

研究論文

栽培

中国産多収性水稻品種揚稲 4 号の出液速度と窒素吸収量に 及ぼす肥料の種類と施肥量の影響

居 静^{1,2)}・山本由徳²⁾・宮崎彰²⁾・吉田徹志²⁾・王余龍³⁾

(¹⁾ 愛媛大学大学院連合農学研究科, ²⁾ 高知大学農学部, ³⁾ 揚州大学農学院)

要旨: 中国で育成された大穂の多収性インド型品種揚稲 4 号の減数分裂期 (減分期) 及び穂揃期の切り株断面からの出液速度と幼穂形成前期 (出穂期前 23~27 日前, 幼形前期) から出穂期にかけての窒素吸収量に及ぼす肥料の種類 [一般肥料 (塩安, 過リン酸石灰, 塩加, CF) と緩効性肥料入り複合肥料 (くみあい被覆尿素入り複合肥料, LP 複合肥料 444E-80, SRF) と施肥量 [窒素, リン酸, カリが成分量で 0 (無施肥, Non-F), 6 (L), 12 (M), 18g (H) m⁻² の 4 段階] の影響について, 出穂期がほぼ等しい日本稲品種ヒノヒカリを対照品種として検討した. 幼形前期と出穂期の有効茎 (青葉数が 4 枚以上をもつ茎) 数は, 施肥量の増加とともに多くなり, Non-F 区に対する増加割合は, 揚稲 4 号に比べてヒノヒカリで, また CF 区に比べて SRF 区で大きかった. 同一施肥条件下の有効茎数は, 揚稲 4 号に比べてヒノヒカリで 1.6~2.3 倍多かったが, 1 茎重は揚稲 4 号で 1.9~2.5 倍の値を示した. 減分期と穂揃期の株当たり出液速度は, Non-F 区ではヒノヒカリが, 施肥区では穂揃期の L-SRF 区を除いて, いずれも揚稲 4 号が優った. 両品種の株当たりの出液速度は, 施肥量の増加に伴って増大したが, 同一施肥条件下では肥料の種類による有意差は認められず, Non-F 区に対する増加割合は揚稲 4 号で大きかった. 両時期の株当たり出液速度の平均値は, ヒノヒカリでは幼形前期と出穂期の株当たり有効茎数の平均値とのみ有意な正の相関関係を示したが, 揚稲 4 号では, 有効茎数と茎当たり出液速度の平均値の両者と有意な正の相関関係を示し, 相関の程度は後者の方が高かった. また, 両時期の株当たり, あるいは有効茎当たりの出液速度の平均値は幼形前期から出穂期にかけての窒素吸収量と密接に関連した. これらより, 揚稲 4 号では, ヒノヒカリに比べて茎当たりの出液速度が株当たりの茎数差を上回り, 株当たりの出液速度が優ったために, 窒素吸収量も高くなったものと推定された

キーワード: 緩効性肥料, 出液速度, 水稻, 窒素吸収量, 中国産多収性品種, 穂重型品種, 幼穂形成期.

近年, 中国では F₁ ハイブリッド品種のみならず, 普通品種においても多数の多収性品種が育成され, 単収向上に寄与している (万 1994a, b, 王ら 1995). これらの品種は, 1 穂が大きく, 1 穂当たりの穎花数が多く, 多収の基礎となる面積当たりの穎花数を 1 穂穎花数で確保する傾向にある (東 1988, 宋ら 1990, Amano ら 1993, 天野ら 1996a, b, 王ら 1995, 1997, 山本ら 2001). 水稻の面積当たりの穎花数は, 出穂期の窒素吸収量と密接に関係することが指摘されている (和田 1969) が, 特に中国で育成された穂重型のインド型及び日本型多収性品種では, 幼穂形成期の窒素の吸収量が 1 穂穎花数を多くして, 多収を実現する上で重要であることが指摘されている (王ら 1997, Yao ら 2000b). このことは, 中国のみならず, 韓国や日本で育成された半矮性インド型多収性品種においても, 日本の一般品種に比べて, 成熟期や生育時期別の窒素吸収量が多い傾向にあるとの報告と一致する (樋口・吉野 1986, 本松ら 1988, 平岡ら 1992, Yao ら 2000a). 水稻の窒素, リン酸, カリの吸収には, 根の代謝活性が密接に関係すると推定される (武長 1990). 水稻根の代謝活性 (活力) の測定には,

多くの時間を要するために, 多数の品種や多数の処理区について根の活力と養分吸収量との関係を検討することは困難であった. しかし, 最近, 山口ら (1995) や森田・阿部 (1997, 1999a) によって, 水稻株の切断面からの出液速度が根の呼吸速度と密接に関係していることが明らかにされ, 出液速度の測定により, 根の活力が簡単に測定されるようになった. この方法の確立により, 水稻根の活力の指標としての出液速度の日変化及び生育に伴う変化 (森田・阿部 1999b, 2002), 品種間差異 (山口ら 1999, 楠谷ら 2000, Ansari ら 2004) や環境要因の影響 (山口ら 1995) について検討されている. しかし, 出液速度と養分吸収量との関係を直接検討した報告は少ない (山口ら 1999).

一方, 近年, 日本では水稻の省力栽培や施用窒素の利用効率を高め, 利用周辺河川への環境汚染軽減の目的から, 基肥に 1 回施用するだけの全量基肥施肥用肥料が普及している (橋川 1990, 亀川 1990, 小野 1992, 小野 1992, 藤田・渡辺 1995, 南條ら 1995). 中国においても経済発展に伴う農家の雇用機会の増加による省力化や環境汚染軽減対策として, 全量基肥施肥用肥料が普及することが予想される.

