

寒地稲の子実生産の解析的研究

II 栽植密度と施肥法が生産態勢と子実収量に及ぼす影響

竹 川 昌 和*

Analysis of Grain Production in Rice Plants in Hokkaido

II. Ecological effects of planting density and nitrogen application on the growth habit and the yield

Masakazu TAKEKAWA

寒地での密植稲は生育期節の促進、生育量の早期確保、受光態勢の改善などの有利な面が多いが、一面において生育後期の窒素欠乏、物質生産力の低下、登熟の停滞などをともなう。この弱点を改善するために、栽植密度と施肥法を組合わせて1967年から4ヵ年検討した。その結果、寒地における密植稲の生育後期にみられる生産力の低下は、窒素欠乏にともなう圃場同化能力の低下と密接な関係にあった。この時の生産力低下は基肥窒素増施によって改善される場合もあるが不安定であった。しかし止葉期の窒素追肥によって密植稲の生産力は向上し、安定して高い収量が得られた。すなわち60 kg/a程度の安定した収量を得た時の生産態勢は出穂期が8月はじめ、籾数が3.5~4.0万/m²、LAI(葉面積指数)が3.0~4.0、葉身窒素含有率が3.0~4.0%であった。これは密植によって受光態勢の劣悪化がなく籾数と葉面積が確保されたことと、止葉期追肥によって出穂後の稲体の機能が維持されたことによって得られたと考えられる。したがって密植によって前期の生産要因を確保しながら後期栄養を維持することが北海道では必要である。その手段として追肥があるが、土壌条件などによって後期に栄養補給の容易な場合には追肥を組合わせる必要性は少ないであろう。

結 言

前報¹⁾において寒地稲の生育相は、密植によって生育期節の促進、総籾数と葉面積の確保、受光態勢の改善など、いくつかの面で有利な方向に変化することを明らかにした。しかし同時に密植の乾物生産は生育前期が高いのに反して、生育後期は逆に低いことも認められた。この時の出穂後の乾物生産力の低下には、出穂期前後からの窒素欠乏とそれに伴う光合成能力の低下などが影響するのではないかと考えられた。また、このような子実生産における密植栽培の欠点を補う技術、たとえば窒素多用などの検討も残された。

今回はこれらの点を明らかにするために、密植栽培における圃場同化と呼吸の推移を調査するとともに、栽植密度と基肥窒素量のちがいが個体生育量に及ぼす影響、および密植追肥栽培の子実生産について検討し

た。なお本試験は1967年から1970年にかけて実施したもので、試験設計上不備な点もあるが、寒地稲の収量解析の上で参考になる点が多いと思われるのでここに報告する。

本研究を遂行するに当たり、常に指導と助言をいただいた上川農業試験場島崎佳郎場長、同元水稲栽培科長(現十勝農業試験場豆類第一科長)砂田喜与志氏、協力をいただいた同研究員、ならびにとりまとめに助力をいただいた同水稲栽培科長森脇良三郎氏の各位に心から謝意を表す。

実 験 方 法

本報は次の4項をとりまとめたものである。

- 1 密植の圃場同化と呼吸
- 2 栽植密度と基肥窒素量を異にした場合の個体生育量と収量構成要素
- 3 密植追肥栽培の生育と収量
- 4 密植追肥栽培の実証試験

1975年4月30日受理

* 北海道立上川農業試験場 旭川市永山町

1 密植の圃場同化と呼吸 (1969 年)

水稻品種「インカリ」を供試し、栽植密度 20 株/m² (33 cm×15 cm) と 40 株/m² (33×7.5) の 2 段階 (畑苗成苗 1 株 2 本植) について、圃場同化一呼吸を経時的に測定した。圃場に移植した 6 ないし 12 株に同化箱をかぶせ、一定の通気量 60~250 l/min のもとで同化箱の入口と出口の炭酸ガス濃度を赤外線ガス分析計で測定し、その落差からみかけの同化量としてもめた。また同化箱内にはファンをつけ同化箱内空気の攪はんを行った。日射量はエブレー型日射計で測定した。同化箱内の気温は同化箱の入口と出口の気温をサーミスターで測定しその平均値で示した。なお晴天日中の同化箱内の気温は通気パイプを井戸水で冷却したので 30℃ 以下に保つことができた。それにもかかわらず、同一日射量において午後の圃場同化量が午前中のそれより低い場合が認められたので、いずれも午前中の測定値を使用した。葉面積は自動葉面積計で測定した。葉身窒素含有率はセミマイクロケルダール法で測定した。乾物重は地上部を 1 昼夜通風乾燥し秤量した。

2 栽植密度と基肥窒素量を異にした場合の個体生育量と収量構成要素 (1967 年)

試験区の構成および調査方法は I 報¹¹⁾ 1 生育相と

収量構成要素と同様である。なお本報は N4, N8, N12 の各区を通じて検討を行った。

3 密植追肥栽培の生育と収量 (1967~1969 年)

