

中国産多収性水稻品種の吸収窒素利用効率に及ぼす緩効性肥料の施用効果

小久保敏明¹⁾・宮崎彰²⁾・吉田徹志²⁾・山本由徳²⁾・浅木直美³⁾・上野秀人⁴⁾・居静⁵⁾・王余龍⁵⁾

(¹⁾ 愛媛大学大学院連合農学研究科, (²⁾ 高知大学農学部, (³⁾ 茨城大学農学部, (⁴⁾ 愛媛大学農学部, (⁵⁾ 揚州大学)

要旨：中国産多収性水稻品種の吸収窒素 (N) 利用効率 (吸収 N 量当たりの精玄米収量, NUEg) に及ぼす緩効性 N 肥料 (シグモイド型 S およびリニア型 L) の施用効果を調査した。緩効性肥料の施用により中国産多収性水稻品種、揚稲 4 号 (YD)、武育梗 3 号 (WY) およびヒノヒカリ (HH) の地上部乾物重および吸収 N 量は有意に増加した。吸収 N 量の増加に伴い NUEg は低下したが、同じ吸収 N 量で比較すると、NUEg は YD および WY の S 単独施用区で通常肥料区 (C) より高い傾向があった。これは、吸収 N 量に対して登熟歩合が高く維持されたことに起因していた。YD では未登熟粒の割合が HH より有意に低く、これは粒の比重が大きいことによるものと考えられる。また、YD では高いシンク要求に対して出穂後の粒当たり茎葉乾物重減少量 (ΔT) が HH より有意に高かった。これらの形質が安定して高い登熟歩合をもたらししていると考えられる。

キーワード：緩効性肥料, 吸収窒素利用効率, 収量生産, 水稻, 中国産多収性品種。

江蘇省は中国でも有数の稲作地帯であり、全国で最も単収 (籾) が高く (平均 7.9 t ha^{-1} , 中華人民共和国国家統計局 2009), 多収で一穂粒数が多く粒重の重い大穂型のインド型品種および密穂型の日本型品種が育成・栽培されている (天野ら 1996a, 1996b, 王ら 1995, 1997)。これらの多収性品種は窒素 (N) の施肥に対する反応性が高く (樋口・吉野 1986), その収量ポテンシャルを十分に発揮するためには多量の N 吸収が必要であるとされ (Wada ら 1986), 江蘇省では収量確保のため多肥栽培が行われており, N 施用量が 300 kg ha^{-1} を超える事例も確認されている (Peng ら 2006)。しかしながら, 施肥 N 量の増加に伴い施肥 N 量当たりの収量 (N 施肥効率) は低下することから, 施肥 N 量を抑制することにより N 施肥効率を向上させ, 環境負荷を軽減するとともに収量性を維持することが求められている (Peng ら 2006, 宮崎ら 2012)。

N 施肥効率は肥料 N 吸収率 (施肥 N 量当たりの吸収 N 量) と吸収 N 利用効率 (吸収 N 量当たりの収量, NUEg) に分けられ (吉田 1986, Hasegawa 2003, Ju ら 2006, Peng ら 2006), 収量は吸収 N 量と NUEg の積によって表すことができる。吸収 N 量が収量構成要素に及ぼす影響は吸収時期により異なり (和田 1969), 幼穂形成期間中の吸収 N 量の増加は一穂粒数の増加によるシンクサイズの確保に重要であることが穂重型多収性品種において報告されている (王ら 1997, Yao ら 2000)。幼穂形成期前後の吸収 N 量の増加には緩効性肥料の施用が効果的であり (Kokubo ら 2011), 緩効性肥料の施用により面積当たり粒数が増加し, シンクサイズおよび収量が増加することが報告されている (和田ら 1991, 池田ら 2000, Kokubo ら 2011, 小久保ら 2012)。

一方, NUEg は一般に吸収 N 量の増加とともに低下する

が, NUEg には品種間差が認められ, 近年育成された多収性水稻品種では一般品種に比べ高い値を示し, 収量増加に貢献しているとされる (Hasegawa 2003, Mae ら 2006, Mae 2011)。Ju ら (2006) は, NUEg は吸収 N 量が同程度の系統間であっても有意に異なり, その収量への寄与率は 56% であり, 吸収 N 量の寄与率 43% より高く, 収量生産の系統間差に大きく寄与していることを報告している。NUEg は吸収 N 量当たりのシンクサイズ (面積あたり粒数 \times 1 粒重) および登熟歩合の 2 要因に分けられることから, 収量構成要素の面から解析することが可能であると考えられる。著者らはこれまで, 施肥 N 量の増加および緩効性肥料の施用による中国産多収性品種の増収効果を確認してきたが (Kokubo ら 2011, 小久保ら 2012), その要因についてさらに解析し, 品種間差について検討する必要がある。本研究では, Kokubo ら (2011) および小久保ら (2012) と同じ材料を用い, 緩効性肥料を施用した中国産多収性水稻品種の NUEg とそれに及ぼす要因を解析し, 品種特性を明らかにした。