しかし、中国産多収性水稻品種への全量基肥施用肥料である緩効性肥料あるいはそれを含む複合肥料の施用効果について検討した例は皆無である。

このような観点から、本研究では中国産の大穂インド型多収性品種（普通品種）を供試して、一般肥料と緩効性肥料を含む複合肥料を用い、各々3段階の施肥量を設けて、とくに収量成立過程の上から重要とされている幼穂形成期の窒素吸収量とこれに密接に関係すると考えられた出液速度（根の活力）との関係について、日本稲品種との比較により検討した。

材料と方法

供試品種として中国で育成されたインド型多収性水稻品種、揚稲4号及び対照品種として出穂期がほぼ等しい日本稲品種、ヒノヒカリ（日本型品種）を用いた。揚稲4号は、中国江蘇省において育成され、1990年より普及を開始し、1995年には17.9万haに栽培された品種である。中国における収量水準は、籾収量で 1000 g m^{-2} 以上とされ（Yaoら2000a）、高知県においても玄米収量で 760 g m^{-2} を記録している（山本ら2001）。収量構成要素の特性としては、1穂穎花数が150前後（山本ら2001）と多い大穂品種である。

実験は2004年5月～10月にかけて、高知大学農学部附属暖地フィールドサイエンス教育研究センター（以下、FSC）南国フィールドで行った。FSCの慣行法（ただし、育苗箱当たりの播種量は乾籾で100g）で育成した中苗（葉齢4.0前後）を2004年6月3日と4日にFSC南国フィールド内の水田に条間30cm、株間15cm（ 22.2 株 m^{-2} ）で1株2本植で手植えた。施肥は、窒素、リン酸、カリを、それぞれ塩安、過リン酸石灰、塩化カリの単肥で施用する区（CF区）と緩効性肥料を含む複合肥料（くみあい被覆尿素入り複合肥料、LP複合444、E-80）を基肥のみで施用する区（SRF区）を設けた。また、CF区、SRF区のそれぞれについて、窒素、リン酸、カリの施用量を3水準〔少肥区（L区）、標準区（M区）、多肥区（H区）〕設けた（第1表）。基肥は両区とも、植代直前に施用した。また、CF区の追肥は、窒素とカリについて第1表に示した時期に表

層施用した。これらの施肥区以外に、両品種とも無施肥区（Non-F区）を設け、各処理区は2反復とした。病虫害の防除は、適宜農薬散布によった。

移植後各処理区の各反復区5株（各処理区2反復で10株）について、最高分けつ期に相当した7月11日と15日に全茎数を数え、両調査日で茎数の増加がないことを確認して最高茎数とした。また、各区の出穂期後1週間目に同一の個体について穂数を数え、有効茎歩合を算出した。両品種各処理区の強勢茎の幼穂長が約1～2mmに達した揚稲4号では出穂期前23～25日目、ヒノヒカリでは同25～27日目（幼穂形成前期前期、以下、幼形前期）と出穂期（揚稲4号：8月18日～20日、ヒノヒカリ：8月23日～25日）に各処理区の各反復区より、20株について青葉数が4枚以上の茎を有効茎（星川1982）として茎数を調査し、平均値に近い3株（各処理区2反復で合計6株）を採取した。そして、根に付着した土を水道水で洗浄し、部位別（ただし、根は除く）に分解した後、 95°C で2時間、 65°C で2日間乾燥して、乾物重を測定した。また、各処理区の各反復区の3株のうち、平均値に近い1株の各部位別の窒素をセミマイクロケルダール法で測定した。そして、3株の各部位別の平均乾物重から、窒素含有量を算出した。

出液速度は、両品種の窒素吸収量を調査した時期のほぼ中間時期に相当した揚稲4号では出穂期前11～13日目（減数分裂期、以下、減分期）と出穂期後1～3日目（以下、穂揃期）、ヒノヒカリでは同11日目（減分期）と同2～3日目（穂揃期）に、森田・阿部（1999）の方法に準じて測定した。すなわち、各処理区の各反復区において、20株の有効茎数を測定し、有効茎数が平均値に近い株2株（各処理区2反復で合計4株）を選定した。そして、株の基部をビニールテープで縛った後、地上18cmの位置で株を切断し、あらかじめ重さを測定しておいた脱脂綿を切り口に於て、サランラップで覆い、輪ゴムで固定した。測定は午前10時～11時に開始し、1時間後に脱脂綿を回収して直ちに重さを測定した。

第1表 本田の施肥設計（ g m^{-2} ）。

処理区		基 肥			分けつ肥***			穂肥 I ****		穂肥 II ****		実肥			合 計		
肥料の種類	施肥量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	N	K ₂ O	N	K ₂ O	N	K ₂ O	N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
一般肥料 (CF)*	少肥 (L) 区	2	6	4	1	1	1	1	1	1	1	6	6	6			
	標準 (M) 区	4	12	8	2	2	2	2	2	2	2	12	12	12			
	多肥 (H) 区	6	18	12	3	3	3	3	3	3	3	18	18	18			
緩効性肥料 (SRF)**	少肥 (L) 区	6	6	6	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6			
	標準 (M) 区	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12			
	多肥 (H) 区	18	18	18	0	0	0	0	0	0	0	18	18	18			
無施肥区 (Non-F)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

*窒素 (N) は塩安、リン酸 (P₂O₅) は過リン酸石灰、カリ (K₂O) は塩化カリを使用した。**緩効性肥料には、くみあい被覆尿素入り複合肥料、LP複合444、E-80を使用した。***分けつ肥は、移植後20日目に施用した。****穂肥 I は、強勢茎の幼穂長が1～2mmに達した出穂期前23～27日目に施用した。穂肥 II は、穂肥 I 施用後10日目に施用した。

