

湛水直播栽培における播種後の落水管理が施肥窒素の動態および水稻の生育・収量に及ぼす影響

吉永悟志*・西田瑞彦・脇本賢三・田坂幸平
松島憲一・富樫辰志・下坪訓次
(九州農業試験場)

要旨: 近年、水稻の湛水土中直播栽培において出芽安定化のために播種後の落水管理が一般に行われてきている。そこで、播種後の水管理と施肥窒素の動態や水稻の窒素吸収との関係について検討し、落水管理が水稻の生育・収量へ及ぼす影響を明らかにするための試験を行った。水管理と出芽との関係については本試験においても播種後落水を行うことによる出芽率の向上および初期生育の促進が確認された。苗立ち後の生育は肥効調節型の被覆尿素肥料(LP100)を基肥に施用した場合には播種後の水管理による生育・収量の差は小さかったが、速効性肥料である硫酸を基肥に施用して播種後の落水管理を行った区では硫酸施肥を行って湛水管理を行った区に比較して幼穂分化期までの窒素吸収量が低下し粒数不足による減収を生じた。基肥に硫酸を施用し播種後落水管理を行った場合には、初期生育および初期分げつが顕著となるために生育初期の窒素吸収量が顕著に増大すること、また、落水にともなう施肥窒素の硝酸化成によると推定される土壤中アンモニウム態窒素含有量の低下が生じることが示されたため、これらの要因により幼穂分化期までの窒素吸収量に差を生じたものと推察された。このことから、播種後落水管理を行う場合には初期の肥効を抑制するとともに、生育中期の窒素不足を回避するような施肥法を行うことが、直播栽培における出芽・苗立ちの安定化と生育・収量の安定化の両立に重要となると考えられる。

キーワード: 出芽, 水稻, 生育, 施肥窒素, 湛水直播, 窒素吸収, 落水管理。

我が国における水稻栽培の大部分は機械移植により行われているが、近年の米の輸入関税化などに対応して稲作の大規模化、低コスト化の要請が強まるにつれ、省力的な栽培法である直播栽培の確立が求められている。直播栽培のうち湛水直播栽培では出芽・苗立ちの安定化が重要な課題であり、催芽種子に過酸化石灰を含んだ酸素供給剤を被覆して、土壤中10~20 mmの深さに播種する湛水土中直播栽培が一般的に行われるようになってきている。これまで、湛水土中直播栽培では播種後入水して湛水状態で出芽させる方式が一般的であった。この方式では湛水による保温効果や除草剤を早い時期に散布することで雑草防除を行いやすいという特長があったが、湛水状態では酸素供給剤の被覆を行っても出芽の不安定化が問題となっていた。これに対し、播種後の入水を行わず落水状態で出芽させる「落水出芽法」が近年全国的に導入されつつある(大場 1997)。落水状態では種子周辺の土壤が酸化的に推移する(古畑ら 1998, 田中 2000) ために出芽率の向上や初期生育の増大効果が大きいことが明らかにされている(吉永ら 1997, 高橋ら 1998, 佐藤ら 1999, 2000)。また、土壤硬度が高まるため、登熟期の耐倒伏性の向上にも効果のあることが報告されている(谷口ら 1998, 田中 2000)。さらには暖地で近年大きな問題となっているスクミリングガイによる出芽苗の食害についても落水期間中は食害が回避できる(Wada ら 1999) という特長がある。

一方、播種後の落水管理と苗立ち後の水稻の生育との関係については、穂数増加による増収(高橋ら 1998) や、幼穂分化期の窒素吸収量の低下(吉永ら 1998) などが示

されているが、播種後水管理が生育・収量に影響を及ぼす要因について検討を行っている報告例は少ない。また、落水中は基肥施肥直後に土壤が酸化状態となることから、乾田直播栽培で速効性肥料を基肥に施用した際に生じる脱窒・流亡による施肥窒素の利用効率の低下(佐藤ら 1993) についても検討を行う必要がある。