材料と方法

1. 供試品種および栽培概要

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 (FSC) 水田において, 2006–2009 年に栽培試験を行った。供試品種として, 中国産多収性水稻品種の揚稲 4 号 (YD) および武育梗 3 号 (WY) と, それらと出穂期の近い対照品種ヒノヒカリ (HH) の 3 品種を用いた。YD はインド型水稻品種で, 茎数は HH に比べ少ないものの, 一穂粒数は多く, 粒重は重い典型的な穂重型である (Gendua ら 2009)。WY は日本型水稻品種で, 茎数は HH と同等か

第1表 精玄米収量, 地上部乾物重, 吸収N量およびNUEg (成熟期, 2008年と2009年の平均).

品種	処理区	精玄米収量 (g m ⁻²)			地上部乾物重 (g m ⁻²)			吸収N量 ¹⁾ (g m ⁻²)			NUEg (g g ⁻¹)		
揚稲4号 (YD)	C	714	100	a	1560	100	b	16.8	100	b	42.5	100	a
	L	751	105	a A	1887	121	a A	19.6	117	a A	38.3	90	a A
	S	800	112	a	1801	115	a	21.0	125	a	38.1	90	a
武育梗3号 (WY)	C	590	100	a	1562	100	b	17.1	100	a	34.6	100	a
	L	691	117	a B	2072	133	a A	20.4	119	a A	33.9	98	a B
	S	687	116	a	1921	123	a	19.4	114	a	35.4	102	a
ヒノヒカリ (HH)	C	577	100	a	1602	100	a	14.1	100	b	40.8	100	a
	L	606	105	a C	1946	121	a A	18.4	130	ab A	33.0	81	ab B
	S	590	102	a	1777	111	a	20.2	143	a	29.3	72	b
ANOVA	肥料	*			***			***			*		
	品種	***			n.s.			n.s.			*		
	年次	n.s.			*			***			***		
	肥×品	n.s.			n.s.			n.s.			n.s.		
	肥×年	n.s.			n.s.			n.s.			n.s.		
	品×年	n.s.			n.s.			n.s.			n.s.		
	肥×品×年	n.s.			n.s.			n.s.			n.s.		

NUEg: 吸収N利用効率, 精玄米収量 / 吸収N量.

斜体の数字はC区を100とした場合の割合.

同じ小文字アルファベットの間には, 年次を含めた肥料の種類の間には Tukey 法により5%水準で有意差がないことを示す.

同じ大文字アルファベットの間には, 年次, 処理を含めた品種の間には Tukey 法により5%水準で有意差がないことを示す.

*, ***: それぞれ5%, 0.1%水準で有意であることを示す.

n.s.: 有意でないことを示す.

¹⁾ 小久保ら (2012) よりデータを引用.

やや劣る程度で, 一穂粒数はHHよりやや多く, 粒重はYDとHHの中間程度の密穂型品種である. HHはYDおよびWYと出穂期がほぼ等しい日本産日本型品種である. 育苗をFSCの慣行法に従い各年とも5月中旬より開始した. 但し, 播種量はHHにおいて乾粒重で100g/箱とし, YDおよびWYはHHと1箱当たりの粒数が同じになるように粒重を考慮して播種量を調整した. 各年とも5月末から6月上旬に, 中苗を栽植密度22.2株m⁻² (条間30cm×株間15cm), 1株2本植えて手植え移植した.

