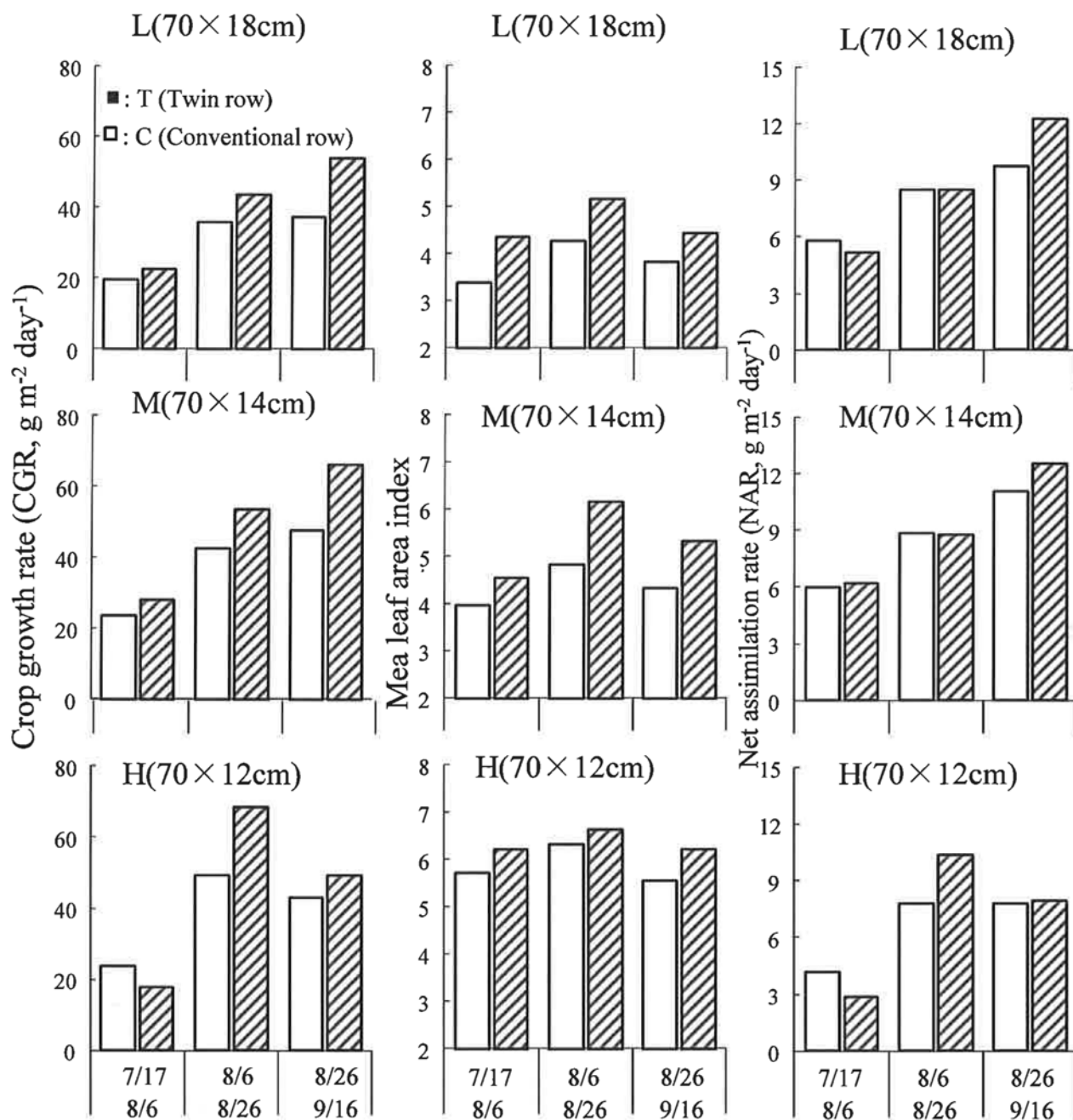


Fig. IV-10 Crop growth rate (CGR), average leaf area index (MLAI) and net assimilation rate (NAR) (Exp.2, P9838 , 2014).

C: Conventional row, T: Twin row

Table IV-3 Analysis of variance in grain yield and related traits (Exp.2, 2016).

Cultivar	Planting patten	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grain weight (g)
36B08	C (Conventional row)	1107a	2250 a	49.2 a	468 a	25.8 a
	T (Twin row)	1222b	2503 b	48.8 a	465 a	28.6 b
	N (Narrow row)	1251b	2515 b	49.7 a	492 a	27.5 ab
P1543	C (Conventional row)	1250a	2379 a	52.6 a	550 a	26.6 a
	T (Twin row)	1352b	2531 b	53.4 a	587 b	27.0 b
	N (Narrow row)	1417b	2582 b	54.9 a	595 b	27.3 b

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

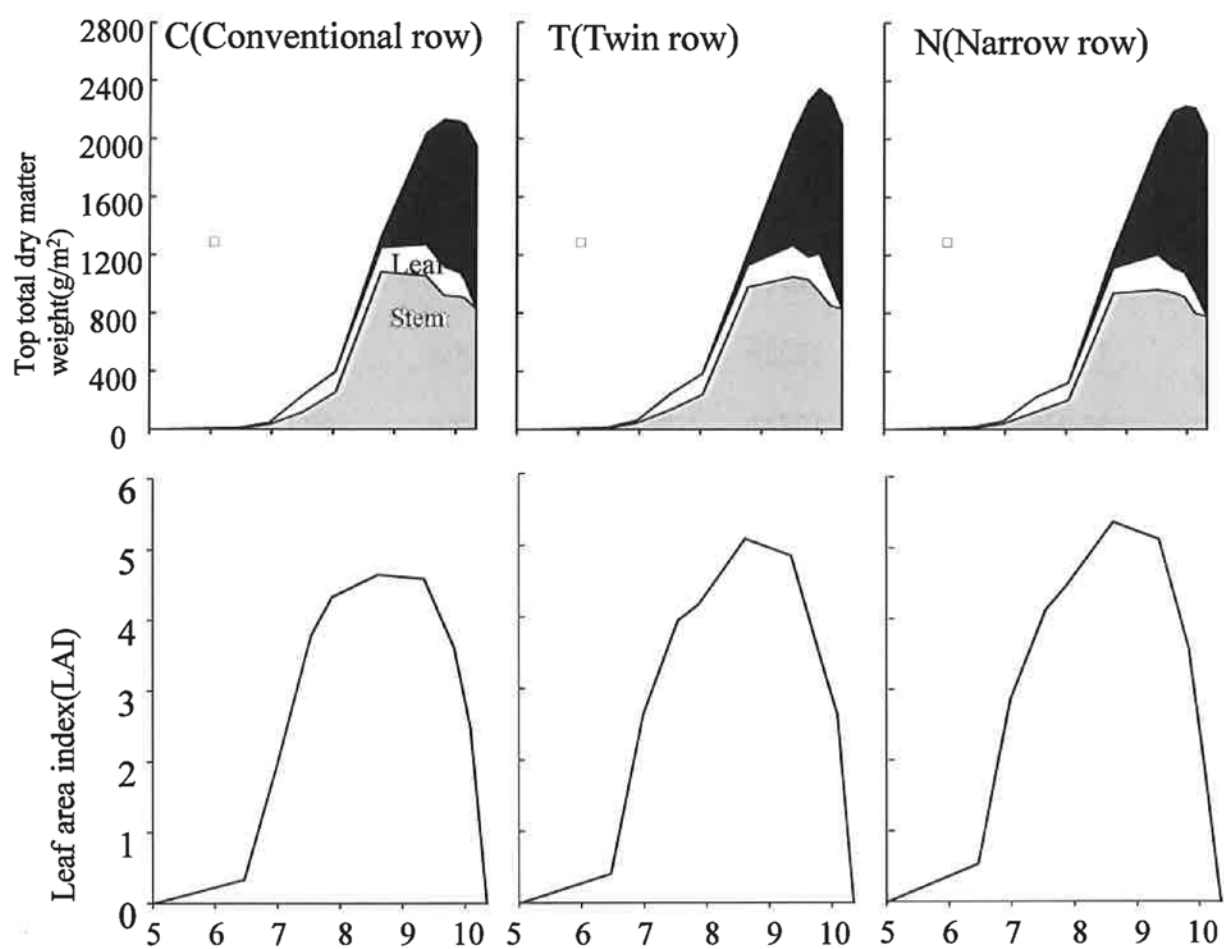


Fig. IV-11 Dry matter weight by site, transition of leaf area index per month
(Exp.2, 36B08, 2016)

$$\text{CGR} = \text{MLAI} \times \text{NAR}$$

$$\text{NAR} = \text{CGR} / \text{MLAI}$$

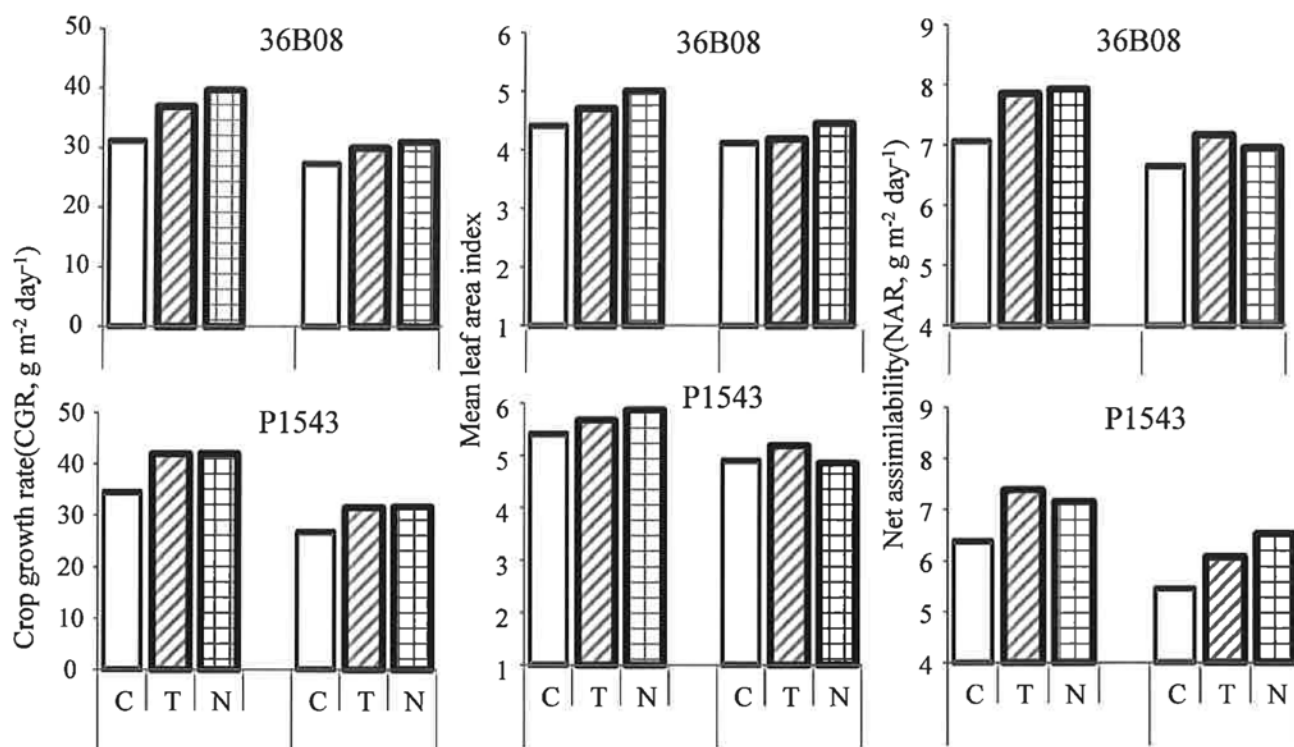


Fig. IV-12 Crop growth rate (CGR), average leaf area index (MLAI), net assimilation rate (NAR) (Exp.2, 2016).

C: conventional row, T:twin row,N:narrow row,NT:narrow twin row

36B08, P1543 are relative maturity 100, 105 days cultivar, respectively

8/4-8/29 , 8/29-9/26 indicates first half of reproductive growth (including flowering period) from the 15 Leaf stage to milk ripening stage, and Latter half of reproductive growth from milk-ripe stage to full ripe stage, respectively

8/9

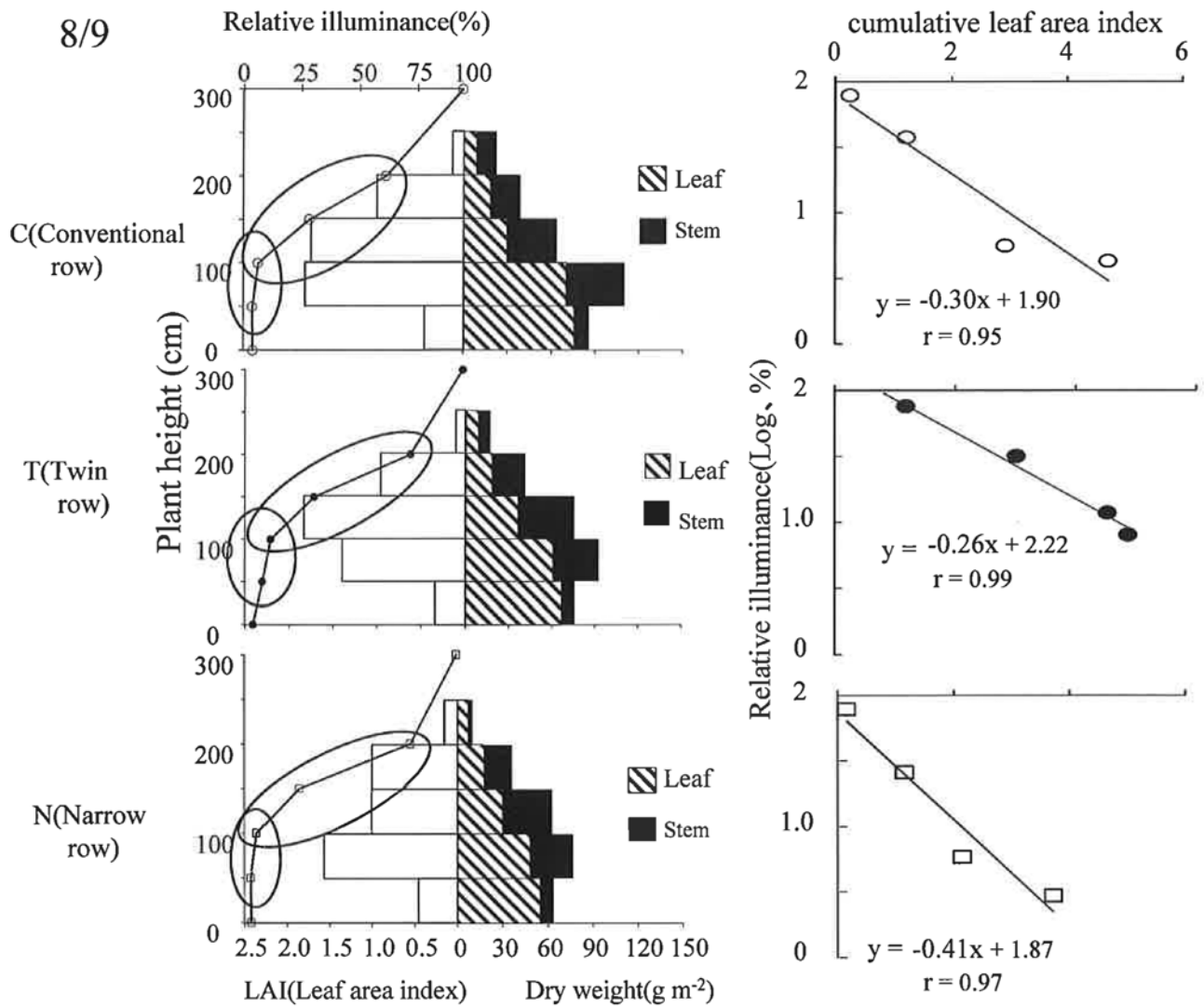


Fig. IV-13 Relative illuminance and cumulative leaf area index(Exp.2, 36B08, 2016).

8/9

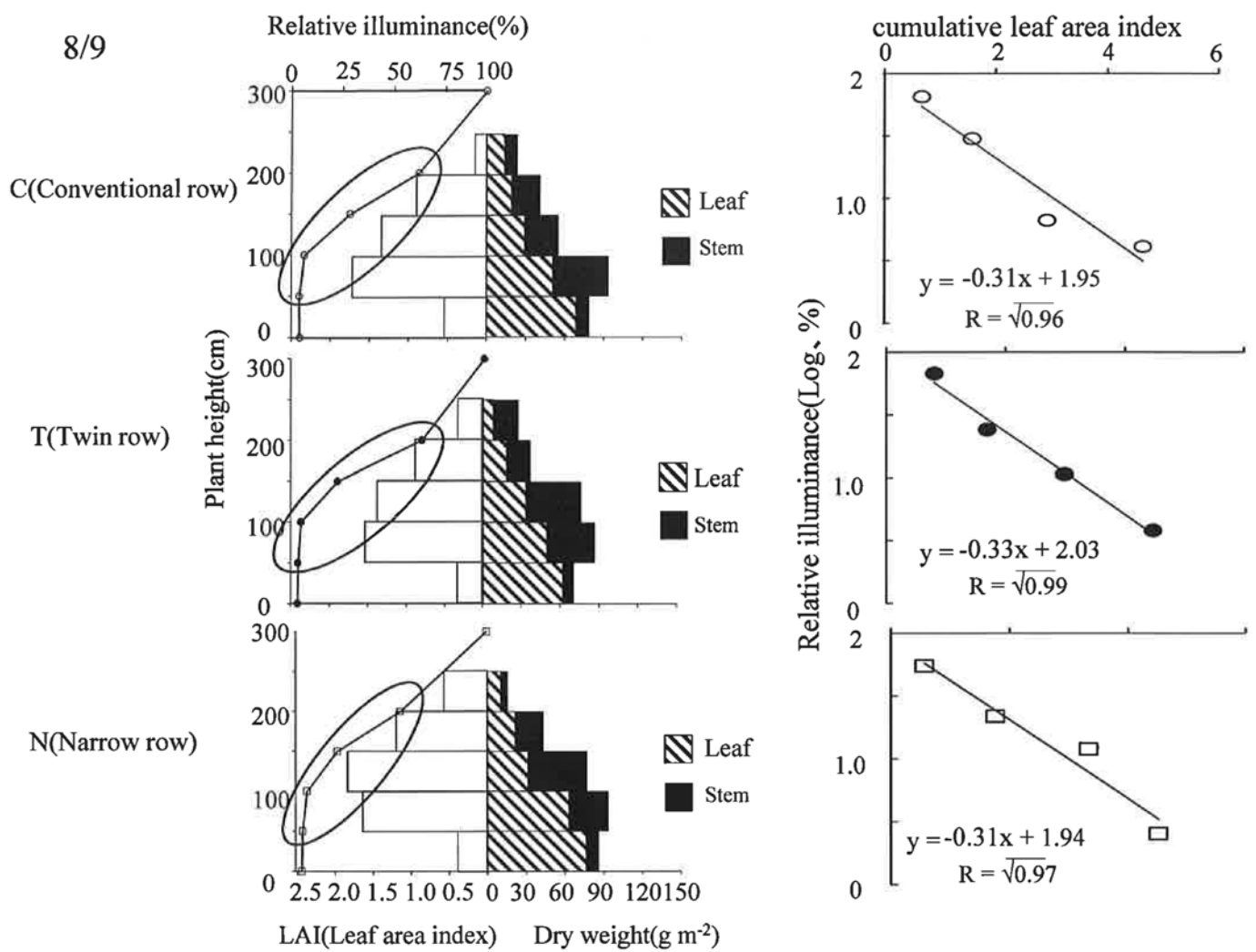


Fig. IV-14 Relative illuminance and cumulative leaf area index(Exp.2, P1543, 2016).