そこで、本報告では播種後の水管理条件と基肥の種類を変えて両要因が直播水稻の生育・収量に及ぼす影響について、土壤中の窒素の動態と水稻の窒素吸収との関係を中心に検討を行った。

材料と方法

1. 栽培条件

試験は1997~1999年の3ヶ年にわたって、九州農業試験場(筑後市)内の細粒灰色低地土水田において行った。供試品種は九州地域で最も栽培面積の大きい良食味品種のヒノヒカリを用いた。播種時期は1997および1998年は6月18日、1999年は5月28日で、乾籾の2倍重相当の酸素供給剤(カルパー粉粒剤16)を被覆したハト胸催芽籾を用い、打込み式代かき同時土中点播機(下坪ら 1996)による湛水直播栽培を行った。播種様式は条間30 cm, 株間20 cm (16.7 株 m^{-2}) 目標播種深度10 mmで、播種量は乾籾相当で約 3 gm^{-2} とした。播種後の水管理については湛水区および落水区を設け、湛水区では播種後入水して田面が露出しない程度の浅水管理により出芽させ、落水区では出芽揃い期までの約10日間(1997および1998年は9日間, 1999年は10日間) 落水状態とした。ただし、落水

期間中に土面の亀裂が大きくなり入水後の漏水が危惧された場合には一時的に入水を行った。また、水管理と土壌中の窒素の動態との関係を明らかにするために、基肥の種類として速効性の窒素肥料である硫安および緩効性の肥料である LP コート 100 (チッソ旭肥料 (株) 製, 以下 LP 100 と略) を施用する 2 処理区を設けた。LP 100 は 25°C 水温下で 100 日間に約 80% 溶出する特性を有する肥効調節型の被覆尿素肥料である。窒素施用量は両施肥区とも 5 gm^{-2} とし, P_2O_5 および K_2O も基肥散布時に成分量で各 5 gm^{-2} 施用した。両施肥区とも穂肥は出穂の約 20 日及び 10 日前に窒素成分で 3 および 2 gm^{-2} の硫安を施用した。なお、試験は 1997 および 1998 年は 2 反復, 1999 年は 3 反復で行った。

2. 土壌中アンモニウム態窒素含有量の測定

水管理および基肥の種類が土壌中のアンモニウム態窒素含有量に及ぼす影響を明らかにするために 1998 および 1999 年に以下の方法で試験を行った。圃場と同条件の施肥量に調整した代かき土壌をポットに充填して、同一施肥区内の播種を行っていない場所にポット上部が土壌表面と一致するように 1 区あたり 5 ポット埋設した。このとき使用した土壌およびポットは 5 mm 目で篩った試験圃場の土壌および底部に穴をあけた容積約 400 ml (上部半径 40 mm, 下部半径 35 mm, 高さ 100 mm) のポリエチレン製の円筒型ポットである。また、対照として無施肥区も設定した。各処理区の土壌は落水期間終了時に回収し、2 mm の篩を通した後 10% KCl 溶液でアンモニウム態窒素を抽出してケルダール法による分析を行った。

3. 出芽および生育・収量の調査方法

水管理と出芽との関係については、播種後 15 日目に苗立ち数、転び苗数および浮き苗数を調査し、苗立ち率および浮き苗率 ($100 \times (\text{転び苗数} + \text{浮き苗数}) / \text{出芽苗数}$) を算出した。また、1998 年および 1999 年のそれぞれ播種後 15 日および 21 日目に幼苗を 1 区あたり 30~40 個体サンプリングし、葉齢、草丈、乾物重および窒素含有率の調査を行った。出芽調査後は生育および収量調査地点の出芽苗を 1

株あたり 4~5 本に密度補正を行った。生育調査は 1998 年および 1999 年に 1 区あたり 10 株の茎数調査を行うとともに、1 区あたり 20 株の抜き取り調査を成熟期までの生育期間中に 4~5 回行った。抜き取り株は 80°C で 3 日間乾燥後、乾物重、窒素含有率を測定した。なお、窒素分析は乾式燃焼法 (住友化学 NC-80 Auto およびエレメンタル社 rapidN) により行った。収量調査は成熟期に 1 区あたり 50 株 (3.0 m^2) 刈り取って調査した。このとき、登熟歩合は 1.7 mm の粒選により算出した。