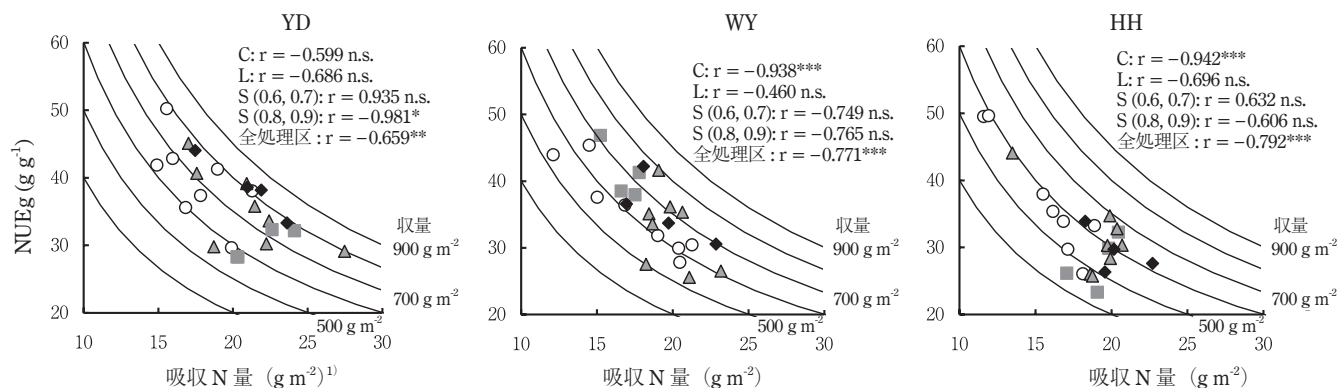
2. 処理区設計

N肥料の種類により対照区 (C区), リニア型緩効性肥料区 (L区), シグモイド型緩効性肥料区 (S区) の3処理区を設けた (小久保ら 2012). C区では塩安を分施した. すなわち, 基肥: 分げつ肥 (移植後20日後): 幼穂形成期前期 (出穂約20日前): 同中期 (前期より10日後): 出穂期 = 2:1:1:1:1の割合で施用した. L区ではリニア型緩効性肥料 (くみあい42被覆尿素LPコート100, 100日タイプ, 25℃で成分の80%を100日間で溶出) を全量基肥で施用した. S区ではシグモイド型緩効性肥料 (くみあい40被覆尿素LPコートSS100, 同100日タイプ) を全量基肥で施用した. 但し, 2006年と2007年のS区では, 初期生育を促すために, シグモイド型緩効性肥料を50%に減

量し, 減量分を塩安で基肥と分げつ肥に与える混合施用区とした. 各処理区ともN施肥量の合計を12g m⁻²とした. リン酸は過リン酸石灰により基肥で12g m⁻²を施用し, カリは塩化カリにより基肥, 幼穂形成期前期, 同中期にそれぞれ8, 2, 2g m⁻²を施用した. 各処理区は18.9~24.4m²で, いずれの年次とも乱塊法2反復とした. 病害虫の防除は, 適宜農薬の散布により行った.

3. サンプリングおよび成分分析, 収量調査

各年次とも, 成熟期に無作為に20株を採取し, ガラス室内で天日乾燥した後, 平均的な穂重および穂数を持つ3株について収量および収量構成要素を調査した. 登熟歩合は塩水選 (比重1.06) により求めた. 2006年~2008年には不稔歩合を触手により調査し, 登熟歩合と不稔歩合を用いて未登熟歩合 (100 - 登熟歩合 - 不稔歩合) を算出した. 塩水選により沈んだ精粒を粉摺りし, 精玄米の千粒重を求め, 水分含有率を15%で換算した. 面積当たり粒数と1粒重の積により, シンクサイズを算出した. また, 出穂期および成熟期に各処理区から2株を採取し, 地上部を部位別に分離した後, 通風乾燥機により95℃で2時間, 65℃で2日以上乾燥し, 乾物重を測定した. 植物体内のN含有率を小久保ら (2012) に従って, 炭素窒素安定同位体比質量分析機 (INTECRA-CN, Sercon Ltd.) により分析した. 地上



第1図 吸収N量とNUEgの関係(2006年～2009年)。

○: C, ▲: L, ■: S (06, 07), ◆: S (08, 09)²⁾。

曲線は等収量線。

*, ***: それぞれ5%, 0.1%水準で有意であることを示す。

n.s.: 有意でないことを示す。

¹⁾ 小久保ら(2012)よりデータを引用。²⁾ 2006, 2007年ではS混合施用。2008, 2009年ではS単独施用。

各処理区各年2反復。

部の乾物重との積により、地上部N含有量(吸収N量)を算出し、NUEgおよび吸収N量当たりシンクサイズ(Sink/N)を下記のように算出した。

$NUEg = \text{精玄米収量} / \text{成熟期の吸収N量}$ (吉田 1986, Hasegawa 2003, Ju ら 2006)