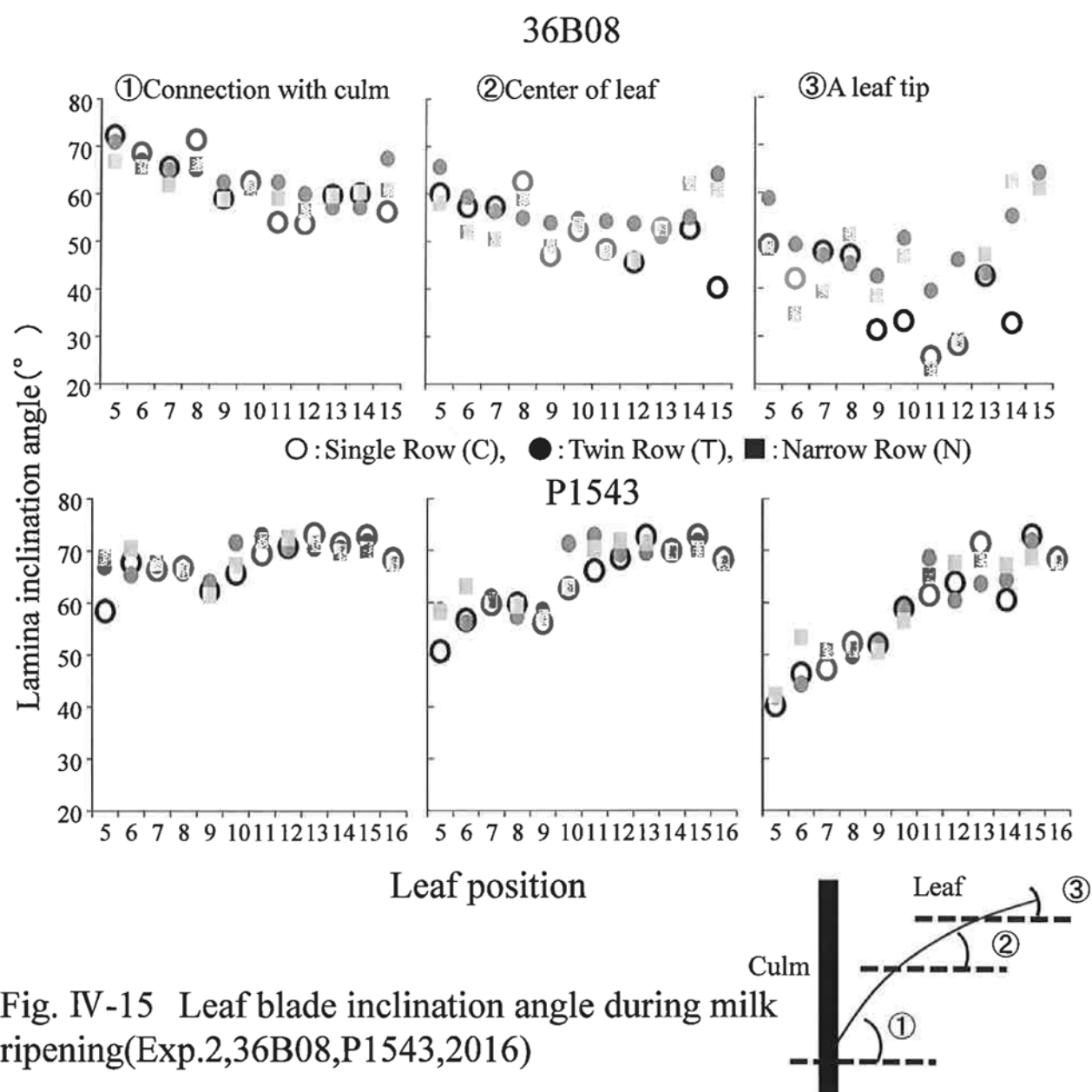


Fig. IV-15 Leaf blade inclination angle during milk ripening(Exp.2,36B08,P1543,2016)

36B08 C(Conventional row) T(Twin row) N(Narrow row)

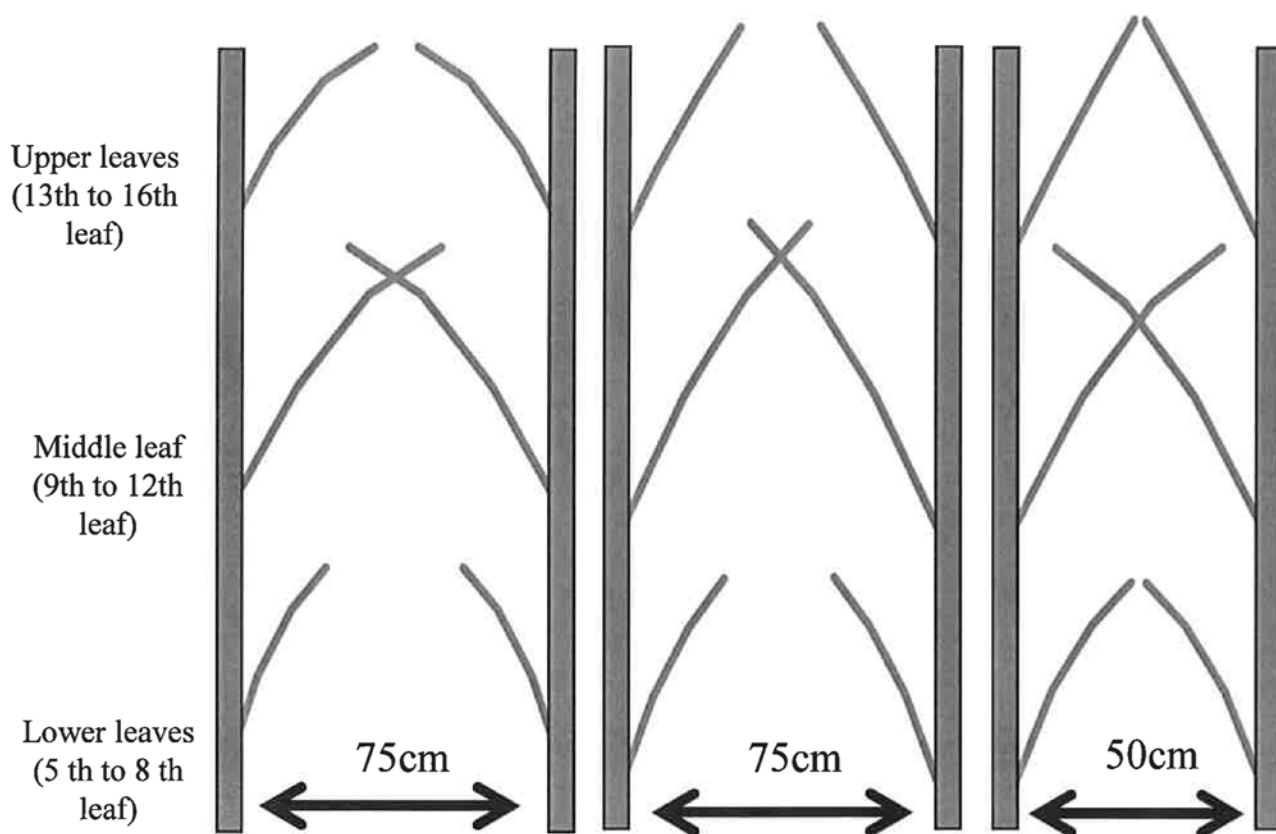


Fig. IV-16 Leaf blade inclination angle(Exp.2,36B08,2016)

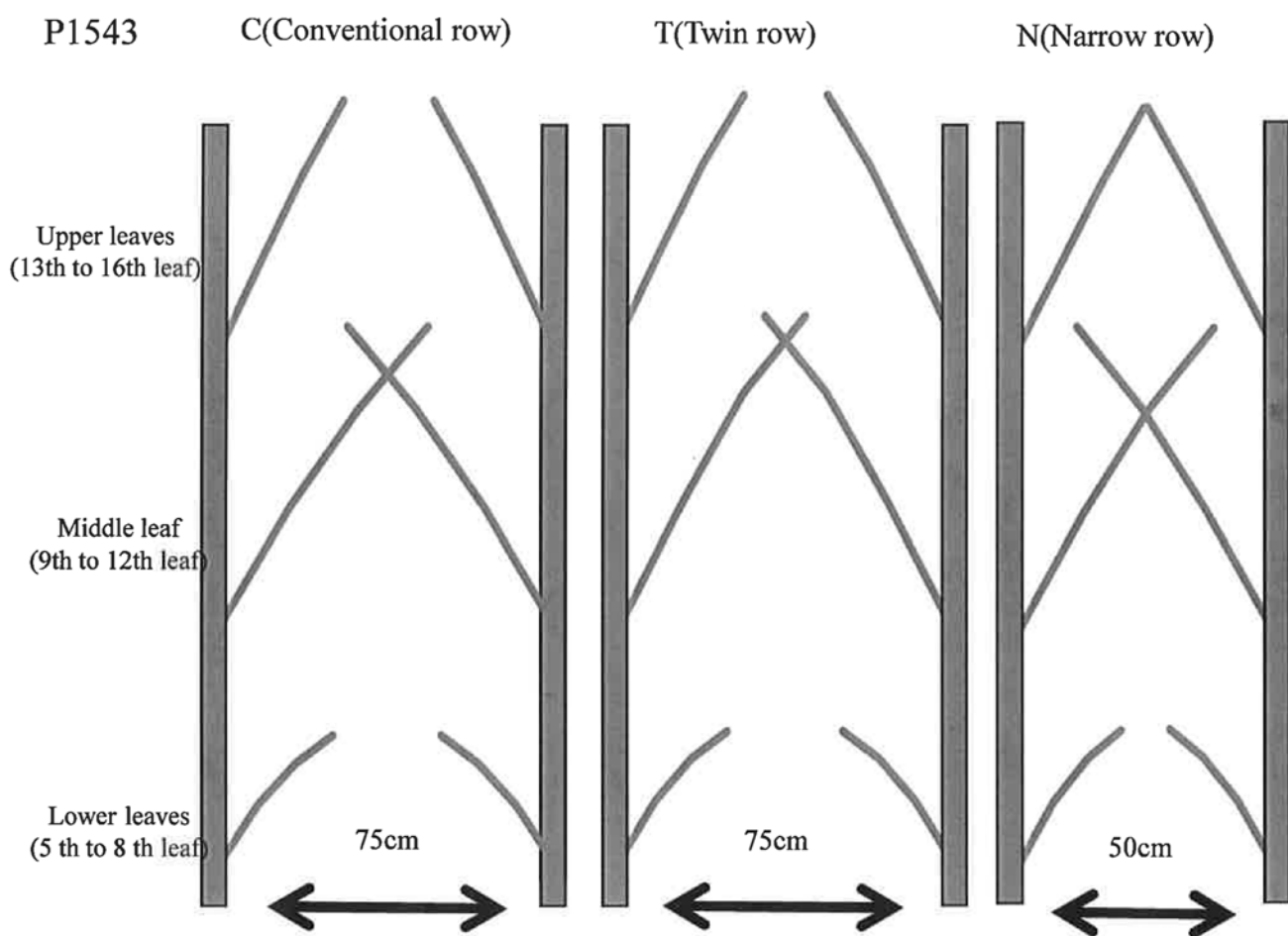


Fig. IV-17 Leaf blade inclination angle (Exp.2,P1543,2016)

C(Conventional row)



T(Twin row)



Fig. IV-18 Placement of the leaves on the top of the community at the 14 leaf stage (when the crown began to close) (Exp.2,36B08,P1543,2016)

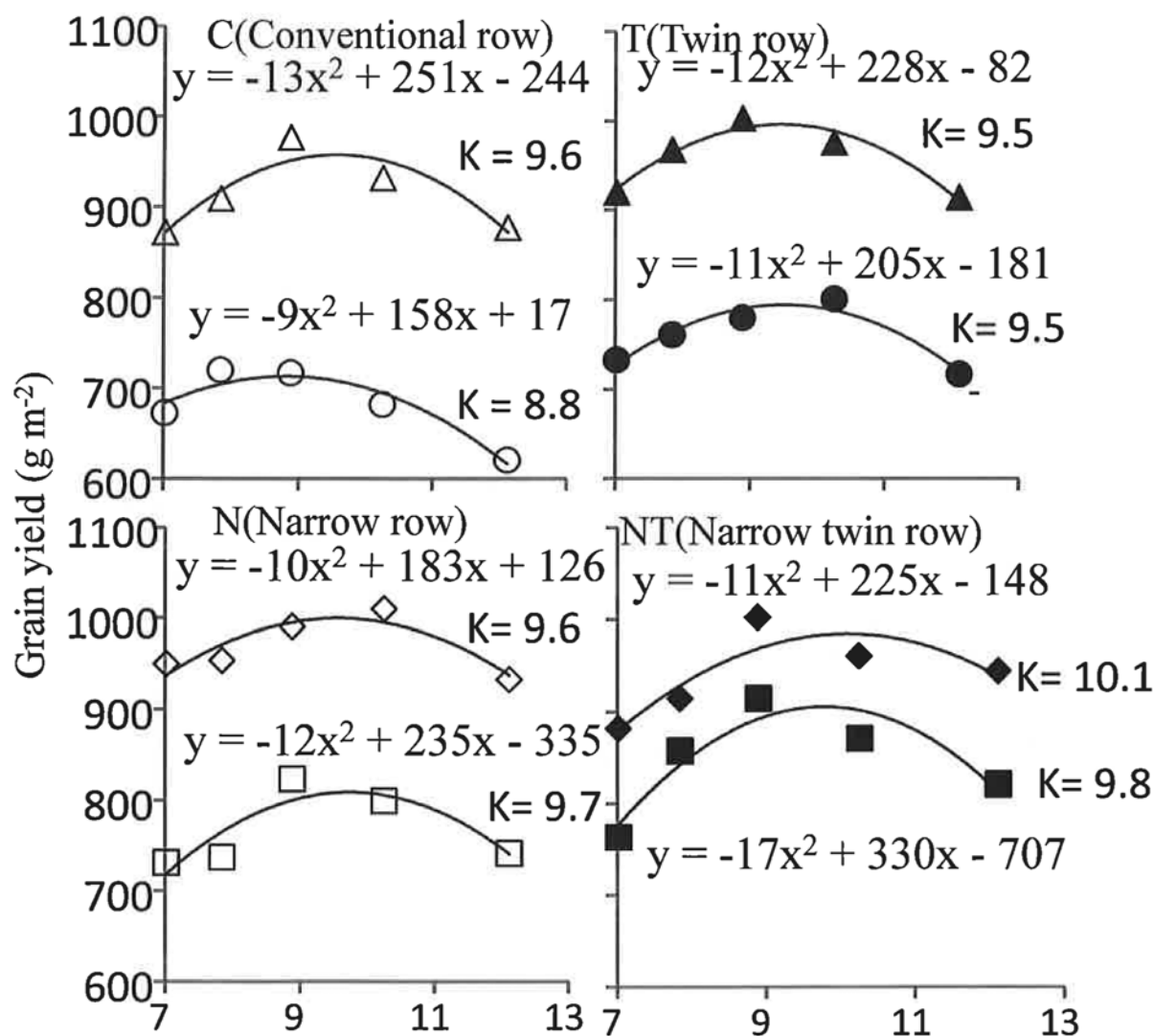


Fig. V -1 Grain yield(Exp.3, P8025, 2015, 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
 △:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年
 K: 回帰曲線から求めた最適栽植密度 (本 m⁻²)

Table V -1 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.3, P8025, 2015, 2016).

Planting Density	Planting Patten	P8025 (RM85)			
		2015		2016	
7.0	C	722	c	881	d
	T	740	b	929	a
	N	738	bc	959	a
	NT	788	a	890	c
7.8	C	720	c	918	b
	T	769	b	978	a
	N	764	b	963	a
	NT	815	a	923	b
8.9	C	754	b	987	b
	T	788	b	1033	a
	N	831	a	1001	b
	NT	826	a	969	c
10.3	C	722	b	914	c
	T	767	a	986	b
	N	741	ab	1015	a
	NT	772	a	1012	a
12.1	C	663	c	860	c
	T	724	a	923	b
	N	708	b	942	a
	NT	657	c	953	a
Planting patten(P)		*		ns	
Density (D)		*		*	
P × D		†		ns	

C: conventional row, T:twin row,N:narrow row,NT:narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

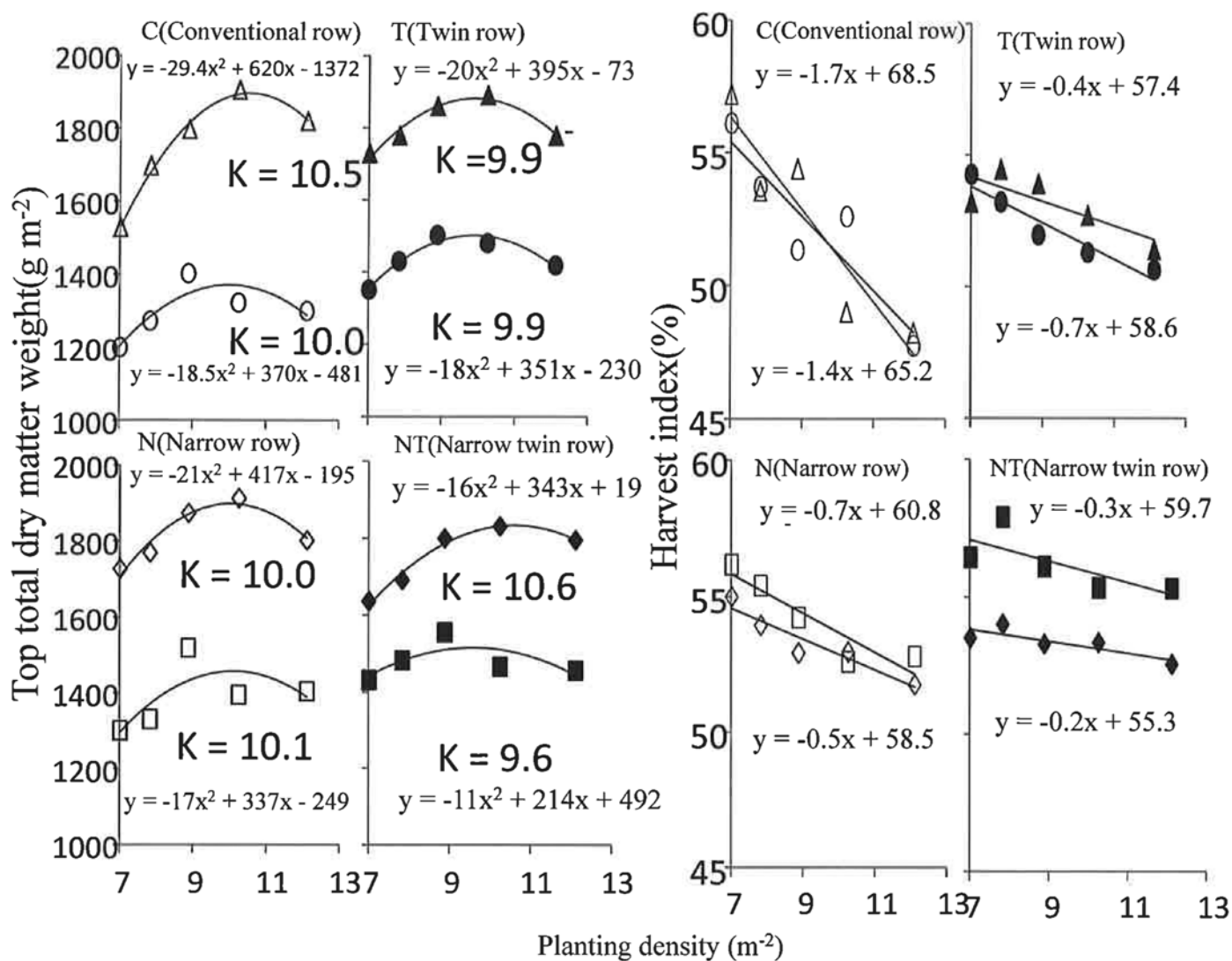


Fig. V-2 Top total dry matter weight and Harvest index
(Exp.3, P8025, 2015, 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
△:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

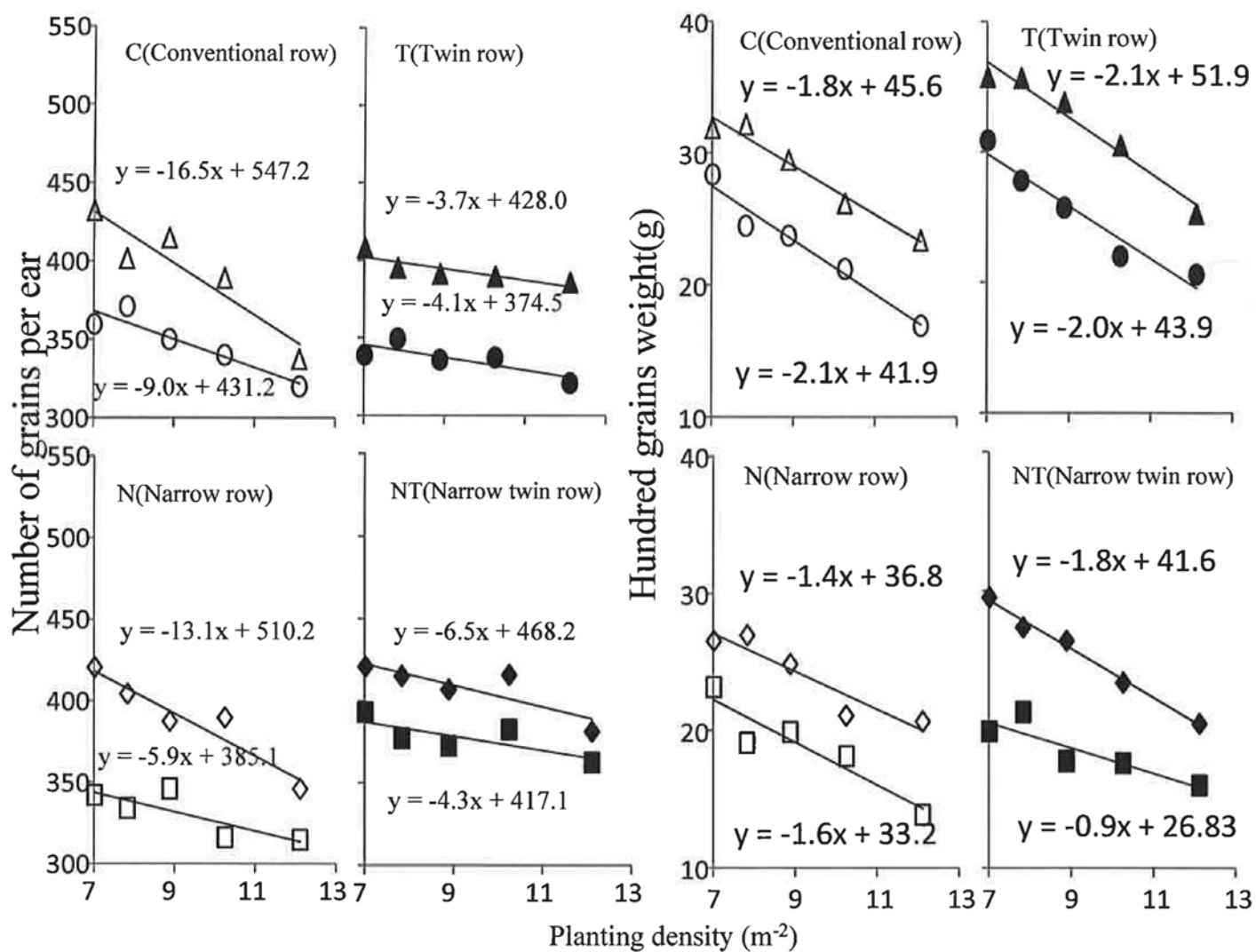


Fig. V-3 Number of grains per ear and Hundred grains weight(Exp.3, P8025, 2015 , 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
 △:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

Table V -2 Optimum planting density and the slope of regression of yield-related traits to dense planting

year	Planting Patten	Optimum planting density		The slope of the regression line with respect to planting density		
		Grain yield	Top total dry matter weight	Harvest index	Number of grain per ear	Hundred grain weight
		(m^{-2})	(m^{-2})	(% m^{-2})	(m^{-2})	(g m^{-2})
2015	C	8.8	10	-1.4	-9	-2.1
	T	9.5	9.9	-0.7	-4.1	-2
	N	9.7	10.1	-0.6	-5.9	-1.6
	NT	9.8	9.6	-0.2	-4.3	-0.9
2016	C	9.6	10.5	-1.7	-16.5	-1.8
	T	9.5	9.9	-0.5	-3.7	-2.1
	N	9.6	10	-0.7	-13.1	-1.4
	NT	10.1	10.6	-0.4	-6.5	-1.8