結 果

1. 出芽・苗立ちおよび初期生育

出芽時期の気象条件および苗立ち率を第 1 表に示した。気象条件は年次変動が大きく、1998 年は降水量が多く日照時間が少なかった。地温は湛水区に比較して落水区で低くなったが、その差は $0.2 \sim 0.8^\circ\text{C}$ と小さかった。苗立ち率は落水期間の天候が不順であった 1998 年は水管理による差は小さかったが、3 ヶ年とも落水管理により苗立ち率が向上する傾向を示した。このとき湛水区では出芽時に生じた浮き苗や転び苗の割合が 5~7% であったのに対し、落水区ではほとんど生じなかった。播種後 15 日 (1998 年) および 21 日目 (1999 年) における出芽個体の初期生育を第 2 表に示した。初期生育は両年とも類似の傾向が認められ、葉齢には水管理の影響は認められなかったが、硫安施肥により出葉速度が速まった。一方、草丈および乾物重は落水区で大きい傾向を示し、播種後の落水管理により初期生育が促進された。また、基肥の種類では硫安区の草丈および乾物重が LP 100 区に比較して顕著に大きく、特に落水区でその差が大きかった。窒素含有率は、水管理の影響は認められず、基肥の種類では硫安区で高かった。窒素含有量は乾物重および窒素含有率の高かった落水の硫安区で顕著に高く、湛水の LP 100 区が低かった。

2. 土壌中アンモニウム態窒素含有量の変化

水稻による養分吸収の影響を受けない条件における代かき直後および落水期間終了時の土壌中のアンモニウム態窒素含有量は水管理、基肥の種類による影響が認められた

第 1 表 出芽期の地温および出芽・苗立ち。

年次	播種後 水管理	平均地温 °C	降水量 mm	日照時間 h/day	苗立ち率 %	浮き苗率 %
1997	湛水	27.0	44	6.7	67.6	b
	落水	26.2			83.5	a
1998	湛水	26.3	297	2.2	58.6	a
	落水	26.1			63.3	a
1999	湛水	24.1	87	7.5	75.2	b
	落水	23.3			82.9	a

浮き苗率 = $100 \times (\text{浮き苗数} + \text{転び苗数}) / \text{出芽苗数}$ 。平均地温は播種後 10 日間の地表面下 10 mm における値。降水量は落水期間中の積算値。日照時間は落水期間中の日平均値。同一年次で同一記号のついた値間には LSD 法で 5% 水準の有意差がないことを示す。

第2表 出芽苗の初期生育。

年次	播種後	基肥	葉齢		草丈	乾物重		窒素	窒素	
	水管理	種類			mm	mg/plant		含有率 %	含有量 mg/plant	
1998	湛水	硫安	4.6	ab	186	b	31.0	b	4.7	a
		LP100	4.3	b	181	b	22.8	c	4.0	b
	落水	硫安	4.7	a	197	a	39.4	a	4.7	a
		LP100	4.4	b	185	b	28.8	b	4.2	ab
1999	湛水	硫安	5.6	a	172	b	55.4	b	3.7	a
		LP100	5.3	b	165	b	40.5	b	3.6	b
	落水	硫安	5.7	a	195	a	87.1	a	3.7	a
		LP100	5.3	b	176	b	44.4	b	3.6	b

調査日は播種後15日目(1998)および21日目(1999)。同一年次で同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す。