結 果

第2表には、幼形前期と出穂期における株当たりの有効茎数と有効茎1茎当たりの乾物重を示した。有効茎数は、ヒノヒカリに比べて揚稲4号で著しく少なく、同一の施肥条件下ではいずれも有意 ($p < 0.05$, 以下同じ) 差が認められ、幼形前期と出穂期のヒノヒカリの有効茎数は揚稲4号の1.6~2.3倍を示した。そして、揚稲4号で有効茎数が最高値を示した H-SRF 区においても、ヒノヒカリの Non-F 区の値を下回った。揚稲4号の株当たりの最高茎数は13.5~18.7本で、ヒノヒカリの15.4~23.1本に比べて少なく、さらに有効茎歩合は50.0~58.4%とヒノヒカリの86.3~93.3%に比べて著しく低かったことが有効茎数の低い原因であった(データ省略)。両品種の施肥区では、幼形前期と出穂期において、CF区とSRF区ともに施肥量の増加に伴い有効茎数は増加したが、Non-F区に対する増加割合はCF区に比べてSRF区で大きかった。また、Non-F区に対する施肥の効果は、ヒノヒカリではいずれも有意に認められたが、揚稲4号では、幼形前期のL-CF区とM-CF区及び出穂期の全区において有意差は認められなかった。出穂期におけるNon-F区(=100)に対する施肥区の有効茎数の割合は、ヒノヒカリの122~165%に対して、揚稲4号では104~133%であった。

幼形前期と出穂期の有効茎1茎当たりの乾物重は、施肥の有無や施肥量に関わりなく、ヒノヒカリに比べて揚稲4号で明らかに重かった(第2表)。施肥条件下での揚稲4号の1茎当たりの乾物重は、幼形前期でヒノヒカリの1.9~2.3倍、出穂期で2.3~2.5倍の値を示した。揚稲4号では、幼形前期の各施肥区の1茎当たり乾物重は、L-SRF区とH-SRF区を除いてNon-F区に有意に優ったが、出穂期では処理区間に有意差はみられなかった。ヒノヒカリで

は、幼形前期及び出穂期ともにNon-F区の1茎当たりの乾物重は施肥区との間に有意差は認められなかった。また、両品種とも施肥区では、肥料の種類や施肥量の影響は明かではなく、幼形前期、出穂期ともに処理区間にほとんど有意差は認められなかった。

両品種の株当たり出液速度は、Non-F区やヒノヒカリの施肥量の少ない区(L-CF区とL-SRF区)では減分期に比べて穂揃期で増加した(第3表)。これに対して、M区やH区では、株当たり出液速度が減分期から穂揃期にかけてやや低下する傾向が見られた。また、減分期及び穂揃期ともNon-F区では、有意差はみられなかったものの、ヒノヒカリに比べて揚稲4号でやや低い値を示した。しかし、施肥区では、穂揃期のL-SRF区を除いて、いずれもヒノヒカリに比べて揚稲4号で高い値を示し、減分期のSRF区の全区、M-CF区、及び穂揃期のH-CF区とH-SRF区では有意差がみられた。揚稲4号の減分期と穂揃期並びにヒノヒカリの減分期でのCF区とSRF区においては、施肥量の増加に伴い株当たり出液速度が増加する傾向を示したが、Non-F区に対する増加割合はヒノヒカリに比べて揚稲4号で高かった。また、同一施肥量下では、両品種とも肥料の種類による有意差は認められなかった。

次に、株当たりの出液速度を有効茎数で除した有効茎1茎当たりの出液速度(以下、茎当たり出液速度)をみると、Non-F区では、減分期に両品種間に有意差は認められなかったが、穂揃期には揚稲4号が有意に高かった(第3表)。また、両品種の同一施肥区では、いずれもヒノヒカリに比べて揚稲4号で有意に高かった。しかし、両品種の減分期と穂揃期の茎当たり出液速度には肥料の種類や施肥量による有意差はほとんど認められなかった。また、揚稲4号ではNon-F区と施肥区との間に穂揃期のL-SRF区を除くと有意差が認められたが、ヒノヒカリでは有意差は認められ

第2表 幼穂形成前期(幼形前期)と出穂期の株当たり有効茎数と1茎当たり乾物重。

品種	処理区*	有効茎数** (本 株 ⁻¹)						1茎当たり乾物重(g 茎 ⁻¹)					
		幼形前期***		出穂期		平均		幼形前期***		出穂期		平均	
揚稲4号	Non-F	7.3 f	100	7.5 e	100	7.4 i	100	2.08 d	100	4.39 a	100	3.24 a	100
	L-CF	9.3 ef	127	7.8 e	104	8.6 hi	116	2.58 abc	124	4.96 a	113	3.77 a	116
	M-CF	9.3 ef	127	8.5 e	113	8.9 ghi	120	2.84 abc	137	4.82 a	110	3.83 a	118
	H-CF	10.3 e	141	8.8 e	117	9.6 gh	130	2.55 abc	123	4.87 a	111	3.71 a	115
	L-SRF	9.8 e	134	9.5 e	127	9.7 gh	131	2.38 cd	114	4.57 a	104	3.48 a	107
	M-SRF	10.8 de	148	10.0 e	133	10.4 fg	141	2.75 abc	132	4.75 a	108	3.75 a	116
	H-SRF	13.0 cd	178	10.0 e	133	11.5 f	155	2.41 bcd	116	4.83 a	110	3.62 a	112
ヒノヒカリ	Non-F	13.5 c	100	13.8 d	100	13.7 e	100	1.01 e	100	2.14 b	100	1.58 b	100
	L-CF	16.5 b	122	16.8 c	122	16.7 d	122	1.20 e	119	2.20 b	103	1.70 b	108
	M-CF	17.8 b	132	19.3 bc	140	18.6 c	136	1.35 e	134	2.14 b	100	1.75 b	111
	H-CF	18.5 ab	137	20.5 ab	149	19.5 bc	142	1.31 e	130	2.05 b	96	1.68 b	106
	L-SRF	17.3 b	128	20.5 ab	149	18.9 bc	138	1.17 e	116	1.97 b	92	1.57 b	99
	M-SRF	18.0 b	133	22.5 a	163	20.3 ab	148	1.22 e	121	1.89 b	88	1.56 b	99
	H-SRF	20.5 a	152	22.8 a	165	21.7 a	158	1.27 e	126	2.10 b	98	1.69 b	107

