

水稻乾田直播栽培の播種密度に関する研究

伊藤 敏一* 山口 俊二*

Studies on the spacing density of rice plants.

Toshikazu Ito and Shunzi Yamaguchi

I 結 言

移植栽培の播種密度に関する試験は、かなり多くの研究者によって行なわれており、¹⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 直播栽培の場合も最近各地で検討されているが、密度の範囲が狭く、密度と生育、収量との関係は必ずしも明らかでない。²⁾⁶⁾⁹⁾¹²⁾

そこで筆者らは1964年に鈴鹿市江島町の旧三重県農業試験場において、低密度から高密度まで、密度範囲を広くとって試験を行なったところ、播種密度の生育収量に及ぼす影響についてかなり判然とした関係を見出し得た。本県直栽栽培面積はその後減少の一途をたどったが、近年再び、直播栽培についての検討がされるようになり、とくに発芽の安定から散播直播のような高密度の直播が研究され始めた。本報告はこのように高密度の直播に対しても、播種密度決定上の参考資料になるものと考え報告する次第である。

なお、本研究を取りまとめるに当たって終始御指導いただいた当センター所長、森下克明氏ほか、編集委員の方々に深謝する。

II 試験材料および方法

1964年、旧農試本場の沖積砂壤土のは場で、水稻品種秋晴を供試して、5月22日に乾田状態で播種を行なった。播種密度は第一表のとおりで、条間、株間とも10cmから40cmの範囲で組合せ、 m^2 当り100株から6.2株までの範囲で17区を設けた。1点10粒播し、入水期に間引をして3本立とし、試験区は1区10条で任意配列の3反覆とした。施肥は、播種時施用の基肥を施さず、6月19日の入水時に第1回の施肥を行ない、追肥は中間追肥(7月8日)と減数分裂期追肥(8月21日)の2回とし、入水時および各追肥とも窒素、磷酸、加里各4.8kg/10aを施用した。

調査は生育期間中所定の日に草丈、茎数、乾物重について、また、成熟期に収量および収量構成要素について行った。

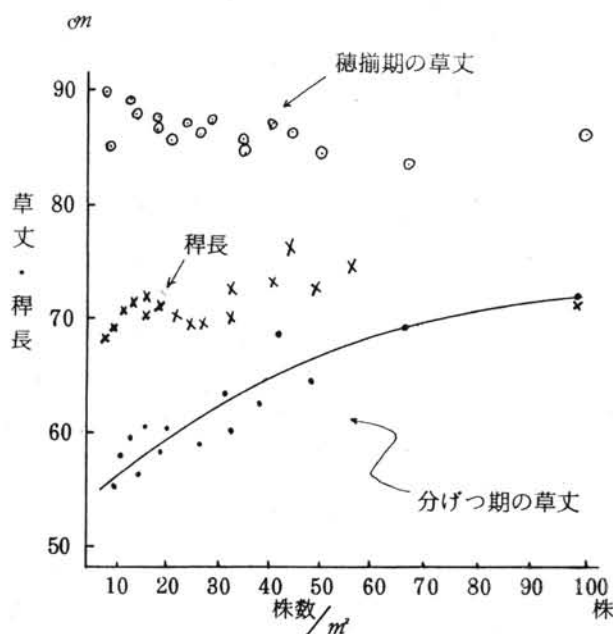
III 試験結果

1. 草丈と株密度

分けつ後期(7月30日、播種後70日)の草丈は第1図のように株密度が疎から密になるにしたがって漸次

第1表 試験区

No.	栽植様式	密度 株/ m^2	No.	栽植様式	密度 株/ m^2
1	$10^{cm} \times 10^{cm}$	100.0	10	$25^{cm} \times 25^{cm}$	16.0
2	15×10	66.6	11	30×10	33.3
3	15×15	44.4	12	30×15	22.2
4	20×10	50.0	13	30×20	16.6
5	20×15	33.3	14	30×25	13.3
6	20×20	25.0	15	30×30	11.1
7	25×10	40.0	16	40×30	8.3
8	25×15	26.6	17	40×40	6.2
9	25×20	20.0			