第3表 土壌中アンモニウム態窒素含有量の変化
(単位: mg 100 g⁻¹ 乾土)。

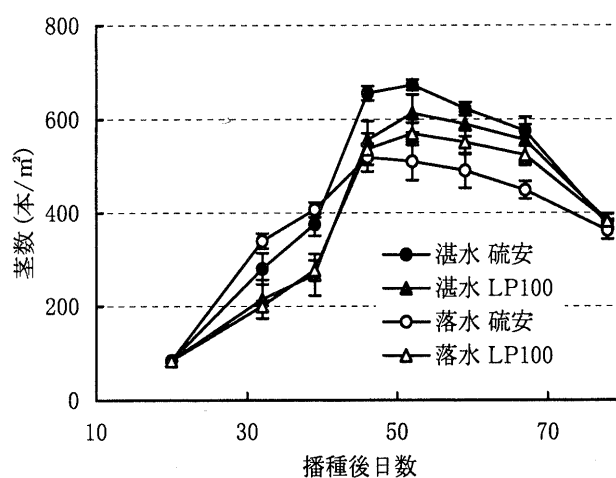
年次	播種後	基肥	代かき	落水	増減
	水管理	種類	直後(A)	終了時(B)	(B-A)
1998	湛水	無施肥	2.38 b	2.83 cd	0.45 ab
		硫安	7.63 a	7.88 a	0.25 b
		LP100	2.39 b	3.02 c	0.62 a
	落水	無施肥	2.38 b	2.56 d	0.18 ab
		硫安	7.63 a	6.80 b	-0.84 c
		LP100	2.39 b	3.17 c	0.78 a
1999	湛水	無施肥	3.67 b	4.25 cd	0.58 b
		硫安	8.19 a	8.74 a	0.54 b
		LP100	3.50 b	4.54 c	1.04 a
	落水	無施肥	3.67 b	3.96 d	0.29 b
		硫安	8.19 a	6.97 b	-1.22 c
		LP100	3.50 b	4.11 cd	0.61 ab

1998および1999年の落水期間は9および10日間。同一年次で同一記号のついた値間にはLSD法で5%水準の有意差がないことを示す。

(第3表)。速効性肥料である硫安を基肥に施用した硫安区では代かき直後のアンモニウム態窒素が無施肥区に比較して高かった。このような高いアンモニウム態窒素含有量は代かき後湛水状態を継続した場合にはほとんど変化しなかったが、約10日間落水状態であった落水区では落水期間中にアンモニウム態窒素含有量が減少した。また、その減少量は1998年は1999年に比較して小さかった。一方、基肥に緩効性肥料であるLP100を施用したLP100区では代かき直後のアンモニウム態窒素含有量は無施肥区との差は小さく、落水終了時の値についても水管理による影響は認められなかった。なお、サンプリング時の土壌含水率は1998年は3%、1999年は4%それぞれ湛水区に比較して落水区で低かった。

3. 分けつ、乾物重および窒素吸収量

分けつの推移は1998、1999年とも類似した傾向であったため、1999年の分けつの推移を第1図に示した。初期の分けつ増加は硫安区で大きく、特に落水区の分けつ増加が顕著となるが、この区では最高分けつ期が早まった。こ



第1図 分けつ数の推移。

1999年データ。垂直線は標準誤差を示す。

れに対しLP100区では硫安区に比較して初期の分けつ増加が小さいとともに、水管理による差は小さかった。

地上部乾物重は最高分けつ期までは基肥の種類による差を生じ、硫安区がLP100区に比較して乾物重が大きかったが、水管理による差は認められなかった(第4表)。窒素吸収量は第5表のように水管理および基肥の種類の影響を示した。分けつ期では生育初期の出芽個体の窒素吸収量と同様の傾向を示し、硫安区で窒素吸収量が大きく、特に落水によりその傾向が顕著となった。しかしながら、硫安区では最高分けつ期および幼穂分化期には2ヶ年とも湛水区に比較して落水区において窒素吸収量が約1 g m⁻²低下した。一方、LP100区では硫安区のような水管理による窒素吸収量の差は認められなかった。

4. 出穂期、収量および収量構成要素

出穂期は年次により異なったが、水管理および基肥の種類による差は認められず、9月3日(1997年)、9月1日(1998年)および8月25日(1999年)であった。第6表に示したように、各年次の収量および収量構成要素の処理間差は有意差の有無に差があるものの3ヶ年とも類似の傾向を示した。すなわち、基肥の種類では硫安区において

第4表 各生育時期における地上部乾物重.