栽植密度、窒素施肥法および品種は表 1 に示した。P₂O₅, K₂O, 堆肥は全区共通でそれぞれ 0.8, 0.6, 80 kg/a とした。1967 年, 1968 年は天候に恵まれ、生育は順調であった。1969 年は生育初期の 6 月前半と登熟期の 8 月が低温、寡照で遅延型の生育を示した。この間の気象は表 2 に示した。なお調査方法は I 報¹¹⁾ に準じた。ただし、葉面積は 1967 年が青写真法, 1968 年, 1969 年が自動葉面積計で測定した。

4 密植追肥栽培の実証試験 (1969~1970 年)

(1) 試験地

- 1) 永山町 (乾田, 黄褐色土壌, 壤土マンガン型, 上川農業試験場, 透水良好)
- 2) 東鷹栖町 (半湿田, 灰褐色土壌, 強粘土壤構造型, 農家, 透水不良)

(2) 試験設計

試験区の構成は表 3 に, 耕種概要は表 4 に示した。供試品種は「しおかり」, 「そらち」の 2 品種を供試した。

なお, 調査方法は I 報¹¹⁾ に準じた。ただし葉面積は自動葉面積計で測定した。1969 年は前述のように低温

表 1 試験方法

年次	栽 植 密 度		品 種		移 植 期
1967年	20 株/m ²	40 株/m ²	ささほなみ・しおかり		5 月 25 日
1968	20	40	ささほなみ・ふくゆき		5 21
1969	20	40	インカリ・ふくゆき		5 26

年次	中 肥	多 肥	追 肥	
1967年	8Nkg/10a	12Nkg/10a	12Nkg/10a	(4+2+3+3, 基肥・活着・止葉・穂揃)
1968	8	12	12	(4+3+5, 基肥・活着・止葉)
1969	8	12	12	(8+2+2, 基肥・活着・止葉)

注) 20 株/m²: (33 cm×15 cm, 2 本), 40 株/m²: (23.6×10.6, 2 本), 中肥, 多肥は全量基肥, 苗: 畑苗成苗

表 2 各年次の日射量と平均気温 (上川農試)

年次 月	平均日射量 ¹⁾ cal·cm ⁻² ·day ⁻¹					平 均 気 温 °C				
	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
1967	421	390	394	367	246	14.4	15.7	21.1	20.7	14.7
1968	381	564	405	340	291	11.9	17.2	20.4	20.2	15.5
1969	313	345	393	279	278	10.3	14.5	21.3	19.1	14.0
1970	326	384	385	371	324	13.8	16.5	20.8	20.8	15.7

注) 1): エブレー型日射計

表3 試験区の構成

区 名	内 容
改善区Ⅰ	密植・止葉期追肥・成苗
改善区Ⅱ	密植・止葉期追肥・熟苗
対 照 区	標準密度・基肥のみ・成苗

注) 密植: 27.8 株/m², 標準: 20 株/m²

表4 施 肥 法

年次	試 験 地	基肥 N	追肥 N	P ₂ O ₅
1969	永 山	8 kg/10a	4 kg/10a	8 kg/10a
	東 鷹 栖	7.5	4	20
1970	永 山	8	5	8
	東 鷹 栖	7.5	5	8

注) K₂O は全区 6 kg/10a

年で遅延型の生育を示したが、1970 年は高温年で生育は順調であった。

結 果

1 密植の圃場同化と呼吸

圃場同化と呼吸および LAI を表5に示した。これによると圃場同化量は幼穂形成期には密植の方が明らかに高いが、その後次第に差が縮小し、登熟期には逆に密植の方が低い値を示した。村田ら⁵⁾は密植に

表5 圃場同化—呼吸の推移 (1969)

形 質	密度 株/m ²	測 定 日 (月日)			
		7.9	7.23	8.12	9.3
同化量 CO ₂ g/m ² ・hr	20	0.88	4.90	4.08	2.88
	40	1.78	5.79	4.98	2.61
日射量 cal・cm ⁻² ・min ⁻¹		0.9	0.8	0.6	0.5
呼吸量 CO ₂ g/m ² ・hr	20	0.18	0.44	0.65	0.56
	40	0.26	0.52	0.65	0.56
気 温 °C		14	21	16	14
L A I m ² /m ²	20	0.41	1.91	2.93	2.35
	40	0.72	2.86	3.23	2.53
葉身窒素含有率 %	20	4.57	3.50	3.00	2.35
	40	4.50	3.25	2.45	1.93
乾 物 重 g/m ²	20	46	284	929	1156
	40	97	398	970	1182

よって出穂後の圃場同化能力は疎植より劣ることを認めており、本報の結果と一致する。圃場呼吸は前半に密植が高いが、後半は大差がなかった。この時の葉面積は前半に密植が大きいが後半は大差がなくなり、葉身窒素含有率が後半になって差が明らかとなり密植でその低下が著しかった。乾物重については前半は差が大きいが、後半は大差がなくなった。すなわち村田⁷⁾が指摘したように生育前半は葉面積によって、後半は単葉の同化能力によって圃場同化量が決まるものと考えられ、密植稲の生育後期の生産力の低下は窒素欠乏にともなう圃場同化能力の低下と密接な関係にあることが示唆された。