$Sink/N = (\text{面積当たり粒数} \times 1 \text{粒重}) / \text{成熟期の吸収N量}$

また、出穂期以降の乾物重増加量(ΔW)と茎葉乾物重減少量(ΔT)を粒当たり換算で求めた(楠谷ら 1993, 上田ら 2000)。

$\Delta W = (\text{成熟期の地上部乾物重} - \text{出穂期の地上部乾物重}) / \text{粒数}$

$\Delta T = (\text{出穂期の茎葉乾物重} - \text{成熟期の茎葉乾物重}) / \text{粒数}$

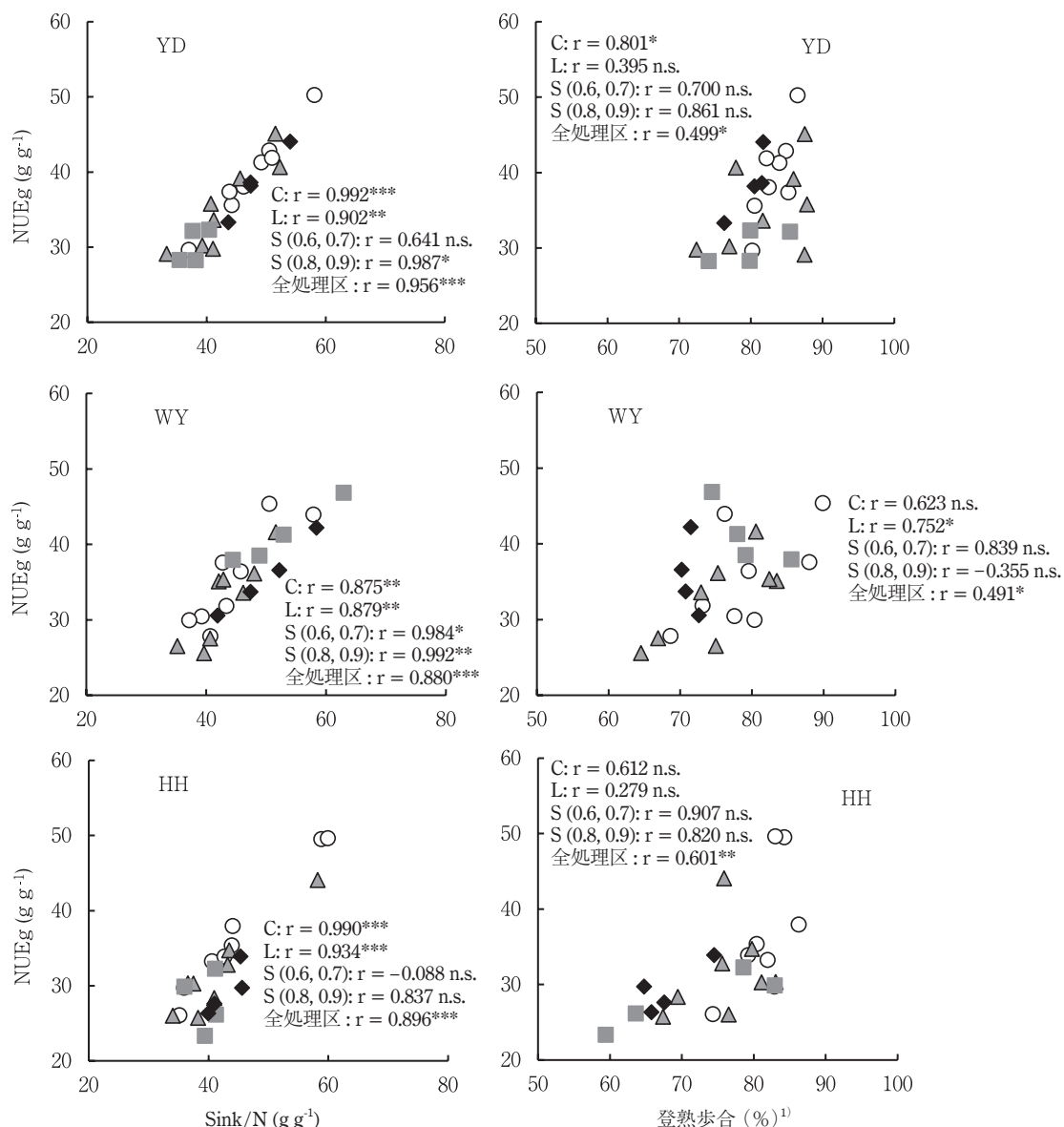
結 果

2008年および2009年(S区ではシグモイド型肥料を単独施用)における精玄米収量、成熟期の地上部乾物重、吸収N量およびNUEgを第1表に示す。精玄米収量にはYD > WY > HHの順で品種間に有意な差が認められ、NUEgはYDでWY, HHに比べ有意に高かったが、地上部乾物重および吸収N量には品種間に有意な差は認められなかった。一方、緩効性肥料(S区およびL区)による有意な施用効果が、分散分析により0.1%水準で地上部乾物重および吸収N量に認められ、品種別の多重検定ではHHの地上部乾物重およびWYの吸収N量で有意ではなかったが、それ以外の地上部乾物重および吸収N量で有意な効果が認められた。L区とS区の間に有意な差異は認められなかった。NUEgに及ぼす緩効性肥料の施用効果は分散分析により5%水準で有意であり、HHではS区でC区より有意に低下した。これらの結果、精玄米収量に及ぼす緩効性肥料