年次	播種後 水管理	基肥 種類	地上部乾物重 (g/m ²)				
			I	II	III	IV	V
1998	湛水	硫安		293 ab	579	1119	1533
		LP100		266 c	588	1122	1608
	落水	硫安		312 a	566	1093	1537
		LP100		281 bc	571	1100	1576
1999	湛水	硫安	50 ab	206 a	399	897	1388
		LP100	30 b	137 b	322	805	1371
	落水	硫安	66 a	202 a	386	860	1331
		LP100	34 b	146 b	347	868	1363

I~V はそれぞれ分けつ期, 最高分けつ期, 幼穂分化期, 穂揃い期および成熟期を示し, 各処理区のサンプリングは同一日に行った. 同一年次で同一記号のついた値間には LSD 法で 5%水準の有意差がないことを示す (以上, 第5表も同じ).

第5表 各生育時期における窒素吸収量.

年次	播種後 水管理	基肥 種類	窒素吸収量 (g/m ²)				
			I	II	III	IV	V
1998	湛水	硫安		7.1 a	7.7 b	12.4 a	12.9 bc
		LP100		7.0 a	8.5 a	12.9 a	14.2 ab
	落水	硫安		6.1 a	6.5 c	11.2 b	12.5 c
		LP100		6.4 a	8.1 ab	12.8 a	15.1 a
1999	湛水	硫安	1.7 ab	4.6 a	5.0 a	9.9 b	12.4 ab
		LP100	1.0 b	3.2 c	4.8 ab	10.1 b	13.4 a
	落水	硫安	2.1 a	3.8 b	4.0 b	9.5 b	11.3 b
		LP100	1.1 b	3.2 c	4.6 ab	11.2 a	13.0 a

第6表 収量および収量構成要素.

年次	播種後 水管理	基肥 種類	精玄米 重 g/m ²	同左 指数	穂数 no./m ²	1穂 粒数 no.	総 粒数 ×千/m ²	同左 指数	登熟 歩合 %	千粒重 g
1997	湛水	硫安	614 a	(100)	442 a	69 a	30.3 a	(100)	87.5 a	23.1 a
		LP100	597 a	97	407 a	74 a	30.0 ab	99	86.2 a	23.0 a
	落水	硫安	577 b	94	441 a	64 a	28.2 b	93	88.9 a	23.1 a
		LP100	601 a	98	441 a	68 a	29.8 ab	98	87.4 a	23.1 a
1998	湛水	硫安	581 a	(100)	391 a	72 a	28.2 ab	(100)	90.2 b	22.8 b
		LP100	579 a	100	404 a	74 a	30.0 a	106	85.8 c	22.5 b
	落水	硫安	572 a	98	349 b	75 a	26.3 b	93	92.3 a	23.6 a
		LP100	592 a	102	383 a	76 a	29.1 a	103	88.5 b	23.0 ab
1999	湛水	硫安	533 a	(100)	374 a	72 bc	27.0 b	(100)	84.8 b	23.3 ab
		LP100	533 a	100	383 a	75 ab	28.7 a	106	80.2 c	23.1 b
	落水	硫安	519 a	97	361 a	70 c	25.3 c	94	87.5 a	23.5 a
		LP100	532 a	100	382 a	76 a	29.0 a	107	79.6 c	23.1 b
平均値	湛水	硫安	576 a	(100)	402 a	71 a	28.5 a	(100)	87.5 ab	23.1 a
		LP100	570 a	99	398 a	74 a	29.6 a	104	84.1 c	22.9 a
	落水	硫安	556 b	97	384 a	70 a	26.6 b	93	89.6 a	23.4 a
		LP100	575 a	100	402 a	73 a	29.3 a	103	85.2 bc	23.1 a

精玄米重は粒厚 1.70 mm 以上, 水分 15%換算. 平均値では 3ヶ年の数値をあわせて統計検定を行った.
同一年次または平均値において同一記号のついた値間には LSD 法で 5%水準の有意差がないことを示す.

