

## 南九州における水稲低農薬栽培に関する生産生態学的研究

### 2. 普通期水稲作における窒素施肥量と栽植密度に対する生育反応と収量性

中釜明紀・松元里志・平山あゆみ\*・日高義継\*\*・増田弥生\*\*\*

(1998年10月10日受理)

## Ecological Studies on the Productivity of Rice Plant under Low Pesticide Condition in Southern Kyushu

### 2. Growth Response and Yielding Ability to Amount of Nitrogen Applied and Planting Density in Normal Season Culture of Rice Plant

Akinori NAKAGAMA, Satoshi MATSUMOTO, Ayumi HIRAYAMA\*,  
Yoshitsugu HIDAKA\*\* and Yayoi MASUDA\*\*\*

## 緒 言

南九州の普通期水稲作では、病虫害発生と被害に関してとくに水稲生育初・中期の海外飛来性害虫が注目されることを前報<sup>1)</sup>で報告した。これら害虫はいずれも、その発生量と窒素施肥量との関係が明らかで、九州地域における既往の研究結果<sup>2, 3, 8, 13)</sup>と同様に、窒素施肥量の多い区で被害が増大することが認められた。この結果から水稲の適正な窒素吸収形態と海外飛来性害虫の水稲被害回避を組み合わせた栽培体系確立の可能性を指摘した。

環境保全に留意しつつ水稲の生産水準を維持するためには、総合的防除とくに生態的被害回避による農薬使用量の低減と同時に、作物の養分吸収率を高めて、化学肥料投入量を抑制することの重要性が指摘されている<sup>9)</sup>。水稲が吸収する窒素に占める地力窒素の割合は6~7割に達し、施肥由来の窒素より多く<sup>5, 19)</sup>、九州では地力窒素の多くが普通期水稲の幼穂形成期以降に吸収利用される<sup>20)</sup>ことが知られている。したがって、普通期水稲作において化学肥料投入量を低減するためには、適正な基肥窒素施用量により初・中期の水稲群落態勢を規制し、生育中後期の地力窒素を主体にする吸収窒素の子実生産に対する部分生産能率<sup>7)</sup>を高めることが必要である。すなわち、水稲の栄養生長量と生殖生長以降の群落態勢の均衡が重要であると考えられる。

南九州普通期水稲作では、水稲の生育初中期が梅雨期に当たり温度、日照条件の変動が栄養生長に影響する。本報告では、温度、日照条件の変動が大きかった1992年から1994年までの3年間につ

\* 現在, 大口農林事務所

Present address; Okuchi Agricultural and Forestry Administration Office

\*\* 現在, 福岡県農業共済組合連合会

Present address; Fukuoka Prefecture Agricultural Insurance Federation

\*\*\* 現在, 徳之島農業改良普及所

Present address; Tokunosima Agricultural Improvement Advisory Center

いて窒素施肥量と栽植密度の組み合わせが、栄養生長に及ぼす影響およびそれと生殖生長期の穎花数成立過程、登熟との関連について検討した。同時に、前報で報告した発生害虫による水稻収量への影響についても考察を加えた。

## 材料および方法

実験は、1992年、1993年および1994年の3年間、鹿児島大学附属農場水田で行った。試験区は、窒素施肥量を3kg/10a (N 0.5)、6kg/10a (N 1.0)および9kg/10a (N 1.5)の3水準、栽植密度を22.2株/m<sup>2</sup> (D 22)と11.1株/m<sup>2</sup> (D 11)の2水準とし、これらを組み合わせた6区を2反復とした。ただし、1992年の窒素施肥水準は、N 0.5とN 1.0の2水準であった。3年とも、低農薬条件として、農薬使用を移植50日後(1992年)または30日後(1993年、1994年)にいずれもパダン粒剤を散布した。1993年と1994年では、低農薬条件の対照区として防除区を設定し、粒剤(アドマイヤー、パダン)を3~4回防除適期に散布した。

供試品種は、3年ともヒノヒカリで、1992年では6月8日、1993年、1994年では、6月7日にいずれも1株3本植えとした。

水稻の栄養生長期、幼穂形成期、出穂期に各区5~10株を無作為に抽出して、葉面積と器官別乾物重を測定し、生長解析を行った。1992年と1993年では、幼穂形成期の器官別窒素含有量をセミミクロケルダール法により測定した。

