

無施肥田における水稲の生育・収量に及ぼす栽植密度の影響

奥村俊勝・竹内史郎・長谷川浩*

Effects of Planting Densities on Growth and Yield of Rice

Plants grown on non-manured Paddy Field

Toshikatsu OKUMURA, Shiro TAKEUCHI, and Hiroshi HASEGAWA*

Synopsis

This study was conducted at paddy field that was not manured for long years. The growth and yield of rice plants was experimented with various planting densities on this paddy field, and some of growth responses was investigated.

The results of investigation were as follows;

- 1) The effects of planting densities on plant length was little, but on stems per hill was greater.
- 2) The effects on number of stems was found at the early growing period, and the increase rate of stem number in this period correlated with grain yield per hill.
- 3) The nutritional condition in the soil mass occupied by rice roots was an only competitive factor in this non-manured paddy field, but did not the light condition in the populations.
- 4) The effects of planting densities distinctly appeared to number of panicles per hill, the weight of straw per hill, and weight of hulled rice per hill.
- 5) The weight of hulled rice on unit land area was not effected by planting densities.

I 緒 言

水稲栽培における栽植密度と生育・収量との関係についての報告例は多いが、そのほとんどは、施肥された条件下で実験が行なわれている。

著者らは、無施肥田という特殊な水田の水稲収量を調査する過程で、全生育期間を通して葉面積指数(LAI)が、施肥田にくらべて著しく低く、施肥田の約50%にすぎないが、個葉の充実は良好であることを認めた(Fig. 1)。このことは、株単位の繁茂度に、施肥田のそれとくらべて余裕が多いことを示し、LAIの増大が、収量の向上に結びつく可能性が示唆された。

一般に、LAIを高めるには、窒素施用量と栽植密

度のいずれか、または両者を増加することが有効であるが、肥料を全く施用しない無施肥田でLAIを増大させるには、単位面積当り個体数を増加させる必要がある。

水稲の移植栽培で、単位面積当り個体数を増す方法には、株として栽植密度を高めることと、1株当り植付苗数を増加させることが考えられる。

本報告は、単位面積当り株数の変化と、1株当り苗数の変化の2つの手法で単位面積当り移植苗数を変えることによって、無施肥田における栽植密度と水稲の生育・収量との関係を明らかにし、あわせて、無施肥田における水稲の生育の特徴の一部を解明することを目的としたものである。

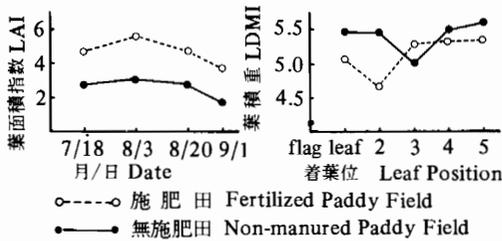


図1 葉面積指数の推移 (左図) と出穂10日後の生葉の充実度 (右図) (1976: 守山)

Fig. 1 Leaf area index (left), and leaf dry matter index (right) with the leaves of each leaf positions at after 10 days of heading (1976; Moriyama)

II 実験方法および材料

1977年に、滋賀県栗東町辻に所在する、過去27年

表1 栽植密度と試験区 (実験1)
Table 1 Experimental plots and Planting densities (Exp. 1)

項目 Items 区 Plots	株 間 Hill space within row cm	条 間 Interrow space cm	1㎡当り栽植株数 Planting densities hills
-50%区 (-50%)	30.0	34.6	9.6
-25%区 (-25%)	26.0	27.0	14.3
標準区 (Control)	20.0	26.0	19.2
+25%区 (+25%)	20.0	21.0	23.8
+25%区 (+50%)	20.0	17.2	29.1

実験1, 同2ともに、発生する雑草は、すべて手で抜きとり、収穫20日前までは常時掛流しかんがいを行ない、10月16日に収穫した。調査は、生育調査、収穫物調査、群落内透過光量調査を行なった。