*Non-F; 無施肥区, CF; 一般肥料区, SRF; 緩効性肥料区, L, M, H; それぞれN, P₂O₅, K₂Oをm²当たり6, 12, 18g施用した。 **青葉数4枚以上を持つ茎。 ***幼穂形成前期(強勢茎の幼穂長1~2mm, 出穂期前23~27日目)。 斜体字は、無肥料区に対する比率を示す。 同一のアルファベットを付した処理区間には5%水準で有意差のないことを示す。

第3表 減数分裂期と穂揃期の株当たり及び有効茎当たりの出液速度.

品種	処理区*	出液速度 (g 株 ⁻¹ h ⁻¹)						出液速度 (g 茎 ⁻¹ h ⁻¹)					
		減分期**		穂揃期***		平均		減分期**		穂揃期***		平均	
揚稲4号	Non-F	2.52 g	100	3.46 g	100	2.99 f	103	0.345 b	99	0.461 c	100	0.403 c	100
	L-CF	5.93 bcd	235	5.93 bcde	171	5.93 cd	205	0.638 a	183	0.760 ab	165	0.699 a	173
	M-CF	7.12 ab	283	6.41 abcd	185	6.77 bc	234	0.766 a	220	0.754 ab	164	0.760 a	188
	H-CF	7.02 abc	279	7.23 ab	209	7.13 ab	247	0.682 a	196	0.822 a	178	0.752 a	186
	L-SRF	6.52 bc	259	4.74 efg	137	5.63 d	195	0.665 a	191	0.499 c	108	0.582 b	144
	M-SRF	6.96 abc	276	6.83 abc	197	6.90 bc	239	0.644 a	185	0.683 b	148	0.664 ab	164
	H-SRF	8.44 a	335	7.58 a	219	8.01 a	277	0.649 a	186	0.758 ab	164	0.704 a	174
ヒノヒカリ	Non-F	2.95 fg	100	3.84 fg	100	3.40 f	100	0.219 b	100	0.278 de	100	0.249 d	100
	L-CF	4.43 def	150	5.91 bcde	154	5.17 de	152	0.268 b	122	0.352 d	127	0.310 cd	124
	M-CF	5.52 cd	187	5.04 def	131	5.28 de	155	0.310 b	142	0.261 de	94	0.286 d	115
	H-CF	5.90 bcd	200	5.45 cde	142	5.67 d	167	0.319 b	146	0.265 de	95	0.292 d	117
	L-SRF	3.87 efg	131	5.32 def	139	4.60 e	135	0.224 b	102	0.260 de	94	0.242 d	97
	M-SRF	4.69 de	159	5.86 bcde	153	5.28 de	155	0.261 b	119	0.260 de	94	0.261 d	105
	H-SRF	5.65 bcd	192	4.94 def	129	5.30 de	156	0.276 b	126	0.217 e	78	0.246 d	99

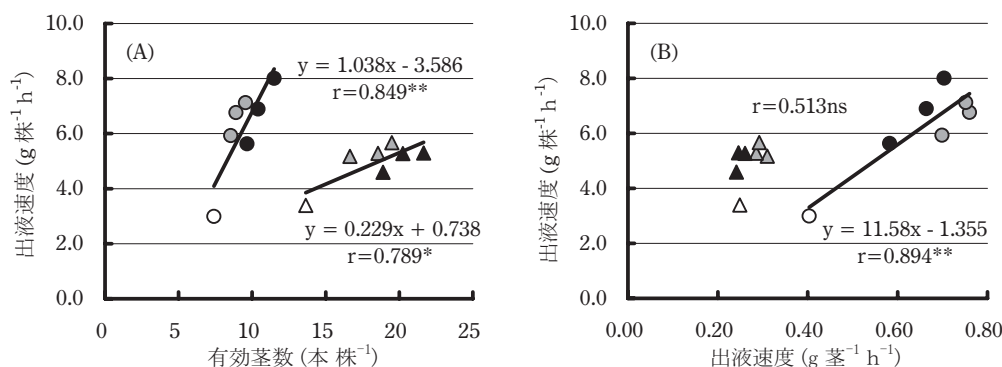
*Non-F; 無施肥区, CF; 一般肥料区, SRF; 緩効性肥料区, L, M, H; それぞれN, P₂O₅, K₂Oをm²当たり6, 12, 18 g 施用した. **減数分裂期 (出穂期前11~13日目). ***穂揃期 (出穂期後1~3日目). 斜体字は, 無肥料区に対する比率. 同一のアルファベットを付した処理区間には5%水準で有意差のないことを示す.

なかった.