2 栽植密度と基肥窒素量を異にした場合の個体生育量と収量構成要素

(1) 個体生育量

N12の10区を100とした時の各時期の株当たり乾物重を「ささほなみ」について表6に示した。これによると密植あるいは減肥によって株当たり乾物重は低下した。最小のN4の50区は7月4日に60前後であったが、収穫期には約20まで低下した。この指数は個体生育の抑制程度を示すもので、少肥、密植ほど、また、生育が進むほどその抑制が強まることがわかる。出穂後乾物増加量を株当たりでみると施用窒素量の間には大差がないが、密植によって低下した。しかし密植の場合N8よりN12の方が多い傾向を示した。

表6 生育各期の株当たり乾物重の指数 (1967)

月 日	N 量 kg/10a	栽 植 密 度 株/m ²				
		10	20	30	40	50
7. 4	N 4	84	84	76	71	66
	N 8	100	100	97	84	74
	N12	(3.8)	100	97	84	76
8. 3	N 4	89	64	43	38	36
	N 8	91	77	60	45	36
	N12	(48.8)	79	61	48	42
9. 23 (収 穫 期)	N 4	80	41	33	24	21
	N 8	96	50	34	25	21
	N12	(115.7)	52	37	29	23
出 穂 後 乾物増加量	N 4	74	41	25	13	10
	N 8	100	31	15	12	9
	N12	(66.9)	32	18	14	10

注) () は実数 g, その他は N12 の 10 区に対する比率, 品種: 「ささほなみ」

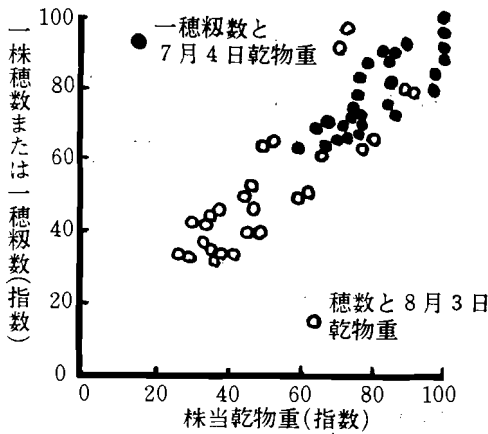


図1 乾物重と穂数、一穂粒数との関係 (1967)

注) 指数: N12の10区を100とした時の各区の株当たり(一穂当たり)生育量

なお「しおかり」の場合も以上の結果は同様に認められた。

収量構成要素を株当たり指数(N12の10区を100)で示した場合の概略を述べると、50区の指数は穂数が32~37、総粒数が20~26、葉面積が30~35前後で、一穂粒数が63~78であった。これら各形質の指数と乾物重の指数との対応関係を図1および図2に示した。これによると一穂粒数が幼穂形成期(7月4日)、穂数と葉面積が出穂期(8月3日)の乾物重とそれぞれ相関が高く、また総粒数、玄米重は収穫期

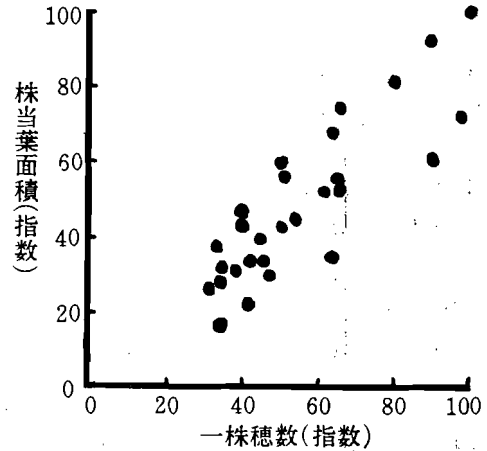


図2 葉面積と穂数の関係 (1967)

注) 指数: N12の10区を100とした時の各区の株当たり(一穂当たり)生育量

の乾物重との間に相関関係が認められた。なお出穂期の草丈と各葉身長50区の指数は70~90前後で上位の葉身長ほど小さい値を示していたが、これも生育が進むほどその生育抑制が強まることを示しているといえよう。

(2) 収量および収量構成要素

単位面積当たり総粒数は2.3~4.3万/m²で、多肥密植になるほど多かった。

収量決定要素について表7に示した。これによると

表7 決定要素 (1967)