また、本実験区とは別に、本水田の普通栽培部分に、収穫時に11地点の測点をきめ、各点ごとに栽植密度を実測し、収穫物の調査を行なった。水田内の測点は、長谷川らの報告²⁾の採水11地点と同じとし、各点から5株を採取して収穫物調査に用いた。

III 結果および考察

実験1, 同2における草丈の推移はFig. 2に示す通りである。

一般的に、栽植密度や1株苗数が草丈に与える影響は小さかった。すなわち、生育前半期では全く区間差が認められず、生育後半期になって、1株の占

間、無施肥・無農薬で水稻栽培が行なわれている水田 (以下、無施肥田と略す) の一部に試験区を設定して実験を行なった。供試品種はベニアサヒである。本実験は、単位面積当り株数を変えた栽植株数試験 (実験1) と、1株当り苗数を変えた1株苗数試験 (実験2) とからなる。

実験1: 無施肥苗代で育苗した5~6葉期苗を、1株当り苗数を3本とし、5月9日に移植した。栽植密度はTable 1に示す5区を設け、1区の試験面積は4㎡で、2回反復とした。

実験2: 実験1と同様に育苗した苗を、1株当り苗数について、3本植区、5本植区、7本植区、9本植区の4試験区を設け、株としての栽植密度は、すべて実験1の標準区と同じとした。移植は5月9日に行ない、1区当り試験面積は4㎡で2回反復とした。

有地積空間が大きい区 (-50%区, 3本植区) でやや草丈がまきった。水稻の草丈は、光条件による変動が小さい形質といわれるが、一般的に、高密度に置かれると徒長現象を生ずるのが普通である。しかし、無施肥田では、栄養生長量が少ないので、1株が占有する地積に由来する植物栄養量による影響が、その程度は比較的少ないが明らかに認められた。

実験1, 同2における1株当り茎数の推移はFig. 3に示す通りである。

生育初期には、1株当り地積空間が大きい区ほど、茎数増加速度は大であったが、この傾向が、密植区ほど早期に阻害効果を受けたことによって、実験1の標準区以上の高密度区では、生育中期に区間差が小さくなり、生育後期には区間差がなくなった。実験2でも、生育初期の茎数増加速度の区間差は顕著であったが、生育中期以後では、5本植区以上は、