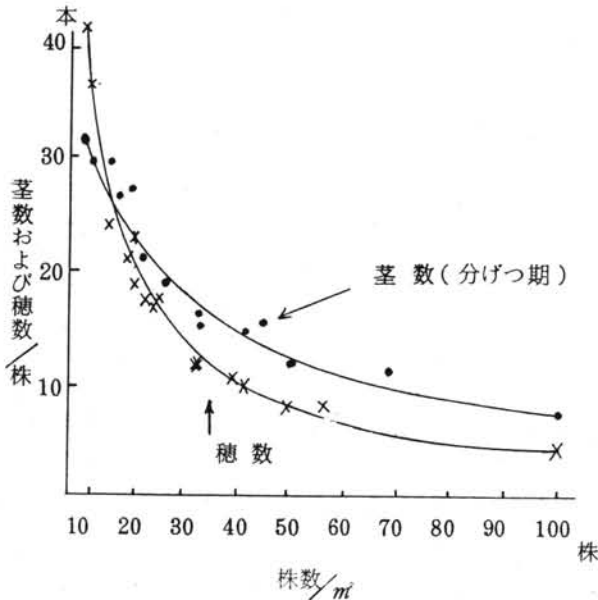
第1図 分けつ期及び穂揃期における草丈、稈長と株密度

長くなった。穂揃期の草丈は密度による差がなく、稈長も密度による差はなかった。

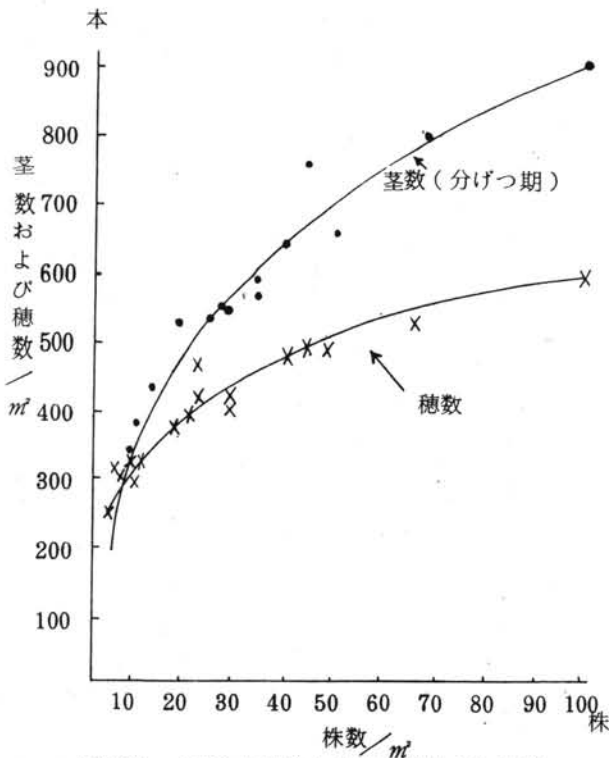
* 作物部

2. 茎数と株密度

分けつ後期の1株茎数は第2図に示すように株密度の増大にともなって漸近線的に減少した。その密度増による減少割合は m^2 当たり40~50株までは大きい、それ以上の密度では少なかった。 m^2 当たり茎数は第3図のように1株茎数と逆に株密度が増すにしたがって増加したが密度増による茎数の増加率は高密度になるにしたがって漸減した。

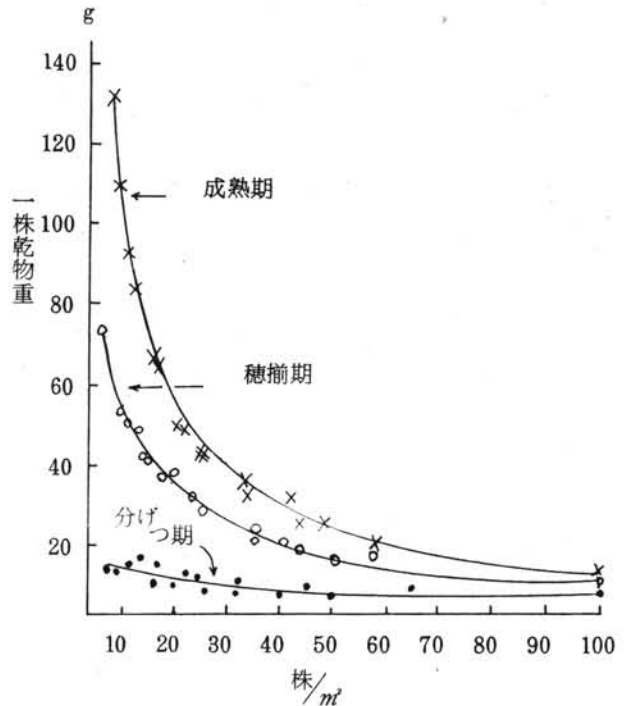


第2図 1株茎数および穂数と株密度

第3図 m^2 当たり茎数および穂数と株密度

3. 乾物重と株密度

1株乾物重は生育初期には株密度による差が認められなかった。分けつ後期の1株乾物重は第4図のように株密度の密になるにともない低下する傾向が認められたが未だ株間競争が少ないのでその差は少なかった。その後発育が進むと高密度で株間競争が強く現われ、漸近線の傾向が強まっていた。成熟期の1株乾物重と株密度との間には $y = 68.2x^{-0.854}$ が得られた。ここに y は1株乾物重(g)、 x は m^2 当たり株数である。



第4図 1株乾物重と株密度

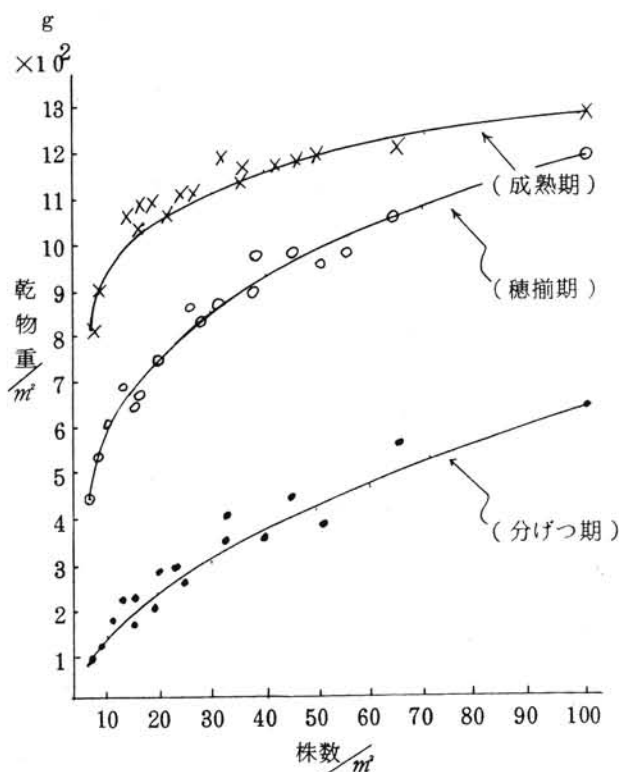
m^2 当たり乾物重と株密度との関係は、生育初期には、株間競争がきわめて微弱で、1株乾物重の株密度増による影響が小さいので、株密度が増大するにつれて直線的に増大した。分けつ後期ではほぼ直線関係を示し、高密度ほど乾物重は大きくなった。(第5図)生育が進むほど密植化による乾物増加度は小さく、漸近線な関係に変化していった。

4. 収量構成要素および収量と株密度

1) 穂数と株密度

1株穂数と株密度の関係は第2図のように漸近線的な関係を示し、 m^2 当たり株数(x)と1株穂数(y)には $y = 16.0x^{-0.711}$ の関係を認めた。