の施用効果は分散分析において5%水準で有意であったが、品種別の多重検定では有意な差が認められなかった。同様の傾向がS区をシグモイド型肥料と塩安の混合施用とした2006, 2007年でも認められたが、2008, 2009年の単独施用の場合より効果が小さく、精玄米収量およびNUEgに及ぼす影響は有意でなかった(図表略)。

第1図には、精玄米収量を吸収N量およびNUEgの2要因に分けて、それらの関係を2006～2009年の結果を用いて示した。吸収N量とNUEgの間にはいずれの品種においても全処理区込みで有意な負の相関関係があり、吸収N量の増加に伴いNUEgは低下した。YDおよびWYにおいて2008, 2009年のS単独施用区ではC区に比べ、吸収N量が高かったにもかかわらず同じ吸収N量でもNUEgは高く維持される傾向にあり、その結果として精玄米収量が高くなった。一方、HHのS単独施用区ではC区に比べ、吸収N量の増加とNUEgの低下が認められ、精玄米収量には明瞭な差異は認められなかった。また、L区および2006, 2007年のS区ではC区と比べ、吸収N量の増加とともにNUEgが低下する傾向が認められ(WYの2006, 2007年S区を除く)、精玄米収量への効果は明瞭ではなかった。

第2図には、NUEgを吸収N量当たりのシンクサイズ(Sink/N)および登熟歩合の2要因に分け、それらの関係を示した。NUEgはいずれの品種でもSink/Nと有意な正の相関関係があり、同じ肥料区における年次間および反復間のNUEgの差異はSink/Nに起因することが示された。この関係において、YDでは肥料の種類による近似線の差異は認められなかったが、WYおよびHHではS単独施用区において同じSink/NでもC区に比べNUEgが低く、これは登熟歩合が著しく低いことによるものであった。YD



第2図 NUEgに及ぼす吸収N量当たりシンクサイズ (Sink/N) および登熟歩合の影響 (2006~2009年).

○: C, ▲: L, ■: S (06, 07), ◆: S (08, 09).

記号と注釈は第1図を参照.

¹⁾ Kokubo ら (2011) よりデータを引用.