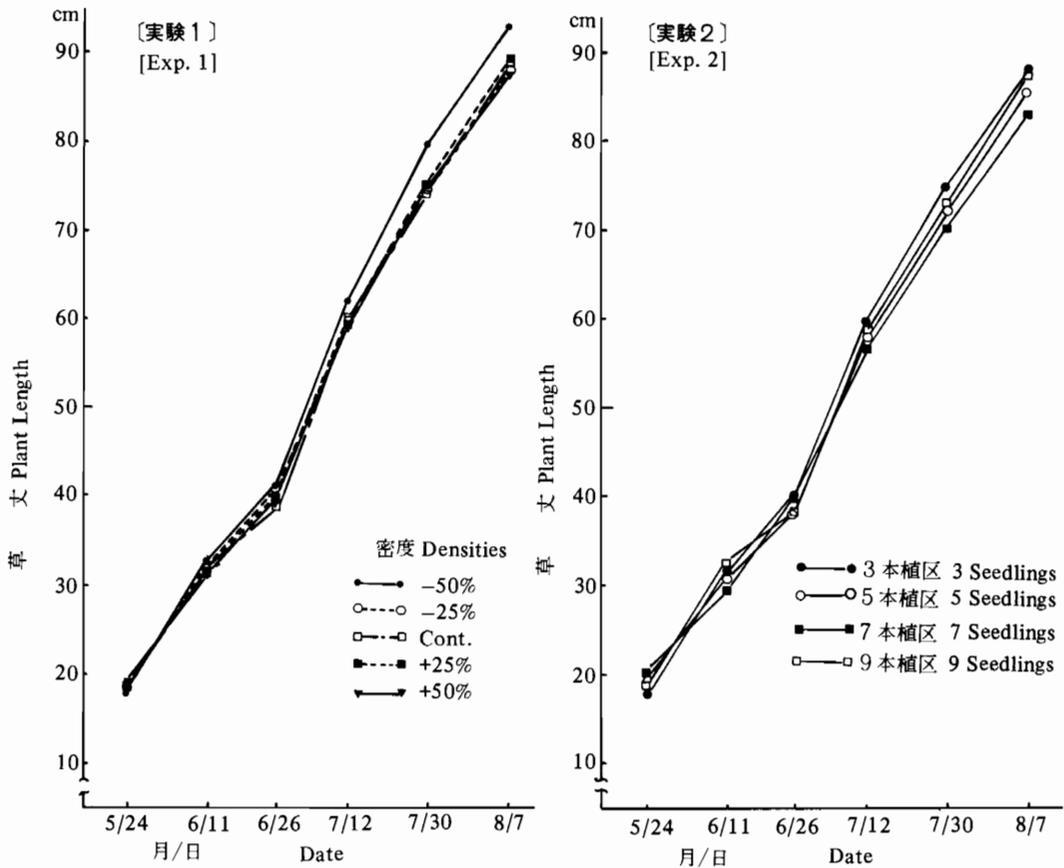


図2 草丈の推移 (左図:実験1, 右図:実験2)

Fig. 2 Changes of the plant length (Left, Exp. 1, Right; Exp. 2)

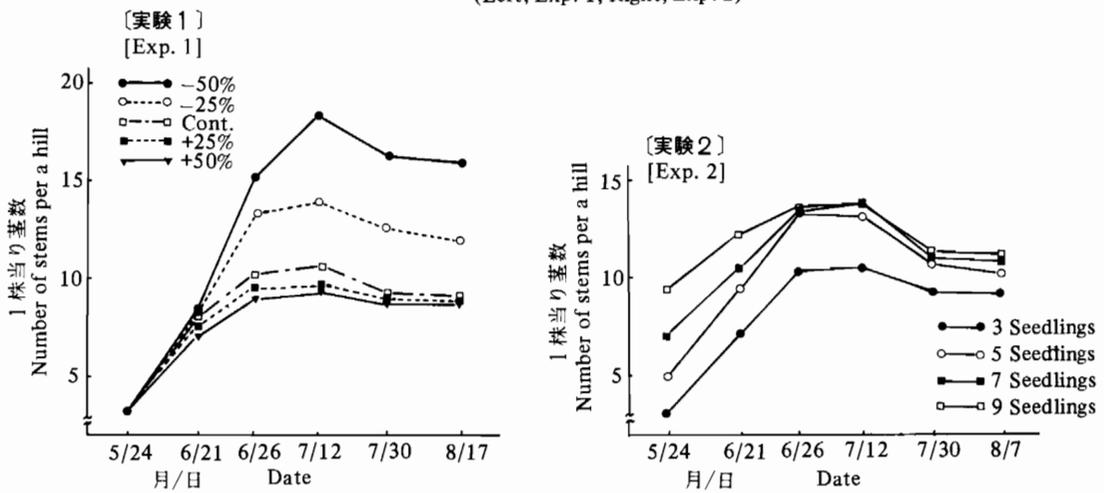


図3 1株茎数の推移 (左図:実験1, 右図:実験2)

Fig. 3. Change of the stems per a hill (Left; Exp. 1, Right; Exp 2)