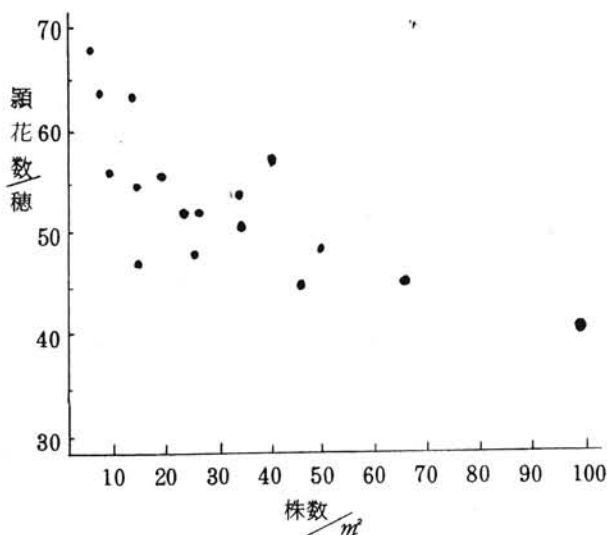
m^2 当たり穂数と株密度の関係は第3図のように、 m^2 当たり茎数の場合と同様に漸近線的な関係を示した。すなわち、株密度疎の場合には m^2 当たり穂数の増加割合は高く密の場合には増加度が低くなった。その結果、

第5図 m^2 当たり乾物重と株密度

$y = 15.596 x^{0.299}$ を得た。ここに y は m^2 当たり穂数、 x は m^2 当たり株数である。

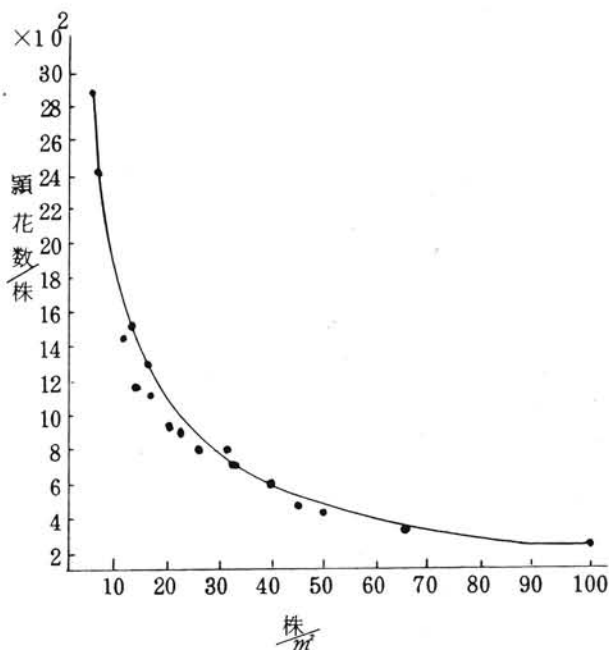
2) 穎花数と株密度

平均1穂穎花数と株密度の関係は第6図のように下に凸な漸近線的な関係を示した。すなわち密度が疎の場合に多く、密になるにしたがって少なくなり、密度80株以上では減少しなかった。また茎数および穂数のような

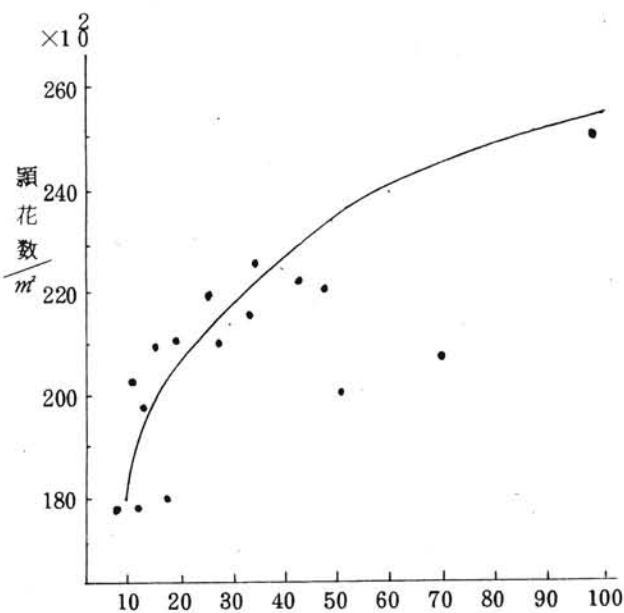


第6図 1穂穎花数と株密度

整然とした関係はみられなかった。しかし1株穎花数と株密度とは第7図のような「べき指数関係」にあり、関係式 $y = 12.977 x^{-0.849}$ を得た。ここでは y は1株穎花数、 x は m^2 当たり株数である。



第7図 1株穎花数と株密度

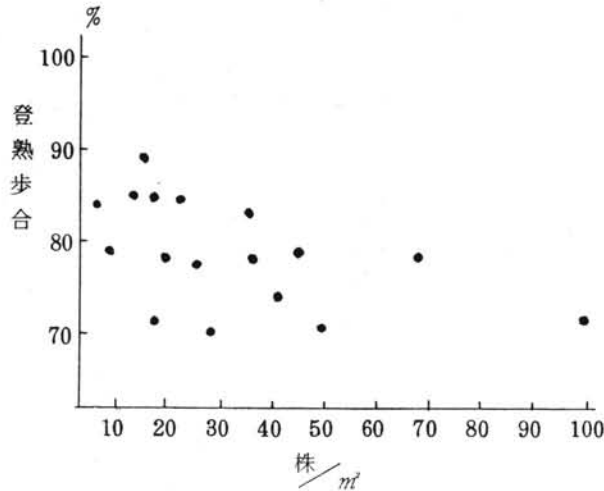
第8図 m^2 当たり穎花数と株密度

(注) 実線は株密度(x)と一株穎花数(y)の実験式 $y = 12.977 x^{-0.849}$ から得た一株穎花数に各密度を乗じて得た m^2 当たり穎花数と株密度の関係である。