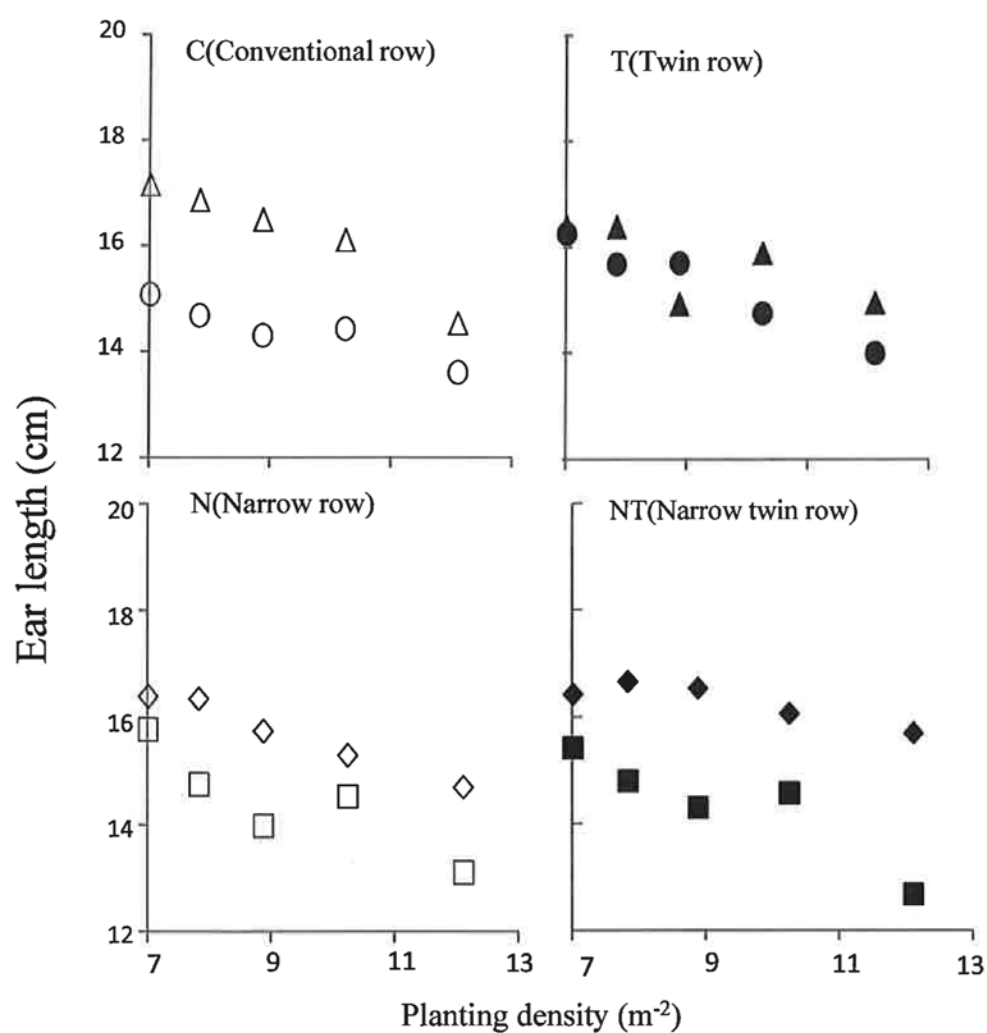


Fig. V-4 Ear length and Pull down moment ratio
(Exp.3, P8025, 2015, 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
△:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

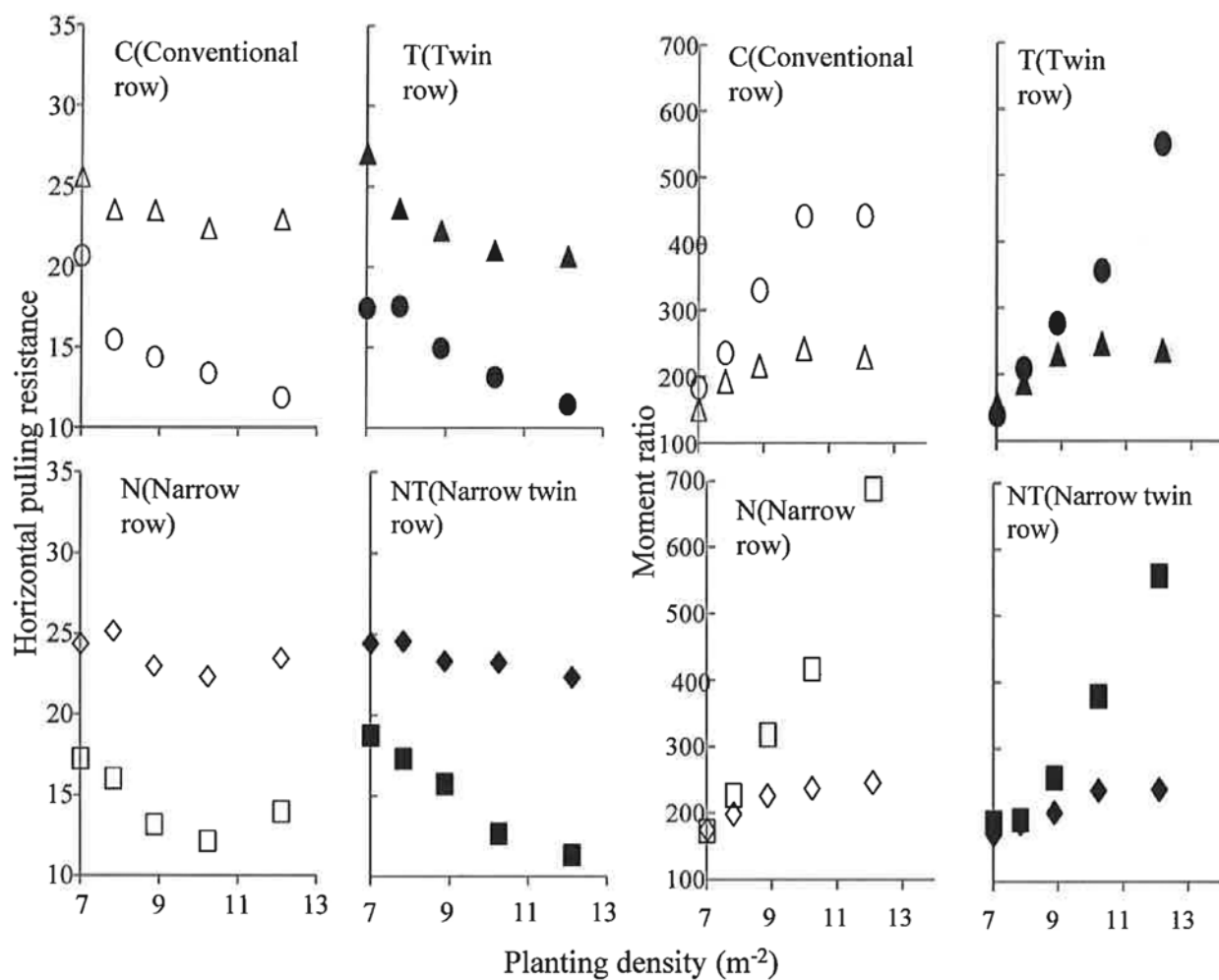


Fig. V-5 Horizontal pulling resistance and Moment ratio(Exp.3, P8025, 2015 , 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
 △:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

Table V -3 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.3, P8025, 2015).

Experimental plot	Planting patten	Grain yield (g m ²)	Top total dry matter weight (g m ²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
Planting Density Average	C	712	1264	56.4	348	22.9
	T	748	1428	52.6	340	24.8
	N	745	1322	56.4	331	25.3
	NT	759	1345	56.4	353	24.1
Planting Patten Average	75 × 19	740	1298	57.0	358	29.5
	75 × 17	748	1339	56.0	355	26.9
	75 × 15	787	1434	55.0	347	25.5
	75 × 13	749	1364	55.2	333	22.0
	75 × 11	681	1263	54.0	320	17.6
Planting patten		*	*	ns	*	ns
Density		*	*	ns	ns	*
Planting patten × Density		†	†	†	**	ns

C: conventional row, T:twain row,N:narrow row,NT:narrow twain row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10,5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

Table V -4 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.3, P8025, 2016).

Experimental plot	Planting patten	Grain yield (g m ²)	Top total dry matter weight (g m ²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
Planting Density Average	C	944	1749	54.1	395	29.5
	T	956	1804	53.0	390	30.7
	N	968	1831	52.9	389	30.9
	NT	940	1806	52.1	408	28.6
Planting Patten Average	75 × 19	906	1677	54.1	420	34.2
	75 × 17	936	1757	53.3	401	33.1
	75 × 15	983	1831	53.7	395	31.2
	75 × 13	1000	1921	52.1	398	27.2
	75 × 11	936	1800	52.0	363	23.8
Planting patten		ns	ns	ns	ns	*
Density		*	***	ns	*	***
Planting patten × Density		ns	ns	ns	ns	ns

C: conventional row, T: twin row, N: narrow row, NT: narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

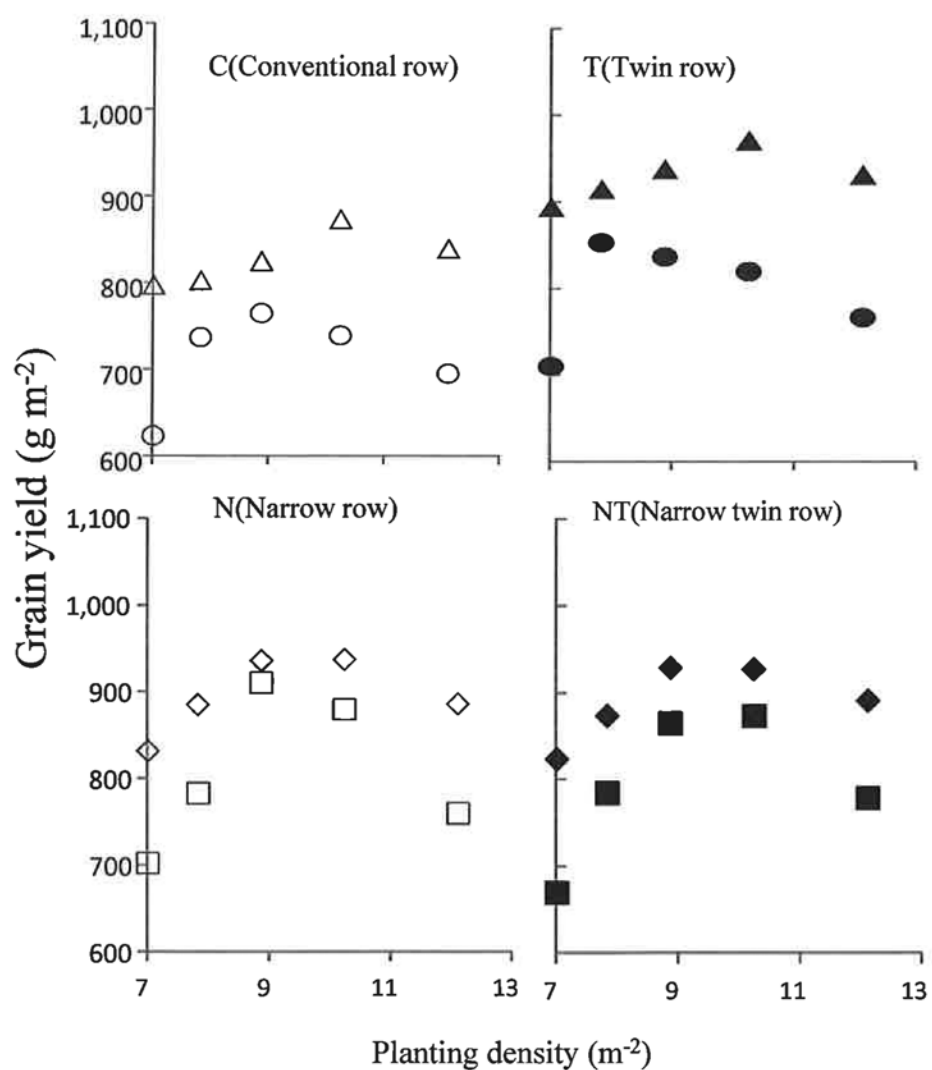


Fig. V-6 Grain yield(Exp.3, P9027, 2015 , 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
 △:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

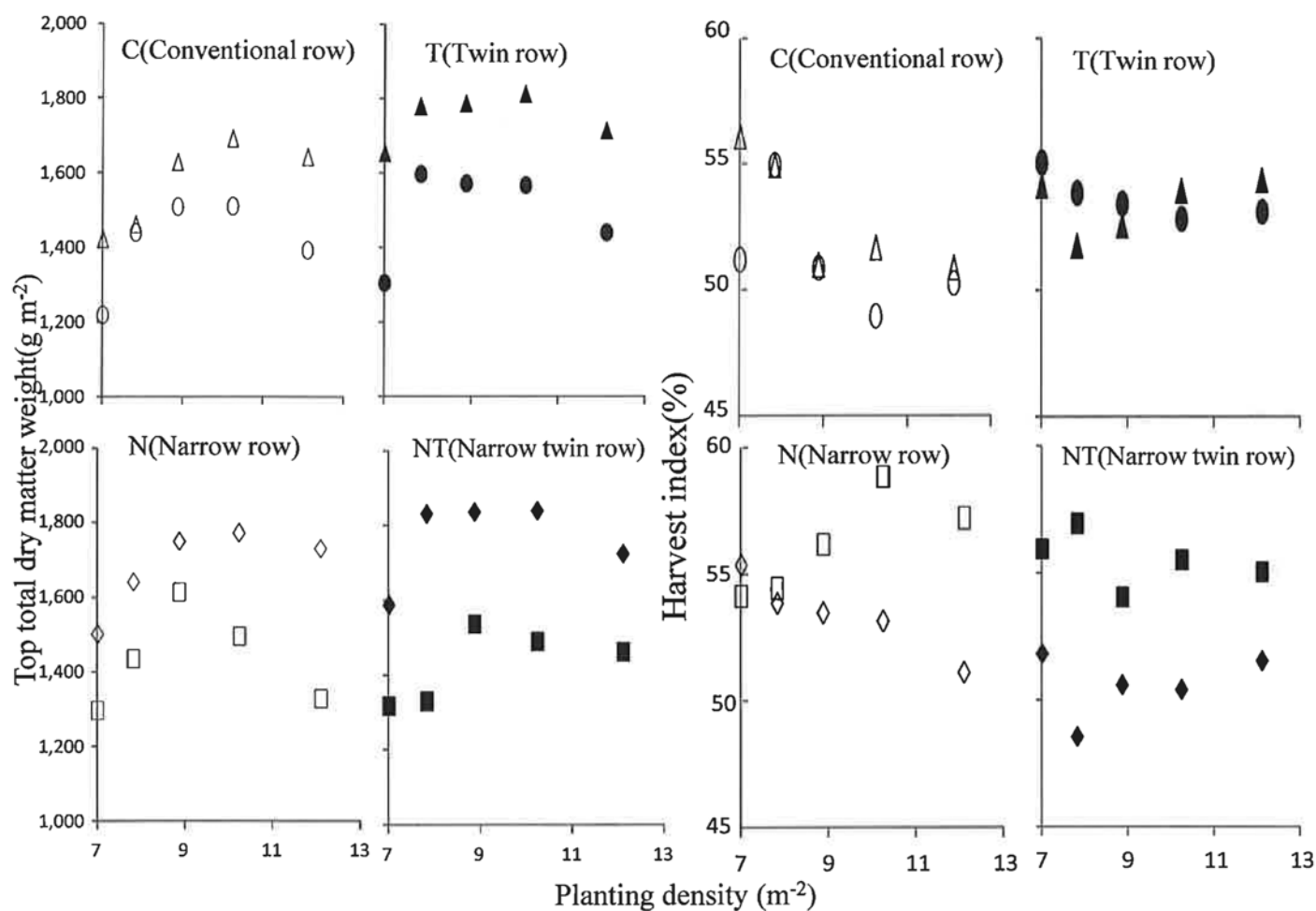


Fig. V-7 Top total dry matter weight and Harvest index(Exp.3, P9027, 2015, 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
 △:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

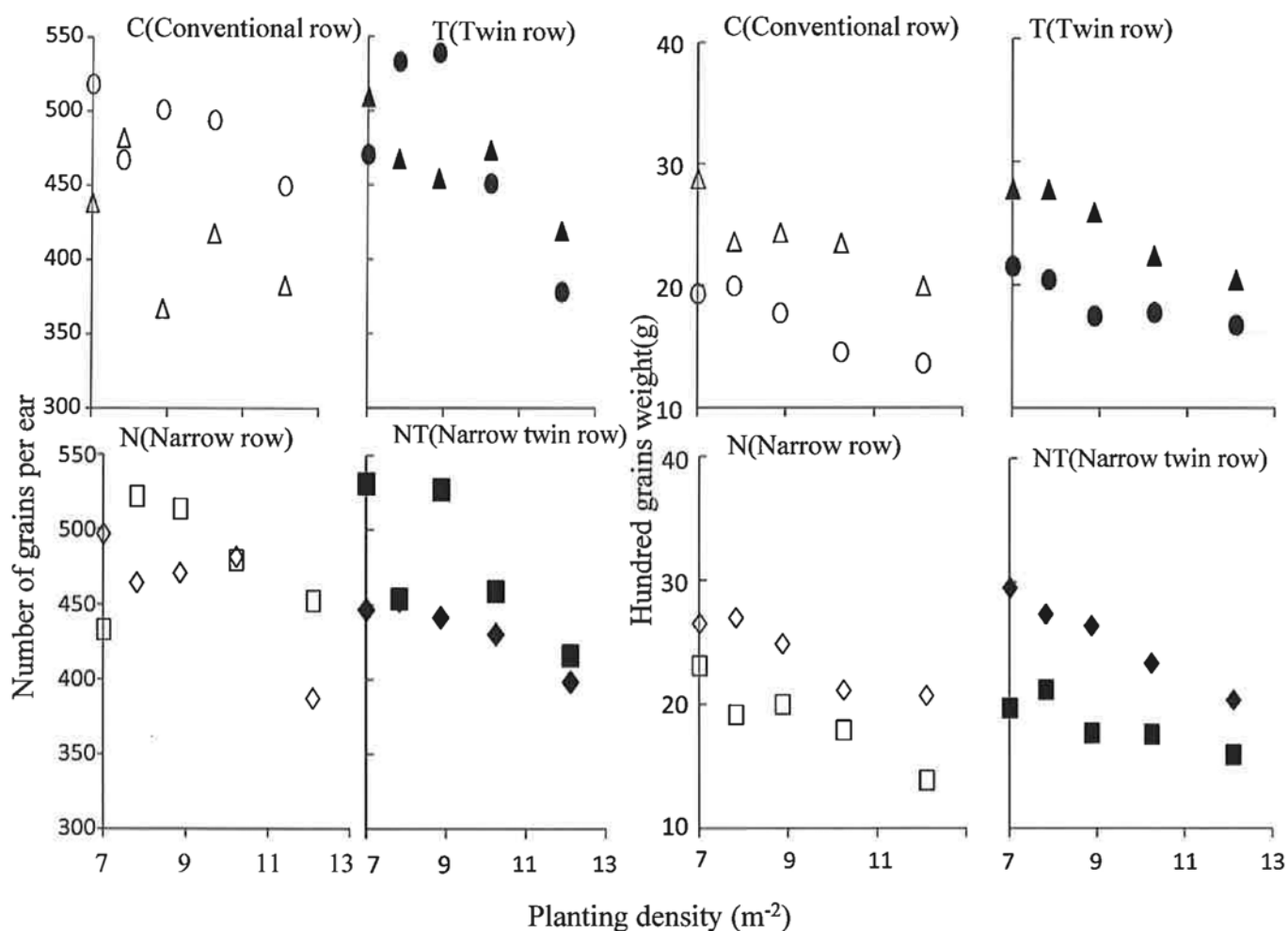


Fig. V-8 Number of grains per ear and Hundred grains weight(Exp.3, P9027, 2015, 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年

△:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

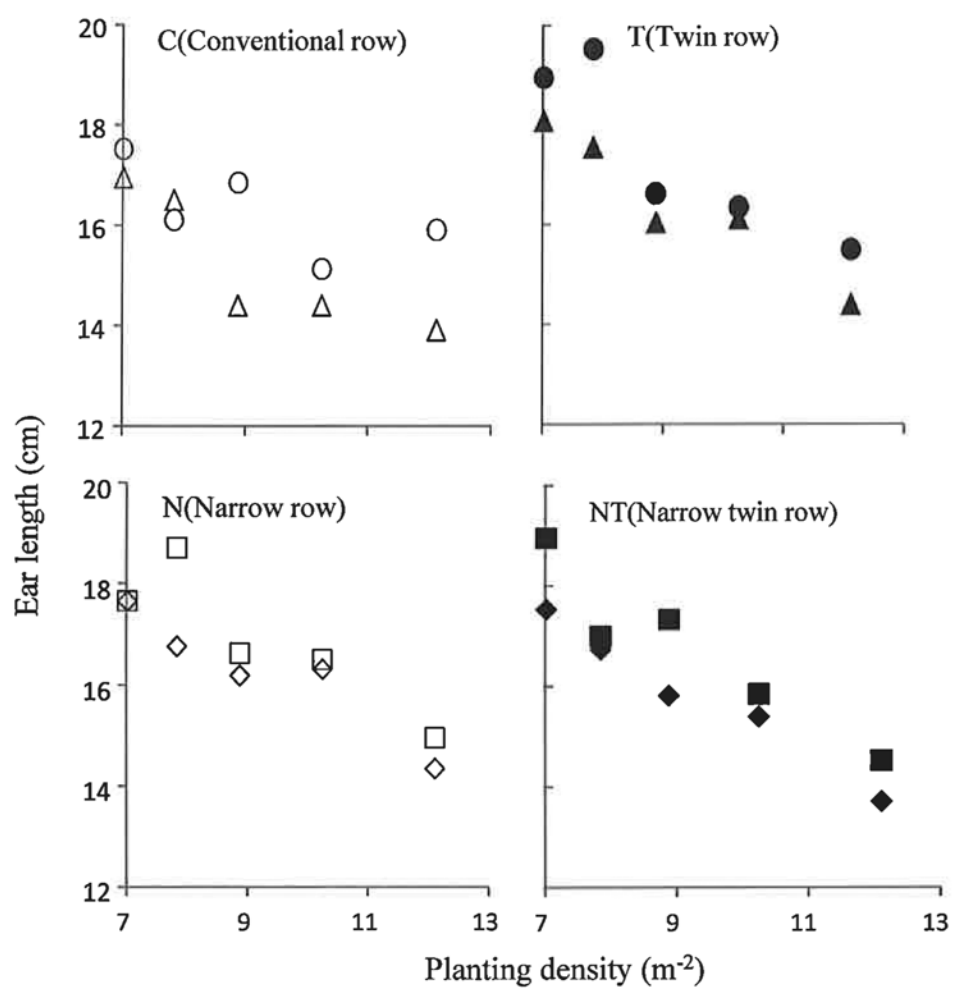


Fig. V-9 Ear length and Pull down moment ratio(Exp.3, P9027, 2015, 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
 △:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

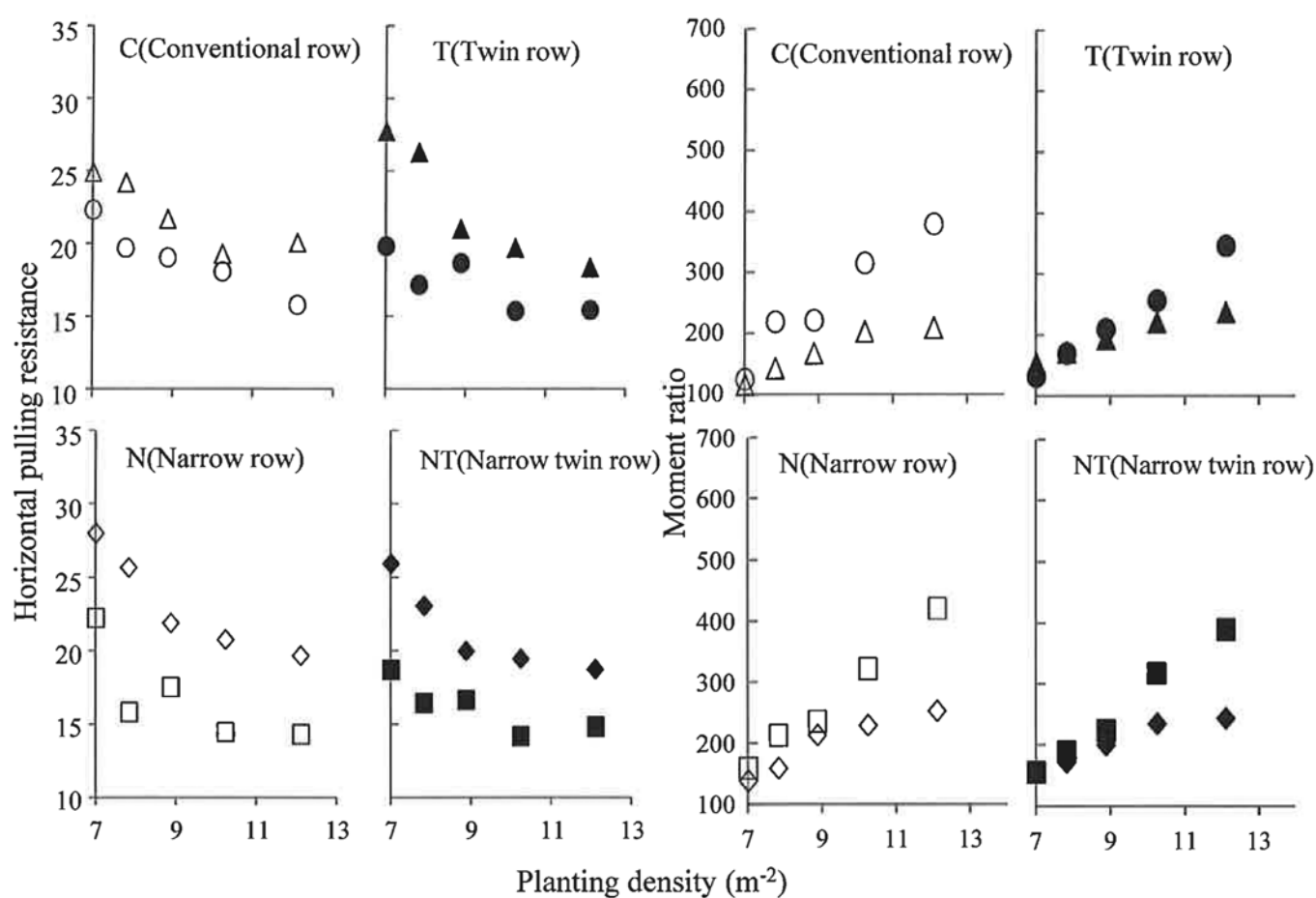


Fig. V-10 Horizontal pulling resistance and Moment ratio(Exp.3, P9027, 2015 , 2016).