ほぼ1株13莖程度で増加が止まり、区間差がなくなった。しかし、3本植区は、初期の増加速度が5本植区より劣り、莖数が終始少なく、増加傾向が他区と異なった。

水稻の1株莖数は、栄養条件の影響を強く受ける形質であって、石井ら¹⁾は、水稻個体群における養分競争を株間競争と株内競争にわけて解析する必要性をのべている。すなわち、栄養分に対する競争の態様は、実験1では、株間距離をへだてた個体間競争(株間競争)が、また、実験2では、苗が密着した至近距離における個体間競争(株内競争)が、それぞれ主要な要因となるであろう。それゆえ、実験1においては、隣接する株間の養分競争は、両株より伸長する根系が互に交叉するまでは生じないので、移植からごく初期の間は、莖数増加速度に区間差は認められない。しかし、移植から約1ヶ月後の6月11日には、地積の小さな区から1株莖数の増加は減退した。これは、1株占有地積の小さな区ほど、根系の交叉時期が早く来て、莖数増加に対する阻害効果も早く受けたためであると思われる。6月11日以後は、標準区より高密度区では、莖数の区間差は次第に縮小した。これは、根の占める地積内の養分が枯渇するために、株間競争が平準化したためであろう。一方、粗植の2区は、株間競争を受けながらも、

新しい根が生育出来る余裕地積を持っているので、莖数は増加し、他の高密度区との差が拡大したものと思われる。

実験2においては、株間競争の強さは、すべての区で同じであるが、移植時から株内競争の強さに区間差が存在する。すなわち、移植直後より移植苗の根が互にほとんど接触しながら並進的に伸長することと、一定の地積内にある根量に区間差があることから、株内の苗間で競争が生じ、その結果、各区の莖数増加速度の不同として現われ、1株苗数が多い区ほどその増加程度が小さくなったものと思われる。なお、6月26日に、5本植区以上の多苗区は、1株莖数がほぼ同数となり、この時期以後では、株内競争の区間差はなくなるものと考えられる。

以上から、無施肥田における1株莖数の増加速度は、生育初期の根の占める地積内養分量によって決定され、地上部の占める空間量は、1株莖数の増加に、ほとんど影響を及ぼさないものと考えられ、生育初期に根の生育が大きい個体が、生育中期以後に発現してくる地力栄養を、地上部の後期栄養源として有利に利用するものと思われる。

実験1、同2における玄米収量並びに収量構成要素および収穫物についての調査の結果をTable2に示した。

表2 収量構成要素および収穫物の各形質
Table 2 Yield components and other characters of harvested plants

実験区 Exp. Plots	項目 Items	稈長 Culm length	一穂重 Weight of a head	一穂穎花数 Number of grain per a head	有効莖歩合 % of fruitful culms	玄米千粒重 1000-kernel weight	穂実歩合 % of ripening	一株当り per a hill			
								穂数 Number of heads	わら重 Weight of straw	籾重 Weight of unhulled rice	玄米重 Weight of hulled rice
実験1 Exp. 1	-50%	cm 82.8	g 3.5	no. 122.2	% 81.5	g 23.0	% 95.8	no. 15.0	g 50.2	g 48.8	g 39.6
	-25%	78.1	2.8	99.7	83.7	23.0	95.0	11.8	31.5	31.2	26.2
	標準 Control	79.1	3.0	106.4	78.3	23.0	95.5	8.3	24.1	23.1	20.3
	+25	79.1	2.8	101.6	80.4	23.0	95.4	7.8	23.3	21.1	17.6
	+50	75.5	2.5	90.2	79.2	23.0	94.7	7.6	18.7	17.7	13.6
実験2 Exp. 2	3本植区 3 Seedlings	79.1	3.0	106.4	78.3	23.0	95.5	8.3	24.1	23.1	20.3
	5本植区 5 Seedlings	77.8	2.8	103.8	76.9	22.7	93.3	10.0	26.2	26.1	21.2
	7本植区 7 Seedlings	75.2	2.3	82.7	71.0	23.0	93.8	9.8	24.8	22.0	17.8
	9本植区 9 Seedlings	73.8	2.2	79.3	79.0	23.1	93.3	10.9	25.5	22.4	18.3

実験1の収量構成要素のうち、1株穂数は栽植密度が粗になるほど多くなった。なお、1本の苗より出現した有効穂数は、-50%区で5.0本、-25%区で3.9本、順次密度が高まるにつれて、2.8本、2.6本、2.5本となった。1穂類花数は、栽植密度が粗になるほど多く着成する傾向を示めたが、-25%区のみやや少なかった。稔実歩合と玄米1000粒重には、ほとんど区間差が生じなかったが、1穂類花数が多い区ほど稔実歩合が高くなる傾向をみせた。収穫物調査のうち、平均稈長、平均1穂重で-25%区がやや落ち込む以外は、全体の傾向としては、粗植区ほど大きくなった。1株わら重、1株玄米重では、粗植ほど大きくなった。