LP 100 区に比較して総粒数の減少および登熟歩合の向上が認められたが, 同一施肥法で水管理による差を比較すると LP 100 区では総粒数の水管理による差は小さく, 精玄米重の差も小さかったのに対し, 硫安区では落水区の総粒数は湛水区に比較して減少し, 精玄米重の 3ヶ年平均値は

有意に減少した. 特に総粒数については硫安施肥の落水区における低下程度は同湛水区に比較して 3ヶ年平均で 7%, LP 100 区に比較すると 3ヶ年平均で約 10%と顕著であった.

考 察

播種後落水を行う場合には、除草剤の散布時期が遅れることや湛水による保温効果がないと出芽が遅れることが問題となると考えられてきた。しかしながら、雑草防除については葉齢の進んだヒエを防除できる除草剤が近年普及しつつあるため、落水により除草剤散布時期が遅れても一定の防除効果が期待できるようになった。また、水管理と地温の関係については田中（2000）は落水を行うと湛水に比較して最低地温は低下するが最高地温は逆に高まる傾向を示すため平均地温の低下程度は小さく、出芽時期への影響も小さいことを示している。本試験においても落水により平均地温は若干低下したが差は小さく、実際の出芽時期にもほとんど差が認められなかった。一方、水管理と出芽率および出芽苗の初期生育についてはこれまでに報告されている（吉永ら 1997, 高橋ら 1998, 佐藤ら 1999, 2000）ように、本試験においても播種後落水を行うことにより出芽率が向上するとともに、出芽苗の初期生育が促進された。このような、落水管理による初期生育の増大は基肥の硫安施肥により顕著となるとともに窒素吸収量も増大した。この理由としては、落水により根の生育が促進され（高橋ら 1998, 佐藤ら 1999）、根域が拡大することおよび硫安施肥により可給態窒素が土壤中に豊富に存在したことが考えられる。このような出芽苗の初期生育および窒素吸収量の増大により落水管理を行った硫安施肥区における初期分げつの増大を生じたと推察される。落水管理によるこのような初期生育の増大や分げつの促進は高橋ら（1998）の結果とも一致している。以上のように、落水管理は湛水直播栽培の問題点である出芽・苗立ちの安定化に効果的であることが確認されるとともに、速効性窒素の基肥施用は落水管理による初期生育および窒素吸収量の増大をより顕著とすることが明らかとなった。

水管理と土壤中アンモニウム態窒素含有量の変化については、肥効調節型被覆尿素である LP 100 を施用した区では代かき直後のアンモニウム態窒素含有量は無施肥区と同等であるとともに、落水管理終了時のアンモニウム態窒素含有量は無施肥区に比較して $0.2 \sim 0.6 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ 乾土程度の増加であった。LP 100 は 25°C 水温下で 100 日間に約 80% の窒素が溶出する溶出タイプであり、この期間の推定溶出量は約 0.4 mg であることから実測値と推定値はほぼ一致していた。これに対し、硫安施肥区では施用直後に肥料が溶解するため、代かき直後のアンモニウム態窒素含有量が無施肥区に比較して $4.5 \sim 5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ 乾土多くなった。硫安施肥区におけるアンモニウム態窒素含有量は湛水状態ではそのまま維持されたが、落水状態では約 $1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ 乾土減少した。このような減少を生じた理由としては、落水により酸化的な土壌状態となったことで硝酸化により硝酸態窒素量が増大するとともに脱窒量が増大した（佐藤ら 1993, 山室 1985）ことや土壌微生物への

取り込み量に差を生じたことなどが考えられる。なお、アンモニウム態窒素含有量の減少程度に年次間差を生じた要因は 1998 年は落水期間中の降水量が多く、土壌の乾燥程度が小さかったためと思われる。