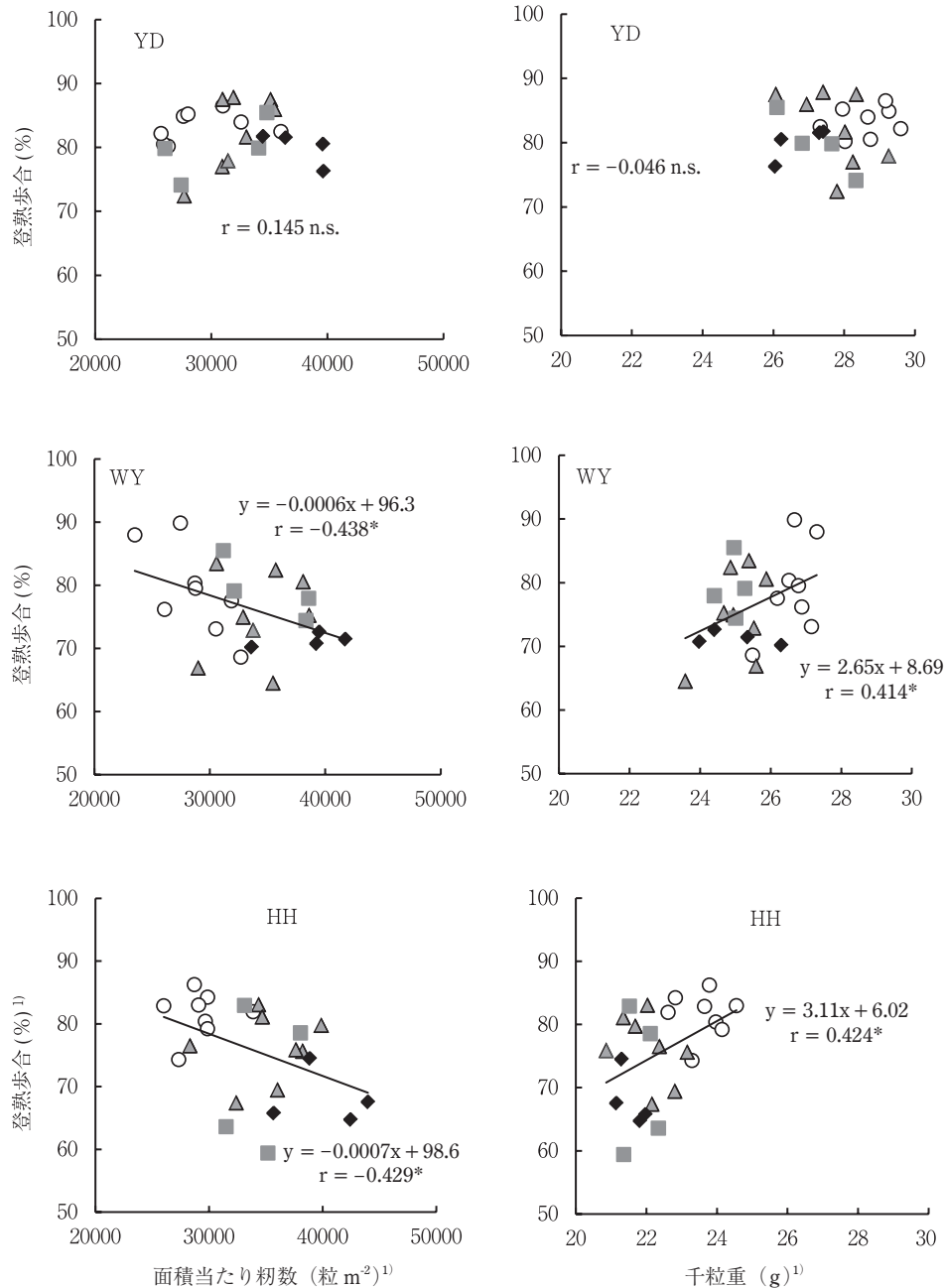
のS単独施用区ではSink/NがC区と同程度に維持され、かつ登熟歩合の低下程度がWYおよびHHより小さかった。また、YDのS混合施用区 (2006, 2007年) ではC区と比べSink/Nが低下したが、登熟歩合には差異がみられなかった。

緩効性肥料の施用による登熟歩合の低下要因をシンクサイズの増加と捉え、シンクサイズを面積当たり粒数および千粒重の2要因に分け、それらの関係を第3図に示した。WYおよびHHでは緩効性肥料の施用による面積当たり粒数の増加と千粒重の低下に伴い登熟歩合は有意に低下したが、YDでは有意な関係が認められなかった。

登熟歩合の低下要因を未登熟歩合と不稔歩合に分けると

(第2表, 2008年), 登熟歩合はYDで他の品種より有意に高く, これは未登熟歩合が有意に低いことによるものであった。また, HHにおいてS区でC区より登熟歩合が有意に低く, 未登熟歩合が有意に高かったが, YDおよびWYでは緩効性肥料による有意な影響がみられなかった。同様の傾向が他年度 (2006, 2007年) においても認められた。なお, 不稔歩合には品種間差異と緩効性肥料の施用による有意な差異がみられたが, これらには年次間で一定の傾向がみられなかった。

登熟歩合および千粒重に影響する要因として, ΔW と ΔT を第3表に示した (2008年と2009年の平均)。YDおよびWYではHHより $\Delta W + \Delta T$ が有意に高く, これは ΔT が



第3図 面積当たり粒数および千粒重と登熟歩合の関係(2006~2009年)。

○: C, ▲: L, ■: S (06, 07), ◆: S (08, 09)。

記号と注釈は第1図を参照。

¹⁾ Kokubo ら (2011) よりデータを引用。

高いことによるものであった。このような品種間の ΔT の差異は、登熟歩合および千粒重の品種間差異と一致した。一方、緩効性肥料の施用により、 $\Delta W + \Delta T$ はYDで増加し、HHで低下する傾向があった。しかし、これらの値と登熟歩合および千粒重との間には明瞭な関係は認められなかった(図表略)。

考 察

緩効性肥料の施用により吸収N量は増加し、NUEgは低

下したが、YDおよびWYのS単独施用区ではC区に比べ、吸収N量に対してNUEgが高く維持された(第1図)。NUEgの維持は後半溶出型のS単独施用区では認められたが、L区および2006、2007年のS混合施用区では認められなかった。S単独施用区におけるNUEgの維持は、登熟歩合がYDで高く維持されたのに対し、HHで著しく低下したことによるものであった(第2図)。著者ら(Kokubo ら 2011)は、HHおよびWYでは緩効性肥料の施用によるシンクサイズの増加に伴い登熟歩合が有意に低下したのに

第2表 登熟歩合、未登熟歩合および不稔歩合 (2008年).

