

寒地直播イネの生育相に及ぼす

後期窒素供給の効果*

竹川 昌和** 森脇良三郎***

Effect of Nitrogen Supply During the Late Growing
Season on the Growth and Yield of Rice Plants Sown
Directly in Flooded Field in Hokkaido

Masakazu TAKEKAWA and Ryozauro MORIWAKI

北海道の直播イネの収量規制要因のひとつは分けつの無効化と一穂粒数の少ないことである。これと直播イネの窒素吸収様式の関係について、水稻品種「イシカリ」を供試し、直播区と移植区を設け1975年から4ヶ年検討した。その結果、直播イネの発根力、根量および乾物重、LAIは移植イネに劣らず、受光態勢も良好であった。ところが根の分布は表層に集中し、活動根圏が狭く、生育後半の窒素の総吸収量は移植イネより少なかった。この現象は ^{15}N を利用して分析した結果、幼穂形成期以後の地力窒素の利用が低下したことにより生じたものと思われ、このことが直播イネの有効茎歩合が低いこと、一穂粒数が著しく少ないことの主因と考えられた。直播イネは最終的に移植イネより5%低収であった。これに対しイネわらを連用して後期養分を供給し生育後半の窒素吸収を増加させると止葉期窒素追肥の効果と同様に一穂粒数の増加と分けつの有効化、登熟の良化によって9%増収した。

I 結 言

北海道のような寒地においては春先の気象が冷涼なために水稻湛水直播栽培の初期生育は不安定で生育遅延の危険が大きく、さらに分けつの無効化、一穂粒数の減少に代表される中期の生育停滞、あるいは登熟不良をまねく後期の生育凋落や倒伏など収量の安定化にとって解決を要する問題が多い。

筆者らは前報^{16,17)}において、発芽から初生葉期ころまでの冷水温は本葉一葉期の遅延と個体の枯死による苗立率の低下をまねき、ひいては出穂遅延と登熟不良によって減収することを明らかにした。さらにこのような冷温障害は過酸化石灰種子粉衣によって軽減されること、また種子の埋没しやすい軟弱な土壌条件やイネわら施用水田における苗立不良も同様に種子粉衣により改善されることを明らかにした。すなわち生育遅延を引き起す生育初期の不安定性に対する対策はある程度の見通しが得られた。

1974年に筆者らが上川農業試験場は場で実施した湛水直播試験のうち10a当り収量の最高は689 kgであった。供試品種は「イシカリ」、苗立数は250~300本/m²、穂数は約800本/m²、総粒数は 3.5×10^4 /m²、玄米千粒重は約23 g、登熟歩合は

1980年8月10日受理

* 本報の一部は第161回および第163回日本作物学会(1976-04, 1977-04)で発表した。

** 北海道立上川農業試験場(現北海道立中央農業試験場, 069-13 夕張郡長沼町)

*** 北海道立上川農業試験場, 078-02 旭川市永山

80～85%であった。すなわち籾数が多いにもかかわらず倒伏もなく登熟性が極めて良好であった。この時の多収要因としては高温多照の気象条件と相俟って幼穂形成期以後の養分供給を潤沢にしたような土壌肥料的条件の関与の大きいことが想定された¹⁴⁾。

北海道の直播栽培においても生育後期まで養分を供給することの重要性は深耕、下層施肥、緩効性グアニル尿素、止葉期窒素追肥、漸増窒素追肥などの試験によって明らかにされており^{7,8,9,11,12)}、生育後半までの持続的養分供給はむしろ決定的要因である¹³⁾との主張さえある。

近年、コンバイン収穫などにともないイネわらが連用され、とくに排水不良田での生育障害の危険性が大きい。移植栽培では乾田タイプで10a当り400kg秋施肥が安定的である⁴⁾が、排水不良な湿田でも作土の乾燥化を図ればその様な生育障害は回避できる¹⁾という。

筆者らは洪水直播栽培の安定性向上のために一連の研究を行っているが、本報においてはその一つとして直播イネの理想的生育相を把握するために移植イネの生育相と対比しながら生育期節、根系の發育推移、地上部の生産構造、窒素の吸収様式などを調査するとともに、イネわらのような粗

大有機物の連用に関して、窒素追肥を比較対照としながら後期栄養の補給の面から調査し直播イネの生育中期から後期にかけての養分供給の持続性と収量性との関係について1975年から4ヶ年ほ場試験によって検討した結果を報告する。

II 試験方法

水稻品種は比較的早生、多収で倒伏抵抗性も強い「イシカリ」を供試し、移植イネとの生育相の比較を行うために表1のように移植区と直播区を設けた。移植区は畑苗成苗を30×15cm (22.2株/m²)、1株2本植とした。直播区は前報¹⁷⁾と同様に種子消毒、浸漬、ハト胸催芽、過酸化石灰種子粉衣を行い代掻直後に散粒器で播種した。直播区は生育中期以後の養分供給を違えるために表2のようなイネわら施用条件と施肥条件とした。なお、移植区はイネわら施用・標肥区のみとした。

供試ほ場は上川農業試験場の黄褐色土壌、壤土マンガン型の水田で垂直浸透量が8～10mm/日の透水性良好な水田である。除草剤は前報¹⁶⁾と同様にいずれも計4回の除草剤散布によりほぼ目的を達した。1区面積は50m²、1区制で行った。