収量および収量構成要素における施肥および水管理の影響については、硫安施肥の落水区における総粒数の低下が顕著で精玄米重も同区で低下した。和田（1980）は暖地水稻は分げつ速度が大きいいため最高分げつ期が早まり栄養生長停滞期（Vegetative Lag Phase）が長くなるために、この時期の窒素吸収が抑制され、粒数不足になることを報告している。また、小林ら（1994）は総粒数の決定には穎花分化始期の稲体の地上部窒素吸収量の影響が最も大きいことを示している。本試験においても硫安施肥の落水区において初期の分げつが旺盛で最高分げつ期が早まるとともに、1998 年および 1999 年の最高分げつ期から幼穂分化期の窒素吸収量も 0.4 および 0.2 gm^{-2} と他の区に比較して小さくなった。また、同区の幼穂分化期の窒素吸収量も他の区に比較して顕著に低下しており、これらの要因により総粒数が低下し、減収を生じたものと推察される。

以上のことから、基肥への速効性肥料施用と落水管理を組み合わせることは初期生育の増大にともなう生育初期の窒素吸収量の増大、落水にともなう施肥窒素の硝酸化によると推定される土壤中アンモニウム態窒素含有量の低下等により最高分げつ期までに土壤中の可給態窒素量が不足し、幼穂分化期までの水稻の窒素吸収量の低下により粒数不足が顕著となり、減収を生じさせる可能性のあることが示された。このため、播種後落水管理を行う場合には初期の肥効を抑制するとともに、生育中期の窒素不足を回避するような施肥法を行うことが、直播栽培における出芽・苗立ちの安定化と生育・収量の安定化の両立に重要となるであろう。具体的な方法としては、本試験で用いた LP 100 のように窒素肥効が緩やかで施肥窒素利用率も高い肥効調節型被覆尿素を用いることや、速効性肥料を用いる場合には基肥の施用量を減じて初期生育を抑制するとともに中間追肥等で生育に見合った窒素供給を行うこと、種子位置からある程度の距離をおいた側条に施肥を行うことにより窒素肥効発現を抑制することなどがあげられる。また、落水期間や落水の程度は土壌や気象条件、スクミリングガイの発生程度等に応じて変動する場合があるため、上記のような施肥法は落水期間や落水の程度の変動にともなう水稻の生育の変動を小さくするという点においても重要である。

以上の結果は、北部九州の麦跡における水稻の直播栽培を想定して行った試験であり、第 1 表に示したように播種後出芽までの期間の地温は 25°C 前後と高い条件であった。これに対し暖地における早期栽培や寒冷地における栽培では出芽時期の平均気温は 15°C 以下となる場合も多い。本試験で落水にともなう土壤中アンモニウム態窒素の減少を生じた主要因と考えられる硝酸化は低温条件では抑制される（Bremner ら 1958）ことから、播種時期の温度の低

い場合には落水期間は長くなるが落水にともなうアンモニウム態窒素含有量の低下程度は小さくなることが推察される。また、生育期の気温が全般に低く分げつ速度の小さい場合には初期生育や初期の分げつを促進することが重要となるため、気温の低い時期に播種を行う場合には、速効性肥料施用と落水管理を組み合わせることは直播水稻の生育の安定化に寄与することが考えられる。このため、気象条件に対応した落水管理時の施肥法についてさらに検討を重ねる必要があると考える。

謝辞: 鹿児島県農業試験場の竹牟禮稜氏には本研究の遂行にあたり、1999年に九州農業試験場の依頼研究員としてご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