株当たりの出液速度は, 株当たりの有効茎数と茎当たり出液速度の2要因の積で求められる. 本研究では, 幼穂形成期から出穂期にかけての有効茎数と出液速度の調査時期が一致していないので, これら2要因と株当たり出液速度との関係を把握するために, 株当たり有効茎数として幼形前期と出穂期の平均値を, また株当たり, あるいは茎当たり出液速度として減分期と穂揃期の平均値を用いて相関関係を求めた (第1図). ヒノヒカリでは, 株当たり出液速度は, 有効茎数と有意な正の相関関係 ($r=0.789^*$) を示したが, 茎当たり出液速度との相関の程度は低かった ($r=0.513$). これに対して, 揚稲4号は, 両要因とも有意な正の相関関係を示したが, 株当たり有効茎数 ($r=0.849^*$) に比べて, 茎当たり出液速度との相関関係が高かった ($r=0.894^{**}$). また, 株当たり有効茎数が同じ場合には, 両品種とも株当たりの出液速度はCF区でSRF区に比べて

やや高かった.

ヒノヒカリと揚稲4号の茎当たり出液速度に大きな品種間差異が見られた (第3表) ので, 茎当たり出液速度と有効茎数及び有効茎1茎当たりの乾物重との関係を把握するために, 株当たり有効茎数と有効茎1茎当たりの乾物重として幼形前期と出穂期の平均値を, また株当たり出液速度として減分期と穂揃期の平均値を用いて相関関係を求めた (第2図). 第2図において, 有効茎数と乾物重は幼形前期と出穂期の平均値を, また出液速度は減分期と穂揃期の平均値を用いたのは, 上述したように, これらの形質の調査時期が一致していなかったためである. 第2図より, ヒノヒカリでは, 茎当たり出液速度の処理区間差が小さく, 有意な相関関係は認められなかった ($r=-0.126$). また, 1茎当たりの乾物重の処理区間差も小さく, 有意な正の相関関係は認められなかった ($r=0.666$). 一方, 揚稲4号では, 株当たり有効茎数が増加しても茎当たり出液速度は増加す

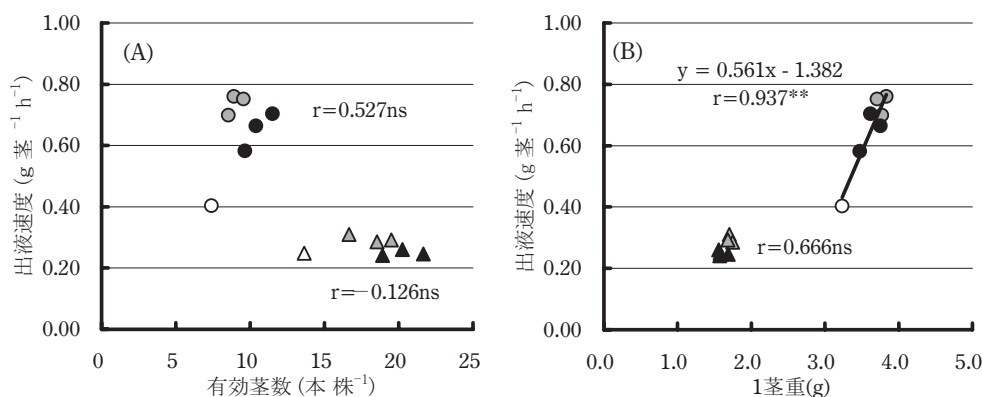


第1図 幼穂形成期前期 (出穂期前23~27日目) と出穂期の株当たり有効茎数 (A) あるいは茎当たり出液速度 (B) の平均値と減数分裂期 (出穂期前11~13日目) と穂揃期 (出穂期後1~3日目) の株当たり出液速度の平均値との関係.

*, **; それぞれ5%および1%水準で有意であることを示す.

○, ●, ●; 揚稲4号の無施肥区, 一般肥料区, 緩効性肥料区を示す.

△, ▲, ▲; ヒノヒカリの無施肥区, 一般肥料区, 緩効性肥料区を示す.

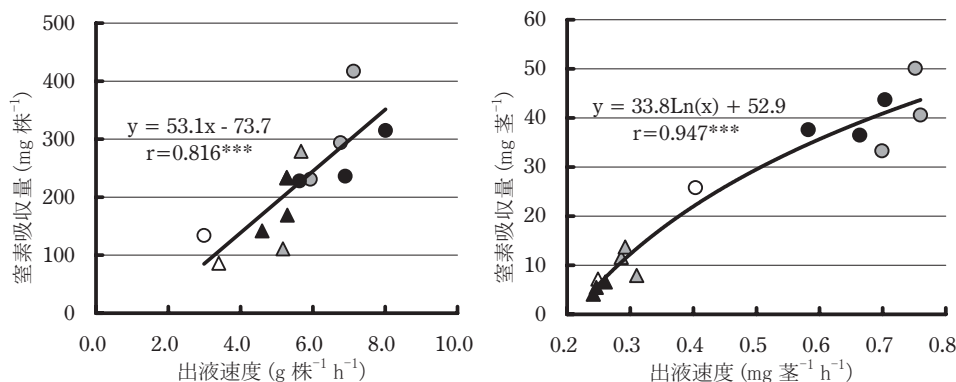


第2図 幼穂形成期前期(出穂期前23～27日目)と穂揃期(出穂期後1～3日目)の株当たり有効茎数 (A)あるいは有効茎1茎重 (B)の平均値と茎当たり出液速度との関係。

**:1%水準で有意であることを示す。

○, ●, ●;揚稲4号の無施肥区, 一般肥料区, 緩効性肥料区を示す。

△, ▲, ▲;ヒノヒカリの無施肥区, 一般肥料区, 緩効性肥料区を示す。



第3図 減数分裂期(出穂期前11～13日目)と穂揃期(出穂期後1～3日目)の株当たり出液速度 (A)あるいは有効茎当たり出液速度 (B)の平均値と幼穂形成期前期(出穂期前23～27日目)から出穂期にかけての窒素吸収量との関係。