○:C(conventional row), ●:T(twin row), □:N(narrow row), ■:NT(narrow twin row) in 2015年
 △:C(conventional row), ▲:T(twin row), ◇:N(narrow row), ◆:NT(narrow twin row) in 2016年

Table V -5 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.3, P9027, 2015).

Experimental plot	Planting patten	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
Planting Density Average	C	741	1334	55.6	486	17.1
	T	797	1419	56.2	474	18.8
	N	807	1434	56.1	480	18.8
	NT	791	1427	55.5	477	18.5
Planting Patten Average	75 × 19	713	1276	55.9	488	20.9
	75 × 17	781	1392	56.1	494	20.2
	75 × 15	842	1516	55.5	520	18.2
	75 × 13	816	1457	56.0	471	16.9
	75 × 11	768	1377	55.8	424	15.0
Planting patten		*	*	ns	ns	ns
Density		*	*	ns	*	†
Planting patten × Density		*	***	†	†	**

C: conventional row, T:twin row,N:narrow row,NT:narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

Table V -6 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.3, P9027, 2016).

Experimental plot	Planting patten	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
Planting Density Average	C	827	1568	52.9	429	24.0
	T	929	1749	53.3	465	24.8
	N	895	1680	53.4	460	24.0
	NT	889	1764	50.6	434	25.4
Planting Patten Average	75 × 19	836	1541	54.3	473	28.2
	75 × 17	869	1678	52.3	466	26.4
	75 × 15	907	1750	51.9	448	25.4
	75 × 13	927	1779	52.3	451	22.6
	75 × 11	887	1703	52.0	397	20.4
Planting patten		*	ns	ns	*	ns
Density		*	*	ns	**	**
Planting patten × Density		ns	ns	ns	ns	ns

C: conventional row, T:twain row,N:narrow row,NT:narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10,5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

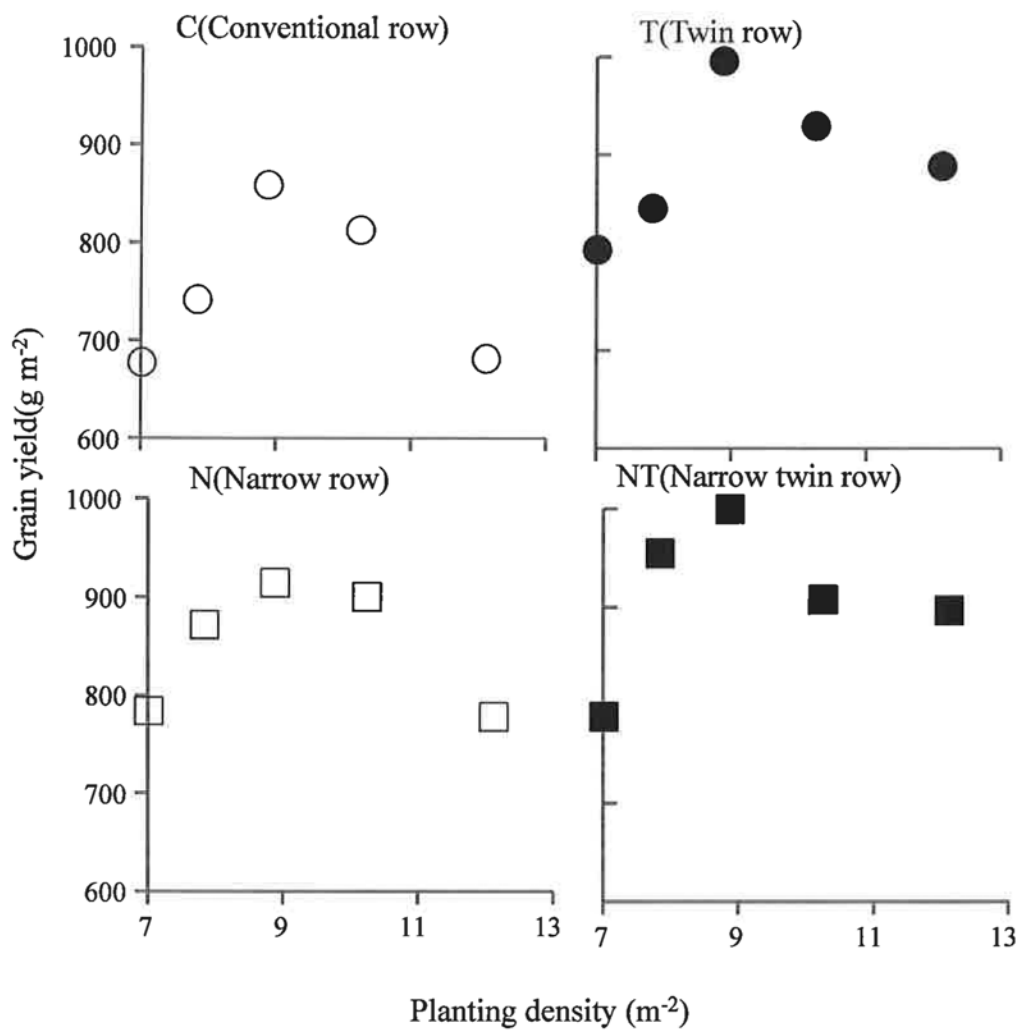


Fig. V -11 Grain yield (Exp.3, P0023, 2015).

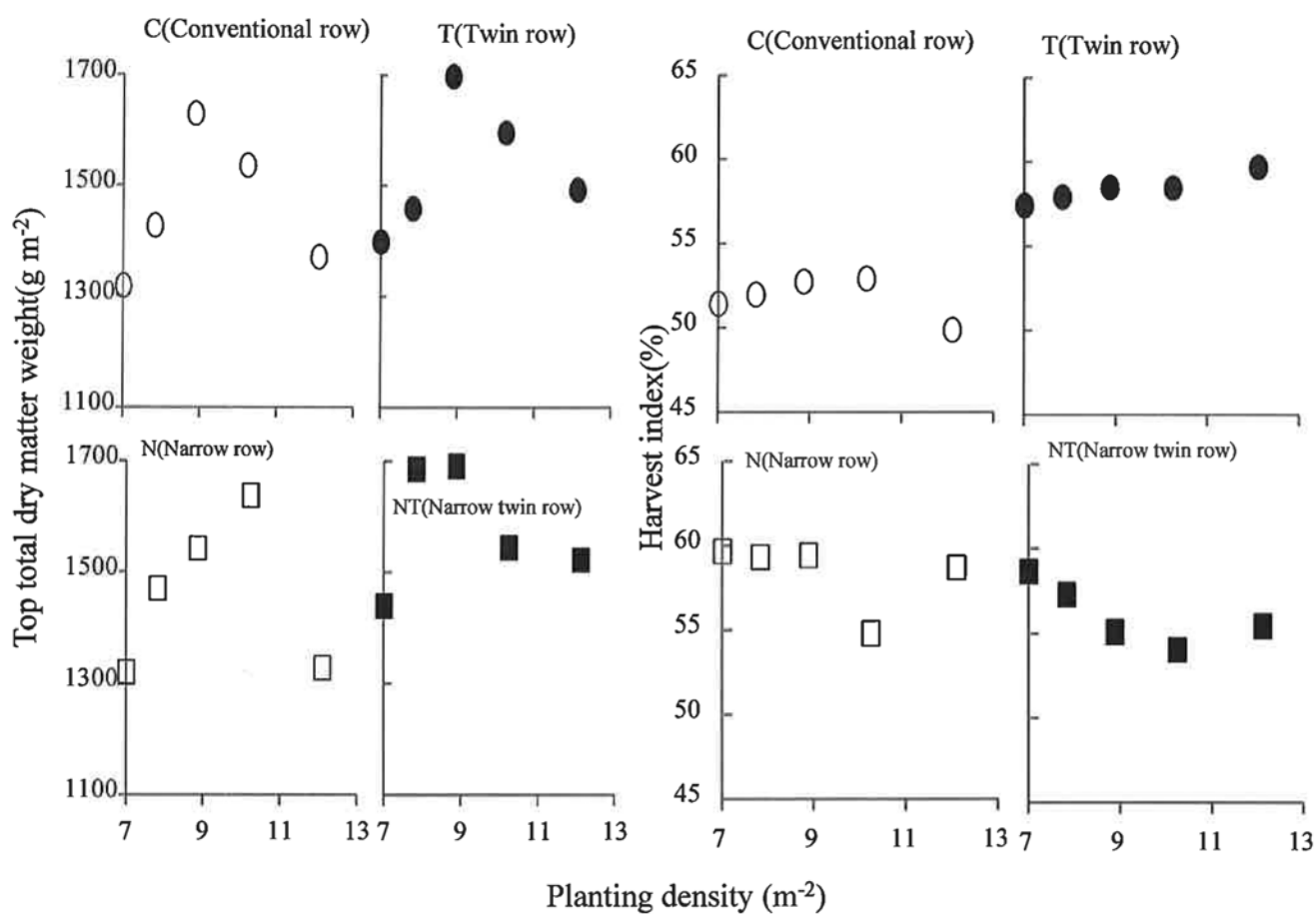


Fig. V -12 Top total dry matter weight and Harvest index(Exp.3, P0023, 2015).

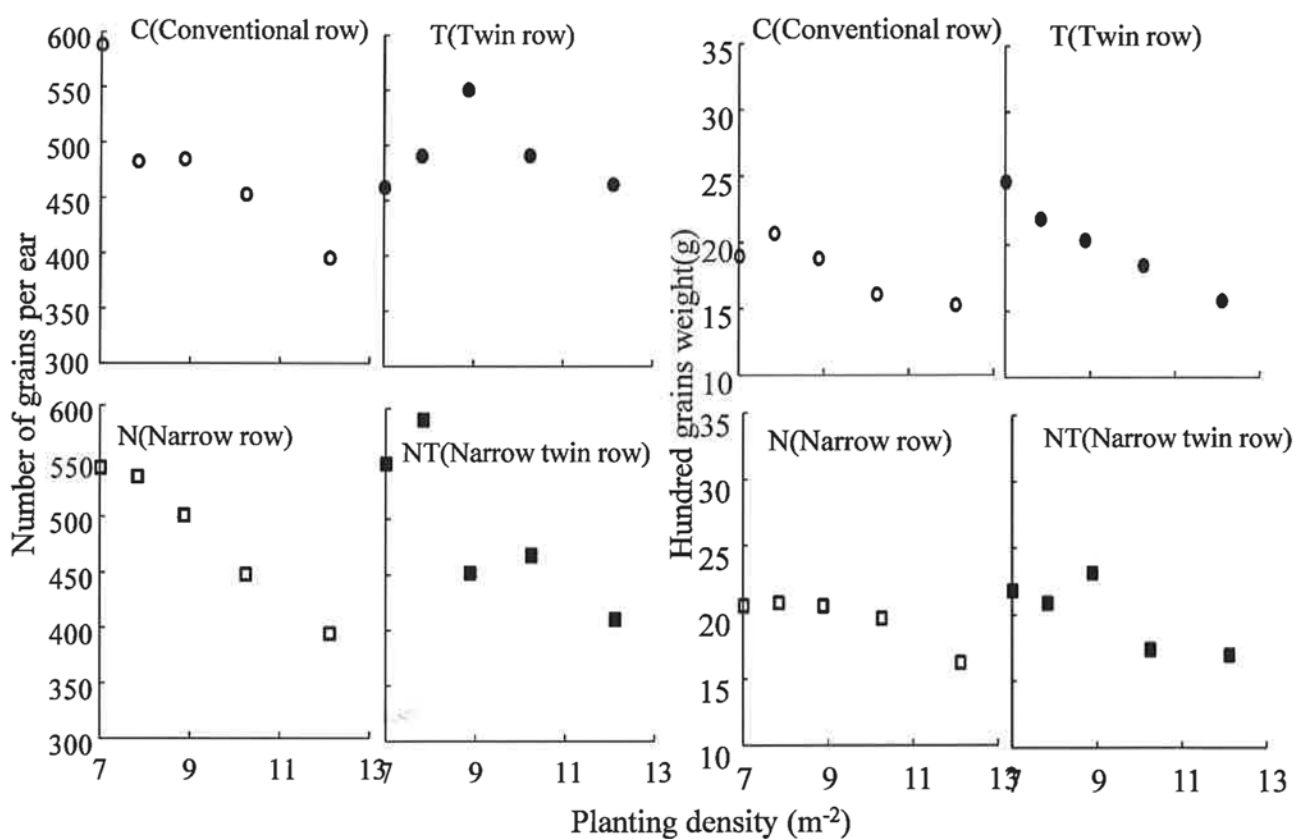


Fig. V -13 Number of grains per ear and Hundred grains weight (Exp.3, P0023, 2015).

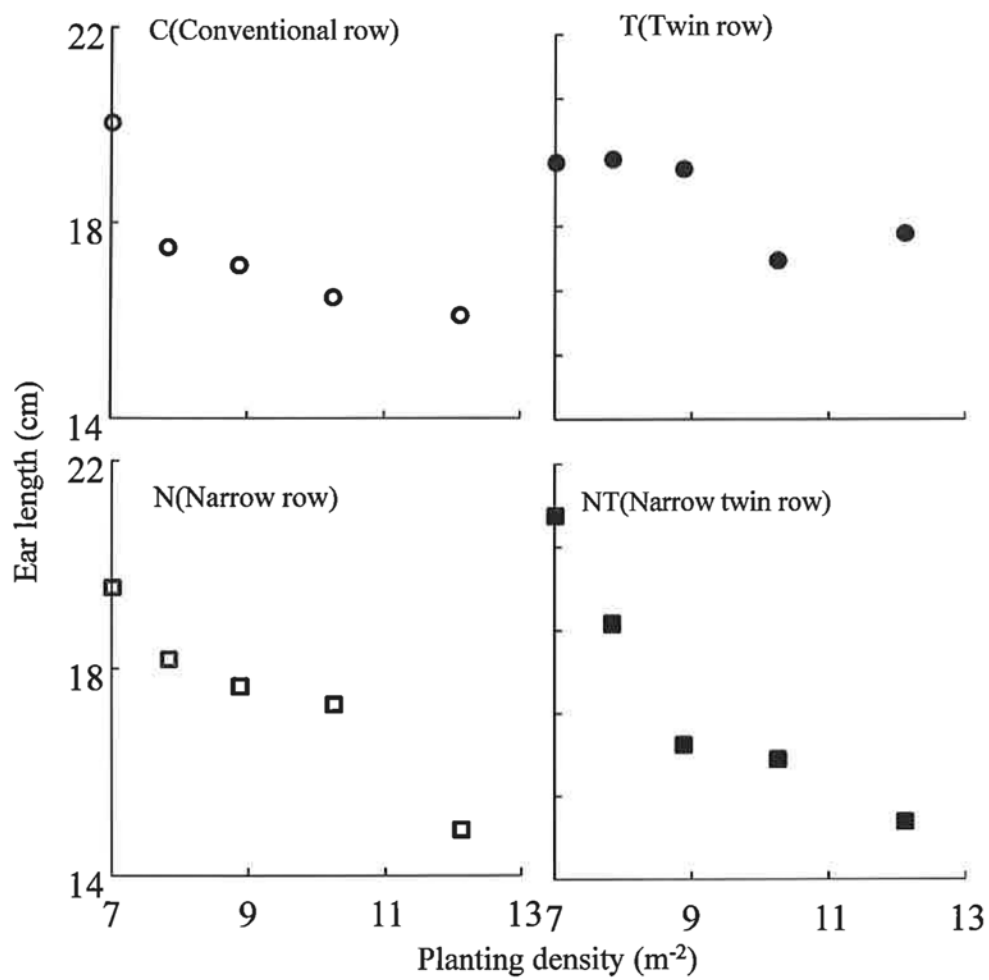


Fig. V-14 Ear length and Pull down moment ratio(Exp.3, P0023, 2015).

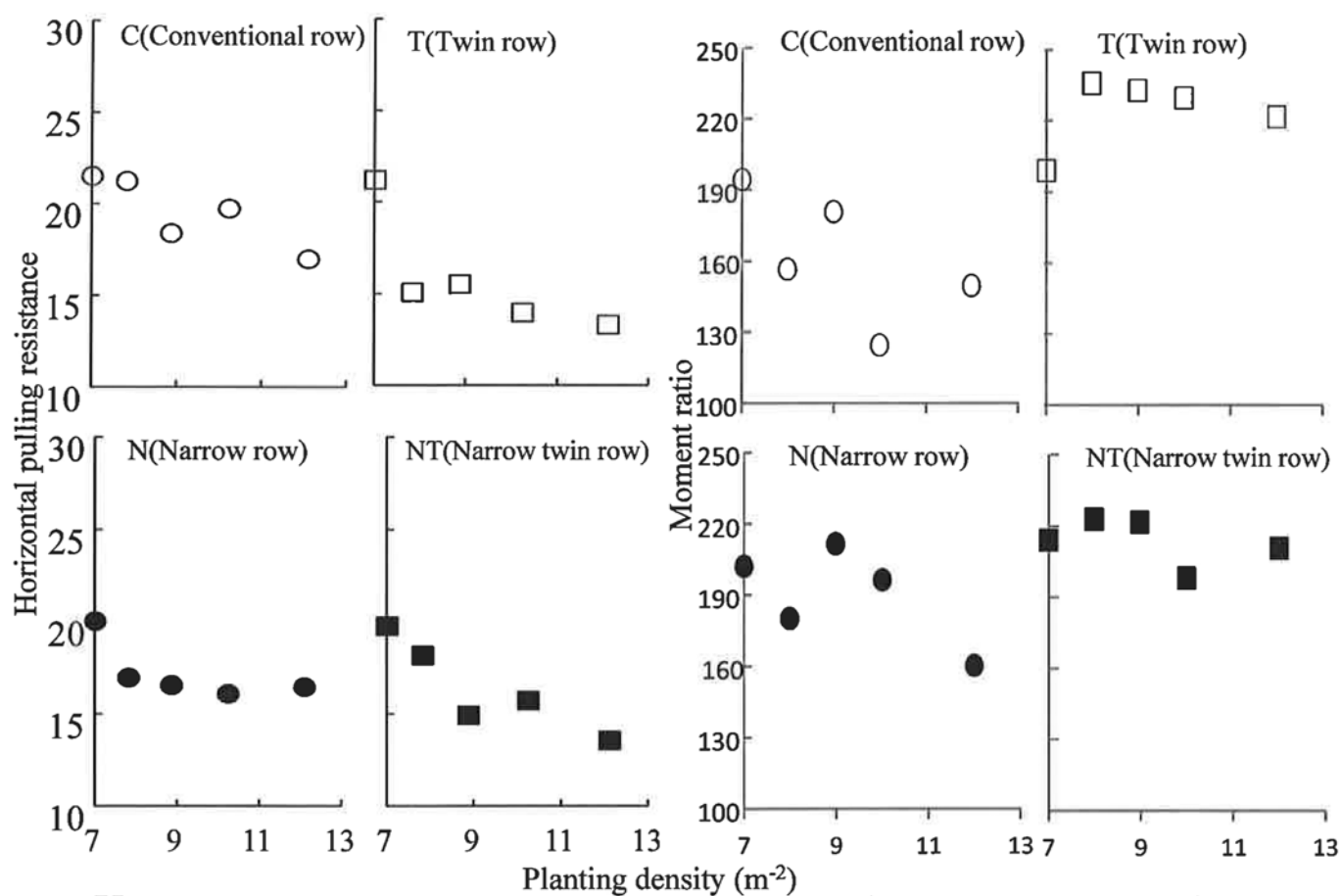


Fig. V-15 Horizontal pulling resistance and Moment ratio(Exp.3, P0023, 2015).

Table V -7 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.3, P0023, 2015).