成熟期に各区10株を無作為に採取、風乾後に1株全茎について、一次枝梗数、二次枝梗数および一穂穎花数とそれぞれの退化数を調査し、それぞれの分化数と退化率を算出した。登熟歩合は、1.03の塩水で比重選を行い、登熟粒について5反復で千粒重を測定した。

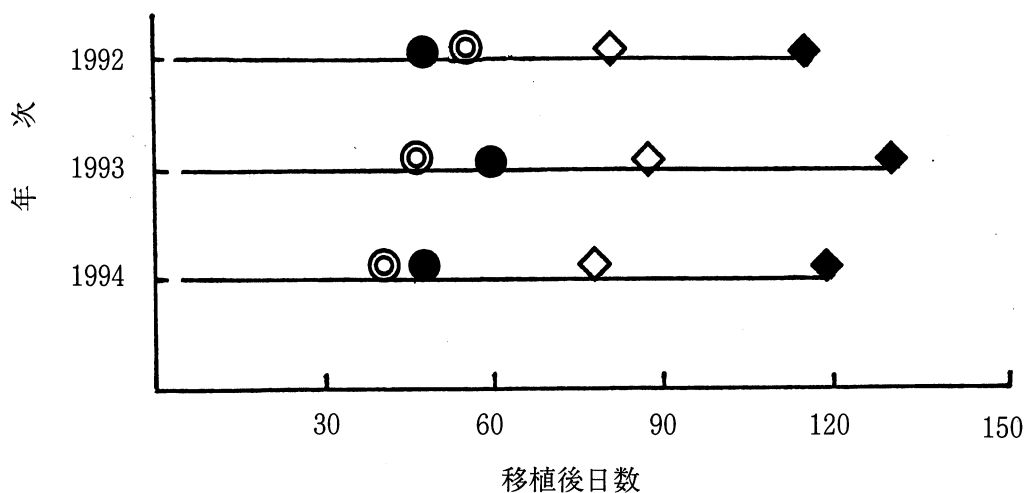
## 結果および考察

### 気象条件の特徴と水稻生育経過

前報<sup>1)</sup>に示したように、1992年、1993年および1994年の実験期間中の気象条件は大きく変化し、それぞれが明らかな特徴を示した。すなわち、1992年では6月初中旬(水稻分げつ初期)から7月中旬まで明らかな日照不足と低温であった。分げつ中期以降日照条件は改善し、生殖生長期から登熟期を通じて気温、日照とも平年並みに経過した。1993年は、全国的な異常気象の年で、6月中下旬(分げつ中期)から8月下旬(出穂期)まで顕著な日照不足と低温で、登熟期間中も低温、寡照に経過した。一方、1994年では、実験期間中を通じて高温多照であった。

第1図に、水稻生育過程の年次間の差異を示した。各年次の水稻生育には、それぞれの気象条件の特徴をよく反映した明確な相違が認められた。すなわち、1992年では、初期生育は抑制され、分げつ増加が停滞したが、幼穂形成期直前の日照条件の改善にともない遅発分げつが急激に増加した。そのため最高分げつ期は、幼穂形成期の約10日後の8月初旬であった。一方、1993年では、初期生育は比較的良好で、初期分げつの増加は順調であった。しかし、分げつ中期以降日照不足と低温のため生育は抑制され、出穂期が1992年および1994年に比べて、約10日遅延した。また、栄養生長中期からの生育の抑制により最高分げつ期を明確に特定できなかったが、幼穂形成期の約10日前から茎数増加は明らかに停滞した。1994年では、高温多照を反映し、初期生育は旺盛で幼穂形成期の約5日前に最高分げつ期に達した。このように、1992年には栄養生長停滞期(vegetative lag phase)<sup>1)</sup>

が認められなかったのに対して、1993年、1994年には存在し、1993年ではそれが長期化した。



第1図. 水稲生育過程の年次間の差異.