おもな調査項目と調査方法は次のとおり。
幼穂形成期：全茎数に対する幼穂長1mm以上の茎

表 1 栽 培 条 件

年 次	移 植 区			直 播 区		
	播 種 期	移 植 期	移植苗本数	播 種 期	播種量 (乾籾)	苗 立 本 数
1975	4月/29日	5月/29日	44.4本/m ²	5月/ 9日	1.0kg/a	250～290本/m ²
1976	4 /24	5 /24	44.4	5 /10	1.0	290～330
1977	4 /24	5 /24	44.4	5 /10	1.0	260～300
1978	4 /24	5 /24	44.4	5 /10	0.7	170～230

表 2 処 理 内 容

処 理	イネわら 施 用 量 (kg/a)	施 肥 量 (kg/a)			追 肥 日 (月/日)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	1975	1976	1977	1978
イネわら 連 用	標 肥 区	60	0.8	0.8	0.6			
	幼形期追肥区	60	0.8+0.4	0.8	0.6	7/10	7/9	7/12 7/6
	止葉期追肥区	60	0.8+0.4	0.8	0.6	7/25	7/23	7/25 7/20
無 施 用	標 肥 区	0	0.8	0.8	0.6			
	幼形期追肥区	0	0.8+0.4	0.8	0.6	7/10	7/9	7/12 7/6
	止葉期追肥区	0	0.8+0.4	0.8	0.6	7/25	7/23	7/25 7/20

数の比率が50%に達した日とした。

開花期：全穎花数に対する開花穎花数の比率が50%に達した日とした。

発根力：根を切り取り約200mlの水とともに1ℓビーカーに入れ、30℃の恒温器に2日間置き約2mm以上の発根数とした。

溢泌力：株ぎわ約5cmの切株の24時間の溢泌量とした。

根量とその分布：30×30cm、深さ18cmの土壌を1区2点とり深さ別に3等分し根を洗い出しその乾物重を求めた。

作物体窒素：セミマイクロケルダー法で分析した。

地力窒素：水田内に設置した1区2m²の木枠に所定量の¹⁵N (excess3.04%) 標識硫酸を基肥および追肥として施用し、水稻の地上部、地下部の材料の分析値から施肥窒素以外の窒素を算定した。分析法は古山ら²⁾の方法によった。

収量：1区2ヶ所、1ヶ所4m²を収穫し粒厚1.8mm以上を精玄米重とした。

III 結 果

1. 気象条件と生育概況

1975年：生育初期の弱い低温のほかは全般的に高温であったが作柄は平年並であった。

1976年：生育初期は高温に経過したが、その後は全般的に低温のため遅延型冷害で低収となった。ただし上川農業試験場の本試験においては8月5日以前に出穂期に達しており未熟粒がやや多目ながら減収に至らなかった。

1977年：初期生育は良好であったが6月中旬の低温で葉色が淡くなり生育も一時停滞した。その

後生育も回復し登熟良好で多収となり、一部に倒伏もみられた。

1978年：生育初期は低温で苗腐敗などが発生した。6月中旬以後は回復し全般に高温となり史上最高の多収年となった。

2. 直播イネと移植イネの生育相の比較

まず生育期節の差異を図1に示した。直播イネの本葉一葉期は5月29日、本葉四葉期（移植イネの活着期に相当）は6月14日、幼穂形成期は7月10日、止葉期は7月26日、出穂期は8月3日、開花期は8月9日、成熟期は9月22日であり、移植イネに対する各生育期節の遅れは順に24、15、8、7、7、9、9、日であった。本葉四葉期の差は播種期の差にほぼ一致していたが、本葉一葉期の差はこれより長かった。これは移植区がハウス内育苗であるため移植イネの播種から本葉一葉期までの生育日数が平均10.0日に対して、直播イネは19.3日であり9日ほど長かったことによる。また本葉一葉期から幼穂形成期までの生育日数は移植イネが59.7日に対して、直播イネは42.3日であり18日ほど短かく、それだけ栄養生長期間が短かった。これは直播イネの止葉の葉位数が10.5葉で移植イネより約1葉少ないこと、および直播イネの本葉一葉期から本葉四葉期までの日数が16日で移植イネより約8日短かったためである。幼穂形成期以後の生育日数は登熟日数も含めて両者間に大差はなかった。なお、出穂後の開花日数が直播イネで多少長かったのは出穂期のちがいのためである。

次に、根数の推移を表3に示した。1茎当り根数は直播イネと移植イネで大差ないが、1m²当り根数では直播イネが移植イネの約2倍で、6月上

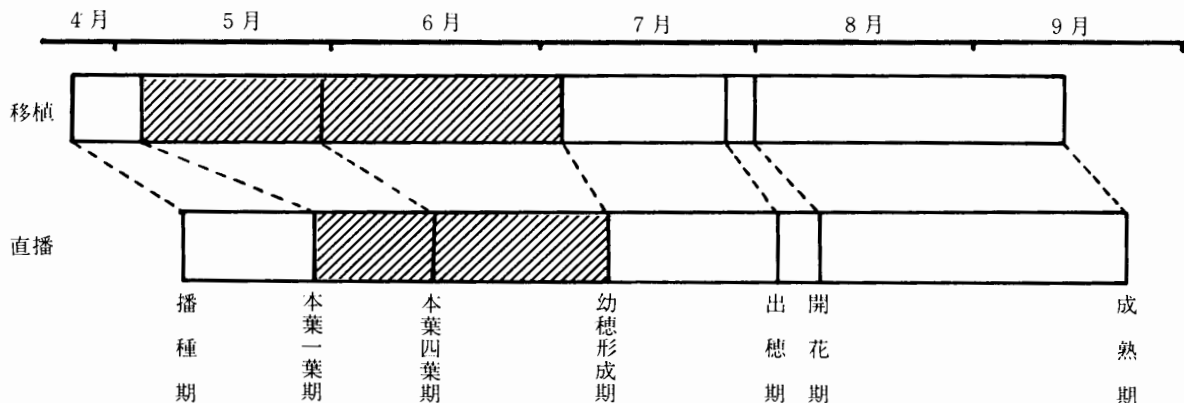


図1 生育期節図 (1975~1977)