Experimental plot	Planting patten	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
Planting	C	772	1389	55.6	481	18.0
Density	T	892	1528	58.4	492	20.3
Average	N	849	1459	58.4	485	19.5
	NT	883	1576	56.1	494	20.0
Planting	75 × 19	803	1388	58.0	536	21.5
Patten	75 × 17	866	1499	57.8	525	21.1
Average	75 × 15	913	1599	57.1	497	20.7
	75 × 13	853	1530	55.7	465	17.9
	75 × 11	810	1425	57.0	416	16.1
Planting patten		*	†	ns	ns	ns
Density		*	*	ns	**	*
Planting patten × Density		†	***	*	***	*

C: conventional row, T:twin row,N:narrow row,NT:narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

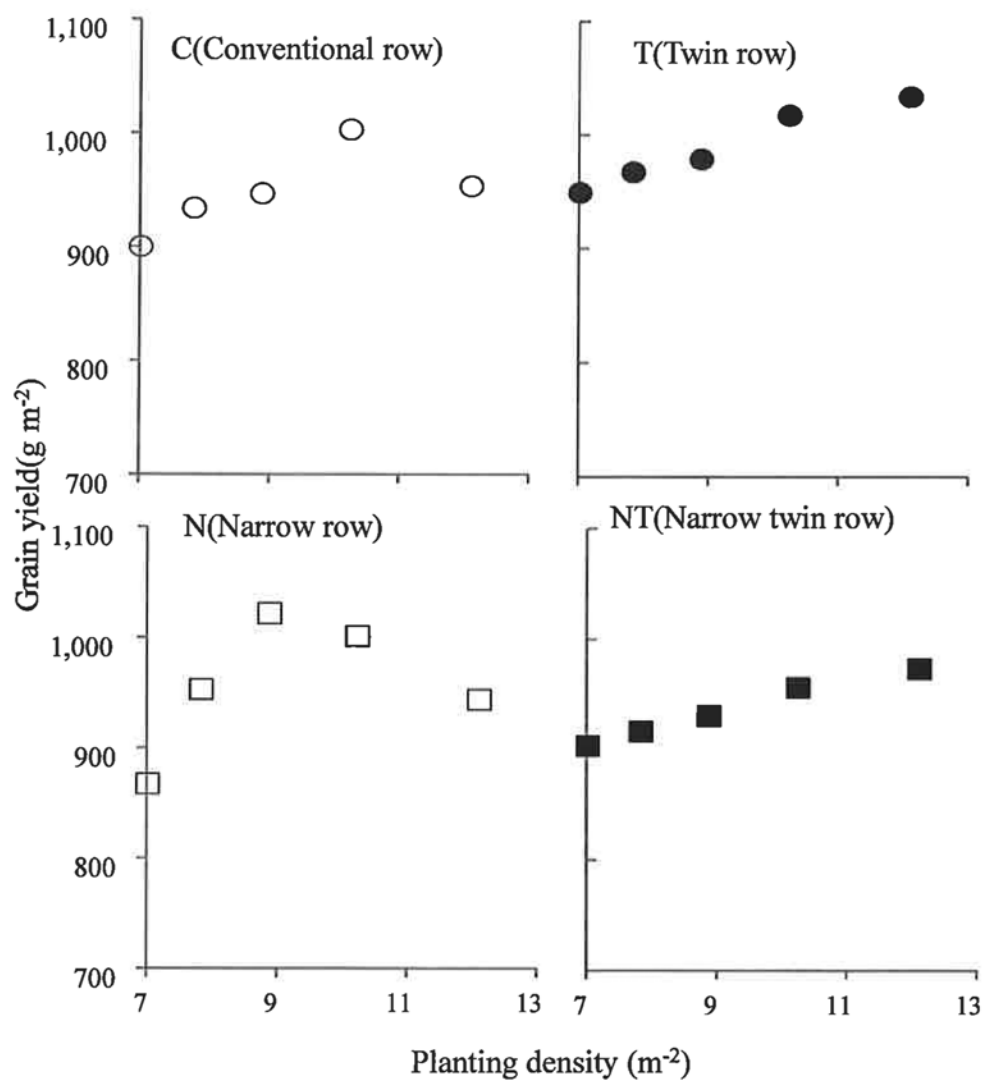


Fig. V -16 Grain yield (Exp.3, KD420, 2016).

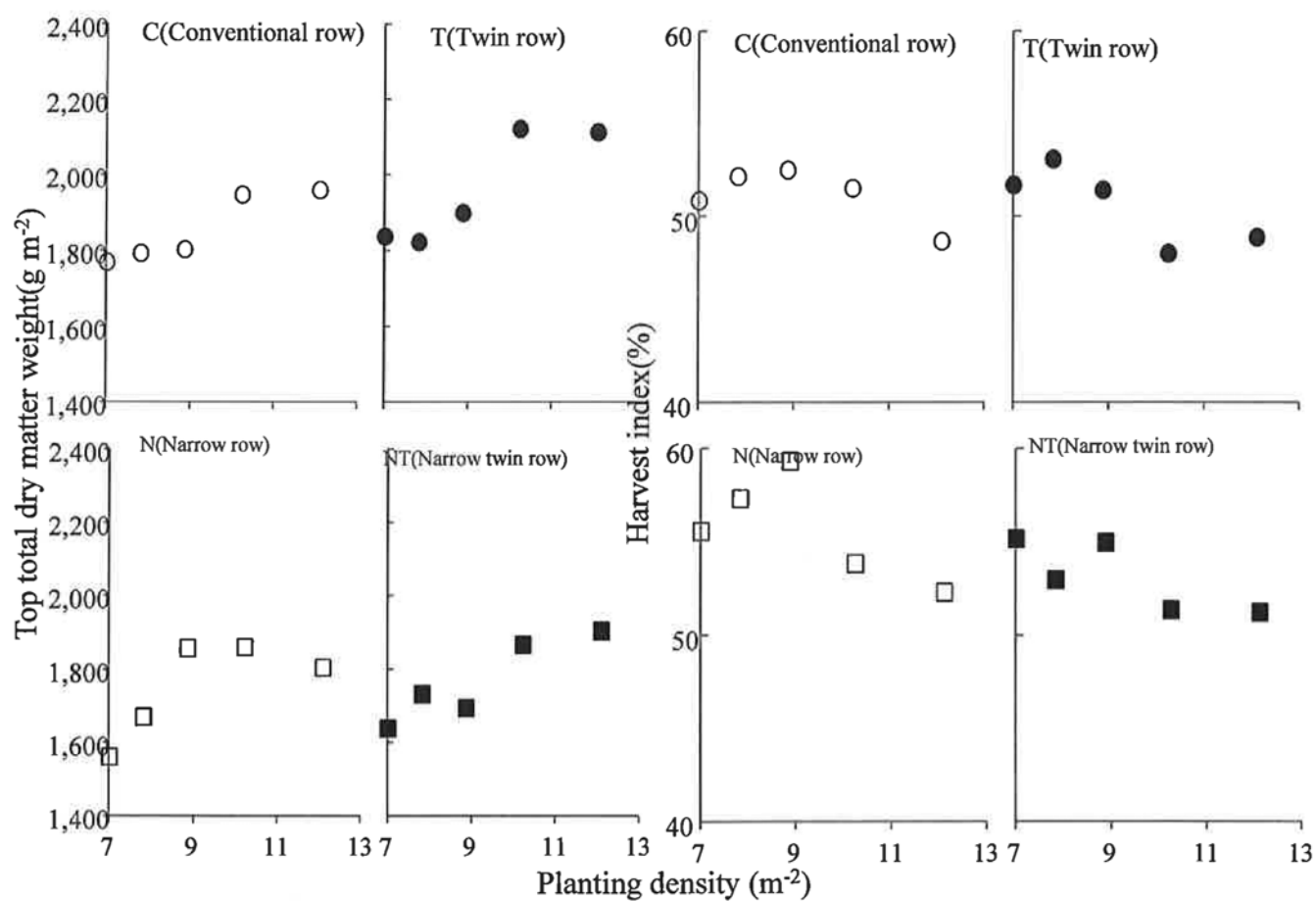


Fig. V -17Top total dry matter weight and Harvest index(Exp.t3, KD420, 2015).

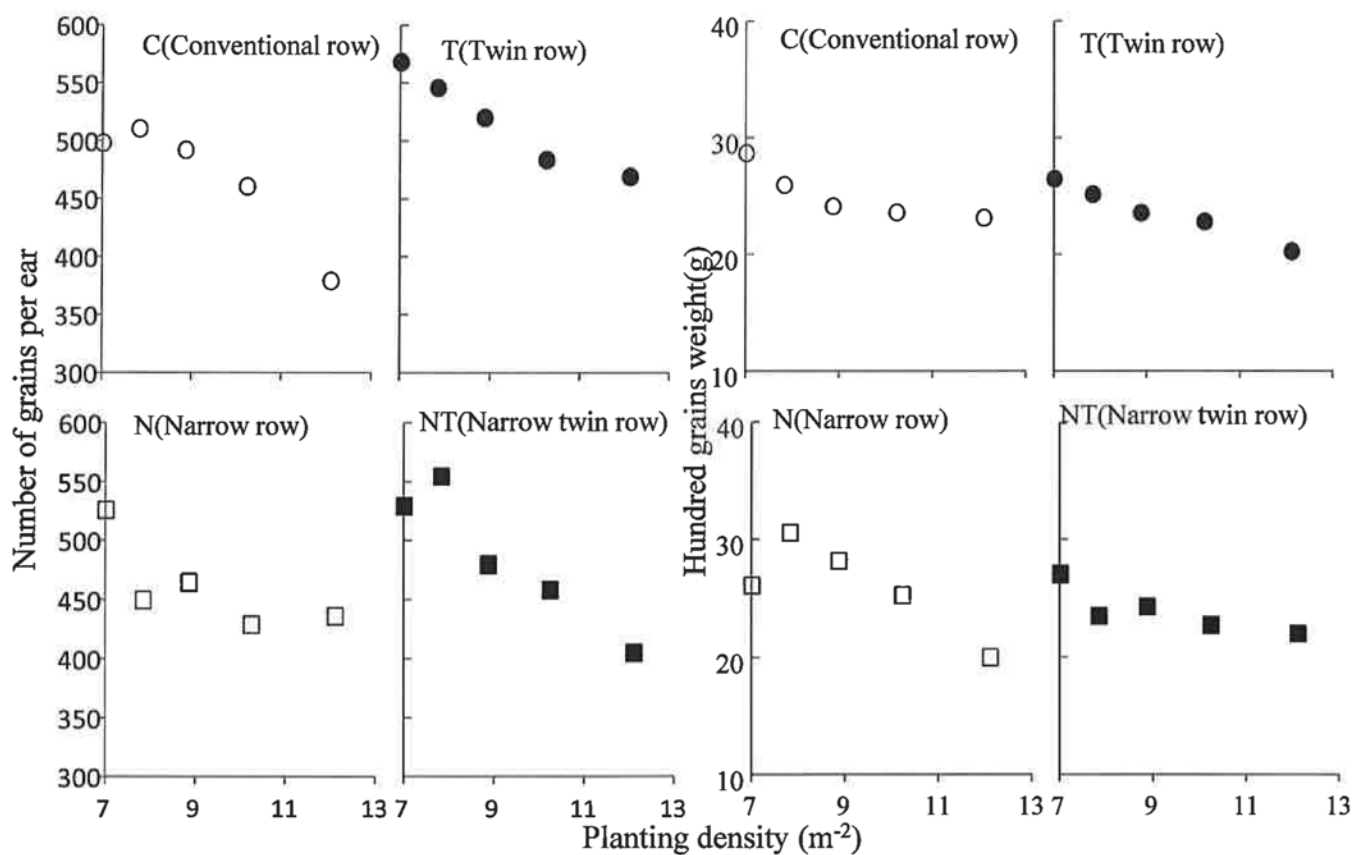


Fig. V-18 Number of grains per ear and Hundred grains weight (Exp.3, KD420, 2015).

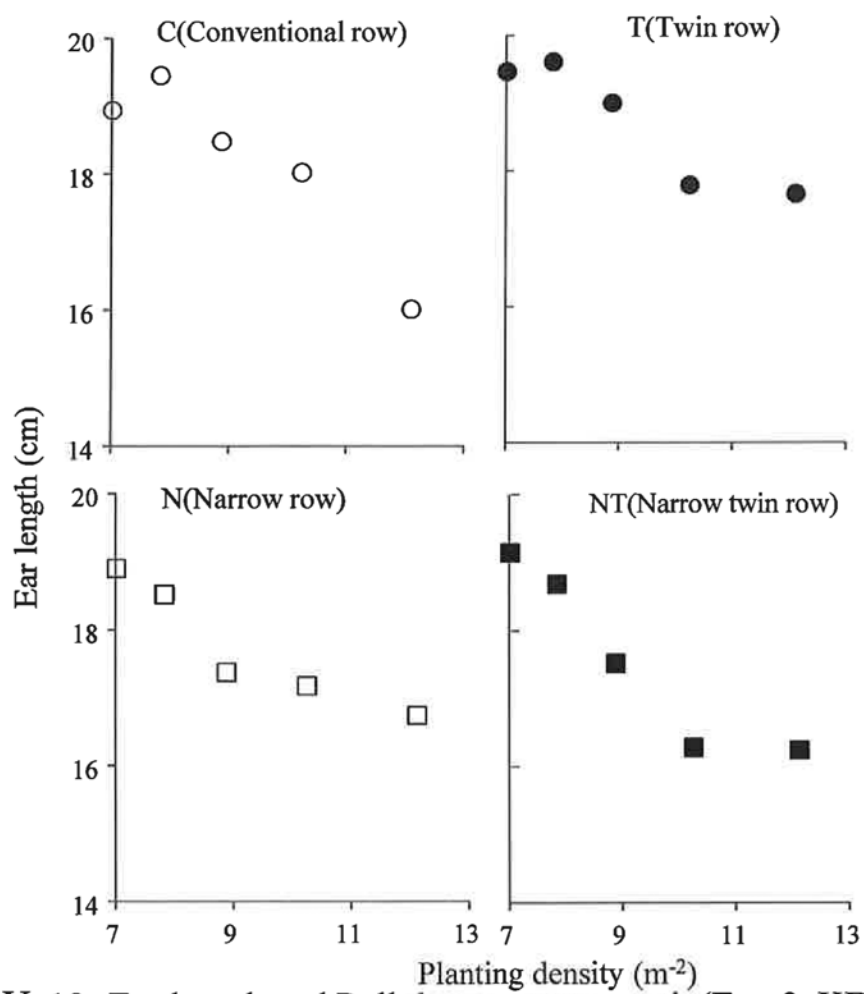


Fig. V-19 Ear length and Pull down moment ratio(Exp.3, KD420, 2016).

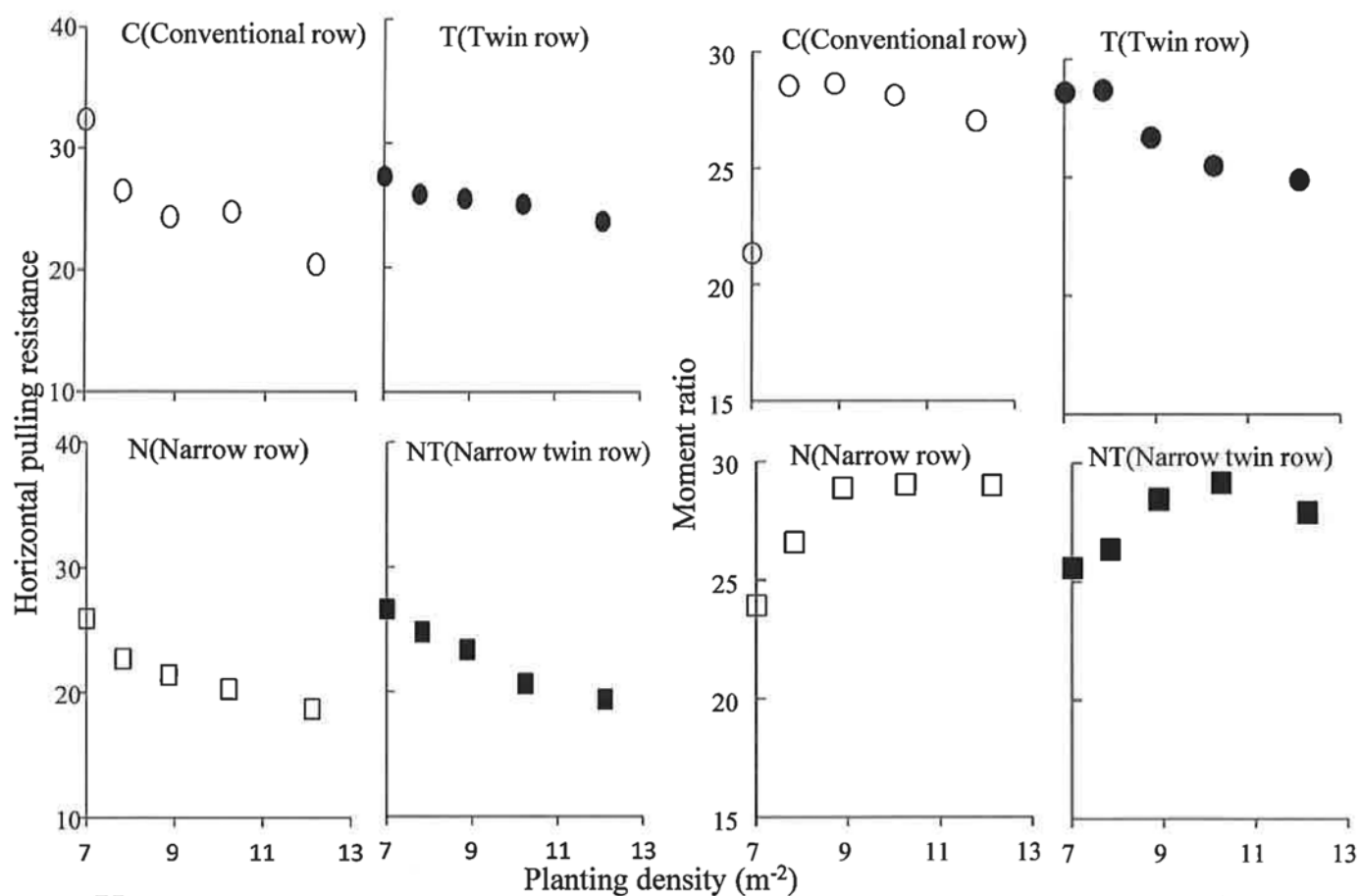


Fig. V-20 Horizontal pulling resistance and Moment ratio(Exp.3, KD420, 2016).

Table V -8 Analysis of variance in grain yield and related traits
(Exp.3, KD420, 2016).

Experimental plot	Planting patten	Grain yield (g m ⁻²)	Top total dry matter weight (g m ⁻²)	Harvest index (%)	Number of grains per ear	Hundred grains weight (g)
Planting	C	947	1854	51.1	468	25.1
Density	T	989	1958	50.6	407	23.6
Average	N	957	1750	55.6	461	26.0
	NT	936	1767	53.1	485	23.9
Planting	75 × 19	905	1701	53.3	392	27.1
Patten	75 × 17	943	1753	53.9	515	26.3
Average	75 × 15	969	1813	54.5	489	25.0
	75 × 13	994	1948	51.2	458	23.6
	75 × 11	976	1945	50.2	422	21.3
Planting patten		**	***	**	*	ns
Density		***	***	*	***	**
Planting patten × Density		ns	ns	ns	ns	ns

C: conventional row, T: twin row, N: narrow row, NT: narrow twin row

Means followed by the same letters in the same column are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer test.

†, *, **, *** and ns, indicate significant at the 10, 5, 1, 0.1% levels and nor significant, respectively.

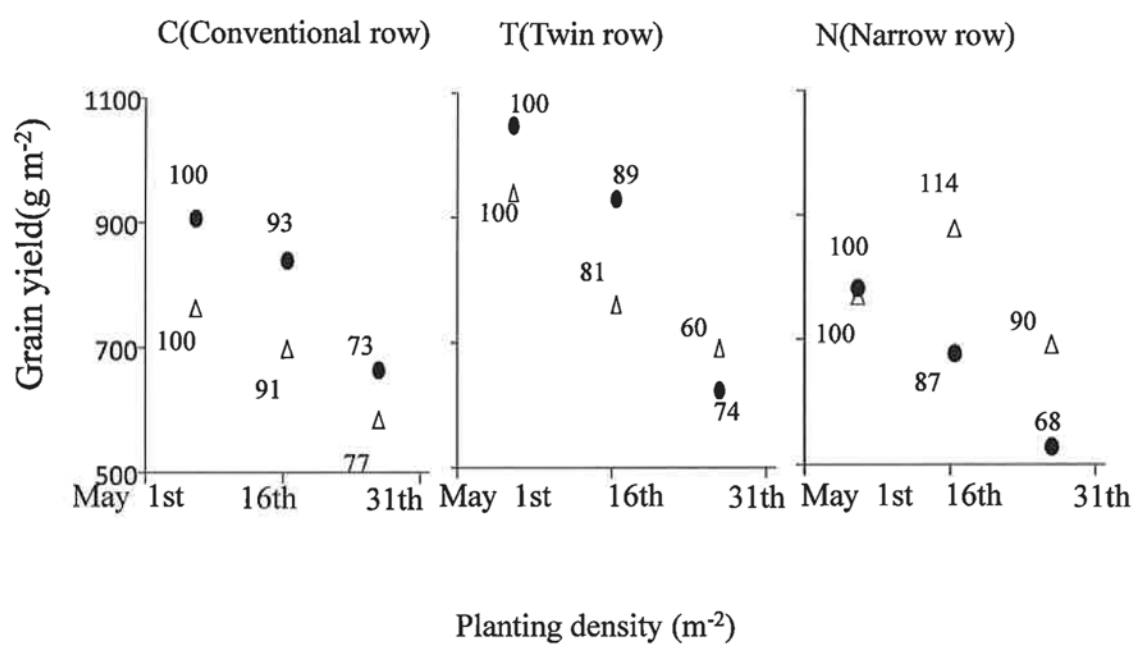


Fig.VI-1 Grain yield(Exp.4, P8025, 2015).

Δ , \bullet indicates sparse planting ($75 \times 16\text{cm}$), dense planting ($75 \times 13\text{cm}$), respectively.