○：最高分げつ期 ●：幼穂形成期 ◇：出穂期 ◆：成熟期

#### 生殖生長期の水稲生育の特徴と穎花数成立

第1表に、1992年と1993年の幼穂形成期における水稲葉身の窒素含有率を示した。幼穂形成期以後まで茎数増加がみられた1992年の各区の窒素含有率は、全般的に茎数増加が抑制された1993年に比べて葉身窒素濃度は高く、窒素施肥量および栽植密度による差異は認められなかった。これに対して、1993年では、総じて標準栽植密度のD22区の窒素濃度が疎植条件のD11区に比べて低く、なかでもN0.5/D22, N1.0/D22区で低い傾向が認められた。

養分吸収に対する温度の影響は、根の発達と根の呼吸速度の変動を通じ、また、光の影響は根への光合成による呼吸基質などの供給と気孔開度の変化による蒸散作用の調節を通じて直接的、間接的に影響する<sup>16)</sup>。これらを原因として、窒素吸収に対する低温と日照不足の影響は他の多量元素に比べて比較的大きいことが知られている<sup>1, 15)</sup>。1992年の普通期水稲作期間中の気象条件は分げつ初・中期まで明らかな日照不足と低温であったが、栄養生長後期から高温多照になったのに対して、1993年では栄養生長中期から生殖生長期を通じて明らかな低温寡照で経過した。これが1993年の生

第1表. 生殖生長期の水稲葉身における窒素含有率の比較 (1992年, 1993年)

区*	葉身の窒素含有率 (%)	
	1992	1993
N0.5/D22	3.15	1.76
N0.5/D11	3.09	2.47
N1.0/D22	3.43	1.64
N1.0/D11	3.16	1.95
N1.5/D22	—	2.06
N1.5/D11	—	2.19

\* : N0.5, N1.0, N1.5 ; 窒素施肥量がそれぞれ 3 kg/10a, 6 kg/10a および 9 kg/10a. D22, D11 ; 栽植密度がそれぞれ22.2株/m<sup>2</sup>および11.1株/m<sup>2</sup>.

殖生長期の窒素吸収量が低い水準に抑えられた一因であると推測される。また、第1図に明らかのように、1993年では、vegetative lag phaseが長期化したことも影響したものと考えられる。しかし、1993年の生殖生長期の窒素含有量が気象条件によって全般的に抑制される中で、標準植に比べて疎植条件で一定水準の葉身窒素含有率が維持され、標準植の中では窒素施肥量の多い区で窒素含有率が高くなる傾向が認められた。これは、生育初・中期に降雨による低温・日照不足におちいる頻度の高い南九州普通期水稻作にとって、収量の安定性の観点から考慮すべき点である。

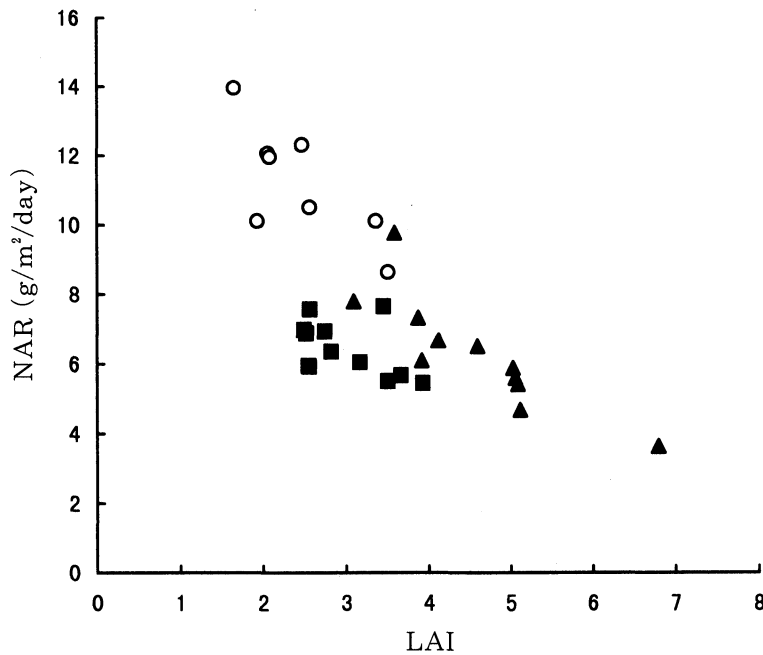
第2表に、幼穂形成期から出穂期までの平均葉面積指数(LAI)、個体群生長率(CGR)および純同化率(NAR)を示した。LAIは、1992年と1993年に比べて1994年で大きく、標準植が疎植に比べて大きく、特にN1.5/D22区の葉面積拡大は顕著であった。しかし、疎植条件でもN1.5/D11区ではN1.0/D22区と同じレベルの葉面積指数であった。1992年と1993年のLAIでは、施肥効果より密度効果が高かった。一方、CGRには、LAIほど明確な年次間差はみられず、1994年のCGRは1992年の標準植のD22区と大差ない値であった。1993年のCGRが全区で低く抑えられたのに対して、1992年では栽植密度の効果が明確であった。NARは、1992年に比べて1993年、1994年で明らかに低かった。しかし、1994年では、両栽植密度とも多肥区ほど低下する傾向が明らかであったのに対して、1993年では両栽植密度とも少肥条件のN0.5区でNARが低下する傾向が認められた。