実験2においては、1株穂数は、1株苗数が多くなるほど多くなる傾向があったが、1本の苗より出現した有効穂数は、3本植区で2.8本、5本植区で2.0本、7本植区で1.4本、9本植区で1.2本となり、植付苗数が少ないほど、個体当たり有効穂が多くなった。1穂類花数は、1株苗数が少ない区ほど多くなった。玄米1000粒重と稔実歩合は、一定の傾向をみせなかったが、実験1と同様に、穎花数が多いほど稔実歩合が高くなる傾向があった。収穫物調査成績では、平均稈長、1穂重、1穂長は、1株苗数が少ないほど大となった。1株当たりわら重、玄米重は、5本植区が最高となった。なお、表示していないが、実験1の-50%区と実験2の3本植区の1茎わら重が、他区のそれとくらべて著しく重くなった。

以上の結果から、無施肥田において、栽植密度の変化に伴って変動が大きい形質は、1株穂数、同わら重、同玄米重であるが、施肥田の場合には、1株穂数の増加につれて1茎わら重の減少が、また、1穂類花数の増加に伴って稔実歩合の低下が生ずるのが普通である。これに対し無施肥田では、上記それぞれの形質は相反傾向を示さず、むしろ、栄養体の増量と生殖体の増量および充実が平行関係にあるものと考えられる。すなわち、株間の競合要因としての光の条件と養分条件のうちで、光条件を通して1株茎数の増加には、地上部の占有空間量はほとんど関与しなかったことから、区間差を生む大きな競合要因は1株が占める地積内の養分量であったと言える。それゆえ、生育初期の栄養条件が良好なものほど1株茎数を増加させ、生育中期には、発現してくる地力栄養²⁾が有効茎歩合を高め、稈長、1株わら重、1株穂数を大にし、かつ、1穂類花数を多くし、生育後期に、稔実歩合、玄米重、1穂重を大にするものと思われる。このようにして、生育初

期に形成された栄養体の大きさが、生育中期から登熟期にかけて、バランスよく養分の補給を受けながら、収穫期まで維持されることが、低密度で株当りの諸形質が増大する原因であると思われる。

光条件が、無施肥田の稲個体群で競合要因とならない一つの証拠として、実験1の-50%区、標準区、+50%区の出穂期における株間中央部での群落内透過光量をFig. 4に示す。

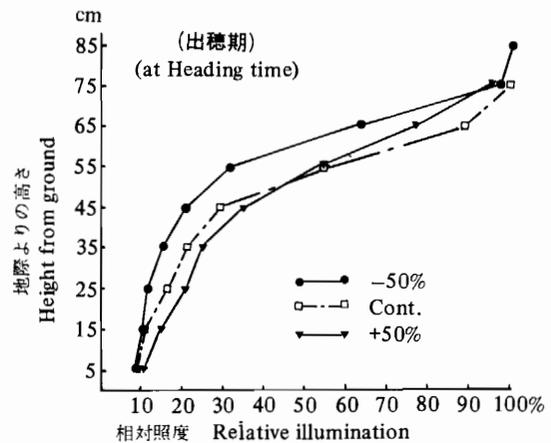


図4 条間中央における群落内透過光量

Fig. 4. Changes of relative illumination with measuring height on the center of interrow space

測定場所が株間中央であるにもかかわらず、-50%区で下層部への光の透過が悪く、+50%区でやや良くなった。これは、1株地上部の占有空間が大きい区ほど、下層に着成する葉面積を増やし、株当たり葉面積が多くなることを示している。すなわち、占有地積の大きさが、地上部の生育量を直接に支配するために、無施肥田では、栽植密度を高めても、株間の光競合はほとんど生じないものと考えられる。