***; 0.1%水準で有意であることを示す。

○, ●, ●;揚稲4号の無施肥区, 一般肥料区, 緩効性肥料区を示す。

△, ▲, ▲;ヒノヒカリの無施肥区, 一般肥料区, 緩効性肥料区を示す。

る傾向が見られ, 1茎当たりの乾物重とは高い有意な正の相関関係を示した ($r=0.937^{**}$)。

第3図には, 減分期と穂揃期の株当たり出液速度の平均値と幼形前期から出穂期にかけての株当たり窒素吸収量との関係を示した。両者の間には, 両品種を込みにすると高い有意な正の相関関係 ($r=0.816^{***}$) が認められ, ヒノヒカリに比べて株当たり出液速度の多かった揚稲4号で窒素吸収量が多かった。また, 1茎当たりの窒素吸収量は, 減分期と穂揃期の茎当たり出液速度の平均値とは対数関数で回帰される高い有意な正の相関関係 ($r=0.947^{***}$) を示し, ヒノヒカリに比べて茎当たりの出液速度の平均値が高かった揚稲4号で1茎当たりの窒素吸収量も多かった。

考 察

水稻の生育に伴う株当たり出液速度を調査した森田・阿部(2002)によると, 出液速度は出穂期頃に最大値に達するとされている。また, Ansariら(2004)は, 粒大の異な

る多数の品種について, 幼穂形成期から出穂期にかけて多くの品種で出液速度が増加したと報告している。本研究では, 出液速度を出穂期前11～13日前と出穂期後1～3日目に測定したが, これらの時期は出液速度が最大値を示す時期にほぼ一致し, 両時期の株当たり出液速度は全処理区を込みにしても高い有意な正の相関関係 ($r=0.818^{***}$) が認められた。

減分期, 穂揃期におけるNon-F区では, 両品種の株当たりの出液速度に有意差は認められなかったが, 施肥区の株当たり出液速度のNon-F区に対する割合は, CF区, SRF区ともに揚稲4号でヒノヒカリに比べて高い傾向が見られ, 株当たり出液速度への施肥の影響は, ヒノヒカリに比べて揚稲4号で大きいと推定された。このことは, 出液速度の施肥反応の品種間差異を示しているものと考えられる。株当たりの出液速度への肥料の種類の影響は, 明瞭には認められなかった。

株当たりの出液速度を有効茎数で除して求めた茎当たり

出液速度は、ヒノヒカリに比べて揚稲4号で施肥の有無、肥料の種類、施肥量に関わらず著しく高い値を示した。揚稲4号では、1茎当たりの乾物重が重く、有効茎の切断面積が大きいことが観察されたことから、山口ら (1995) が認めているように茎切断部断面積と出液速度とが密接に関連した結果と推定された。山口ら (1995) は、森田ら (1987) が水稻12品種をポット栽培して求めた結果から、1株の茎平均直径と1茎当たり1次根数との間には、高い有意な正の相関関係が見られるとしている。さらに、森田ら (1987) は、茎直径と1次根直径との間には有意な正の相関関係が認められることを報告している。これらのことから、揚稲4号では、ヒノヒカリに比べて株当たりの茎数は少ないが、個々の茎が太く、大きいために1茎当たりの発根量が多く、その結果、茎当たりの出液速度が速くなったものと推定された。

株当たり出液速度を有効茎数と茎当たり出液速度に分けて関係を検討した結果、有効茎数が同一施肥条件下では揚稲4号の約2倍の茎数を示したヒノヒカリでは、有効茎数と正の有意な相関関係を示したのみであった。有効茎数は、両品種とも施肥量の増加に伴って多くなったが、Non-F区に対する増加割合は、幼形前期と出穂期の両時期において、CF区に比べてSRF区で高く、さらに出穂期では揚稲4号に比べてヒノヒカリの増加割合が大きく認められた。また、出穂期のヒノヒカリのL区とM区では、CF区に比べてSRF区で有効茎数が多くなっており、この結果は、本研究で用いたのと同じタイプの被覆尿素 (LP肥料) 入り複合肥料の施用により速効性窒素肥料の施用に比べて穂数が多くなることを認めている報告 (亀川1990, 小野1992, 小野1992) と一致した。一方、揚稲4号では、両者と高い有意な正の相関関係を示したが、有効茎数に比べて茎当たり出液速度とより高い相関関係を示した。Ansariら (2004) は、多数の粒大を異にする水稻品種を供試して、幼穂形成期から出穂期の株当たりの出液速度は有効茎数とは有意な負の相関関係を示し、茎当たり出液速度とは有意な正の相関関係を示したと報告している。同一品種を異なる施肥条件下で栽培した本研究の結果は、このAnsariら (2004) の結果と異なった。また、同じ有効茎数の場合には、株当たり出液速度はCF区に比べてSRF区でやや劣る傾向がみられた。これは、茎当たり出液速度が、有意差はみられなかったものの、SRF区に比べてCF区でやや高くなったためと考えられた。森田・阿部 (1997) は、出液速度を根量と根量当たりの出液速度の量的要因と機能的要因に分けられるとしており、今後、肥料の種類や施肥量により、根量や根量当たりの出液速度がどのように変化しているかについて検討する必要がある。

幼形前期から穂揃期にかけての株当たり及び1茎当たり窒素吸収量は、それぞれ減分期と穂揃期の株当たり出液速度の平均値及び茎当たり出液速度の平均値と密接な関係を示し、出液速度が根の活力を通して、窒素の吸収量と密接