旬に約1,100本、7月末に約17,000本であった。その後の増加は認められなかった。地上部と地下部の相対的な関係をみるために地上部1g当り根数をみると、いずれの時期においても地上部を支える根数は直播イネの方が明らかに多く、移植イネの約2倍であった。

次に、根の乾物重と土層別分布を表4に示した。幼穂形成期における直播イネの根量は移植イネに比べ約60%も多く、しかもその分布は上層に集中し下層に少なかった。出穂期の根量は両者とも幼穂形成期の約2倍であるが、その分布割合は幼穂形成期の場合と大差なかった。すなわち移植イネに比べ直播イネの根量は両時期とも多く、上層に偏在していた。

発根力と溢泌力について表5に示した。これは稲体の地上部あるいは地下部の生理的活力の一端を表現するものと考えられる。地上部1g当りの発根力は止葉期から乳熟期にかけて移植イネより

直播イネの方が明らかに高く、また1茎当り、1m²当りについても乳熟期においては同様の傾向を示し、さらに乳熟期の溢泌力についても同様の傾向であった。

このような地下部の生育のちがいに對して、地上部の生育について図2によって検討すると、茎数は直播イネの方が常に多く、最終的な穂数は約800本/m²で移植イネの160%であるが、無効分けつも移植イネより明らかに多かった。乾物重は6月では大差ないが、7月以降は直播イネの方が大きい傾向であった。LAIは幼穂形成期ころまで両者に大差ないが、それ以後は直播イネの方が高く出穂期には3.15に達した。すなわち栄養生長期間が短いにもかかわらず茎数、乾物重、LAIは移植イネに劣らなかった。

さらに表6をみると直播イネは移植イネより草丈、稈長、穂長が何れも短いが全稈長のばらつきは小さかった。上位3葉の葉身長も短かくとくに

表3 根 数 の 推 移 (1975)

区名	1茎当り根数(本)				地上部1g当り根数(本)				1m ² 当り根数(本)			
	月日	月日	月日	月日	月日	月日	月日	月日	月日	月日	月日	月日
	6/11	6/25	7/9	7/30	6/11	6/25	7/9	7/30	6/11	6/25	7/9	7/30
移植	7.6	10.1	14.3	18.0	85	72	45	21	486	3,747	7,222	9,198
直播	5.6	10.9	11.2	19.4	175	108	60	40	1,120	5,232	9,520	17,072

表4 根の乾物重と土層別分布 (1975-1977)

区名	幼穂形成期				出穂期			
	乾物重(g/m ²)	土層別分布率(%)			乾物重(g/m ²)	土層別分布率(%)		
		0~6cm	6~12	12~18		0~6cm	6~12	12~18
移植	43	48.0	36.0	15.0	88	52.0	30.7	17.3
直播	67	66.5	23.0	11.0	140	69.3	22.0	9.0

表5 発根力、溢泌力の推移 (1975)

区名	発根数(本)									溢泌量(g)
	1茎当り			地上部1g当り			1m ² 当り			1穂当り
	止葉期	出穂期	乳熟期	止葉期	出穂期	乳熟期	止葉期	出穂期	乳熟期	乳熟期
移植	3.6	3.0	1.8	8.1	3.5	1.1	2,000	1,500	800	1.24
直播	3.3	2.6	3.9	17.6	5.2	3.4	3,200	2,200	2,700	1.58

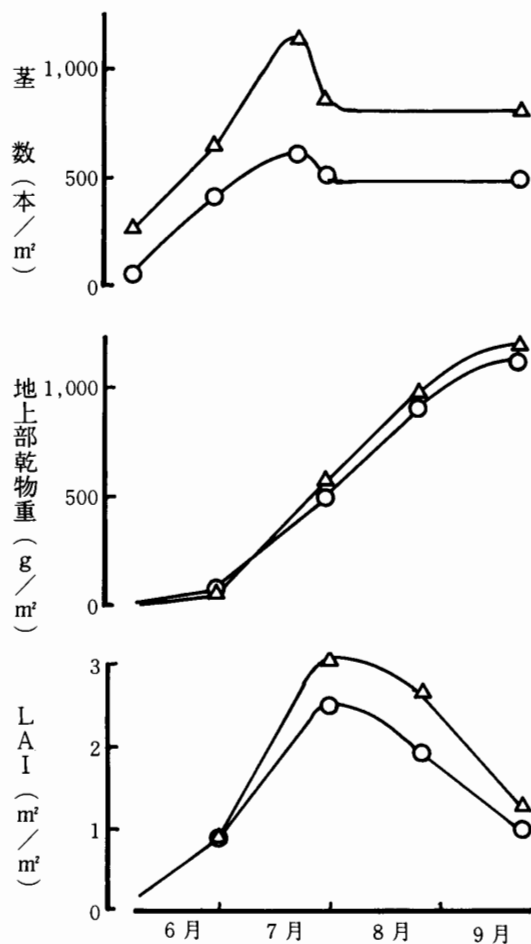
表6 草丈, 稈長, 穂長, 葉身長 (1975)

区 名	草 丈 (cm)	最 稈 長 (cm)	平 均 稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	葉 身 長 (cm)		
					n (止葉)	n - 1	n - 2
移 植	87.0	61.5	54.8±8.3	14.3	20.0	23.8	22.8
直 播	68.0	54.4	47.3±6.8	12.6	17.5	22.8	22.2