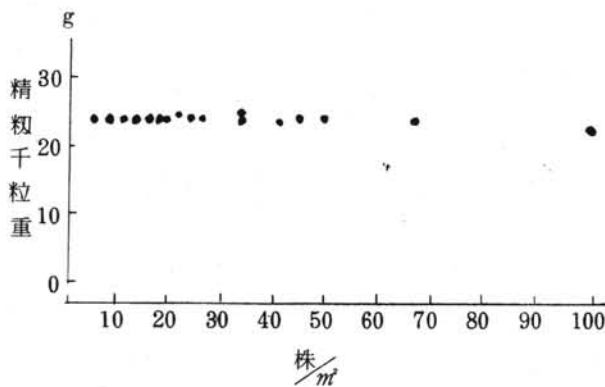
m^2 当たり穎花数と株密度との関係は、第8図のようにやはり、 m^2 当たり茎数や m^2 当たり穂数のように、全体としては上に凸な漸近線関係がみられたが、茎数や、穂数のような整然とした関係はみられず、密度の高い所でとくに乱れを示した。これは高密度ではわずかな1株穎花数の相違が大きく拡大されるため、調査株選定の影響が大きいと思われる。

3) 登熟歩合および精粗千粒重と株密度

登熟歩合に対する株密度の関係は明らかでなく(第9図)、精粗千粒重に対しては全く関係が認められなかった。(第10図)



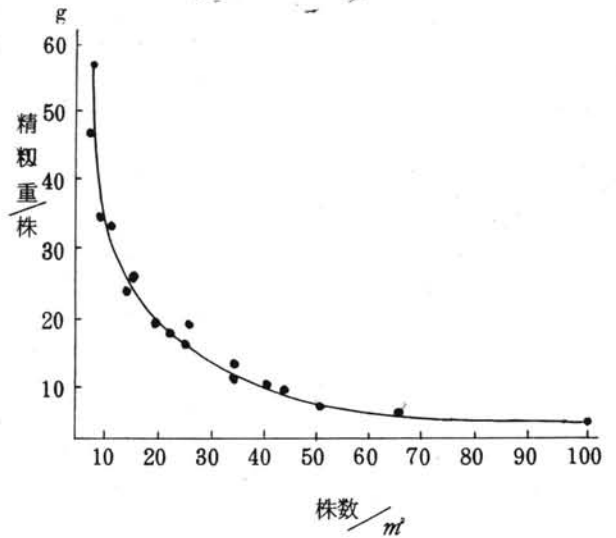
第9図 登熟歩合と株密度



第10図 精粗千粒重と株密度

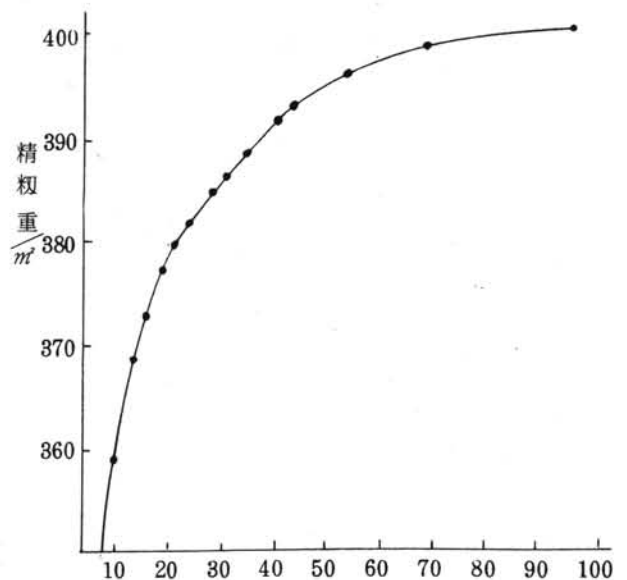
4) 精粗重と株密度

1株精粗重と株密度の間にはかなり整然とした関係がみられ、1株穂数や1穂穎花数と株密度との関係と同様の曲線を示し、 $y = 337.2x^{0.948}$ にあてはまることを認めた。(第11図)



第11図 1株精粗重と株密度

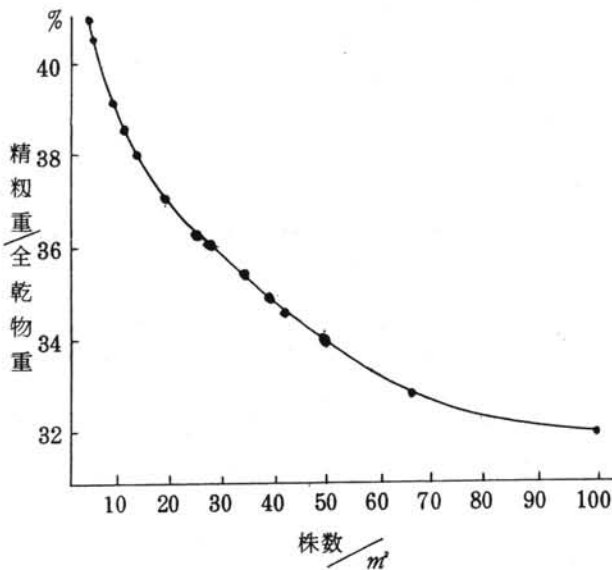
しかし、1株穎花数と株密度から算出したところの m^2 当たり精粗重と株密度との関係はかなり乱れた。これは m^2 当たり穎花数の場合と同様に高密度においては1株精粗重のわずかな相違が拡大されるためである。そこで、 $y = 337.2x^{0.948}$ の曲線で求められる1株精粗重から m^2 当たり精粗重と株密度の関係を求めると第12図のようになる。 m^2 当たり精粗重も著しく増大するがそれ以上では緩慢になり80株以上ではほとんど一定になる。



第12図 m^2 精粗重と株密度

(注) 第11図の1株精粗重の関係曲線よりの算出値

1 株精粒重および 1 株全乾物重をそれぞれ密度との関係式から求めた値で比を求め、これを図示したのが第 13 図で、株密度疎の場合には全乾物重に対する精粒重の割合が大きく、密植になるにしたがい小さく、下に凸な漸近線的な下降曲線を示した。



第 13 図 精粒重 全乾物重と株密度

(注) 精粒重、乾物重ともにそれぞれ密度との関係曲線で平滑した値で計算

IV 考 察

一般に作物は栽植密度が増大するにしたがって、個体の生育量が減少する。しかし、生育初期には栽植密度の疎密による個体の生育量のちがいは少ないので、密度が高いほど面積当たり生育量が増大する。しかし生育が進むと、密植ほど個体間の競合が大きくなり、個体の生育が抑えられる。そのため面積当たり生育量は密度が増大しても、増加しなくなる。これが植物生態学でいわれる「最終収量一定の法則」である。