形 質	品種	さ さ ほ な み					し お か り				
	密度 株/m ²	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
	N量kg/10a										
登 熟 歩 合 %	N 4	87.5	78.9	81.7	76.6	71.0	81.5	80.2	86.2	79.2	77.3
	N 8	80.0	64.9	66.0	62.3	66.1	80.0	74.1	71.9	78.0	78.1
	N12	71.2	60.5	62.9	66.2	59.1	73.8	68.3	60.7	76.5	72.7
玄米千粒重 g	N 4	21.7	21.4	21.7	21.5	21.7	20.9	20.7	20.6	20.1	20.1
	N 8	21.7	21.4	21.3	21.3	21.3	21.1	20.1	20.1	20.0	19.9
	N12	21.5	21.0	21.3	21.2	21.1	20.7	20.3	20.1	19.7	19.7
出穂期葉身 窒素含有率 %	N 4	2.95	2.51	2.51	2.23	2.28	3.06	2.51	2.34	2.17	2.23
	N 8	3.40	2.95	2.67	2.56	2.34	3.56	2.90	2.90	2.56	2.51
	N12	4.57	3.34	2.95	2.95	2.45	4.79	3.17	2.95	2.79	2.79
100 粒 当 葉 面 積 cm ²	N 4	90	84	95	104	100	89	89	117	99	86
	N 8	83	93	118	123	119	91	111	132	136	139
	N12	77	105	104	106	110	116	107	119	119	139

表 8 玄米収量と全乾物重 (1967)

形 質	品種 密度 株/m ² N量 kg/10a	さ さ ほ な み					し お か り				
		10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
玄 米 重 kg/a	N 4	91	(52.4)	107	102	102	99	(45.2)	116	117	120
	N 8	98	(54.8)	103	100	105	91	(53.3)	100	105	108
	N12	96	(55.2)	108	112	105	90	(55.3)	100	112	108
全 乾 物 重 kg/a	N 4	79	(117.0)	97	94	103	92	(108.0)	99	106	120
	N 8	96	(116.5)	101	103	103	92	(117.0)	100	105	111
	N12	96	(120.3)	106	110	112	89	(125.0)	100	112	107

登熟歩合は10区が高いが20区から50区の間では一定の傾向を認めたく、N8とN12では密植で高い場合も認められた。しかし総体としては多肥によって低下した。千粒重は多肥、密植になるほど低下した。出穂期の葉身窒素含有率は少肥、密植になるほど低下した。100粒当たり葉面積は栽植密度の高いほど大きかった。

次に慣行の栽植密度の20区を対照にして収量を示したのが表8である。これによると密植のときの玄米収量は20区より高い場合が多かった。「ささほなみ」はN12での密植による増加が大きいが、「しおかき」ではN4の場合の増加が大きかった。「しおかき」の場合ではN4の20区が極めて低収であったと見るべきなのかもしれない。また最高収量は両品種ともN12の40区であってN12の50区ではやや低下した。

全乾物重は両品種とも密植で増加し、その増加程度は多肥になるほど大きかった。ただし「しおかき」の50区では逆であった。

3 密植追肥栽培の生育と収量

本試験の追肥区は年次によって止葉期以後の窒素量が異なり、高温年(1967, 1968年)には多く(5~6 kg/10a)、低温年(1969年)には少なく(2 kg/10a)しかも幼穂形成期追肥も同時に行なっているの、これらを一括して追肥区としてまとめた点は疑問が残るが、1969年の追肥区は障害を受けやすい不安定な条件として考えることができる。また年次によって品種が異なり厳密性を欠いているところから品種間差は論じないこととする。

まず収量について表9に示した。これによるといずれの年次、品種、施肥法においても密植の方が高かった。平均値では中肥20区を対照にすると、多肥20区が91で低いが、そのほかはいずれも対照区より高く、追肥40区が最高の116であった。標準偏差は中肥では20区より40区の方が大きいが、多肥と追肥では20区の方が大きかった。最小は追肥40区の2.42 kg/aであった。

子実生産の構成要素の平均値について表10に示した。これによると全乾物重はいずれも20区より40区

表 9 玄 米 収 量 (kg/10a)

年次	品種	施 肥 法 密度 株/m ²	中 肥		多 肥		追 肥	
			20	40	20	40	20	40
1967	{	さ さ ほ な み	548	549	552	617	625	649
		し お か り	533	557	553	619	588	589
1968	{	さ さ ほ な み	576	647	320	444	610	641
		ふ く ゆ き	508	562	390	545	573	614
1969	{	イ シ カ リ	540	565	599	660	616	630
		ふ く ゆ き	505	563	508	569	538	602
平 均			535	574	487	576	592	622
収 量 比			(100)	107	91	108	111	116
標 準 偏 差			26.5	36.3	108.5	76.2	32.5	24.2

表 10 子実生産の構成要素 (3年平均)

施 肥 法		中 肥		多 肥		追 肥	
密度 株/m ²		20	40	20	40	20	40
形 質							
全 乾 物 重	kg/a	(114)	108	106	114	107	116
出穂期乾物重	g/m ²	(554)	124	103	131	98	125
出穂後乾物増加量	g/m ²	(584)	93	108	97	116	107
総 粒 数	×100/m ²	(352)	104	107	115	100	103
L A I	m ² /m ²	(3.07)	128	111	134	102	128
100粒当葉面積	cm ²	(89)	123	102	116	102	123
出穂期葉身窒素含有率	%	(3.01)	87	118	98	111	100
登 熟 歩 合	%	(66.8)	104	88	93	106	112
玄米千粒重	g	(21.2)	100	99	98	102	101