8月13日調査

表7 穂と葉身の傾斜角度 (1975)

区 名	穂		n (止葉)		n - 1		n - 2		出穂期	成熟期
	8月/1日	8月/22日	8月/1日	8月/22日	8月/1日	8月/22日	8月/1日	8月/22日		
移 植	0	18.5	8.2	20.4	18.0	20.1	26.6	26.7	7月/31日	9月/10日
直 播	—	11.1	2.7	13.1	8.6	23.0	19.1	23.1	8 / 5	9 / 14

図2 茎数、乾物重, LAI (1975~1977)
○: 移植、△: 直播

止葉においてその差が大きかった。穂と葉身の傾斜角度を表7によってみると、直播イネの方がいずれも小さく直立的であった。この傾向は出穂後日数を同一にして検討しても変わらない。また表8によって葉面積の垂直分布をみると直播イネは移植イネに比べて上位層の分布が少なく下位層の分布が多い傾向を示した。すなわち直播イネは下方に圧縮された型がうかがわれるが、直播イネの受光態勢の劣悪化は認められなかった。

収量および収量構成要素について表9に示した。直播イネの収量は移植イネより5%減、総粒数が6%減となった。これは直播イネについて穂数が多いにもかかわらず一穂粒数が著しく減少したこと、あるいは分けつの無効化が著しく有効茎歩合が低下したことによる粒数減の結果と思われる。また出穂前と出穂後の乾物生産についてみると、直播イネは出穂前の乾物生産が移植イネより多く、出穂後は逆に少なかった。これは出穂期の葉身窒素含有率が低く光合成能力が劣ることも関与していると思われる。すなわち直播イネの後期凋落の特徴を示している。

次に、稲体および葉身の窒素含有率の推移を図3、表10に示した。直播イネの窒素含有率は移植イネに比べ常に低く推移し、地上部全体では幼穂形成期ころの差が大きく、葉身に限定すると出穂

表8 葉面積の垂直分布($\text{cm}^2/\text{m}^2 \cdot 1975$)

	7月/29日		8/5		8/19	
80cm					3	1
70	6		15	2	14	13
60	25		40	30	34	38
50	42	26	58	62	40	54
40	43	93	43	67	35	65
30	48	72	38	53	32	57
20	27	37	20	26	18	24
10					3	
高さ	移植	直播	移植	直播	移植	直播

期ころの差が大きかった。また、出穂後の葉位別葉身窒素含有率を比較しても直播イネの方が明らかに低かった。さらに図4によって各生育期間における稲体の窒素吸収量の推移をみると、幼穂形成期までの窒素吸収量は移植イネより直播イネの方がわずかに多く、それ以後成熟期までの吸収量

表9 収量および収量構成要素

形質	移植(A)	直播(B)	B/A比(%)
精玄米重(kg/a)	58.8	55.7	95
穂数(本/ m^2)	502	780	155
総粒数($\times 10^4/\text{m}^2$)	3.12	2.94	94
登熟歩合(%)	85.2	83.0	97
玄米千粒重(g)	22.4	23.0	103
有効茎歩合(%)	82.9	67.7	82
一穂粒数(個)	62.0	37.8	61
出穂期LAI(m^2/m^2)*	2.58	3.15	122
出穂期葉身窒素含有率(%)*	3.08	2.67	87
出穂期乾物重(g/m^2)*	542	660	122
出穂後乾物増加量(g/m^2)*	741	672	91
出穂期(月/日)	7/27	8/3	—
成熟期(月/日)	9/13	9/22	—

注) 1975~1978年平均値

ただし、*印は1975~1977年平均値

表10 葉位別葉身窒素含有率(1976)

区名	n(止葉)				n-1				n-2			
	8月/5日	8/23	9/8	9/16	8月/5日	8/23	9/8	9/16	8月/5日	8/23	9/8	9/16
移植	3.84%	2.88	1.64	1.56	3.56	2.03	1.46	1.65	3.04	2.35	—	—
直播	3.77	2.60	1.61	1.25	3.16	1.98	1.64	1.23	2.85	1.59	1.42	1.14