Table 3に、11ヶ所の測点における収穫物調査の結果を示す。

測点1を除いて、栽植密度と1株当たり穂数および1株玄米収量には高い負の相関があった。また、1株当たり穂数と1穂類花数の間には明確な関係が存在しなかった。すなわち、実験として行なった栽植密度試験の結果と、実際栽培の圃場調査の結果がよく一致し、無施肥田では、栽植密度をわずかに変化させても、1株当たりの地上部は大きく変動することを示している。なお、測点1は、特異的な反応を示したが、この地点は当水田の水口付近にあり、無施肥

表3 調査水田内の測点における収穫物の形質

Table 3 The characters of harvested plant grown at sampling points in non-manured field.

Character 測点 Points	1 m ² 当り株数 Number of hill per 1 m ²	1 株当り玄米収量 Hulled rice yield per a hill	1 株当り穂数 Number of head per a hill	1 穂額花数 Number of grain per a head
1	25.4 hills	21.2 ^g	14.0 ^{heads}	82.1 ^{no,}
2	23.3	16.3	9.1	83.1
3	23.8	18.1	9.2	94.1
4	18.6	24.4	12.9	88.0
5	23.5	16.6	9.4	80.6
6	27.3	15.4	8.0	94.2
7	20.4	21.7	10.1	92.0
8	24.1	17.6	8.9	89.5
9	17.0	24.4	11.7	102.5
10	21.4	18.2	10.5	80.4
11	21.0	18.4	8.6	93.9
株数/m ² との間の相関係数 Coefficient of correlation with hills per m ²		-0.909	-0.838	-0.273

1 株当り穂数と 1 穂額花数の相関係数は 0.0616

Coefficient of correlation between number of heads per hill and number of grain per head is 0.0616

状態といえども、流入するかんがい水などの影響で、相当の栄養分が負荷されていることが予想される。この問題については、長谷川らの報告²⁾で明らかにされているので参照されたい。

栽植密度と 1 株穂数および 1 株玄米収量との関係について、実験 1、同 2 および測定点における調査の結果をまとめて、Fig. 5, Fig. 6 に示す。

無施肥田においては、栽植密度を粗にするにつれて、1 株当り穂数は増加し、直線回帰で考えた場合の相関係数は -0.614 を示した。しかし、図上に表われた回帰は曲線式によりよく適合するように考えられるので、栽植密度を極端に粗とした場合は、ある限界穂数以上には増加せず、また、極端に密にした場合には、1 本の苗から 1 本の穂しか出現しなくなることが推定される。1 株当り玄米収量と栽植密度の相関係数は -0.863 を示した。1 株当り玄米収量は、収量構成要素のうちの 1 株穂数と強い関係を持つため、当然の結果として、栽培密度が粗くなるにつれて、1 株玄米収量は多くなる。なお、相関の程度が、1 株穂数よりも 1 株玄米収量の方が高くなったことは、無施肥田における 1 株の占める地積の影響が、生育後期により強く表われることを示唆し、興味ある現象である。

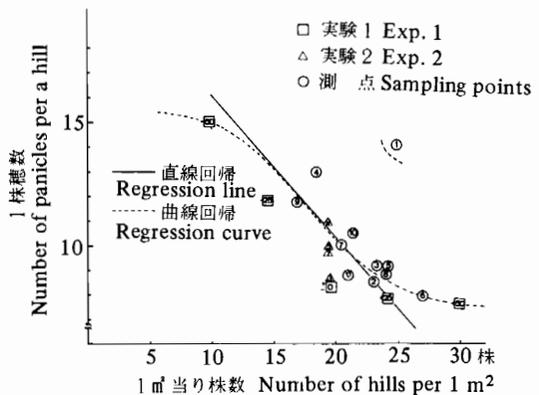


図5 栽植密度と 1 株穂数の関係

Fig. 5. The relation between planting densities and number of panicles per a hill