注) () は実数, そのほかは中肥 20 区に対する比率の方が高く, 追肥 40 区が最高の 116 であった。

出穂期乾物重はいずれも 20 区より 40 区の方が高く, 40 区は 124~131 であった。最高は多肥 40 区であったが追肥 40 区は 125 であった。

出穂後乾物増加量はほとんどの場合 20 区より 40 区の方が低かった。1968 年の中肥では逆に 20 区の方が低い場合もあった。これは 20 区の LAI が極めて小さかった (2.5) ためと思われる。追肥 40 区は 107 で 40 区の中では高かった。

総粒数はほとんどの場合 20 区より 40 区の方が多いが, 「ふくゆき」追肥区では 20 区の方が多き場合もあった。最高は多肥 40 区の 115 であったが, 追肥 40 区は 103 であった。

LAI はほとんどの場合 20 区より 40 区の方が高かったが, 1969 年「ふくゆき」の多肥区と追肥区では逆に 20 区の方が高い場合があった。最高は多肥 40 区の 134 であったが, 追肥 40 区は 128 であった。

100 粒当たり葉面積はほとんどの場合 20 区より 40 区の方が高いが 1969 年「ふくゆき」多肥区と追肥区では逆に 20 区の方が高い場合があった。追肥 40 区は中肥 40 区とともに最高の 123 であった。

葉身窒素含有率はいずれの場合も 20 区より 40 区の方が低かった。追肥 40 区は中肥 20 区とほぼ同じで約 2.9~3.4% であった。

登熟歩合は 40 区の方が低い場合もあったが平均値では 40 区の方が高かった。

玄米千粒重はほとんどの場合 20 区より 40 区の方が低かったが, 平均値では大差なかった。追肥 40 区は 101 であった。

次に収量と各形質の関係を図 3 に示した。これによると密植の効果は粒数, 葉面積, 出穂期乾物重および

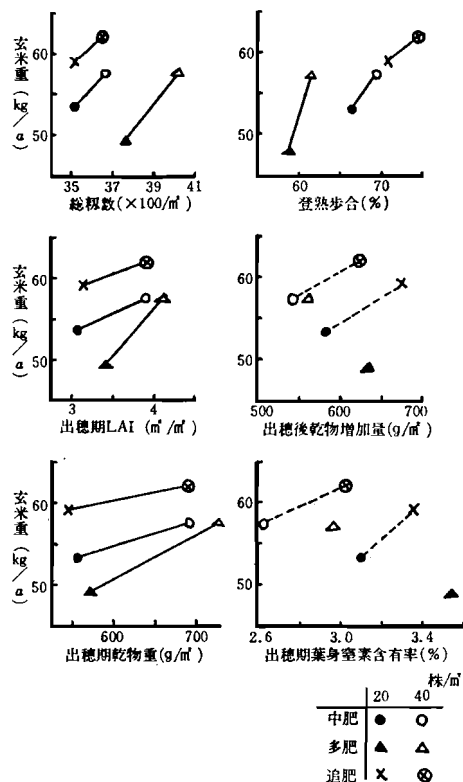


図 3 各形質と収量の関係 (3年平均値)

登熟歩合が向上して増収をもたらしており, 追肥の効果は出穂後乾物増加量, 葉身窒素含有率, 登熟歩合が向上して増収をもたらしたと考えられる。

出穂期はいずれも 7 月 29 日から 8 月 3 日の範囲内であって低温年 (1969 年) においてもそれほど著しい遅延は認められなかった。また密度間では 40 区は 20 区より 1~2 日早まり, 追肥による遅れは認められ

なかった。8月の日射量(表2)は1969年が $279 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ で寡照であったが、そのほかの年次は平年並で極端な日照不足はなかった。また不稔歩合はいずれも低く10%以下であった。本試験の追肥区には1969年の幼穂形成期追肥の併用も含まれているが、追肥40区にはそれによる障害はとくに認められず結論を変更するまでには至らないと思われる。

4 密植追肥栽培の実証試験

改善区Ⅱ(熟苗, 密植, 止葉期追肥)のみについて, 収量, 粒数, 出穂期のLAI, 葉身窒素含有率を表11に示した。収量はいずれの場合も対照区より高かったが, 今, かりに 60 kg/a の収量を安定して得ることをひとつの目標に考えた場合の収量性について, 60 kg/a

対比の指数をもって示した。これを見ると「永山」では98~108%であり 60 kg/a 前後で安定していることが認められる。「東鷹栖」では90~103%であり「永山」より低収であるがやはり安定している。なお対照区は「永山」が68~92%, 「東鷹栖」が67~97%でいずれも低収不安定であった。

このように改善区は比較的高収で安定したが, この時のLAIは3~4で, 4.5を越えることはなかった。ただし「東鷹栖」では「永山」より低かった。また葉身窒素含有率はほぼ3%台であった。なお対照区のLAI, 葉身窒素含有率は改善区より低かった。総粒数も改善区の方が多く3~4万 m^2 であった。改善区の出穂期はほぼ安全限界内であった。