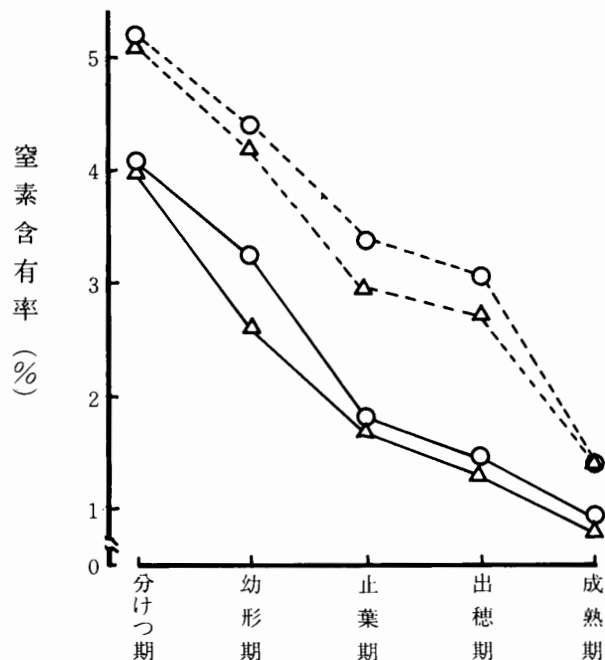


図3 地上部と葉身の窒素含有率(1975~1977)
実線：地上部、点線：葉身、○：移植、△：直播

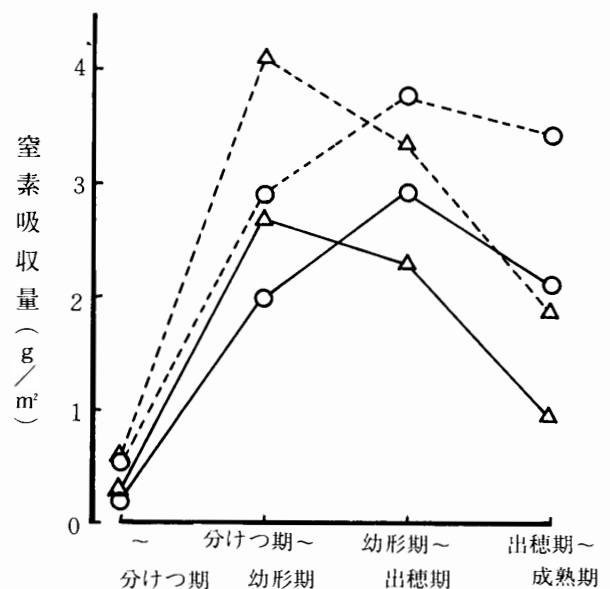


図4 生育時期別稲体及び地力窒素吸収量(1976)
点線：稲体窒素、実線：地力窒素、○：移植、△：直播

は逆に直播イネの方が著しく少なかった。また、地力窒素の吸収量についてもこれと同様の傾向であった。

以上を要約すると、直播イネの生育相の特徴は次のとおりである。

①本葉一葉期までの日数が移植イネの2倍も長いことは直播イネの生育遅延対策上の重大な弱点である。②総根量、発根力、溢泌力、茎数、乾物重、L A I、受光態勢が移植イネに優るとも劣らないにもかかわらず、根の分布様式が上層に集中し、活動根圏が狭くなり、幼穂形成期以後の地力窒素の利用率が低下し、生育後半の窒素吸収量が

移植イネより劣った。③幼穂形成期ころから稲体窒素含有率が移植イネより明らかに低く、分けつが無効化しやすく一穂粒数の減少を招来し、出穂後の乾物生産力も低下し生育は後期凋落型となり、結果的に5%減収した。

3. イネわら連用と窒素追肥

前項において直播イネの生育相の特徴は根系の発育とそれに伴う窒素の吸収様式の特異性と密接な関係にあることが推定され、直播イネの収量の安定化をはかるためには後期養分の供給が必要と考えられたので、窒素の後期追肥とあわせてイネわら連用による養分供給の持続性について検討し

表11 イネわら連用と収量(1975~1978)

処 理	形 質	精 玄	穂 玄	総 粳	登 熟	玄 米	有 効	一 穂	出 穂	成 熟	不 稔	青 米	出 穂	出 窒
		米 重	数	数	歩 合	千 粒 重	茎 歩 合	粒 数	期	期	歩 合	歩 合	期 L A I	素 期 含 葉 有 身 率
		(kg/a)	(本/m ²)	(×10 ⁴ /m ²)	(%)	(g)	(%)	(個)	(月/日)	(月/日)	(%)	(%)	(m ² /m ²)	(%)
標 肥 区		51.3	753	2.66	82.8	22.9	65.4	35.6	8/3	9/21	7.2	7.0	3.31	2.74
イネわら連用区		109	104	111	101	100	104	106	±0	+1	92	139	99	97
幼形期追肥区		103	115	123	91	98	109	106	±0	+3	163	152	121	122
イネわら・幼追組合区		109	115	133	87	98	108	115	±0	+3	163	193	119	122
止葉期追肥区		112	107	111	104	104	107	103	±0	+1	106	101	112	118
イネわら・止追組合区		112	105	112	101	102	109	106	±0	+1	136	103	107	124

注) 標肥区は実数, その他は標肥区対比, 出穂期・成熟期は差。

た。

まず、各処理区の収量と収量構成要素を表11に示した。イネわら連用区の収量は109%であり、穂数と一穂粒数が増加し、登熟歩合、千粒重は低下しなかった。幼穂形成期窒素追肥区はイネわら無施用、同連用ともに穂数、一穂粒数の増大効果は著しかったが、青米歩合、不稔歩合が高く登熟性が不安定であった。止葉期窒素追肥区の収量はイネわら無施用、同連用ともに112%であった。穂数と一穂粒数がともに増加し、登熟歩合、千粒重も多少高まった。しかしイネわら連用・止葉期窒素追肥組合せ区の収量と収量構成要素は各々の単独区と大差なく、両者の相乗効果は認められなかった。

有効茎歩合は標肥区65.4%に対しイネわら連用

あるいは窒素追肥により約5%高まった。出穂期は処理間で大差ないが、成熟期はイネわら連用あるいは窒素追肥で1~3日遅れた。不稔歩合は大差ないが1976年、1977年の窒素追肥区で10%を超えることがあった。青米歩合も数%で大差なかったが、幼穂形成期窒素追肥では15%を超えることがあった。L A Iは幼穂形成期窒素追肥で増加し約4.0であった。葉身窒素含有率は窒素追肥で0.3~0.5%高まったがイネわら連用は大差なかった。

次に、窒素吸収量の推移を図5に示した。イネわら連用の場合幼穂形成期から出穂期の間の窒素吸収量が増加し、地力窒素吸収量の推移とほぼ同じ傾向を示した。すなわち施肥窒素以外のイネわら由来の地力窒素の吸収量が増加したものと思われる。幼穂形成期窒素追肥区は幼穂形成期から出