に関係することが示唆された。水稻の窒素やリン酸、カリの吸収は、若い根や若い根端部分に依存して行われ、根の代謝活性が密接に関係するとされている (武長1990)。この期間における窒素吸収量は、同一施肥条件下ではヒノヒカリに比べて揚稲4号で高かった。揚稲4号をはじめとする、近年、中国で育成された大穂の多収性水稻品種では、多収性の前提となる面積当たりの穎花数を1穂穎花数で確保するために、特に幼穂形成期間の窒素吸収量が重要であることが指摘されている (王ら1997, Yaoら2000b)。また、半矮性遺伝子を持つ多収性のインド型品種や日印交雑稲品種においても、面積当たりの穎花数への1穂穎花数の貢献度が大きく、これらの品種では、幼穂形成期間や出穂期における窒素をはじめとするリン酸やカリの吸収量も多いことが指摘されている (樋口・吉野1986, 本松ら1988, 平岡ら1992, Yaoら2002a)。

以上より、中国で育成された大穂の多収性インド型水稻品種は、日本稲品種ヒノヒカリに比べて有効茎数が少なく、さらに施肥量の増加に伴う有効茎数の増加程度が小さく、個々の茎の大きさが低下しない特性を有することが示された。その結果、茎当たりの発根量がヒノヒカリを大きく上回り、本研究で調査を行った減数分裂期から穂揃期における茎当たりの出液速度が株当たりの茎数差を上回ったために、株当たりの出液速度が優れたものと考えられた。また、幼穂形成期の株当たり、あるいは有効茎当たりの出液速度は窒素吸収量と密接に関連していることが示唆され、揚稲4号では1穂穎花数と密接に関連する幼穂形成期の窒素吸収量を高く維持しているものと推定された。そして、基肥として緩効性肥料を含む複合肥料を全量施用した場合と一般肥料を用いて基肥と生育各時期に追肥を行った場合の幼穂形成期の出液速度や窒素吸収量の差異は小さいものと推定された。従って、省力化や環境保全を目的として、現行の一般肥料から緩効性肥料を含む複合肥料による全量基肥施用に移行しても、幼穂形成期間の窒素吸収量の点からは問題ないと判断された。今後は、幼穂形成期全期間にわたっての出液速度と窒素吸収量との関係を検討するとともに、溶出パターンや溶出期間の異なる緩効性肥料を、基肥や追肥に使用した場合の出液速度や窒素吸収量への影響について検討する必要がある。

引用文献

- Amano, T., Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka 1993. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province, China. 1. Characteristics of grain production. *Jpn. J. Crop Sci.* 62: 267-274.
- 天野高久・師常俊・秦徳林・津田誠・松本保博 1996a. 中国雲南省における水稻多収の実証的研究. 第1報 ジャポニカハイブリッドライス雑種29号の多収性. *日作紀* 65: 16-21.
- 天野高久・師常俊・秦徳林・津田誠・松本保博 1996b. 中国雲南省における水稻多収の実証的研究. 第2報 ジャポニカハイブリッドライス雑種29号の籾数生産. *日作紀* 65: 22-28.
- Ansari, T.H., T.Y. Yamamoto, T. Yoshida, K. Sakagami and A. Miyazaki