品種	処理区	登熟歩合 (%)			未登熟歩合 (%)			不稔歩合 (%)		
YD	C	84.1	a		8.2	a		7.8	a	
	L	84.7	a	A	6.7	a	B	8.6	a	A
	S	78.3	a		13.8	a		7.9	a	
WY	C	76.7	a		17.7	a		5.6	a	
	L	78.6	a	B	16.6	a	A	4.8	a	B
	S	71.6	a		22.4	a		6.1	a	
HH	C	79.8	a		11.2	b		9.1	b	
	L	72.2	ab	B	16.8	ab	A	11.0	a	A
	S	65.3	b		18.8	a		16.0	a	
ANOVA	肥料	**			*			*		
	品種	**			**			***		
	肥×品	n.s.			n.s.			*		

品種の略称, アルファベット, ANOVA の記号は第1表を参照.

第3表 出穂期以降の籾当たり乾物重増加量 (ΔW) および茎葉乾物重減少量 (ΔT) (2008年と2009年の平均).

品種	処理区	ΔW (mg 粒 ⁻¹)			ΔT (mg 粒 ⁻¹)			$\Delta W + \Delta T$ (mg 粒 ⁻¹)		
YD	C	18.5	100	a	1.76	100	a	20.3	100	b
	L	19.0	103	a	5.67	322	a	24.7	122	a
	S	18.0	97	a	3.18	180	a	21.2	105	b
WY	C	21.1	100	a	1.30	100	a	22.4	100	a
	L	21.8	104	a	1.89	146	a	23.7	106	a
	S	22.2	105	a	-0.24	-18	a	22.0	98	a
HH	C	20.5	100	a	-3.36	100	a	17.1	100	a
	L	17.2	84	a	-0.45	14	a	16.7	98	a
	S	16.8	82	a	-2.23	66	a	14.6	85	a
ANOVA	肥料	n.s.			n.s.			*		
	品種	n.s.			**			***		
	年次	n.s.			n.s.			n.s.		
	肥×品	n.s.			n.s.			n.s.		
	肥×年	n.s.			n.s.			*		
	品×年	n.s.			n.s.			n.s.		
	肥×品×年	n.s.			n.s.			n.s.		

各項目の略称, 斜体の数字, アルファベット, ANOVA の記号は第1表を参照.

対し, YD ではその低下はわずかであったことを報告しており, シンクサイズの増加に伴う登熟歩合の維持能力に品種間差が存在することが示唆される.

YD の登熟歩合がシンクサイズの増加に対し HH より高く維持されたことは, 未登熟歩合が他の品種に比べ低いことに起因した (第2表). 登熟歩合は比重 1.06 の塩水選で評価されたが, 籾の比重には顕著な品種間差があり, インド型多収性品種では日本型一般品種より有意に高いことが報告されている (塩津ら 2008). YD は大粒であり, シンクサイズが大きく千粒重が重い (第3図), 粒重と籾の比重の間には有意な正の相関関係があることが知られており (松島 1971, 姚ら 2000), YD を含む平均精籾 1 粒重の大きい品種では籾の比重分布が高い側に局在したとの報告

がある (姚ら 2000). よって, YD では品種特性として籾の平均比重が高いものと推察され, 面積当たり籾数が増加しても比重 1.06 を下回る未登熟籾が生じにくい特性を有しているものと考えられる. 粒重は環境による変動が他の収量構成要素に比べ小さい形質であることから (松島 1971), YD では比重も環境に関わらず他の品種より高く保たれたと考えられ, これが登熟歩合の年次間 (2006~2009年) 変動が小さかった (第2図) ことの要因の一つであると考えられる. Gendua (2009) も, YD の登熟歩合は HH に比べ, 処理間だけでなく年次間の変動も小さいことを報告した.

籾の比重および千粒重の維持により登熟歩合を維持するためには, 高いシンクサイズに応じたソース供給力を確保

する必要があり、YD および WY ではソースとして茎葉に蓄積された炭水化物の移行量が HH より高いことが示された (第3表)。Gendua ら (2009) は、出穂前に茎葉に蓄積された非構造的炭水化物 (NSC) 量 / シンクサイズは YD において登熟歩合と有意な正の相関関係があることを明らかにしており、YD の高いシンクサイズに対して茎葉の貯蔵炭水化物による補償作用が認められることを示唆した。 ΔT は多収性品種において一般品種より有意に高く、ソースとして特に重要であり (王ら 1995)、日印交雑品種における登熟歩合の低下は ΔT の不足によることが報告されている (Yang ら 2002)。また、茎葉の貯蔵炭水化物の転流は出穂後の光合成による同化産物の不足を補う形で作用することが報告されている (Nagata ら 2001)。これらのことから、YD において高い ΔT は籾比重の安定に寄与し、登熟歩合が安定して高く、その年次間差が小さい要因であるものと考えられる。YD では穂首節間の大維管束断面積が HH に比べ顕著に大きく (山本ら 2010)、多収性品種の籾当たりの ΔT は大維管束断面積と有意な正の相関関係を示すことが報告されていることから (塩津ら 2007)、転流効率が高いことも高いシンクサイズに対して有効に作用しているものと考えられる。