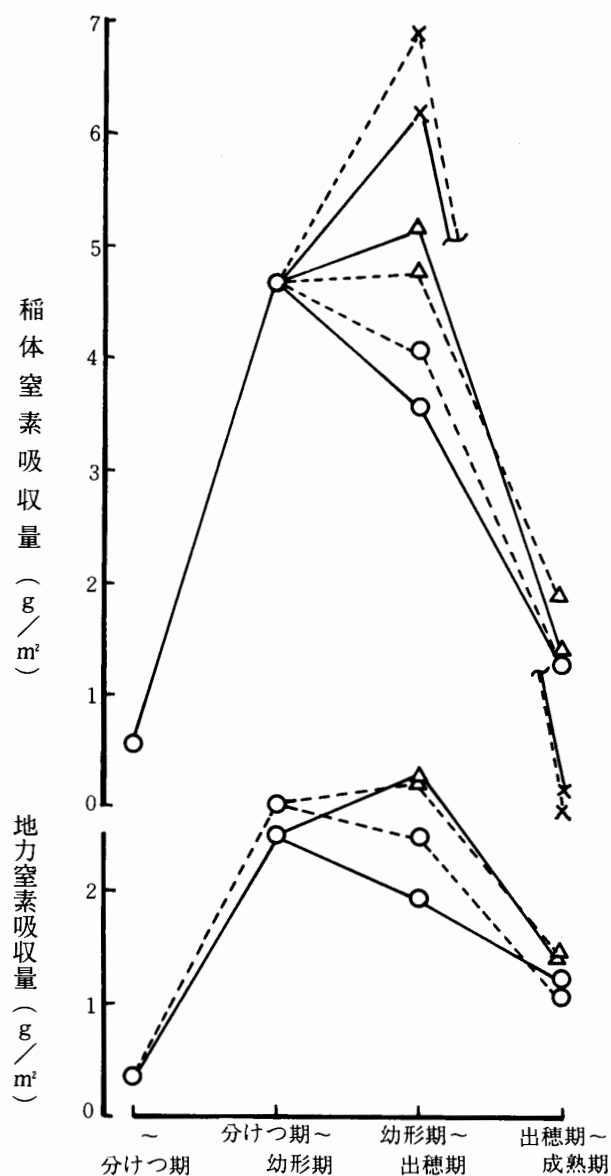


図5 イネわら連用と生育時期別窒素吸収量 (1977)

実線：対照区、点線：イネわら連用、○標肥、
△止葉期追肥、×幼形期追肥

穂期までの窒素吸収量の増加は著しいが、出穂期以後は対照区とほとんど同程度であった。止葉期窒素追肥は止葉期から出穂期まで、および出穂期から成熟期までの窒素吸収量がともに増加した。地力窒素の吸収量についてもこれとほぼ同じ傾向であって、出穂期以後に吸収された窒素の大部分は地力窒素であることがわかった。

また、イネわら連用と窒素追肥の組合せの場合の窒素吸収量が追肥単独区よりもわずかに多いこともあるが、止葉期窒素追肥との組合せ区のように、出穂期までの吸収量が追肥単独区よりもわずかに少なく、追肥効果を抑制するような傾向も認められた。

表12によって各処理区の根量をみると幼穂形成期追肥で増加し、また根の分布はイネわら連用あるいは窒素追肥によって、より表層化しており幼穂形成期追肥はとくに著しかった。すなわち、イネわら連用や窒素追肥によって窒素吸収量が増加するのみならず、とくに幼穂形成期窒素追肥などでは、根量をふやしその分布状態にも影響を及ぼし、そのことによって窒素の吸収様式に前述のような差異を招来するものと思われる。

さらに稈長、穂長、倒伏率、籾黄化率をみると、幼穂形成期窒素追肥により稈長、穂長が長くなり、倒伏が著しく登熟進度も遅延したが、イネわら連用あるいは止葉期窒素追肥は対照区と大差なかった。

以上を要約すると次のとおりである。イネわら連用による後期養分の供給の効果は大きく9%の増収を示した。幼穂形成期窒素追肥は構成要素増大の効果は大きいが発熟性が不安定で増収効果は

表12 根系の発育と稈長、倒伏率、籾黄化率 (1977)

形 質 処 理		根* 重 (g/m ²)	根の土層別分布(%)*			平均 稈長 (cm)	倒伏率 (%)**			籾黄化率 (%)***		
			cm				月 日			月 日		
			0~6	6~12	12~18		9/5	9/16	9/26	9/5	9/16	9/26
標 肥 区		115	68.8	24.3	10.1	51.0	0	25	25	25	75	98
イネわら連用区		121	74.3	20.3	5.3	51.0	0	10	20	25	75	98
幼形期追肥区		159	77.2	17.5	5.3	55.3	20	80	90	10	40	93
イネわら・幼追組合区		145	84.3	11.3	4.4	57.6	20	80	90	10	40	93
止葉期追肥区		119	65.8	27.3	6.9	51.4	0	0	0	25	75	98
イネわら・止追組合区		115	80.8	11.5	7.7	51.6	0	10	10	30	75	98

注) *：出穂期調査，**：倒伏面積の比率，***：総籾数に対する黄化籾の比率

ほとんどなかった。止葉期窒素追肥はイネわら連用と同様の傾向で12%の増収を示した。

IV 考察および論議

は場試験の結果、直播イネの生育相は生育期節と根系の発育ならびに窒素の吸収様式にその特異性が認められ、また直播イネに対するイネわら連用は窒素の後期追肥と同様に生育中期から後期にかけての養分供給の持続性に差異をもたらし、一穂粒数を増加し無効分けつを防ぎ増収した。