2004. Relation between bleeding rate during panicle formation stage and sink size in rice plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50 : 57-66.
- 藤田利雄・渡辺正弘 1995. 肥効調節型肥料. 庄子貞雄編集, 新農法への挑戦, 博友社, 東京. 93-118.
- 橋川潮 1990. LP 肥料—元肥多施用の多収性—. 農業技術体系, 作物編 2 ②, 農文協, 東京. 522 の 44-49.
- 星川清親 1982. イネの生長. 農文協, 東京. 177.
- 東正昭 1988. 水稻の超多収品種育種の現状と今後の課題. 農及園 63 : 793-799.
- 樋口太重・吉野喬 1986. 高収性水稻の窒素吸収特性について. 土肥誌 57 : 134-141.
- 平岡潔志・建部雅子・米山忠克 1992. 養分吸収・分配, シンク(穂)の特性からみた関東 146 号(タカナリ)の多収性. 土肥誌 63 : 517-523.
- 亀川健一 1990. LP 肥料—肥効特性と利用—. 農業技術体系, 作物編 2 ②, 農文協, 東京, 技 522 の 38-43.
- 楠谷彰人・崔晶・豊田正範・浅沼興一郎 2000. 多収性水稻の品種生態に関する研究—出液速度の品種間差異—. 日作紀 69 : 337-344.
- 森田茂紀・春木康・根本圭介・胡東旭・山崎耕宇 1987. 水稻における根, 茎および穂の形態的相互関係—異なる品種を比較した場合—. 日作紀 56 (別 2) : 33-34.
- 森田茂紀・阿部淳 1997. 茎葉部から根系を診断する. グリーンレポート 276 : 8-9.
- 森田茂紀・阿部淳 1999a. 出液速度の測定・評価方法. 根の研究 8 : 117-119.
- 森田茂紀・阿部淳 1999b. 農家水田で栽培した水稻の出穂後の出液速度. 日作紀 68 (別 2) : 168-169.
- 森田茂紀・阿部淳 2002. 水田で栽培した水稻の出液速度の日変化および生育に伴う推移. 日作紀 71 : 383-388.
- 本松輝久・建部雅子・米山忠克 1988. 多収性稲の栄養生理特性—乾物物生産, 養分吸収と分配—. 農研センター研報 12 : 1-11.
- 南條正巳・伊藤豊彰・管野均志 1995. 新しい施肥法—接触施肥法. 庄子貞雄編集, 新農法への挑戦, 博友社, 東京. 193-200.
- 小野芳郎 1992. LP 一発施肥の生育相(暖地). 農業技術体系, 作物編 2 ①, 農文協, 東京, 技 184 の 28-35.
- 小野剛志 1992. LP 一発施肥の生育相(寒地). 農業技術体系, 作物編 2 ①, 農文協, 東京, 技 184 の 18-26.
- 宋祥甫・縣和一・川満芳信 1990. 中国産ハイブリッドライスの物質生産に関する研究. 第 2 報 収量性産特性. 日作紀 59 : 29-33.
- 武長宏 1990. 第 2 章 水稻の養分吸収. 第 5 節 内部要因と養分吸. 松尾考嶺他編, 稲学大成 第 2 巻 生理編, 農文協, 東京. 217-229.
- 万建民・池橋宏 1994a. 中国における稲の栽培と品種の動向 [1]. 農及園 69 : 1181-1186.
- 万建民・池橋宏 1994b. 中国における稲の栽培と品種の動向 [2]. 農及園 69 : 1275-1278.
- 王余龍・山本由徳・新田洋司 1995. 中国産日本型水稻 9004 系統の他州要因の解析. 第 1 報 面積あたりの粒数水準が同一下での日本稲品種との収量性の比較. 日作紀 65 : 545-555.
- 王余龍・山本由徳・蔣軍民・姚友礼・蔡建中・新田洋司 1997. 中国産日本型水稻 9004 系統の他州要因の解析. 第 3 報 窒素施用時期並びに施用量が収量成立に及ぼす影響. 日作紀 66 : 1-10.
- 和田源七 1969. 水稻収量性立におよぼす窒素栄養の影響—とくに出穂期以後の窒素の重要性について—. 農技研報 A16 : 1-167.
- 山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995. 水稻の茎基部からの出液速度に関与する要因の解析. 日作紀 64 : 703-708.
- 山口武視・中野淳一・西尾祐子 1999. 水稻茎基部からの出液および出液中の無機成分の品種間差異. 日作紀 68 (別 2) : 272-273.
- 山本由徳・T.H. アンサリ・山本正明・吉田徹志・宮崎彰・王余龍 2001. 草型を異にするインド型および日本型水稻品種のシンク容量とその構成要素の比較. 日作紀 70 (別 2) : 41-42.
- Yao, Y., Y. Yamamoto, Y. Wang, T. Yoshida, A. Miyazaki, Y. Nitta and J. Cai 2000a. Macro-element absorption at maturity in relation to grain yield in high-yielding rice cultivars. *Soil Sci. Plant Nutri.* 46 : 815-824.
- Yao, Y., Y. Yamamoto, Y. Wang, T. Yoshida, A. Miyazaki, Y. Nitta and J. Cai 2000b. Role of nitrogen regulation in sink and source formation of high-yielding rice cultivars. *Soil Sci. Plant Nutri.* 46 : 825-834.

Effects of the Amount and the Kinds of Fertilizer on the Bleeding Rate and Nitrogen Absorption in a Chinese High-Yielding Cultivar, Yangdao 4 : Jing JU^{1),2)}, Yoshinori YAMAMOTO²⁾, Akira MIYAZAKI²⁾, Tetsushi YOSHIDA²⁾ and Yulong WANG³⁾

(¹)United Post Graduate School, Ehime Univ., (²)Fac. of Agr., Kochi Univ., Nankoku, Kochi 783-8502, Japan; (³)Fac. of Agr., Yangzhou Univ., China)

Abstract : Effects of the amount of fertilizer [N, P₂O₅ and K₂O at 0 (Non-F), 6 (L), 12 (M) and 18 g (H) m⁻², respectively], and the kind of fertilizer [conventional fertilizer (CF) and the compound fertilizer containing slow-release fertilizer (SRF, Kumiai-Hifuku Nyoso Iri-Fukugo 444E-80)] on the nitrogen absorption from 23-27 days before heading (EYPF) to heading and bleeding rate from the cut-stem end at meiosis and full heading stages were examined in a Chinese high-yielding indica cultivar, Yangdao 4, in comparison with a Japanese cultivar, Hinohikari. The number of productive stems having four or more leaves per stem increased with increasing amount of applied fertilizer and the ratio of increase was higher in the SRF plot than in the CF plot in both cultivars. The number of productive stems was 1.6-2.3 times higher in Hinohikari than in Yangdao 4 with the same amount of applied fertilizer, while the stem weight was 1.9-2.5 times higher in Yangdao 4 than in Hinohikari. The bleeding rates per hill in CF and SRF plots were higher in Yangdao 4 than in Hinohikari except L-SRF plot at the full heading stage, although it was lower in Yangdao 4 in the Non-F plot. The bleeding rate increased with increasing amount of applied fertilizer in CF and SRF plots in both cultivars, but no significant differences were observed between CF and SRF plots with the same amount of applied fertilizer, and the ratio of increase was higher in Yangdao 4 than in Hinohikari. The average bleeding rate at the both meiosis and full heading stages was closely correlated with the average number of productive stems and the average bleeding rate per stem in Yangdao 4 and the correlation coefficient with the latter was higher than that with the former. In Hinohikari, however, the bleeding rate was closely correlated only with the number of productive stems. The average bleeding rates per hill and per stem were closely related with the amount of nitrogen absorption per hill and per stem during the period 23-27 days before heading, respectively. From the results, it was concluded that Yangdao 4 showed a higher bleeding rate and nitrogen absorption rate per hill than Hinohikari, due to the higher bleeding rate per stem.

Key words : Bleeding rate, Chinese high-yielding cultivar, Nitrogen absorption, Panicle formation stage, Panicle weight type, Rice plant, Slow-release fertilizer.