吉良ら¹⁴⁾は植物の生長におよぼす個体密度の影響を植物生態学的に研究し、密度と生育量との間に $w p^a = K$ という「べき乗法則」が成立することをみている。ここで w は群落を構成する植物個体の平均の重さ、 p は栽植密度 (m^2 当たり個体数)、 a と k は生育時期できまる定数である。これを「競争-密度効果の法則」と名づけている。

吉良らはさらに研究をすすめ、 $\frac{1}{w} = A p + B$ という直角双曲線式で表わされる式を導き出した。ここで w は平均個体重、 p は栽植密度で A と B は生育各期できまる定数である。この式を「競争-密度効果に関する逆数法則」といっている。この式では生育の末期には B がほとんど

0 に等しくなり、 $w p = \frac{1}{A}$ 一定となり、面積当りの全植物体の重量 ($w p$) は一定となる。この式を「最終収量一定の法則」と名づけている。

以下この「べき乗法則」「最終収量一定の法則」があるてはまるかどうかについて、また移植栽培での既往の成績との一致について検討してみよう。

草丈はこの試験の密度の範囲では、分けつ期では疎から密になるにしたがい増大しており、分けつ期以後では株密度の影響はほとんどみられなく、稈長にも大きな差はみられなかった。(第 1 図) 神田らは移植栽培では分けつ初期の草丈の差はみられず、それ以後では、窒素無施用区は低密度では、密度の増大とともに高くなっているが m^2 当たり 50 株以上ではかえって草丈が低下することをみている。また窒素を標準量 B を 4 倍量施用した区では、草丈は密度の増大とともに次第に高くなることをみている。

神田らは密植すれば普通は個体間競合が大になり、生育が抑制されるのに、草丈はかなり特異であって、密植するとある時期には草丈が増大し、この現象を個体間の協同作用の一表現としている。この協同とはある種の作物では比較的生育の初期には、ある程度高密度で個体生育量の最大を示し、それより密度の低い時にかえって個体の生育が抑制されるような現象をいう。(直播の場合は移植栽培より協同作用が早く発見するものとみられる。)

この現象の発生する原因には次のようなことが考えられる。すなわち草丈伸長には、光と栄養条件が関係しており、受光量不十分な上に、培地養分の豊富な場合に伸長し、密播、密植条件の比較的生育初期にこのような環境を呈するためであろう。

神田らの試験でも窒素無施用区で高密度で草丈が低下しているのは、養分吸収量が少ないためと考えられる。

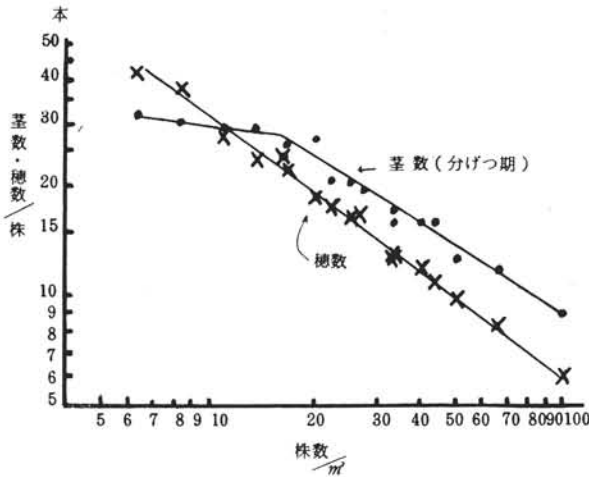
直播栽培で移植栽培より早く協同作用がみられるのは直播では密度による繁茂度の差が早く現れること。

また移植栽培では苗代で育てたものを植えるため、移植時は密度による差がなく、その後の生長によって発生するためと考えられる。

直播栽培で穂揃期以後草丈の差がなくなったのは、この時期の培地養分の減耗が移植栽培より大で、培地養分が少なくなったためと考えられる。

茎数では草丈と異なり、早くから競合現象がみられる。分けつ中期にはすでに密度増による 1 株茎数の減少がみられる。その関係を $\log - \log$ scale で表わすと、第 14 図のように密度 m^2 当たり 15 株附近で関係が変る。15 株以下の疎の場合にはまだ競合をきたすほどに生育をしていないため、密度増に対して比較的茎数低下が少な

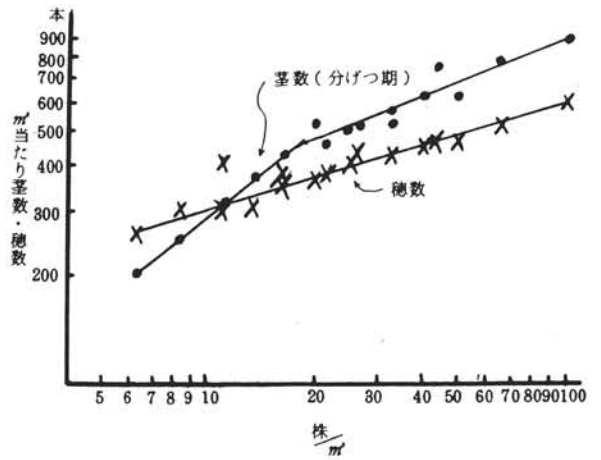
いものと考えられる。同図の穂数との比較でわかるとおり、約10株/ m^2 以下ではまだ最高分げつに達していないことが明らかである。約15株/ m^2 以上の密度では、漸次競合が大になり、1株茎数は直角双曲線的な称相を呈する。(第14図)