まず生育遅延と生育期節の関係について考察すると、直播イネは本葉一葉期から四葉期までの日数が移植イネより短かいにもかかわらず、播種から本葉一葉期までの日数は移植イネの約2倍の20日近くを要していた。直播イネは移植操作を伴わないので本葉一葉期以後の生育進度の停滞はほとんどないが、発芽から初生葉期ころまでが低温障害を受けやすい期間であるとともに、この時に低温に遭遇すると本葉一葉期がさらに遅れる⁶⁾ので、播種から本葉一葉期までの日数を長く要することは生育遅延対策上の重大な弱点といえることができる。そして同時にこのことは北海道において洪水直播が減少し畑苗移植が広く普及していった大きな要因のひとつと考えられる。

一般的に直播イネの一穂粒数は移植イネより著しく少なく総粒数も少ないが、本試験においても同様の結果を得ている。直播イネの穂が小さいのは穂をつくるまでの日数が短い結果である⁶⁾との報告もあるが、本報の結果によれば穂が小さいのは稲体の栄養生理的条件の関与が大きいと思われる。すなわち根系の発育と窒素吸収様式の差異によって生じた栄養状態のちがいのために、直播イネの稲体窒素含有率が幼穂形成期ころから明らかに低下した結果と考えられる。

根の養分吸収量は根量と根の生理活性の両者によって規制されている³⁾。乾田直播イネで密播すると根の呼吸能は劣ることが明らかにされている¹⁸⁾が、移植イネと直播イネとの比較では個体密度の差が大きく、直播イネの根の呼吸能が移植イネよりも劣ることが考えられる。しかしながら洪水直播イネと移植イネを比較し両者の根の呼吸能は同じ¹⁰⁾とした場合はあるが、直播イネの方が劣るとしたものは見当らない。また本試験において発根力と溢泌力で示した稲体の生理的活力は移植

イネより直播イネの方が優っていた。すなわち直播イネの地力窒素の利用が劣った理由を稲体の生理的活力の差異では説明できない。また根の乾物重、根数についても直播イネの方が多く根量の差異によっても説明できない。ところが直播イネの根の分布様式は幼穂形成期、出穂期とも上層に集中していた。根の分布様式の差は地力窒素に依存する度合が高くなる生育後半に至り重要である³⁾といわれている。したがって総根量が多いにもかかわらず根の張りが浅くなることは直播イネの養分吸収領域が移植イネよりも狭くなることを意味しており、このことが直播イネの地力窒素の利用が劣ったことの主要な原因と考えられる。すなわち生育前半は施肥窒素が十分であるために、根の分布様式よりも総根量が窒素吸収量を支配しており直播イネの方が優ったが、幼穂形成期以後になると地力窒素の依存度が高まるために、根の分布様式の影響がより強くなり直播イネは逆に劣ることとなって、一穂粒数の減少あるいは分けつの著しい無効化などの結果をまねいたものと思われる。なお直播イネの根の張りが浅くなる理由は密播による個体生育の抑制¹⁸⁾などのほか、不明の点が多く今後の検討が必要であろう。また節間伸長期以後の茎葉窒素含有率は移植イネと直播イネの間に大差ない⁶⁾との報告もあるが、これは点播様式による結果であって、本試験の様に散播様式で実施された場合とは結果を異にするものと思われる。以上のことによって直播イネの総粒数確保にとって後期栄養の重要性はより明確にされた。

そこでイネわら連用と窒素追肥について考察する。まずイネわら連用は直播イネの生育中期から後期にかけての養分の供給と持続性の面で有効であり、その結果一穂粒数の増加効果と分けつ無効化の防止効果が認められた。すなわちイネわら施用によって土壌中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量およびその生成能が著しく増加した⁴⁾ことにより直播イネに対する後期養分が供給されたものと考えられる。

また根の分布が表層型をとる品種は表層施肥窒素の利用率が高くなる³⁾が、本試験においても移植イネに比べ直播イネの根が浅いために、生育後半の窒素追肥の効果は著しく高かった。すなわち幼穂形成期窒素追肥は倒伏などによる登熟不良のため増収しなかったが、粒数増加の効果は著しく、また、止葉期窒素追肥はイネわら連用の場合と同

様に総収数が増加し登熟性も高く増収した。なお止葉期窒素追肥は一般に収数の増加がほとんど認められないのに、本報の結果がこれと異なったのは播種様式が散播で実施されたためと思われる。

イネわら連用あるいは窒素追肥の施用量が限度を越えると倒伏などの危険を伴うが、筆者らの一連の実験においては幼穂形成期窒素追肥を除くと倒伏の障害はなく、登熟も良好で比較的多収が得られた。これには供試品種「イシカリ」の耐倒伏性の強さのためであろうが、本試験の播種法の関与が大きいと考えられる。

この湛水直播栽培における播種法は代播直後に散粒器で播種するために種子が埋没ないしは被泥している。三石⁹⁾は従来のいわゆる「タコ足」式播種器などによって湛水土壤表面に播種すると発芽、発根しても苗に働く水の浮力によって幼根が土中に浸入できないために苗が浮動しやすいことを明らかにし、さらに種子が多少埋没していると、このような障害は軽減できるとした。本試験の場合、種子は被泥しているために苗は確実に定着していたと思われ、倒伏に対する稲体の支持力も高めた可能性がある。したがって、このような湛水直播栽培において生育中期以後の栄養供給に配慮するなら、寒地においてもその収量性はさらに高まることが期待されよう。