CGRとNARの間には、3年とも有意な相関関係は認められなかった。第2表に明らかよう

第2表. 生殖生長期における葉面積指数(LAI)、個体群生長速度(CGR)、純同化率(NAR)の比較

年次	区*	LAI			CGR (g/m <sup>2</sup> /day)	NAR (g/m <sup>2</sup> /day)
		幼穂形成期	出穂期	生殖生長期 平均		
1992	N0.5/D22	1.1	3.9	2.5	25.3	11.3
	N1.0/D22	1.3	3.5	3.4	27.6	10.0
	N0.5/D11	0.6	3.0	1.8	17.9	11.8
	N1.0/D11	0.6	3.5	2.1	19.9	13.3
1993	N0.5/D22	2.0	3.1	2.5	19.9	4.8
	N1.0/D22	2.5	3.2	2.9	19.0	6.9
	N1.5/D22	3.4	4.0	3.7	23.8	6.8
	N0.5/D11	2.0	3.1	2.5	17.0	5.9
	N1.0/D11	2.0	3.2	2.6	14.9	6.6
	N1.5/D11	2.4	3.4	2.9	18.1	6.7
1994	N0.5/D22	1.8	5.9	3.9	26.9	7.2
	N1.0/D22	3.9	6.3	5.1	25.6	5.3
	N1.5/D22	5.6	9.0	7.3	24.4	3.7
	N0.5/D11	1.7	5.3	3.5	23.6	7.1
	N1.0/D11	2.0	6.5	4.3	25.6	6.8
	N1.5/D11	3.2	6.9	5.1	26.7	5.6

\*: 第1表を参照.



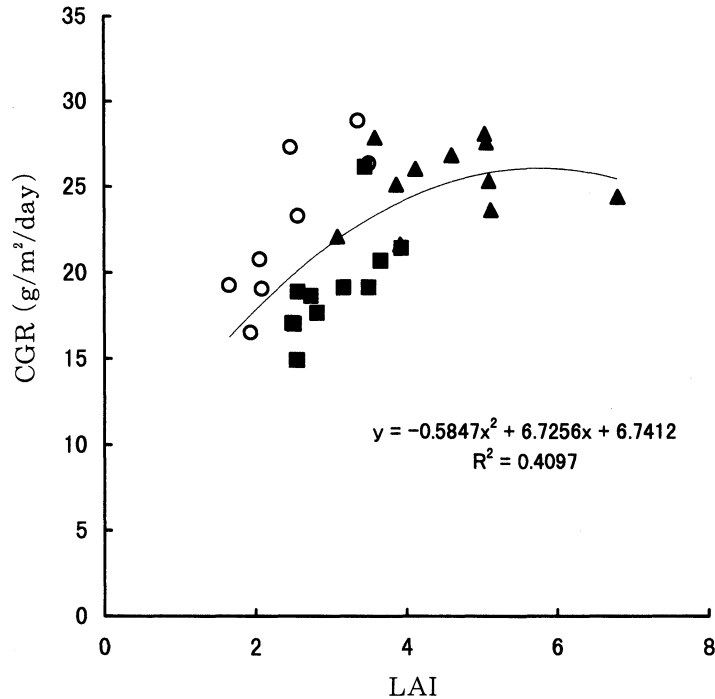
第2図. 純同化率 (NAR) と葉面積指数 (LAI) の関係.