表 11 子実収量と構成要素(改善区Ⅱ)

試験地	品 種	年次	玄米重 kg/a	同 左 60 kg/a対比	総 粒 数 $\times 100/\text{m}^2$	出穂期 L A I	出穂期 葉身窒素 含 有 率 %	出穂期 月 日
永 山	し お か り	1969	59.6	99	353	3.2	2.91	7. 30
		1970	58.9	98	402	3.5	3.80	7. 27
	そ ら ち	1969	61.8	103	361	4.4	3.00	8. 6
		1979	65.0	108	370	4.1	3.50	7. 31
東鷹栖	し お か り	1969	54.1	90	316	2.3	2.57	7. 31
		1970	56.6	94	360	3.0	3.71	7. 27
	そ ら ち	1969	54.4	91	286	3.2	3.03	8. 7
		1970	61.5	103	363	3.4	3.49	7. 31

考 察

水稻の収量性について物質生産の面から考える場合, 全生育期間を出穂期を境にして2分した時の前期生産と後期生産とは再生産の関係をもちながら, 収量性に及ぼす影響はそれぞれ異なった側面をもち, より直接的には生育後期の生産力の影響を受ける。しかしながら寒地稲のようにLAIが5前後に満たない生産態勢の場合には生育後期の生産過程における供与系(葉面積)と受容系(粒数)を確保する前期生産の意義は重要である¹⁰⁾。では葉面積, 粒数の生産力が栽植密度, 施用窒素量によってどのような影響を受けるのであろうか。

試験結果から密植による個体乾物重の生育抑制程度は生育が進むほど強まるが, 一穂粒数は幼穂形成期ころの, また穂数は出穂期ころの乾物重抑制程度をよく反映していることが明らかとなった。すなわち穂数は一穂粒数よりも強く抑制されていることがわかる(図1)。また葉面積は穂数と同程度の抑制が認められる

(図2)。総粒数は穂数と一穂粒数の積であるから, 総粒数は葉面積より強く抑制されていることになる。したがって密植になるほど供与系(葉面積)は受容系(粒数)よりも相対的に大きくなり, 100粒当たり葉面積が大きくなる。しかし密植による個体生育の抑制は施用窒素量の増加によって軽減されている。このことは各形質が異なる生育時期に決まる³⁾ことと考え合わせると, 窒素供給がいつの時期に行なわれるかによって, 各形質の生育抑制程度が異なり, 粒数と葉面積の比率関係も変わる可能性を示している。またこのような窒素供給の影響が後期生産に対しても認められるか, 否かは興味のある点である。

後期生産力は前期生産力の影響を受けながら相対的に独立して, この期の総合的な生産態勢と気象条件の影響を強く受け, しかもこの期の生産物質の大部分が直接子実に貯蔵されるために, 収量性に対する影響はより直接的なものとなる^{10,12)}。出穂後の作物側の生産要因は葉面積, 単葉同化能力, 受光態勢, 貯蔵器官の容量, 生産期間の長さ, 呼吸量などであるが, これら

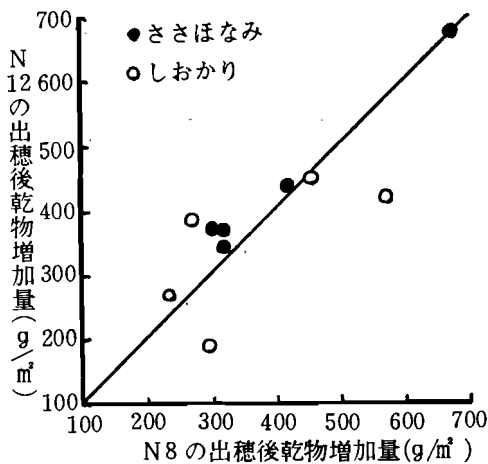


図4 窒素増施と出穂後乾物増加量の関係 (1967)

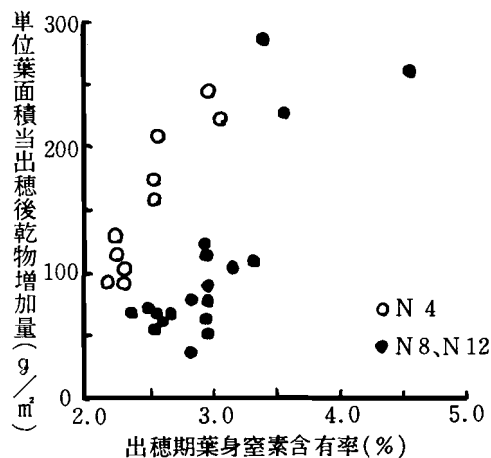


図5 葉身窒素含有率と単位葉面積当たり乾物増加量との関係 (1967)