栽植密度と収量との関係を解析する場合には、一定面積当り（群落体として）で比較検討をする必要がある。

水稻の栽植密度と収量との関係については、吉良らの最終収量一定の法則³⁾や、その他の研究⁴⁾などから、個体群の最終乾物収量は、光と養分環境によって決定されることや、ある一定の栽植密度以上では、単位面積当りの収量が一定になることが明らか

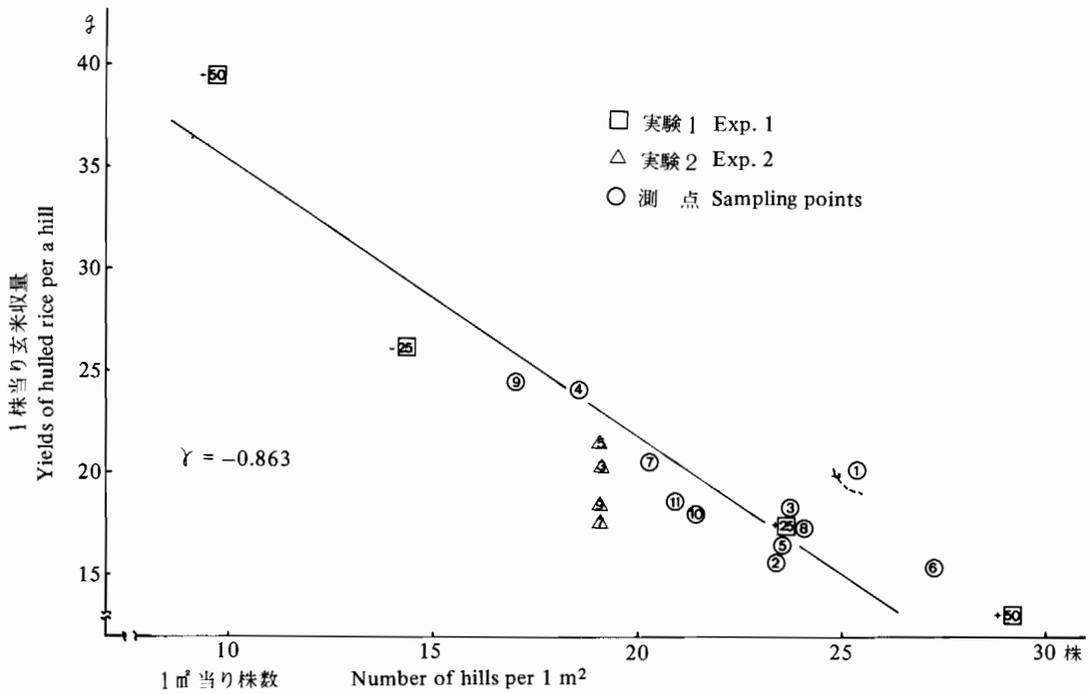


図6 栽植密度と1株当り玄米収量の関係

Fig. 6. The relation between planting densities and hulled rice yields per a hill

にされている。

実験1, 同2における1m²当り穂数, 穎果数, 玄米収量をTable 4に示す。

穂数, 穎果数, 玄米収量とも, 栽植密度の増減に伴う一定の傾向は認められなかった。また, 1株当り苗数の増減によっても, 一定の傾向はみられな

表4 1m²当りの収量構成要素と収量
Table 4. Some yield components and yields per /m²

実験区 Exp. Plots	項目 Items	穂数 Number of heads	穎果数 Number of grains	玄米収量 Weight of hulled rice
実験1 Exp. 1	-50%	144.0	176 × 100	380.2 g
	-25%	168.7	169	374.7
	標準区 Cont.	159.4	169	390.7
	+25%	185.6	187	417.7
	+50%	221.2	199	395.8
実験2 Exp. 2	3本植区 3 Seedlings	159.4	169	390.7
	5本植区 5 Seedlings	192.0	199	407.0
	7本植区 7 Seedlings	209.3	166	351.4
実験2 Exp. 2	9本植区 9 Seedlings	209.3	166	351.4