引用文献

- Bremner, J.M. and K. Shaw 1958. Denitrification on soil. II. Factors affecting denitrification. J. Agr. Sci. 51: 40—51.
- 古畑昌巳・楠田幸・三原実 1998. 湛水直播における播種後の落水が出芽、苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 67(別1): 256—257.
- 小林和広・堀江武 1994. 水稻の穎花ならびに枝梗分化に及ぼす生殖生長期の体内窒素の影響. 日作紀 63: 193—199.
- 大場茂明 1997. 落水出芽法の由来. 農業技術 52: 33—34.
- 佐藤徳雄・渋谷暁一・三枝正彦・阿部篤郎 1993. 肥効調節型被覆尿素を用いた水稻の全量基肥不耕起直播栽培. 日作紀 62: 408—413.
- 佐藤徹・藤本寛・丸山幸夫 1999. 湛水直播水稻の生育に及ぼす出芽苗立期の水管理の影響. 日作紀 68(別2): 228—229.
- 佐藤徹・丸山幸夫 2000. 出芽苗立期の落水管理による湛水直播水稻の生長促進機構. 日作紀 69(別1): 108—109.
- 下坪訓次・富樫辰志 1996. 水稻の代かき同時土中直播栽培に関する研究. 1. 点播直播について. 日作紀 65(別1): 12—13.
- 高橋久光・増岡彩子・太田保夫 1998. 湛水土壤中直播栽培における落水処理が稲の初期生育および収量に及ぼす影響. 日作紀 67(別1): 252—253.
- 田中英彦 2000. 寒冷地における直播栽培技術の現状と展望 4. (1) 出芽・苗立ち安定化技術. 北農 67: 132—134.
- 谷口岳志・中邑光太郎・荻原均・寺島一男 1998. 水稻湛水直播栽培における水管理条件が耐倒伏性と生育に及ぼす影響. 日作紀 67(別1): 254—255.
- 和田学 1980. 暖地水稻の Vegetative Lag Phase に関する作物学的研究—特に窒素吸収パターンとの関連—. 九州農試報 21: 113—250.
- Wada, T., K. Ichinose and H. Higuchi 1999. Effect of drainage to direct-sown rice by the apple snail *Pomacea canaliculata*. Appl. Entomol. Zool. 34: 365—370.
- 山室成一 1985. 強粘質半湿田と乾田化水田における施肥および土壌無機化窒素の有機化, 脱窒および水稻による吸収. 土肥誌 56: 10—14.
- 吉永悟志・富樫辰志・脇本賢三・下坪訓次 1997. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 4. 播種後の水管理が出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 66(別2): 3—4.
- 吉永悟志・富樫辰志・下坪訓次・脇本賢三 1998. 水稻の代かき同時土中点播栽培における播種後の水管理が生育・収量に及ぼす影響. 日作九支報 64: 27—30.

Effects of Drainage after Submerged Direct-Seeding on the Effectiveness of Fertilized Nitrogen and the Growth and Yield of Rice Plants: Satoshi YOSHINAGA*, Mizuhiko NISHIDA, Kenzo WAKIMOTO, Kohei TASAKA, Ken-ichi MATSUSHIMA, Tatsushi TOGASHI and Kunji SHIMOTSUBO (*Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn. Chikugo 833-0041, Japan*)

Abstract: Drainage after seeding has recently been practiced in general for the improvement of seedling emergence in submerged direct-seeding rice (*Oryza sativa* L.) cultivation. We examined the relationship between water management after direct-seeding and the effectiveness of fertilized nitrogen to clarify the effects of drainage on the growth and yield of rice. It was confirmed that the drainage after seeding improved the seedling emergence rate and stimulated the initial growth of the seedling. When controlled release fertilizer (LP100) was applied as basal dressing, water management after seeding had no effect on the growth and yield. However, when ammonium sulfate was applied, the yield was reduced by the drainage after seeding, due to the decrease in nitrogen uptake of rice at the panicle initiation stage, and resulting reduction in the number of spikelets. In this case, nitrogen uptake seemed to be reduced because nitrogen uptake in the early growth stage was increased by the increase in initial growth and tillering and because the content of ammonium nitrogen in soil was reduced by nitrification of the fertilized nitrogen during drainage. These results showed that the suppression of nitrogen uptake at the initial growth stage and the avoidance of nitrogen deficiency at the intermediate growth stage, are important to stabilize not only seedling emergence but also growth and yield for the management of drainage after seeding.

Key words: Drainage, Growth, Nitrogen fertilizer, Nitrogen uptake, Rice, Seedling emergence, Submerged direct-seeding.