各種要因と生産力が栽植密度と窒素量のちがいにによってどのように変化するものであろうか。

試験結果によれば出穂後の株当たり乾物重は密植によって極めて少なくなり、単位面積当たり乾物増加量も密植の方が少ないが、施用窒素量の増加によって密植の出穂後乾物増加量が高まり(図4)、結果的に窒素増施による全乾物重の増加は疎植より密植の方が多いことになる(表12)。ここで葉身窒素含有率と単位葉面積当たり乾物増加量との関係を見ると(図5)、葉身窒素含有率の高い程、葉身の生産能力が高く、とくにN4の場合のように、3.5%以下においては密植に伴う葉身窒素含有率のわずかの低下で生産能力が著しく低下していることがわかる。これはN4のLAIが比較的小さく、単葉同化能力が直接乾物生産に影響した

表12 窒素増施に伴う全乾物重の増加 (1967)
(収穫期, g/m²)

栽植密度 株/m²	ささほなみ	しおかり
10	4.1	3.0
20	3.8	8.0
30	9.0	7.3
40	12.5	16.6
50	14.5	4.5

注) 増加量 = N12 - N8

ものと考えられる。

すでに明らかなように、生育後期の圃場同化量は密植によって低下し、また呼吸量では密度間では大差がなかった。同時にこの時の葉面積指数はむしろ密植の方が高いにもかかわらず葉身窒素含有率は密植の方が低かった。また前報¹¹⁾ですでに明らかにしたように密植による受光態勢の劣悪化は認められなかった。したがって密植の後期生産力の低下は、呼吸ロスの増加によるよりも、葉身窒素含有率の低下に伴う圃場同化量の減少によるものと考えられる。この時期の葉身窒素含有率を高める手段としては追肥があり、それが収量にプラスになることはすでに知られている^{1,8,9)}。

一般に水稻の収量性と気象条件との関係は全生育期間に受ける気象量とその合計値としてではなく、各生育時期に受けた気象量のプラスとマイナスの累積反応として、不良気象による障害、その回復・後作用の結果として発現する⁴⁾。寒地水稻の収量性を考える場合、安定性を高め収量の年次変動を少なくすることが強く望まれる。

このような立場から3ヵ年にわたって実施した密植追肥栽培の収量についてみると、慣行法に比べ116%(622 kg/10 a)、標準偏差 24.2 kg/10 a、低温年(1969年)でも600 kg/10 a以上であって比較的収量性が高く、変動幅の少ない結果が得られた。一方、多肥栽培、追肥栽培、密植栽培、密植多肥栽培の収量はいずれもこれより低く変動も大きかった。これは低温年も含めて、密植によって前期生産量(収数、葉面積など)と良好な生産態勢が確保され、さらに後期の栄養の維持によって葉身窒素含有率、出穂後乾物増加量、登熟歩合の向上などの後期生産が順調に行なわれた結果であろうと思われる。山田¹³⁾は栄養生長を適度に抑えて密植し、窒素追肥によって稔実向上を期待できると推論している。また村田、猪山⁶⁾は多肥密植は最低必要日射量が大きく、過繁茂の危険を指摘しているが、本報においては出穂期が早く、8月の日射量が比較的高い

表 13 「永山」と「東鷹栖」の諸形質の平均値 (改善区 I はのぞいた) —1969, 1970—

試 験 地	全乾物重 g/m ²	出穂期 乾物量 g/m ²	出穂期 L A I	穂 数 本/m ²	総 粒 数 ×100/m ²	出穂後乾 物増加量 g/m ³	玄米重 kg/a
永 山	1,289	584	3.5	509	347	705	55.4
東 鷹 栖	1,278	510	2.9	472	313	768	53.1

ので過繁茂による障害は暖地ほど著しくないものと思われる。

本実験は追肥という方法で後期栄養の維持がはかられたが、実験圃場は上川農業試験場水田であり、この水田の地力窒素は出穂期ころには 1 mg/100 g 乾土以下に低下する土壌で、後期追肥の効果の大きい水田である。このように北海道においても後期栄養の不十分な場合には密植追肥栽培が有利であろう。しかしながら、後期栄養が十分な場合、たとえば灰褐色土壌、泥炭土壌などでは、単なる密植栽培によって理想的な生育が期待されるものと予想されるが、2 ヶ年間の土壌地帯別実証試験の収量性についてみると、熟苗を利用した場合、両試験地とも高温年、低温年を通じて密植追肥栽培の収量性は高く安定していた。すなわちこの栽培体系は寒地稲作の生産力を高めるための有効な対策のひとつと思われる。すでに斎藤・今野⁸⁾、柿本²⁾によって熟苗栽培における止葉期追肥の効果については明らかにされているが、本報においても確認された。しかしながら「東鷹栖」のような透水不良田では初期生育が緩慢で表 13 に示したように出穂期乾物重、LAI、穂数、粒数が「永山」に比較していずれも少なく、出穂後の乾物生産のみが多かった。それにもかかわらず収量は「永山」に及ばなかった。この結果は密植による粒数、葉面積などの確保に対応した出穂後生産力の維持にとって、追肥を必要としない場合もありうることを示唆しており興味深い。