かった。しかし、本実験の範囲においては、 1 m^2 当り玄米収量は、栽植密度試験では、+25%区が最高となり、これは、単位面積当り穎果数が多く、かつ、登熟歩合が高くなったためであろう。1株苗数試験では、5本植区が高収を示した。これは、単位面積当り穎果数が多くなった結果によるものと考えられる。なお、 1 m^2 当り穂数および穎果数も、栽植密度や1株苗数の増減と一定の傾向をみせなかった。

Fig. 7に m^2 当り株数(栽植密度)と m^2 当り玄米収量との関係を、実験1, 同2および測点における調査をまとめて図示した。

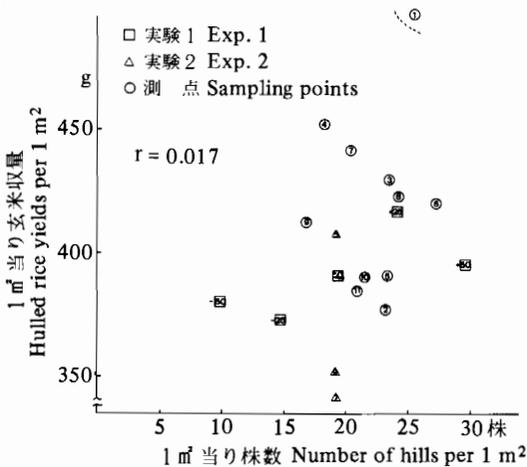


図7 栽植密度と 1 m^2 当り玄米収量の関係

Fig. 7. The relation between planting densities and hulled rice yields per 1 m^2

両項目間の相関係数は0.017を示し、全く両者には相関関係は存在しなかった。すなわち、石井¹⁾らが、施肥田において、株間距離を極端に粗くしたり密にしたりしなければ、株間補償により個体群生長量に有意な変化が認められなかったと報告したことと同様に、無施肥田でも、栽植密度を極端に粗くしたり、密にしたりしなければ、単位面積当りの玄米収量が、ほぼ一定量となることを示している。この原因は、無施肥田における主要な競合要因は、地上部の生育を直接的に支配する根の占有地積内養分量であって、地上部の生育と直接に関係する光条件ではないこと

に求められ、それゆえ、単位面積当り玄米収量は、光に対する競合、すなわち、LAIの大きさをほとんど考慮しないで収量一定の法則が適用出来るものと思われる。

以上より、無施肥田では、栽植密度を増して、LAIを高めて収量の向上をはかる可能性はほとんどないものと結論づけられる。

IV 要 約

(1) 無施肥水田で栽植密度を変えて栽培した水稻の生育・収量を調査し、無施肥水田での生育反応の一部を解明した。

(2) 栽植密度が草丈に及ぼす影響は小さかったが、1株茎数の増加には著しい影響を与えた。

(3) 1株茎数の増加に及ぼす影響は、水稻の生育初期から現われ、その原因が1株占有地積内養分量にあるので、生育初期の茎数増加速度と1株玄米収量には高い相関があった。

(4) 無施肥田では、光条件はほとんど競合要因にならず、個体の生育反応に及ぼす唯一の要因は、占有地積に由来する栄養条件であった。

(5) 栽植密度の影響を強く受ける形質は、1株穂数、1株わら重、1株玄米収量であった。

(6) 単位面積当り玄米収量は、栽植密度の影響をほとんど受けず、ほぼ一定収量となる傾向があったが、本実験の範囲内では、1株当り苗数をやや多くし、かつ、栽植密度を少し密にして栽培すれば、ある程度の増収が期待できると判断された。

最後に、本実験および調査のために、心よく無施肥田を提供していただいた田中一枝氏に心より感謝します。

引用文献

- (1) 石井龍一・角田公正・町田寛康：日作紀，41，57～62 (1972)
- (2) 長谷川 浩・竹内史郎・奥村俊勝：本誌，109 (1979)
- (3) KIRA, T., H. OGAWA, and N. SAKAZAKI: Jour. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D 4, 1～16, (1953)
- (4) 武田友四郎・広田 修：日作紀，40, 381(1972)
(昭和53年10月16日受理)