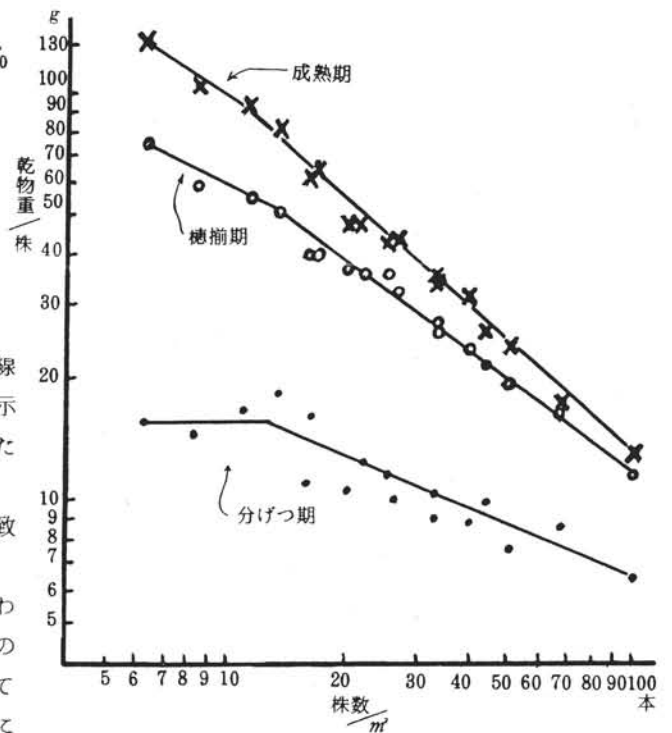
第14図 1株茎数(分げつ期)・1株穂数と株密度

m^2 当たり茎数についても1株茎数と同様に直角双曲線的な関係が認められる。これはlog-log scaleで図示した第15図より明らかであり、1株茎数および m^2 当たり茎数と株密度との間には「べき乗法則(吉良ら⁷⁾¹⁴⁾が当てはまり、神田ら³⁾⁴⁾⁵⁾の移植栽培での結果とも一致する。

1株乾物重と株密度の関係をlog-log scaleで表わすと、第16図のごとくである。生育初期には生育量のちがいがそれほど大きくないので、疎では水平になっているが、生育が進むにつれて傾斜は大になり、成熟期にはほぼ密度全域にわたって一直線となり、1株乾物重は株密度の増加にしたがい低下している。これは山田ら¹⁰⁾¹¹⁾の報告と一致しており、1株乾物重と株密度との間には「べき乗法則」が認められる。

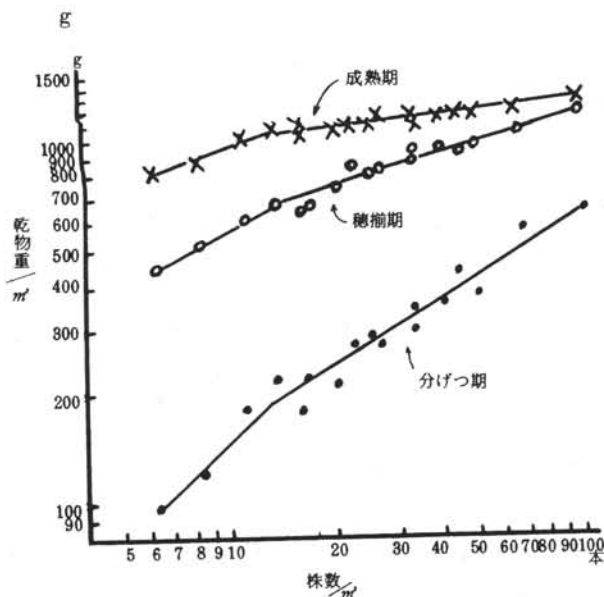


第15図 m^2 茎数(分げつ期)・ m^2 穂数と株密度



第16図 1株乾物重と株密度

m^2 当たり乾物重と株密度の関係は生育初期には株密度のちがいによる生育量のちがいが少ないので m^2 当たり乾物重は m^2 当たり株数の増加に比例して増大するが、生育が進むと株の生育が抑えられるので、 m^2 当たり乾物重と栽植密度との関係を示す直線は水平に近づいてくる。(第17図)この結果も山田¹⁰⁾¹¹⁾の結果と一致し、「べき乗法則」「最終収量一定の法則」が適用されよう。

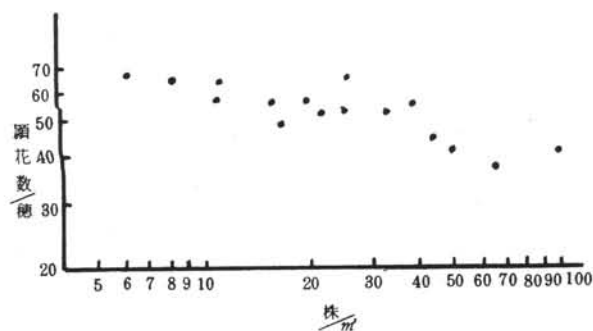
第17図 m^2 当たり乾物重

ただ神田³⁾⁴⁾⁵⁾の結果では茎数および乾物重とも1株および m^2 当たりについて極端な疎領域では別の直線があらはれること、すなわち疎密度と中密度以上について二つの異なる領域があるとしているが、この試験でも疎領域(m^2 当たりおよそ14株以下)とそれ以上の領域で二つに分けられるようにみえた。(第17図)

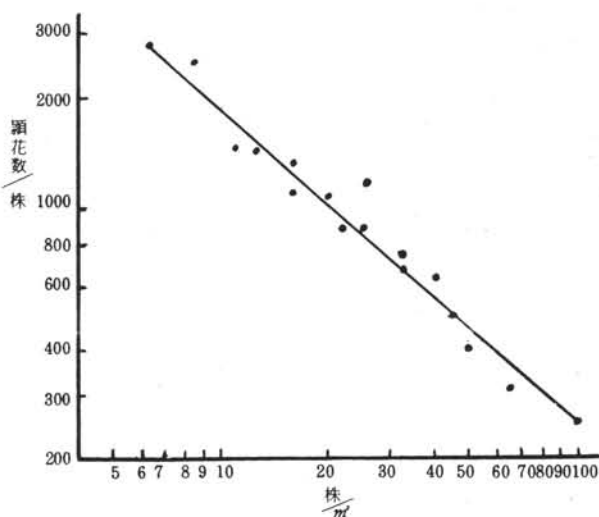
1株穂数と株密度との関係は、1株茎数と同様にlog-log scaleで示せば第14図のように、直線関係が成立している。これは神田³⁾⁴⁾⁵⁾、近藤⁸⁾の試験結果と一致しており、吉良¹⁴⁾の「べき乗法則」が適用された。ただ神田³⁾⁴⁾⁵⁾のいう二つの領域にはわかれず一本の直線になり、さらに疎の密度ではそのようになるかもしれないが、この範囲ではその傾向はみられなかった。また近藤⁸⁾が指摘するように、もっと高密度(m^2 当たり330本以上)では1株穂数が1本になり、これ以上は密度が増加しても減少しなくなることは直播の場合にもあてはまると考えられる。

m^2 当たり穂数と株密度との関係は、log-log scaleで示せば、 m^2 当たり茎数と同様に直線関係を示し、神田³⁾⁴⁾⁵⁾のような疎密度と中密度以上で二つの直線にわかれることなく、「べき乗法則」が認められた。(第15図)