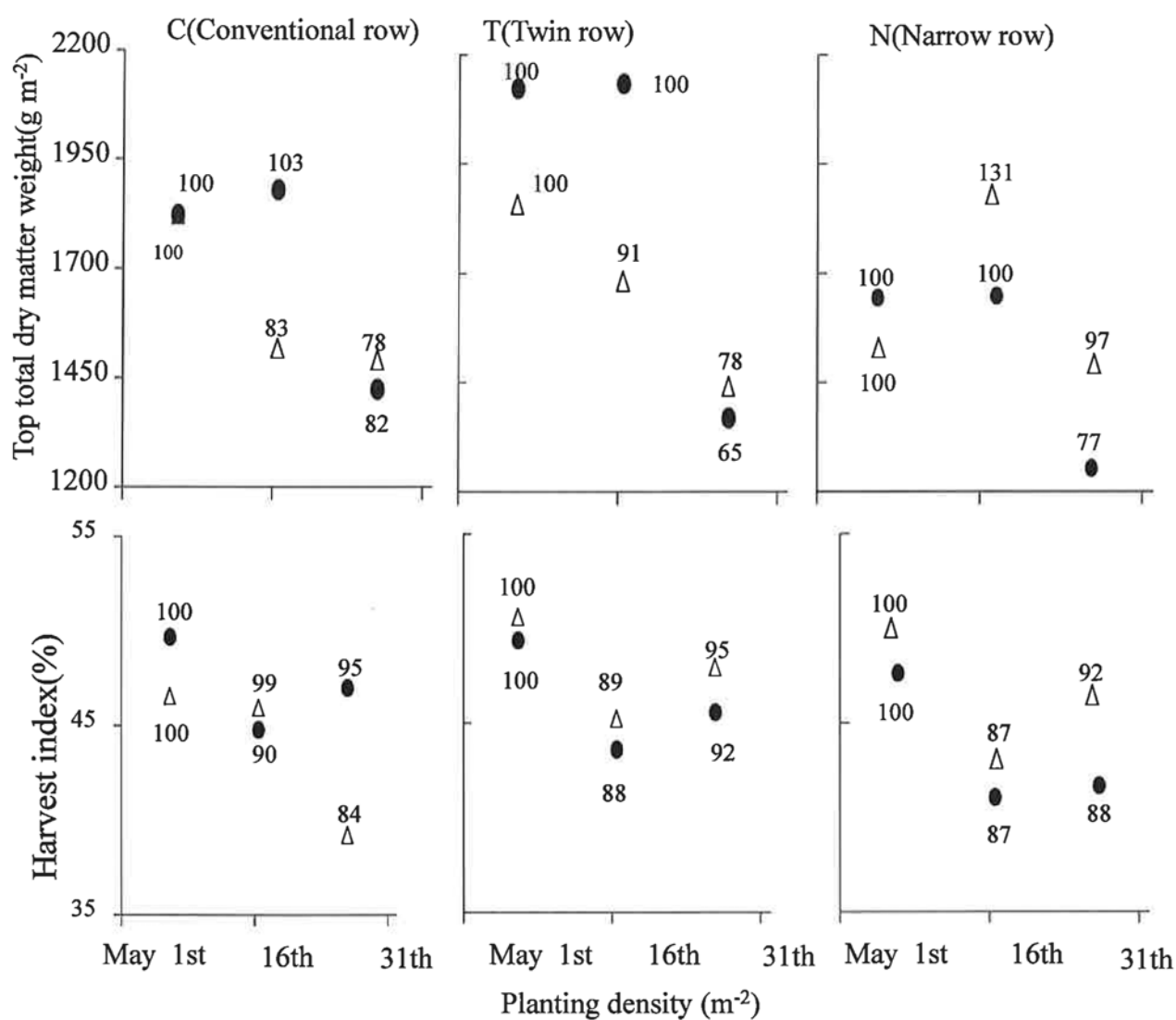


Fig. VI-2 Top total dry matter weight and Harvest index(Exp.3, P8025, 2015).
 △, ● indicates sparse planting (75 × 16cm), dense planting (75 × 13cm), respectively.

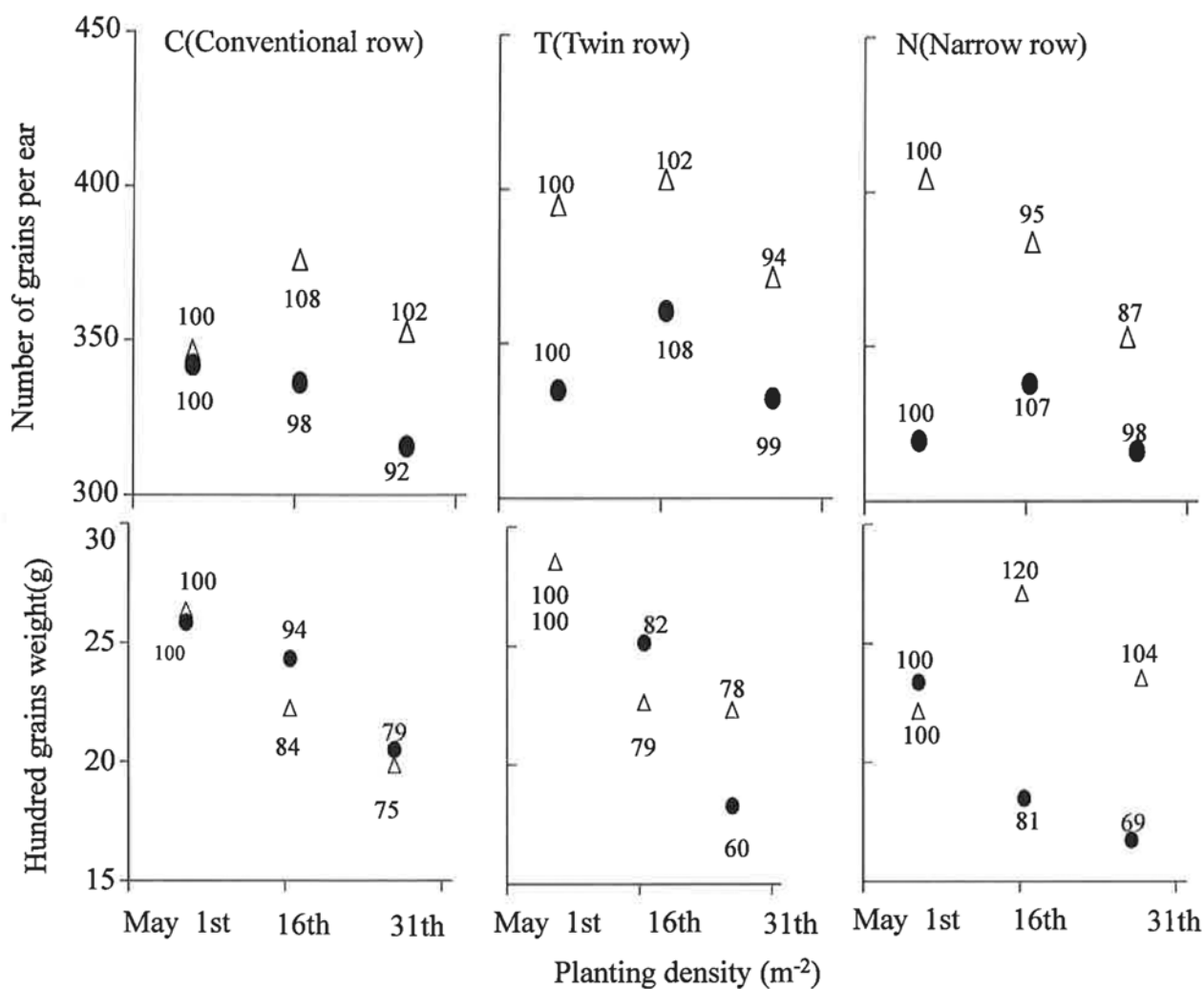


Fig. VI-3 Number of grains per ear and Hundred grains weight(Exp.3, P8025, 2015).

△, ● indicates sparse planting (75 × 16cm), dense planting (75 × 13cm), respectively.

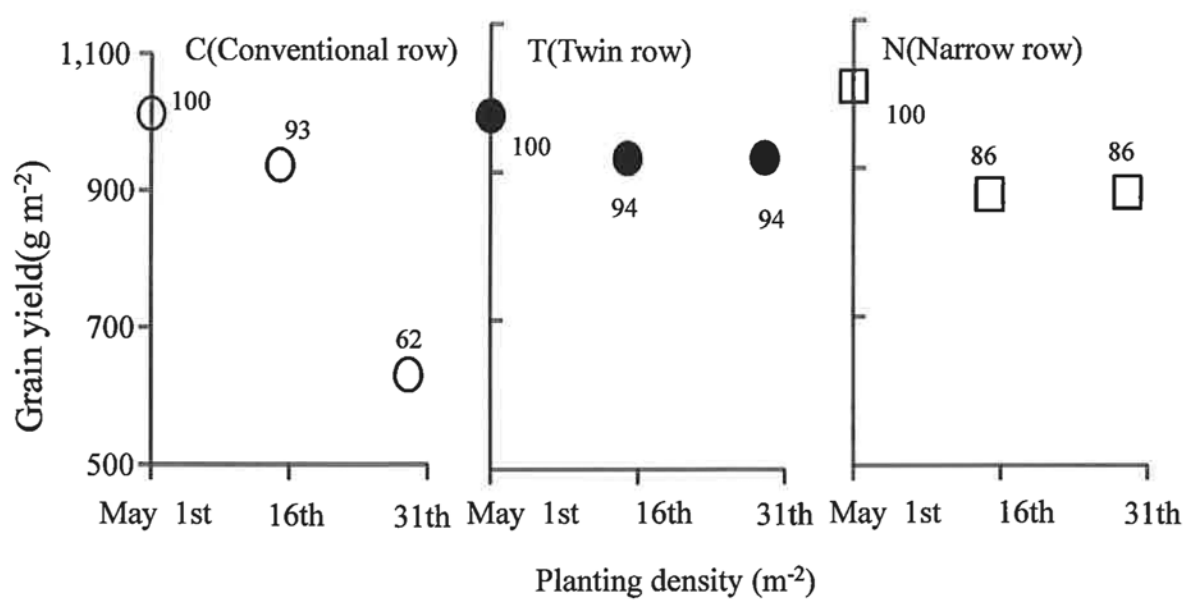


Fig. VI-4 Grain yield (Exp.4, P8025, 2016).

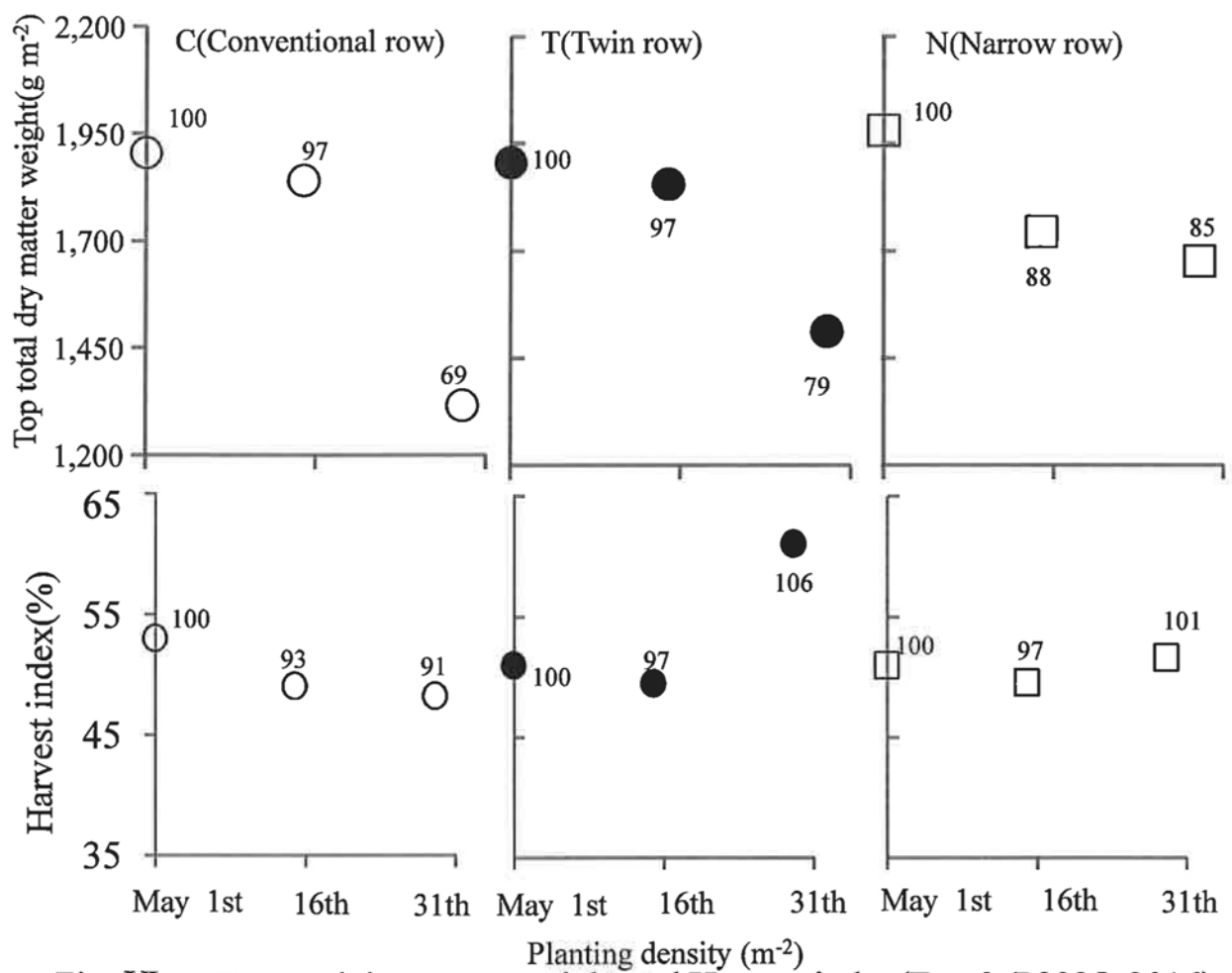


Fig. VI-5 Top total dry matter weight and Harvest index(Exp.3, P8025, 2016).

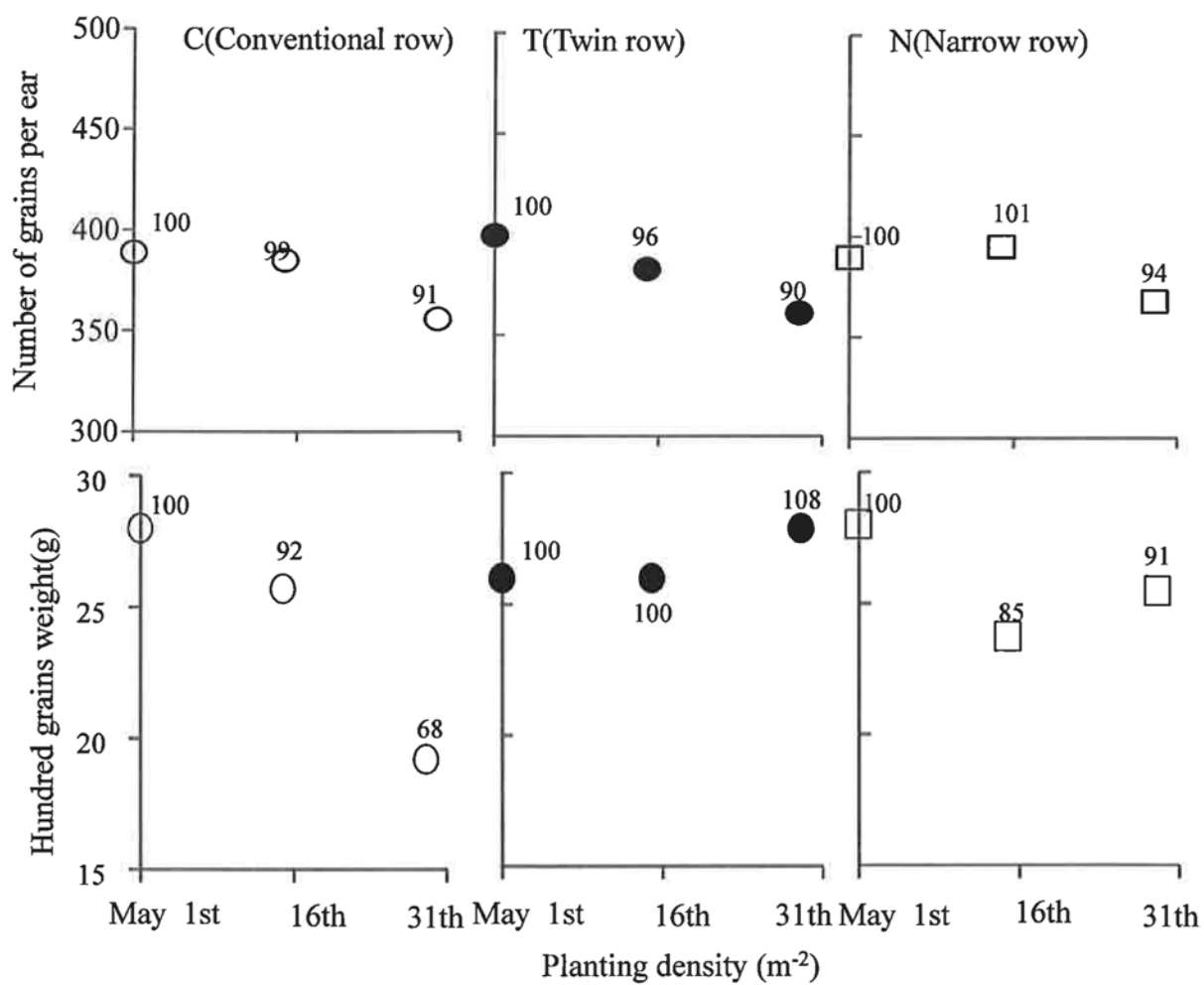


Fig. VI-6 Number of grains per ear and Hundred grains weight(Exp.3, P8025, 2016).

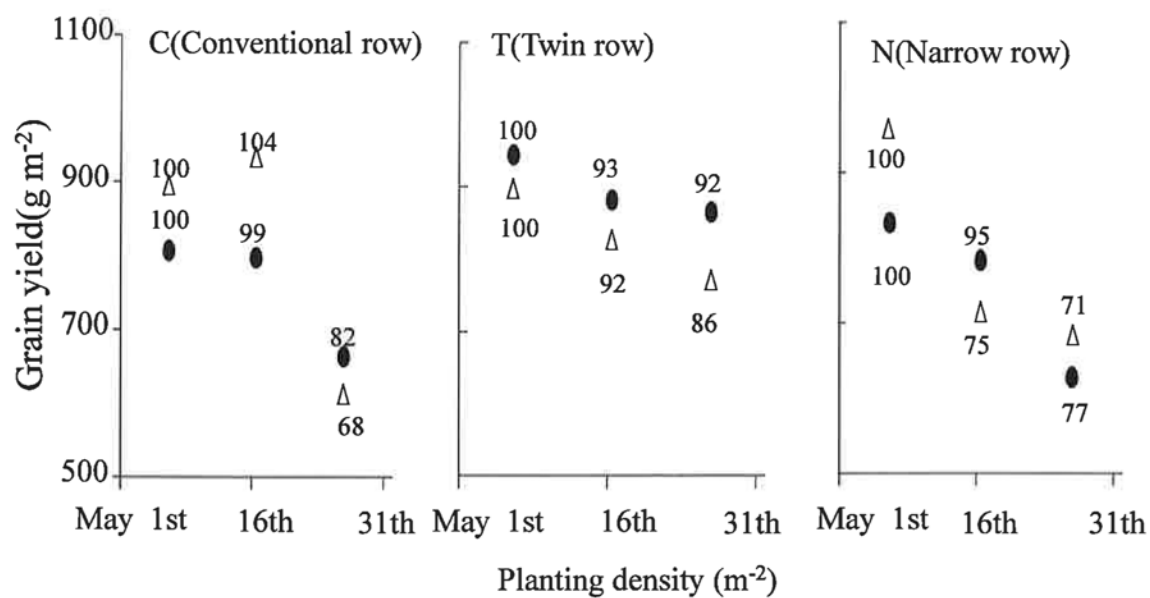


Fig. VI-7 Grain yield(Exp.4, P9027, 2015).

△, ● indicates sparse planting (75 × 16cm), dense planting (75 × 13cm), respectively.

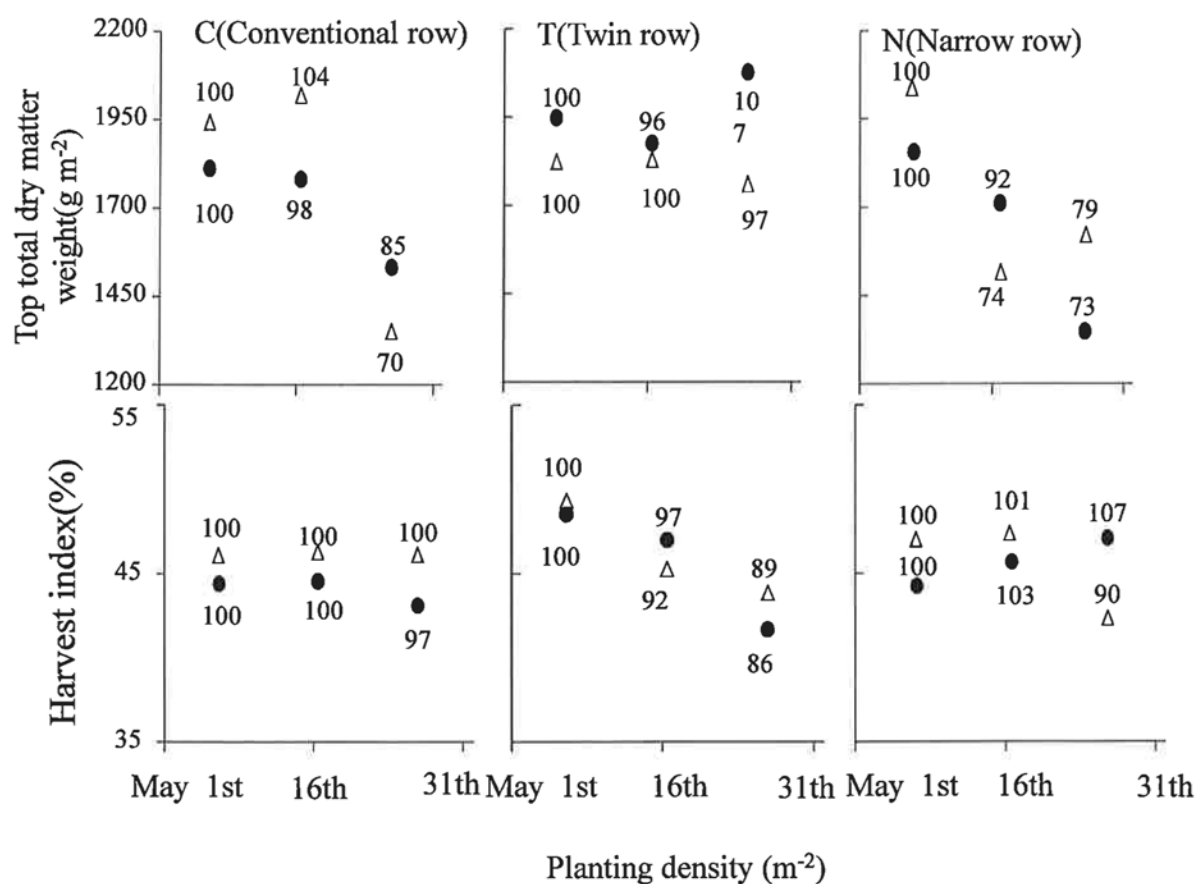


Fig. VI-8 Top total dry matter weight and Harvest index(Exp.3, P9027, 2015).
 Δ, ● indicates sparse planting (75 × 16cm), dense planting (75 × 13cm), respectively.