以上の結果および考察から次のことを明らかにすることができた。すなわち寒地における密植栽培は生育後期の窒素欠乏をまねくような場合があり、このとき葉身同化能力と出穂後の乾物生産力が低下し、収量の増加はわずかであった。しかしこの弱点は止葉期追肥によって改善され、登熟歩合と千粒重が向上し高位安定収量が得られた。したがって密植により前期の生産要因を確保しながら、後期栄養を維持させることが北海道では必要である。その手段として追肥があるが、いろいろな土壌条件があるために後期の栄養補給の容易な場合には追肥を組合わせる必要性は少なく、密植だけでもよいのではないかとも思われ、この点についてはさらに検討する必要がある。

引用文献

- 1) 古山芳広, 南 松雄 1974: 水稻品種の栄養生理的特性に関する研究 第2報 品種の生理生態的特性と追肥窒素の反応性. 道農試集報 29: 148-160.
- 2) 柿本 彰, 土井康生, 片岡孝義, 志賀一一 1971: 熟苗利用による高収安定法の検討. 水稻の収量限界向上に関する研究. 農林水産会議事務局. 研究成果 49: 122-127.
- 3) 松島省三 1965: 稲作の理論と技術. 養賢堂 東京.
- 4) 棟方 研, 川崎 勇, 仮谷 桂 1967: 気象および稲体要因からみた水稻生産力の定量的研究. 中国農試報 A14: 59-96.
- 5) 村田吉男, 長田明夫, 猪山純一郎 1957: 水稻の光合成に関する研究 第7報 肥料条件及び栽植密度を変えた場合の光合成作用. 日作紀 26: 159-164.
- 6) _____, 猪山純一郎 1958: 水稻の光合成に関する研究 第9報 密植多肥条件下の水稻の光合成作用と乾物生産. 日作紀 27: 9-11.
- 7) _____ 1961: 水稻の光合成とその栽培学的意義に関する研究. 農技研報 D9: 1-169.
- 8) 斎藤準二, 今野一男 1966: 北海道における早播熟苗栽培法. 農業技術 21 (1): 1-5.
- 9) 志賀一一, 遠藤和雄 1968: 寒地水稻に対する窒素施用に関する研究, 特に後期追肥について. 土肥会講要集 14: 145.
- 10) 武田友四郎 1961: 密植の問題と水稻の増収効果 (1) 農及園 36: 627-632.
- 11) 竹川昌和, 砂田喜与志 1974: 寒地稲の子実生産の解析的研究 I 栽植密度が生育相と受光態勢に及ぼす影響. 道農試集報 30: 16-24.
- 12) 田中 明, 山口淳一 1967: 熱帯稲の増収可能性 農及園 42: 1321-1328.
- 13) 山田 登 1963: 水稻の生態, 作物体系 第1編 稲, III. 養賢堂 東京.

Analysis of Grain Production in Rice Plants in Hokkaido

II. Ecological effects of planting density and nitrogen application on the growth habit and the yield

Masakazu TAKEKAWA*

Summary

With respect to the dense planting of rice plants in Hokkaido, it was found that the dense planting accelerated the growth stage, caused the yield components to increase until heading, and the light-receiving plant type to improve, while it lowered nitrogen contents in the top, decreased the dry-matter productivity, and delayed the ripening of grains during the late growth stage.

In order that the above weak points were improved for yield production, both influences of planting density and nitrogen application were investigated during four years starting 1967. The results were summarized as follows:

The decrease of the dry-matter productivity after the heading stage in dense planting was affected by the decrease of photosynthetic ability in the field owing to low nitrogen contents during the late growing stage. By the heavy basal application of nitrogen, the dry-matter productivity increased sometimes even in the dense planting, but it was unstable under several conditions. The grain yield became always higher with the top-dressing of nitrogen at the flag-leaf stage in the dense planting than in the other method due to the increase of productivity after heading. The necessary growth habits for obtaining a grain yield as much as 6,000 kg/ha were noted in this experiment as follows: 1) The heading in early August; 2) The necessary number of spiklets was as much as from 35 to 40 thousands per m²; 3) LAI and nitrogen contents of leaves at the heading should be maintained in the percentage from 3 to 4 and from 3.0 to 4.0, respectively. These results were due to the fact that effects by the dense planting were uninfluenced by the light receiving ability, the numbers of spiklets and leaf-area were profitable, and the growth ability of rice plants after heading was maintained by the top-dressing of nitrogen at the flag-leaf stage. Therefore, it is very important for growing rice plants in cold regions such as Hokkaido that nutritional conditions are preserved during the late growing period, and, in addition, yield components are increased until heading by such a method as dense planting.

The top-dressing of nitrogen was found very useful to achieved this purpose in this experiment. But it may not be necessary if a supply of nutrition is readily available sufficiently during the late growing period thanks to soil conditions or other factors.

* Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Asahikawa, Hokkaido, 078-02, Japan.