平均1穂穎花数と株密度の関係はlog-log scaleで示すと、第18図のようになった。ここにも「べき乗法則」が認められた。



第18図 1穂穎花数と株密度

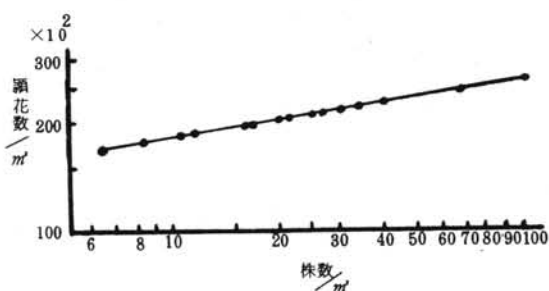


第19図 1株穎花数と株密度

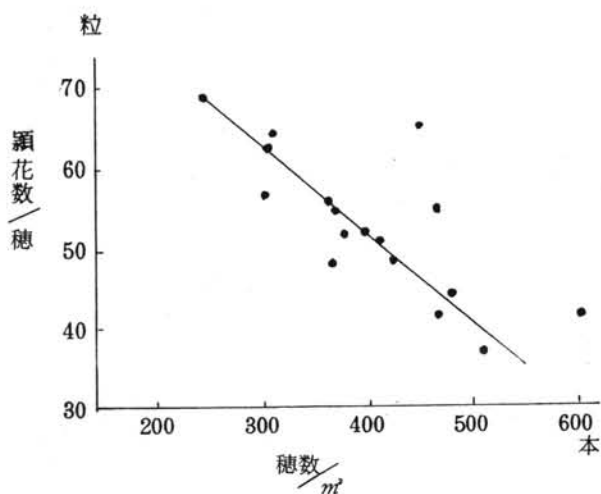
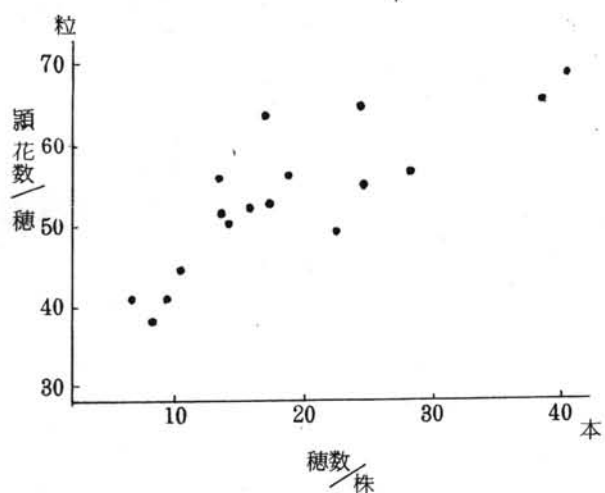
m^2 当たり穎花数と株密度との関係をlog-log scaleで示すと、第20図のように m^2 穂数と同様の傾向がみられた。ただ m^2 当たり穎花数と株密度の関係は穂数のように整然さがなく、とくに高密度でのばらつきが目立った。

これは前述のごとく、高密度ではわずかな1株穎花数の相違が大きく拡大されるため、調査株選定の影響が大きいと考えられる。

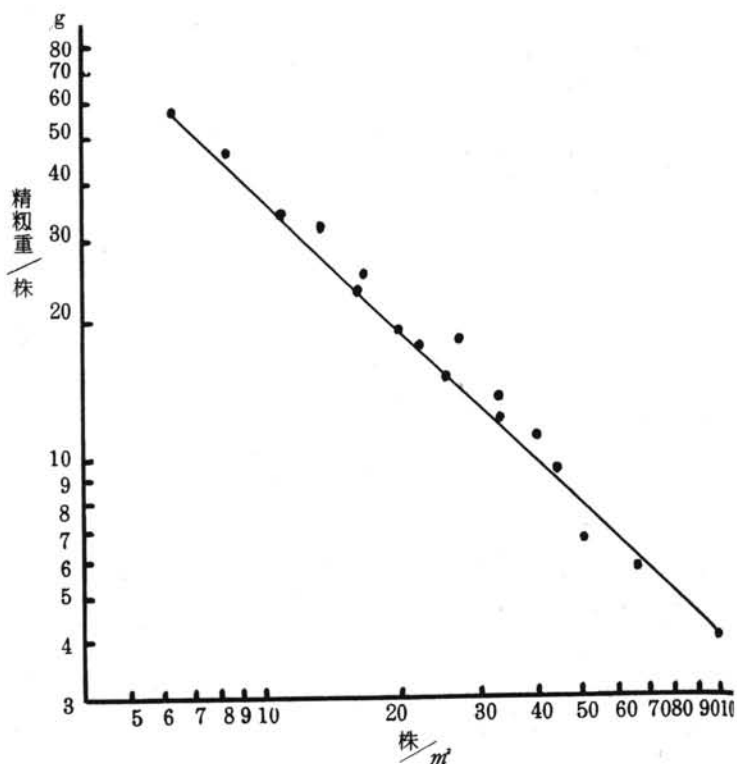
ここで、 m^2 当たり穂数と1穂穎花数の関係をみると、(第21図)、この間には通常負の相関がみられるが、この試験でも同様であり、1穂穎花数は m^2 当たり穂数に強く影響される。一般に1穂穎花数と1株穂数にも、負の相関がみられるのに、この密度試験では第22図のように正の相関になっている。このことから1穂穎花数と穂数の負の相関関係は穂数を株単位にみるとこの密度試験のように存在しない場合があり、面積当たり穂数に対する関係とみるべきであろう。