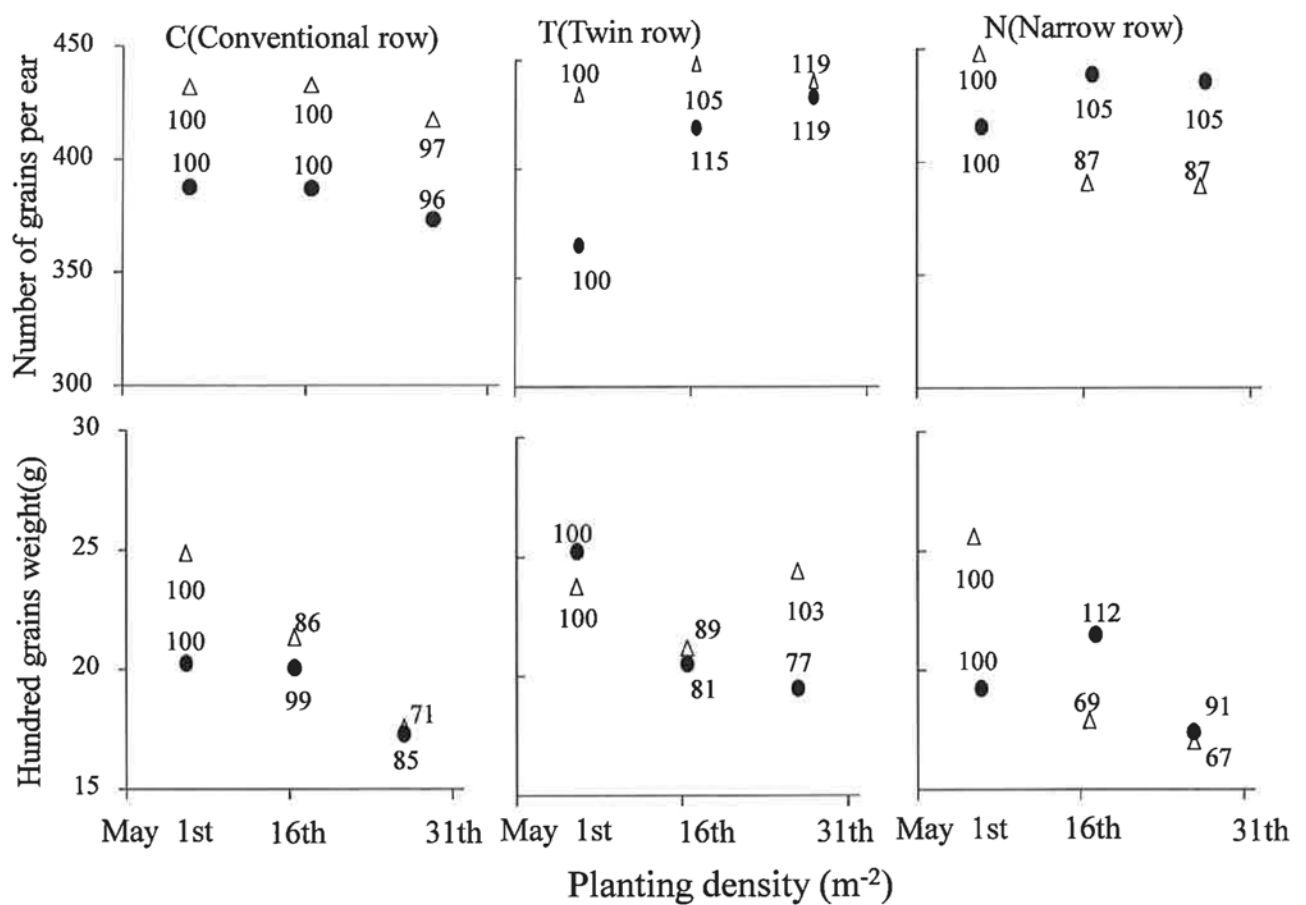


Fig. VI-9 Number of grains per ear and Hundred grains weight
(Exp.3, P9027, 2015).

△, ● indicates sparse planting (75×16cm), dense planting (75×13cm), respectively.

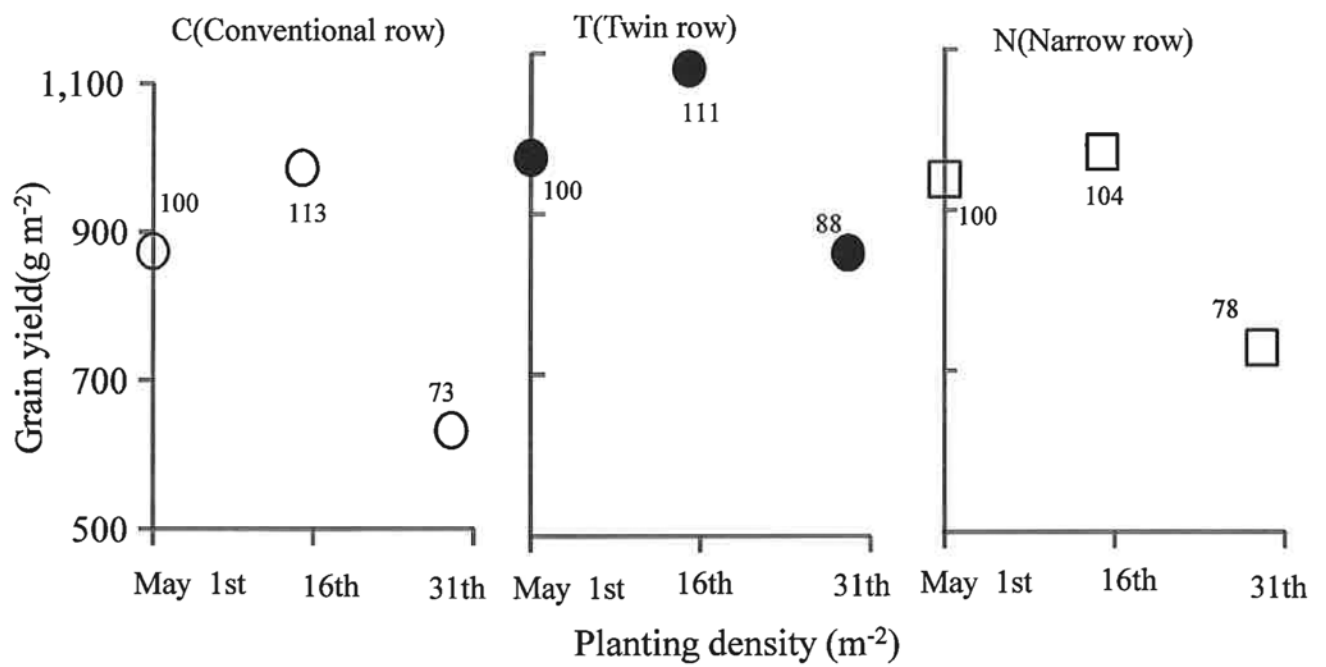


Fig. VI-10 Grain yield(Exp.4, P9027, 2016).

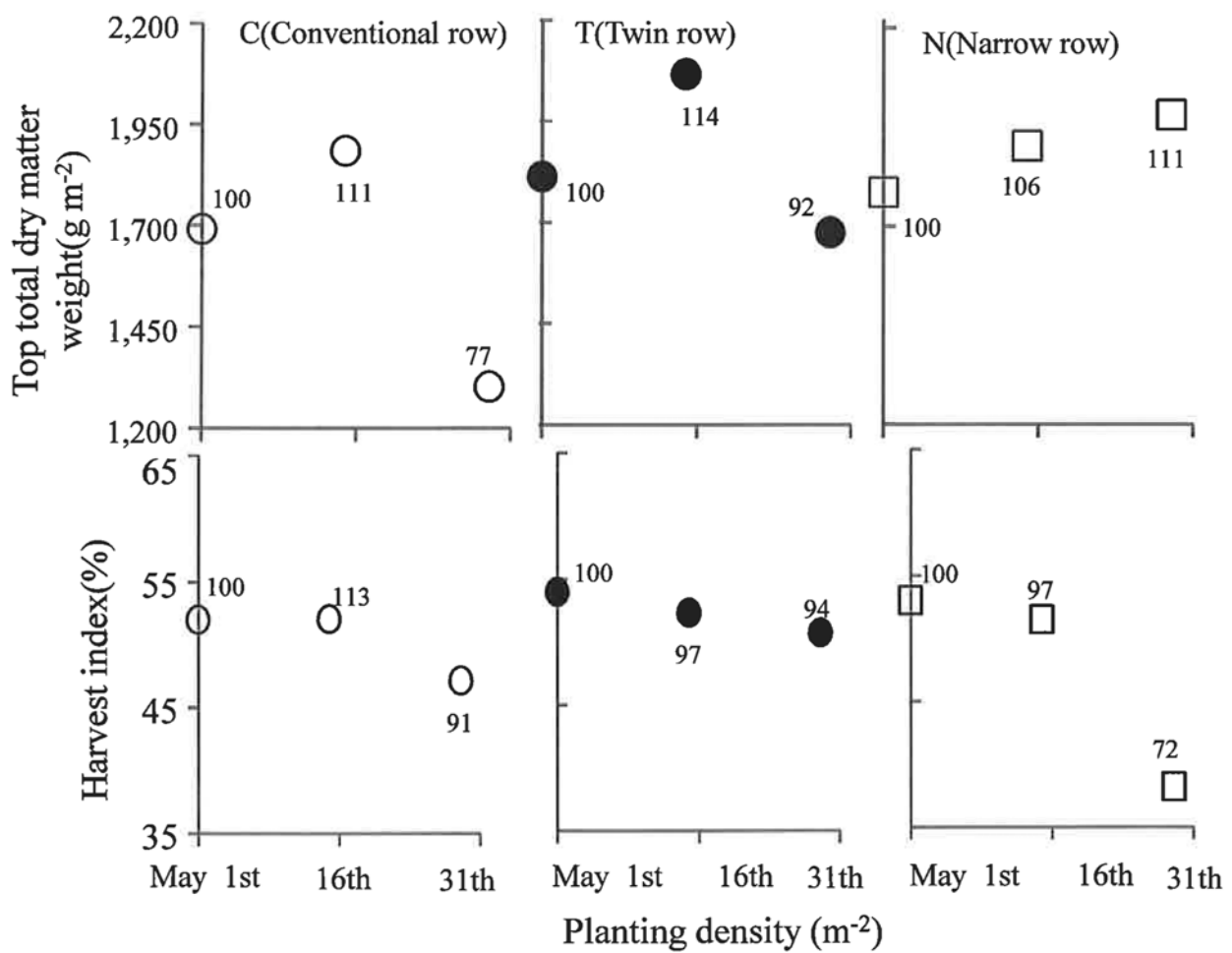


Fig. VI-11 Top total dry matter weight and Harvest index
(Exp.3, P9027, 2016).

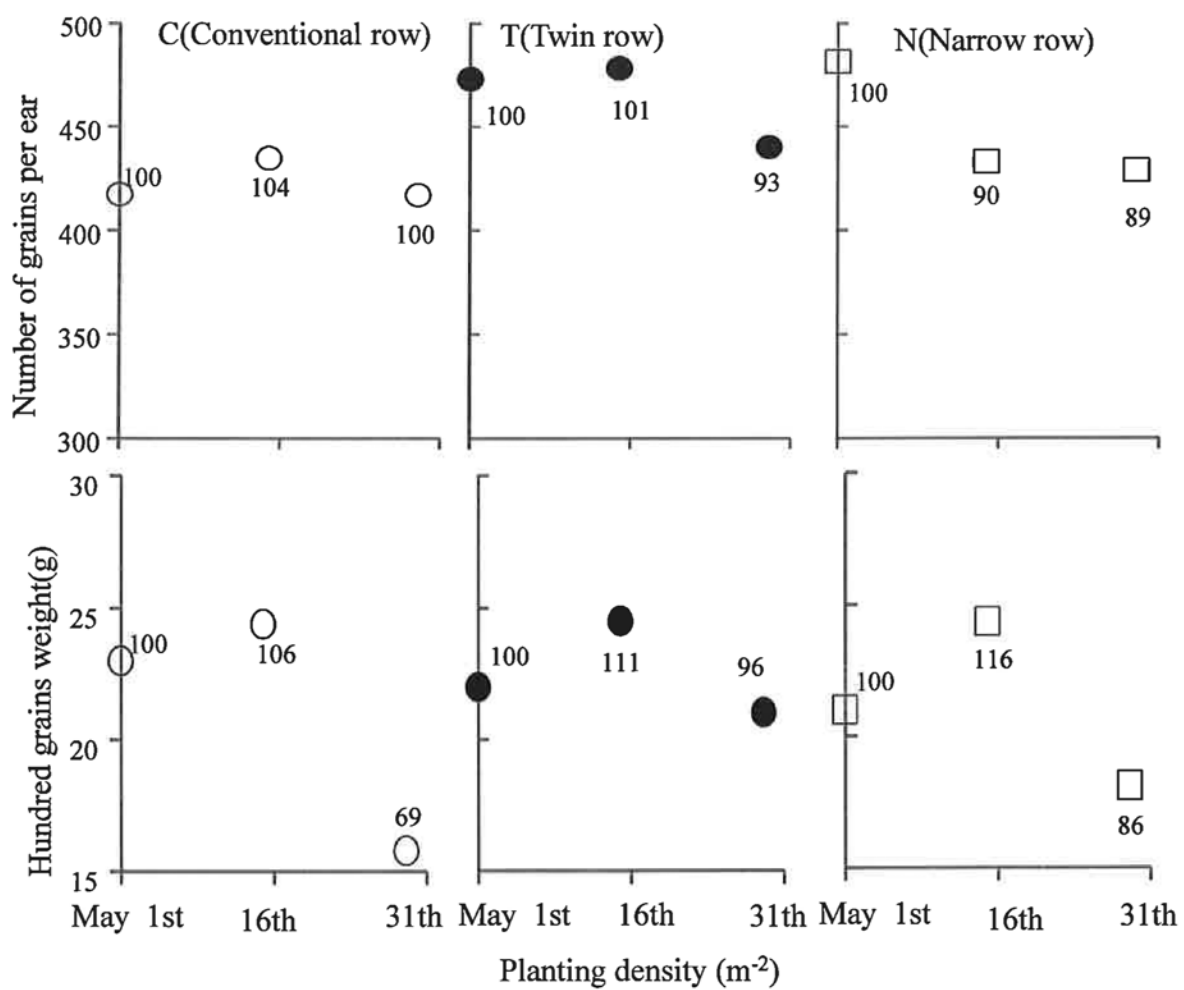


Fig. VI-12 Number of grains per ear and Hundred grains weight (Exp.3, P9027, 2016).

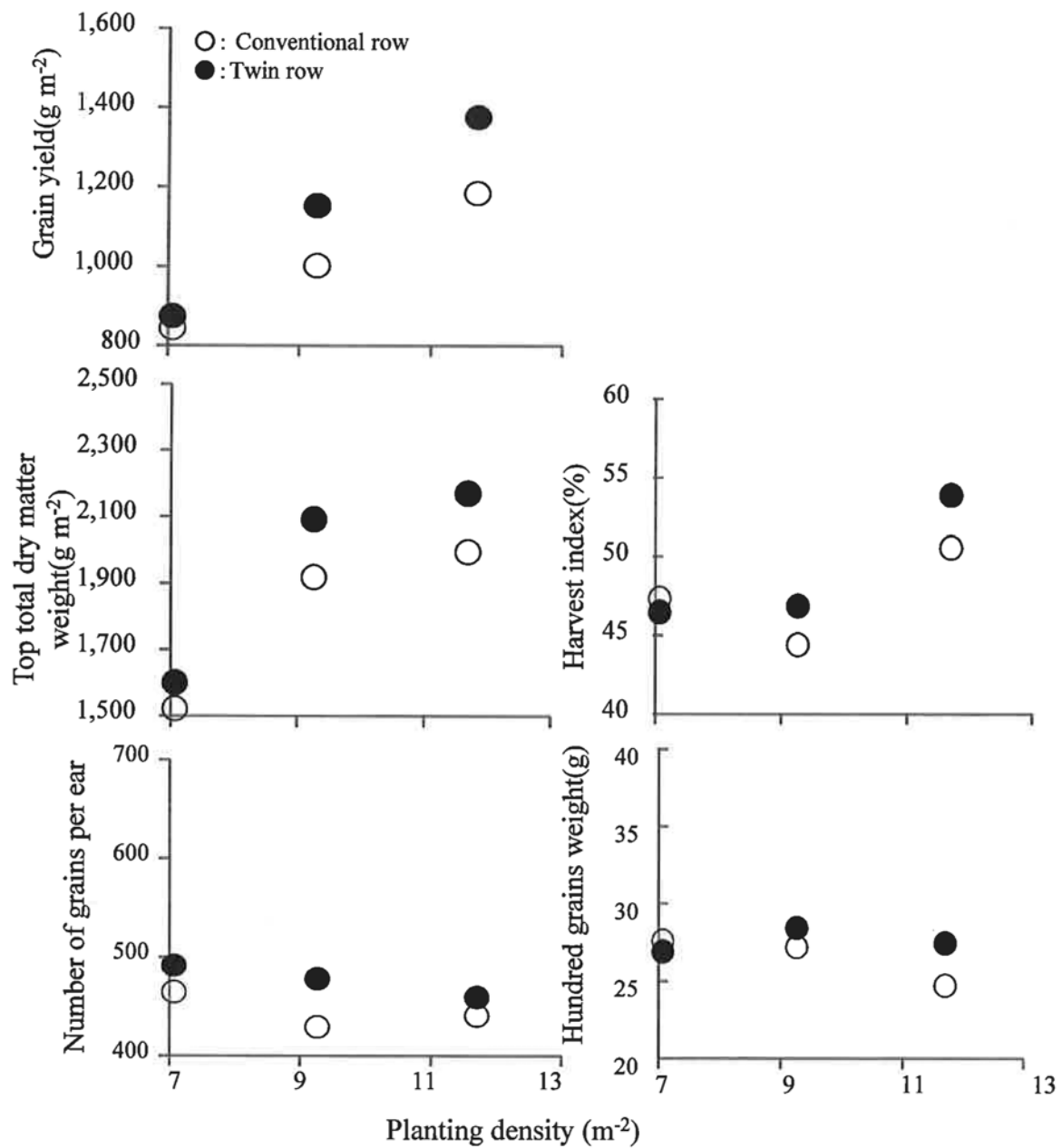


Fig.VII-1 Grain yield and related traits(Exp.5, P8025, 2014).

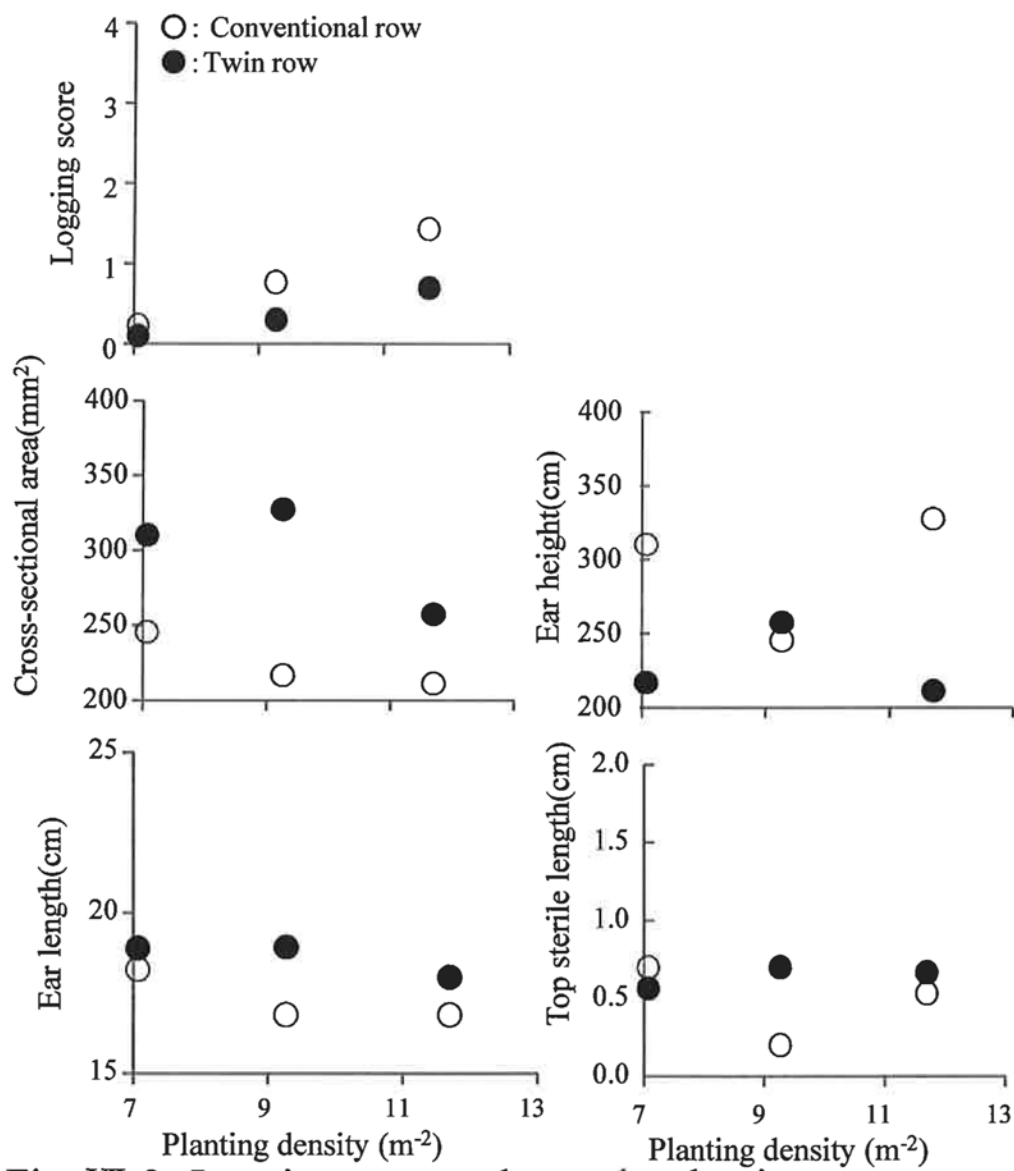


Fig. VII-2 Logging score and ear related traits
(Exp.5, P8025, 2014).