○ : 1992      ■ : 1993      ▲ : 1994

に、1993年と1994年は、同程度のNARであつたが、CGRには、明らかな差がみられたところから、1992年と比較した両年のNARの低下は、異なる原因によるものと考えられた。そこで、第2図にLAIとNARの関係を示した。3年間を通してみると、NARは、LAIの拡大にともない直線的に低下した ( $r = -0.625^{**}$ )。これを各年次別にみると、1992年と1994年には同様な直線的関係が認められる (それぞれ、 $r = -0.682^*$ 、 $r = -0.856^{**}$ ) が、1993年には有意な相関関係は認められなかった ( $r = -0.465$ )。村田<sup>10)</sup>は、純同化率は主として実同化によって決定され、それは単位同化能力と受光能率で決まるとしている。1992年と1994年のNARには、LAIの拡大にともなう受光能率の低下が関与し、なかでも過度の葉面積拡大をした1994年でのNARの低下が大きかったものと考えられよう。これに対し、水稻の個葉の光合成能率と葉面積当たりの窒素濃度が比例関係にあることは広く認められている<sup>10, 14, 21)</sup>ので、1993年では生殖生長期における葉身窒素濃度の低下がNAR低下の主な原因であると考えられる。

一方、CGRとLAIとの関係を第3図でみると、1992年と1993年ではいずれも有意な正の相関 ( $r = 0.840^{**}$ 、 $r = 0.725^{**}$ ) が認められた。1994年では、両者間に有意な関係は認められず ( $r = 0.176$ )、3年を通してみると、むしろLAI 5から6付近を頂点とする2次曲線によく適応した。生殖生長期のLAIが全区で4以下であった1992年では、LAIの拡大にともない直線的に乾物が増加し、標準植と疎植のCGRに明らかな密度間差が生じた。これに対し、著しい葉面積拡大を示した1994年では、ほぼLAI 5以上の区で受光能率の低下から乾物増加が停滞した。1993年のCGRにも1992年の場合と同様に、LAIの拡大にともない直線的な増加が認められるが、同一LAIレベルにおける両年の乾物増加速度を比較すると1993年が明らかに低かった。これには1993年の日照不足と低い葉身窒素含有率にともなう光合成能率の低下が関与したものと考えられる。

第3表に、一次枝梗数、二次枝梗数および一穂穎花数とそれぞれの退化率を示した。1994年の一次枝梗数、二次枝梗数および一穂穎花数とも1992年、1993年のそれらに比べて多かったが、退化率



第3図. 生殖生長期における葉面積指数 (LAI) と固体群生長率 (CGR) の関係。  
記号は、第2図と同じ。

も明らかに高かった。1993年では1992年と同程度の一次枝梗数，二次枝梗数および一穂穎花数であったが，それらの退化率は1992年に比べて明らかに高く1994年と同程度であった。一方，1993年と1994年のこれら3形質が標準植に比べて疎植区で明らかに増加したのに対して，1992年では特異的に疎植条件で減少した。

このように穎花数の成立過程では，とくに一次枝梗，二次枝梗および一穂穎花の退化率が1992年に比べて，1993年と1994年で増大したことが注目された。退化穎花数は，生殖生長期の乾物増加と密接な関係を持つ<sup>4, 5, 18)</sup>から，1993年では日照不足によるCGRの低下，1994年では受光能率低下にとまなうCGRの停滞がそれぞれの退化の増加に強く関与したといえる。

1993年，1994年の一次枝梗，二次枝梗および一穂穎花が標準植に比べて疎植条件で明らかに大きかったのに対して，1992年の疎植区が標準植のそれらより特異的に少なかった。これには1992年における遅発分げつの増加が関与しているものと考えられた。そこで第4図に，一穂穎花数と1株内におけるその変動係数との関係を示した。1993年と1994年では，一穂穎花数とその1株内の変動係数との間に一定の関係は認められない。しかし，1992年では疎植条件での一穂穎花数の株内変異が大きい傾向が認められ，この変異の拡大にとまなない一穂穎花数が減少する関係 ( $r = -0.496^{**}$ ) が明らかであった。この一穂穎花数の株内変異の増大は，一穂穎花数の少ない遅発分げつの割合が大きかったことを示唆している。丸山ら<sup>12)</sup>は，窒素施用によって一穂穎花数の1株内の変動係数が増加することを報告しているが，本実験の1992年の場合には変動係数の増大と疎植条件との関連が強く，窒素施肥量の増加も関与している。