第20図 m^2 当たり穎花数と株密度

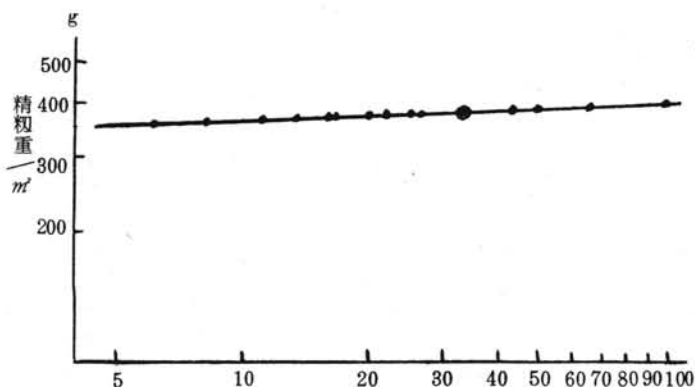
(注) 第8図の実線よりの算出値

第21図 1穂穎花数と m^2 当たり穂数

第22図 1穂穎花数と1株穂数



第23図 1株精粒重と株密度

第24図 m^2 当たり精粒重と株密度

(注) 第11図の1株精粒重の関係曲線からの算出値

登熟歩合および千粒重に対しては株密度の影響がはっきりしなかった。この点についてはさらに検討されなければならない。(第9.10)

1株精粒重と株密度との関係を log-log scale で示すと、第23図のように直線的に減少しており、乾物重や穂数などと同様の傾向を示す。そして吉良らの「べき乗法則」の適用がみられた。神田ら³⁾⁴⁾⁵⁾とも同様の傾向

がみられたが、氏らが乾物重でみたような密度の疎と密の二つの領域に区分されるようなことはなかった。

m 当たり精粒重と株密度との関係は log-log scale で示すと、第 24 図のような直線で示され、「べき乗法則」が認められたが、その傾斜角度は小さかった。

これは神田ら³⁾⁴⁾⁵⁾とも一致したが氏らの log-log scale で示した場合の疎領域での角度を異にした直線はみられなかった。高密度領域ではほとんど増加しなくなり、「最終収量一定の法則」が働きつつある。

1 株精粒重と一株乾物重との比を求め、これと株密度との関係をみると、密度が高まるとともに精粒重の占める割合が小さくなり、水稻のように子実を目的とするものではロスが多くなる。その関係は神田ら³⁾⁴⁾⁵⁾の穂重率（穂重/全重）と密度の関係と同様の傾向で、やはり「べき乗法則」の存在が認められた。（第 13 図）しかし氏らは疎領域では精粒重と同様密度の違いによる差はみられなかった。

以上移植栽培でみられたと同様の「べき乗法則」「最終収量一定の法則」が乾田直播栽培でも成立することがわかった。散播直播を考える場合、高密度では単位面積当たり収量構成要素及び収量は一定になり、かなり密度の許容度があると考えられるが、収量低下をきたす高密度については、なお検討を要する。

V 摘 要

著者らは乾田直播水稻の生育および収量と株密度の関係について、生態学的観点から一般的法則をとらえようとした。

1) 草丈は、分けつ期には疎より密になるにしたがい漸次良くなったが、移植に比べて直播の方が初期から密で長くなった。穂揃期以後では密度間に差はみられなかった。

稈長も密度の影響はみられなかった。

2) 茎数、乾物重、穂数、穎花数、収量、の株当たり各要素は密度の増大にともなって漸近線的に減少した。

m 当たり各要素は密度の増大にともなって漸増したが、「べき乗法則」「最終収量一定の法則」が成立した。

3) 1 穂穎花数と 1 株穂数とは一般に負の相関がみられるのに、この密度試験では正の相関になった。

4) 登熟歩合、玄米千粒重は密度による影響はほとんどみられなかった。

5) 移植、直播とも茎数、風乾重では密度の疎領域と密領域で log-log scale で示すと関係直線がこととなったが、収量、精粒重、全乾物重、穎花数などでは、はっきりしなかった。

引用文献及び参考文献

- 1) 安藤広太郎(1913): 水稻の分蘖と栽植の疎密との関係試験成績, 農事試験場報告 40, 1~49.
- 2) 藤井正治(1963): イネの直播法に関する栽培学的研究, 米子新科学文献刊行会, 159~179.
- 3) 神田己季男・柿崎洋生(1956): 水稻の栽植密度に関する研究, 第1報 収量-密度関係の法則性について, 東北大農研彙, 8, 73~90.
- 4) 神田己季男・柿崎洋生(1957): 水稻の栽植密度に関する研究, 第2報 栽植様式と栽植密度の相互関連性について, 東北大農研彙, 9, 271~290.
- 5) 神田己季男・柿崎洋生(1958): 水稻の栽植密度に関する研究, 第3報 栽植様式と栽植密度の相互関連性について, 日作紀, 27, 177~178.
- 6) 関東々山農試(1952): 栽培試験成績書.
- 7) 吉良竜夫(1950): 中国の米作大増収の生態学-とくに密度の問題を中心にして, 自然, 15, 7, 36~42.
- 8) 近藤頼己(1944): 水稻における栽植密度の増加について, 農及園, 19, 667~674.
- 9) 高橋浩之・渋沢海次郎(1952): 水稻の裸地直播栽培における栽植様式について, 日作紀 20, 309~310.
- 10) 山田 登(1961): 水稻の栽植密度と収量について(1), 農及園 36, 13~18.
- 11) 山田 登(1961): 水稻の栽植密度と収量について(2), 農及園 36, 311~315.
- 12) 東海近畿農業試験場(1966): 東海近畿地域における水稻直まき栽培の試験成果, 19~24.
- 13) 室賀利正・松田順次(1960): 中国式多収農法を実験して, 農業技術 14, 12, 552~554.
- 14) 吉良竜夫・穂積和夫(1959): 植物生長の生態学(3), 農及園, 34, 1, 67~72.