なお本試験においてイネわら連用・止葉期窒素追肥組合せ区の収量の相乗効果は認められなかった。その理由としては総収数が $2.97 \times 10^4/\text{m}^2$ とやや少なかったためと考えられるが、窒素吸収量については追肥効果を抑制するような傾向も認められ、またイネわら連用による根の分布のより表層化、あるいは根の黒色化¹⁵⁾などマイナスの影響も考えられ、有機物の下層施用により根の活力が弱まる¹³⁾との報告もある。したがって、イネわら連用について幼穂形成期窒素追肥のような生育遅延や窒素吸収様式の不安定性あるいは減収といった障害は本試験の範囲内においては認められなかったが、イネわらの有効利用により安定確収を目標とするためには、根の機能、倒伏抵抗性、生育遅延などのイネわら連用による危険性を考慮して水田の透水性、肥沃度あるいは気象的立地条件などの適用範囲をさらに明らかにしていくことが必要であろう。

謝辞 本研究を進めるに当り貴重なご助言をい

ただいた上川農業試験場専門技術員小林莊司氏、多大のご協力をいただいた同水稻栽培科研究員、また本稿のご校閲をいただいた上川農業試験場長内俊一場長、中央農業試験場南松雄環境保全部長の各位に心から謝意を表する。

引用文献

- 1) 北海道立上川農業試験場。“排水不良田の地力培養方策ならびに土壤管理法に関する試験”。昭和55年度普及奨励・指導参考事項，北海道農務部編，1980，p.324—330。
- 2) 古山芳広，藤原耕治，南 松雄。“水稻品種の栄養生理的特性に関する研究，Ⅲ，¹⁵Nトレーサー法による施肥窒素の吸収利用特性”。北海道立農試集報，30，32—44（1974）。
- 3) 古山芳広，南 松雄。“同，Ⅳ，根系発達の特徴と窒素吸収特性”。同，39，42—53（1978）。
- 4) 南 松雄，前田 要。“寒地水田におけるイネわら連用の影響について”。同，23，67—79（1971）。
- 5) 三石昭三。“水稻の湛水土壤における土壤中埋没播種に関する作物学的研究”。石川短大研報，4，1—59（1975）。
- 6) 三宅正紀，星 忍。“北海道における水稻栽培法の比較”。北海道農試集報，75，53—59（1960）。
- 7) 三宅正紀，志賀一一，遠藤和雄。“湛水直播栽培の研究，直播様式と緩効性肥料”。日土肥講要集，12，100（1966）。
- 8) 三宅正紀，志賀一一，遠藤和雄。“同，窒素の施用時期”。同，13，123（1967）。
- 9) 三宅正紀，志賀一一，遠藤和雄。“同，窒素の施用法”。同，14，145（1968）。
- 10) 宮坂 昭編。“イネの直播栽培”。農山漁村文化協会，1973，p.39—46。
- 11) 農林省北海道農業試験場編。“水稻栽培試験成績書，1963—1965年度”。1964—1966。
- 12) 志賀一一，宮崎直美。“寒地における高収水稻のための窒素供給法，Ⅲ，高収水田類似の窒素供給法”。北海道農試研報，118，63—80（1977）。
- 13) 高橋和夫，速水昭彦，本谷耕一。“水稻の直播栽培における土壌および肥培条件”。東北農試研究速報，9，13—29（1968）。
- 14) 竹川昌和，森脇良三郎。“寒地直播栽培の水稻生産力の評価，1974年の生育実態”。日育会日作会北海道談話会報，15，18（1974）。
- 15) 竹川昌和，森脇良三郎。“直播イネの生育相に及ぼす窒素追肥と有機物施用の影響”。日作紀，46，別1，39—40（1977）。
- 16) 竹川昌和，森脇良三郎。“直播イネの初期生育に及

- ぼす冷水温の影響”. 北海道立農試集報, **41**, 21—28 (1979).
- 17) 竹川昌和, 森脇良三郎. “直播イネの発芽, 苗立障害に及ぼす過酸化石灰種子粉衣処理の効果”. 同, **42**, 1—9 (1979).
- 18) 上村幸正, 森谷睦夫. “水稻直播栽培における播種密度と地下部の生育反応との関係, とくに高密度条件の影響について”. 日作紀, **38**, 377—383 (1969).

Effect of Nitrogen Supply during the Late Growing Season on the Growth and Yield of Rice Plants Sown Directly in Flooded Field in Hokkaido

Masakazu TAKEKAWA* and Ryozauro MORIWAKI*

Summary

This study was conducted to evaluate the effects of the pattern of nitrogen absorption on the limiting factors of the high yielding ability such as the decrease in the percentage of productive culm and the decrease in the number of spikelets per panicle in directly sown rice plants in Hokkaido.

The amount of the roots of directly sown rice plants was larger than that of transplanted. But the roots of directly sown rice plants were mainly distributed in the surface layer of soil and the nutrient absorbing radius of the roots was narrower than that of transplanted. The amount of nitrogen absorbed after the young panicle formation stage was smaller than that of transplanted. The efficiency of soil nitrogen absorption after the young panicle formation stage in the directly sown field was very low, according to the result of analysis with ^{15}N tracer method. This is considered to be the main factor of the decrease in the percentage of productive culm and the decrease in the number of spikelets per panicle in the directly sown rice plants. The continuous application of rice straws, as well as the nitrogen top dressing at the flag leaf stage, increased the number of panicles, the number of spikelets per panicle, and grain yield (9 percent), probably due to an increase in nitrogen absorption in the latter half of the growing period.

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