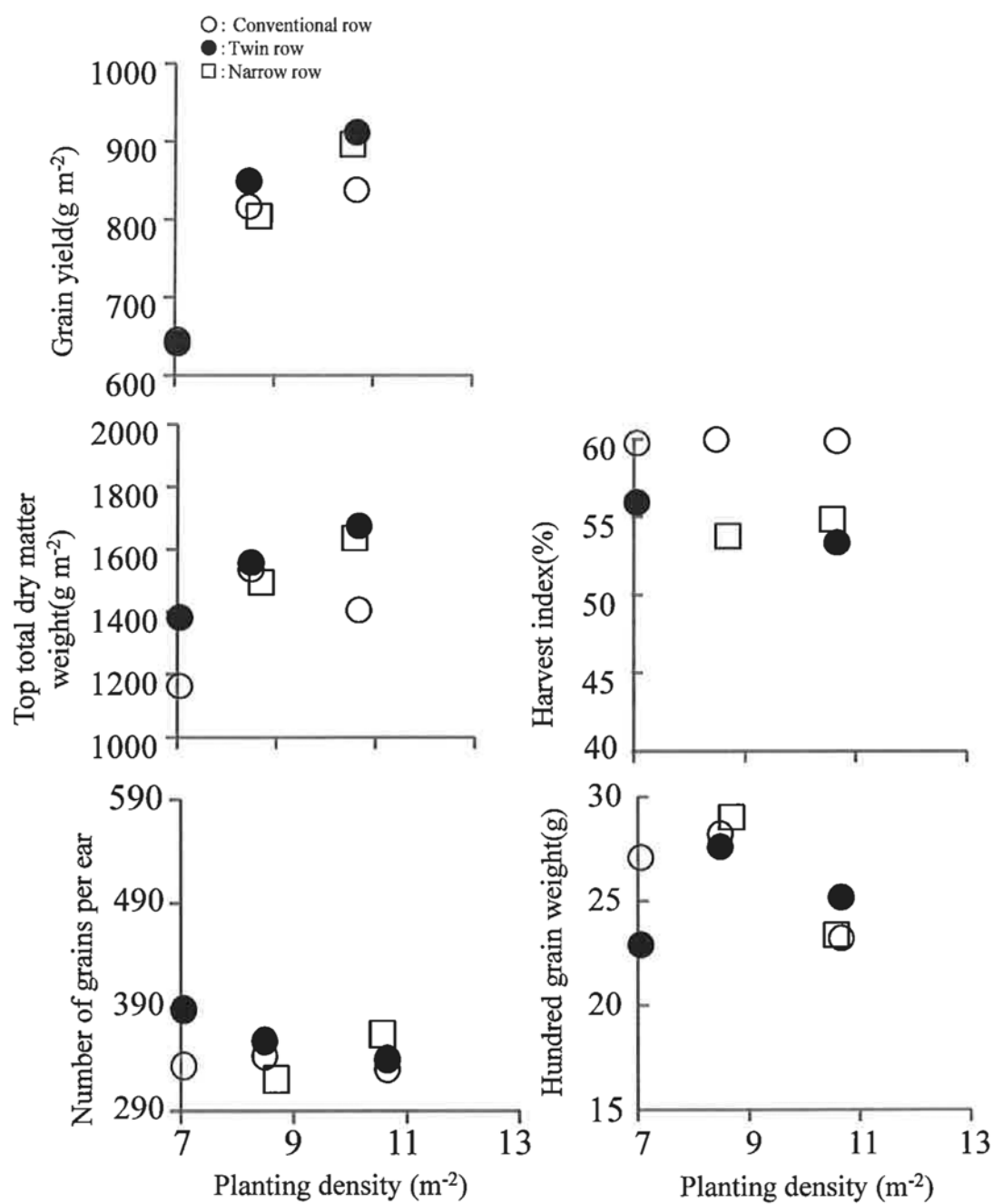


Fig. VII-3 Grain yield and related traits
 (Exp.5, P8025, 2015).

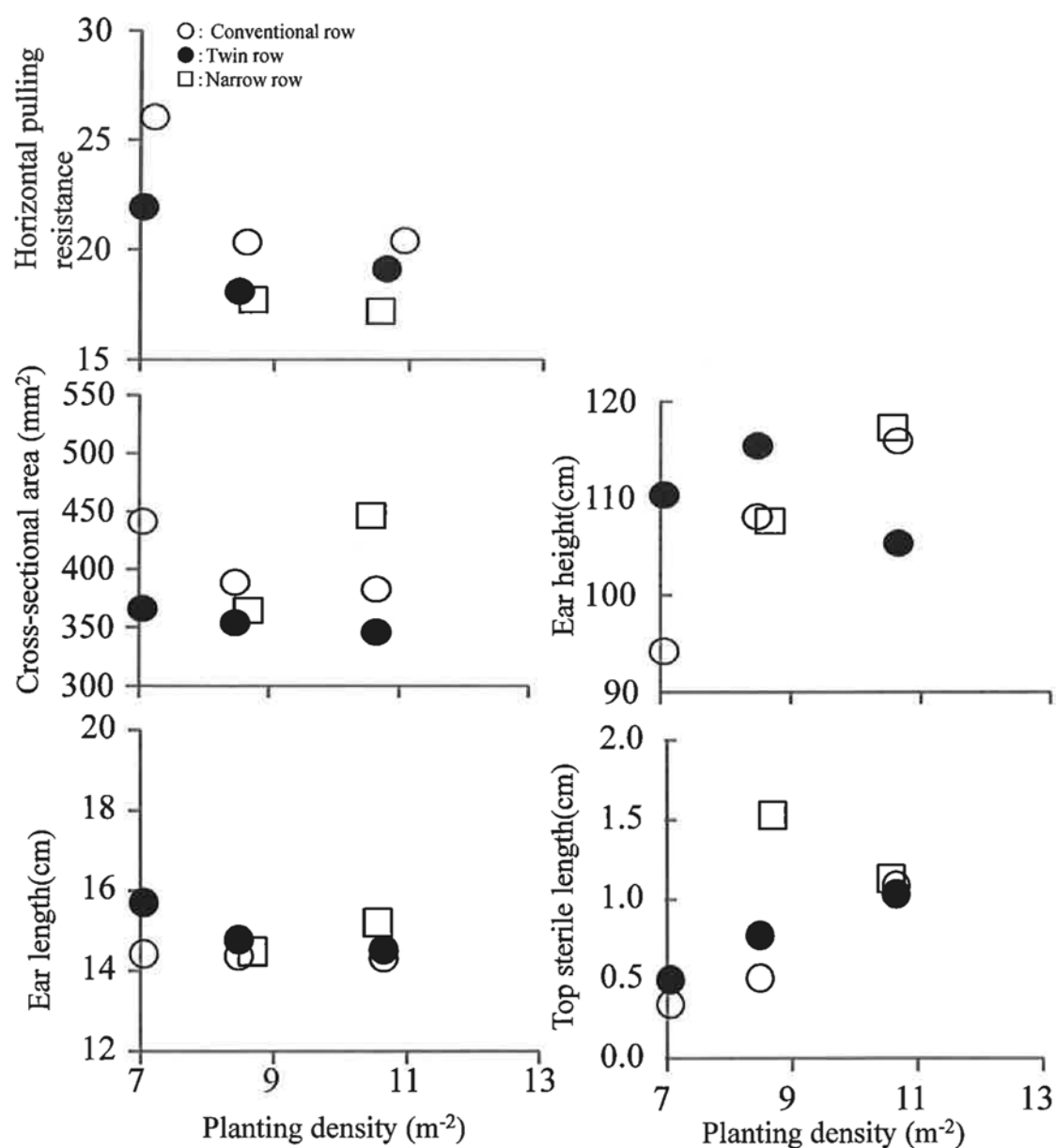


Fig. VII-4 Horizontal pulling resistance and ear related traits (Exp.5, P8025, 2015).

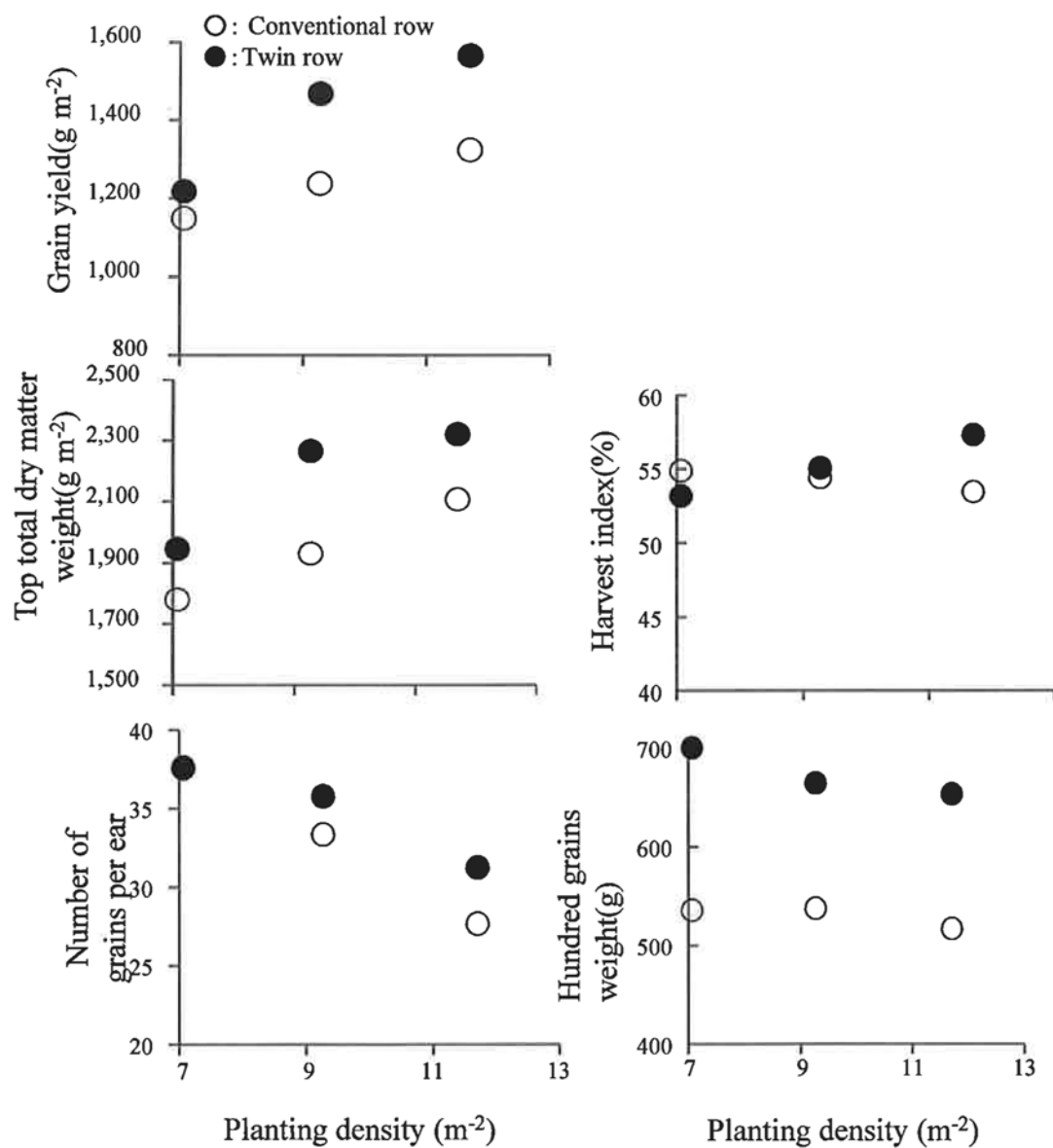


Fig. III-5 Grain yield and related traits
(Exp.5, P9838, 2014).

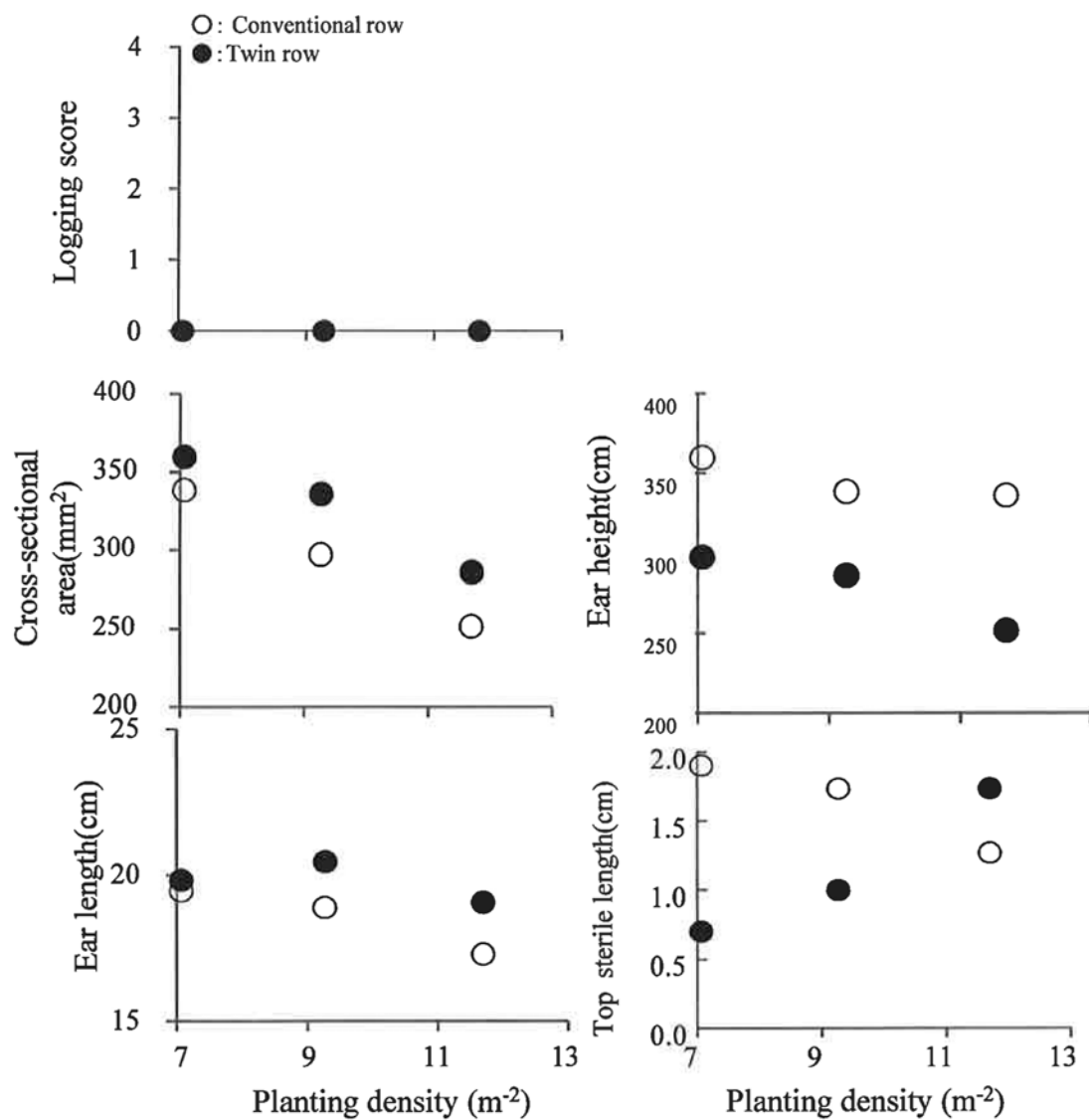


Fig. III-6 Logging score and ear related traits
(Exp.5, P9838, 2014).

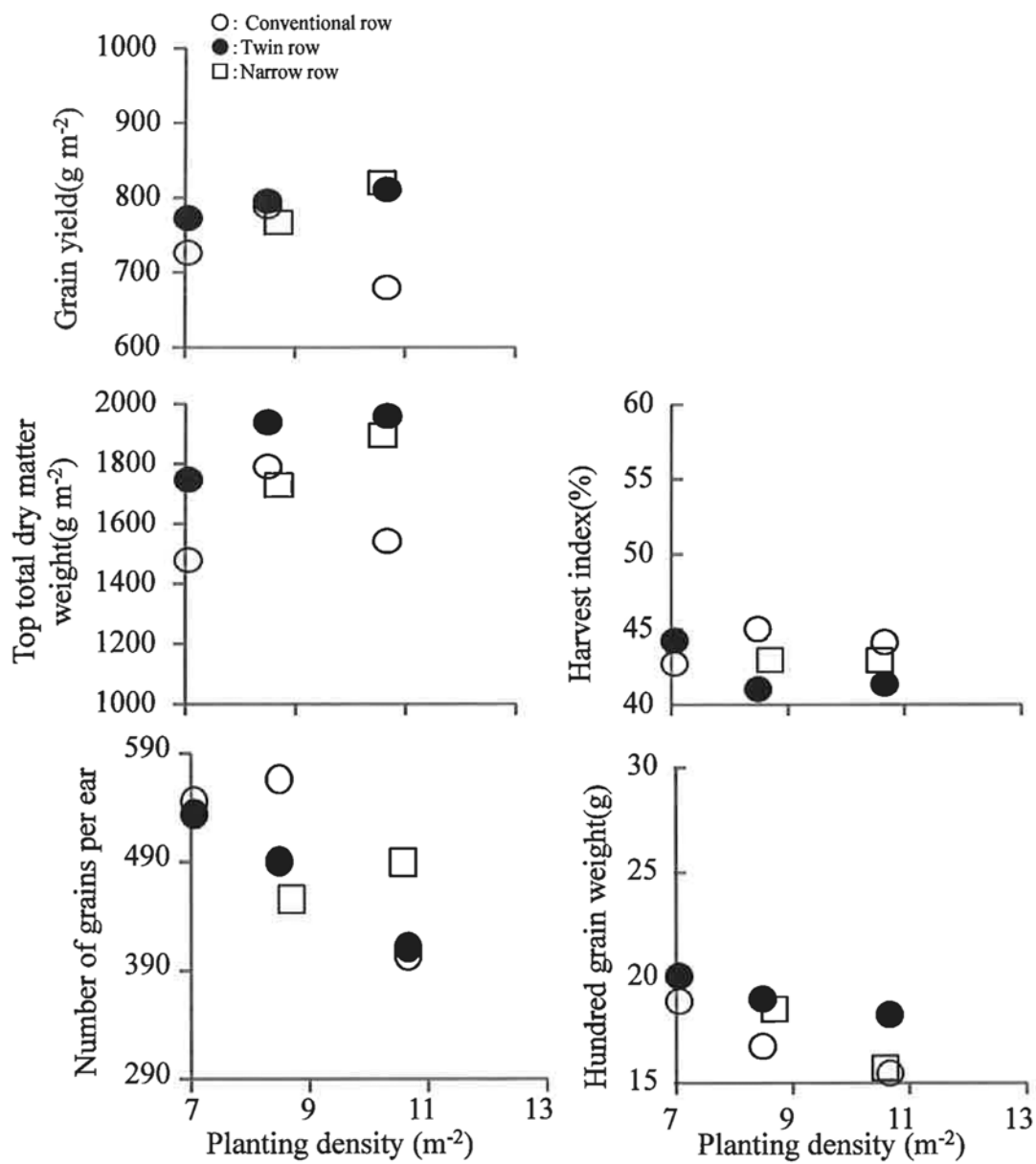


Fig. VII-7 Grain yield and related traits
(Exp.5, P0023, 2015).

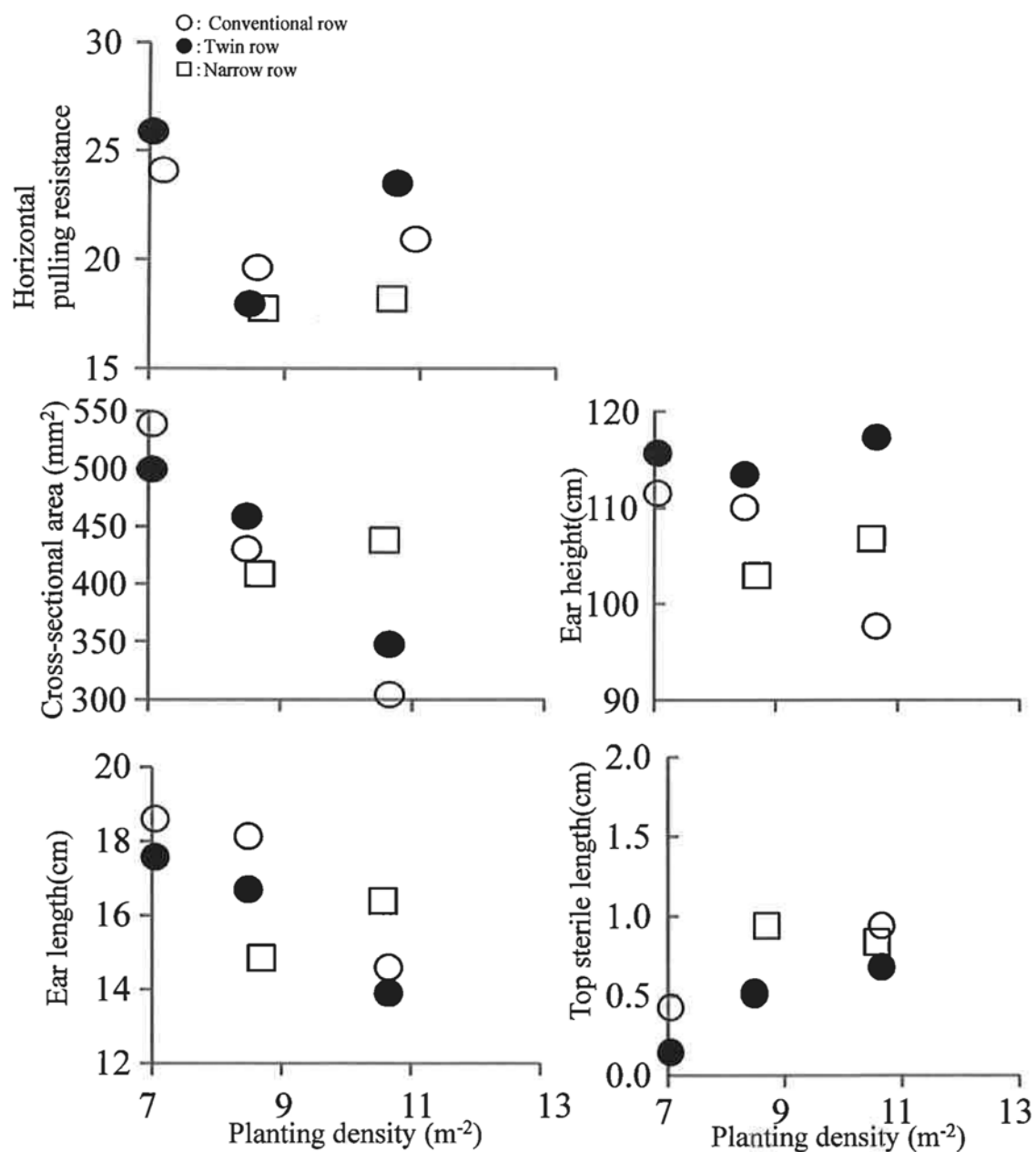


Fig. VII-8 Horizontal pulling resistance and ear related traits
(Exp.5, P0023, 2015).