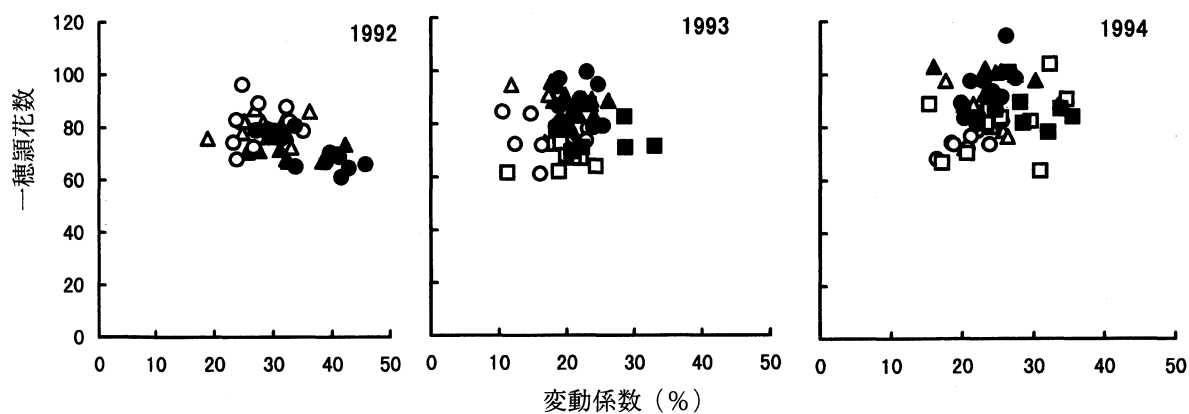
#### 水稻の収量および収量構成要素と害虫による被害様相

第4表に低農薬区の収量と収量構成要素を示した。同時に1993年と1994年についてはそれらの防

第3表. 一次枝梗数, 二次枝梗数および一穂穎花数とそれぞれの退化率

年次	区	一次枝梗数	一次枝梗退化率 (%)	二次枝梗数	二次枝梗退化率 (%)	一穂穎花数	一穂穎花退化率 (%)	
1992	N0.5/D22	9.3a	2.1b	11.1	24.0	80.6a	0.2	
	N1.0/D22	9.9a	3.9a	10.4	26.8	78.5b	0.4	
	N0.5/D11	9.5b	1.0b	9.9	24.4	73.6bc	0.4	
	N1.0/D11	8.0b	2.4ab	10.6	22.1	71.5c	0.4	
1993	N0.5/D22	9.3b	5.1b	11.4a	27.8b	78.7ab	1.1	
	N1.0/D22	9.0b	7.2ab	10.1b	28.9b	73.5b	1.3	
	N1.5/D22	8.6b	8.5a	8.5c	34.1a	67.7b	2.0	
	N0.5/D11	10.1a	3.8b	12.3a	25.9b	87.9a	0.7	
	N1.0/D11	9.7ab	4.9b	12.0a	22.5b	84.3a	1.6	
	N1.5/D11	9.5ab	6.9ab	10.0b	30.6a	77.0ab	1.8	
1994	N0.5/D22	9.9a	3.9c	12.3bc	25.9b	82.5b	1.4	
	N1.0/D22	9.1b	8.1a	10.1c	28.9b	73.7c	0.9	
	N1.5/D22	9.8a	6.7ab	10.9c	35.1a	80.2b	2.3	
	N0.5/D11	10.4a	3.7c	14.6a	27.4b	93.9a	1.3	
	N1.0/D11	10.2a	4.7bc	13.7ab	21.7c	90.5a	0.7	
	N1.5/D11	10.3a	5.5b	12.1bc	37.3a	86.7ab	1.8	
年次平均	1992	9.2b	2.4b	10.5b	24.3b	76.1b	0.4	
	1993	9.4b	6.1a	10.7b	28.3a	78.2b	1.4	
	1994	10.0a	5.5a	12.3a	29.4a	84.6a	1.4	
年次別栽植密度平均	1992	D22	9.6b	3.0c	10.8bc	25.4c	79.6c	0.3b
		D11	8.8d	1.7d	10.3c	23.3c	72.6d	0.4b
	1993	D22	9.0c	6.9a	10.0c	30.1a	73.3d	1.5a
		D11	9.8b	5.2b	11.4b	26.4b	83.1b	1.4a
	1994	D22	9.6b	6.2a	11.1bc	30.0a	78.8c	1.5a
		D11	10.3a	4.7b	13.5a	28.8b	90.4a	1.3a

各年次の区間, 年次平均間および年次別栽植密度間の異なる文字には, 5%水準で有意差あり.



第4図. 一穂穎花数とその株内の変動係数との関係.

△ : N1.5/D22    ▲ : N1.5/D11    ○ : N1.0/D22    ● : N1.0/D11    □ : N1.5/D22    ■ : N1.5/D11