以上より、緩効性肥料の施用は品種に関わらず吸収 N 量を高め、シンクサイズの増加に貢献した。一方、登熟歩合の低下により NUEg が低下することで収量は必ずしも増加しなかったが、この反応には品種間差が認められ、中国産多収性品種 YD では登熟歩合の低下が小さいことにより NUEg が高く維持される品種特性があり、シンクサイズの増加による収量増加傾向が認められた。品種特性としての登熟歩合の安定性は、高い籾比重および千粒重とそれらを維持するソース供給力としての茎葉の貯蔵炭水化物に起因しているものと推察され、YD が高い施肥反応性を有する要因と考えられる。

引用文献

- 天野高久・帥常俊・秦徳林・津田誠・松本保博 1996a. 中国雲南省における水稻多収穫の実証的研究：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・帥常俊・秦徳林・津田誠・松本保博 1996b. 中国雲南省における水稻多収穫の実証的研究：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.
- 中華人民共和国国家統計局 2009. 中国統計年鑑. 中国統計出版社.
- Gendua, P. A., Y. Yamamoto, A. Miyazaki, T. Yoshida and Y. Wang 2009. Responses of yielding ability, sink size and percentage of filled grains to the cultivation practices in a Chinese large-panicle-type rice cultivar, Yangdao 4. Plant Prod. Sci. 12 : 243-256.
- Gendua, P.A. 2009. Responses of sink size, percentage of filled grains and yielding ability to the cultivation practices in a Chinese large panicle type rice cultivar, Yangdao 4. Ph.D. diss., Unit. Grad. Sch. Agr. Sci., Ehime Univ., National Diet Library, UT51-2010-K530.
- Hasegawa, H. 2003. High-yielding rice cultivars perform best even at reduced nitrogen fertilizer rate. Crop Sci. 43 : 921-926.
- 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.
- 池田武・今部耕世・武蔵重満 2000. 一発施肥法に肥効調節型肥料を用いた場合のコシヒカリの収量と収量構成要素. 北陸作報 35 : 23-26.
- Ju, J., Y. Yamamoto, Y. Wang, Y. Shan, G. Dong, T. Yoshida and A. Miyazaki 2006. Genotypic differences in grain yield, and nitrogen absorption and utilization in recombinant inbred lines of rice under hydroponic culture. Soil Sci. Plant Nutr. 52 : 321-330.
- Kokubo, T., A. Miyazaki, T. Yoshida, Y. Yamamoto, J. Ju and Y. Wang 2011. Effect of slow release fertilizer on yield and yield components in Chinese high-yielding rice cultivars. Proc. 7th ACSA Conference : 107-112.
- 小久保敏明・宮崎彰・吉田徹志・山本由徳・井上洋子・岡崎秀昭・岩永泰大・黒田翔平・居静・王余龍 2012. 中国産多収性水稻品種の窒素吸収と施肥窒素吸収率に及ぼす緩効性肥料の施用効果. 日作紀 81 : 424-431.
- 楠谷彰人・浅沼興一郎・木暮秩 1993. 水稻における多収性の品種生態に関する研究：第1報 収量構造の品種間差異. 日作紀 62 : 385-394.
- Mae, T., A. Inaba, Y. Kaneta, S. Masaki, M. Sasaki, M. Aizawa, S. Okawa, S. Hasegawa and A. Makino 2006. A large-grain rice cultivar, Akita 63, exhibits high yields with high physiological N-use efficiency. Field Crops Res. 97 : 227-237.
- Mae, T. 2011. Nitrogen acquisition and its relation to growth and yield in recent high-yielding cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. Soil Sci. Plant Nutr. 57 : 625-635.
- 松島省三 1971. 稲作の理論と技術 - 収量成立の理論と応用 - 第16版. 養賢堂, 東京. 1-7.
- 宮崎彰・小久保敏明・居静・張祖建・趙歩洪・王余龍・山本由徳 2012. 中国江蘇省における水稻の多収穫多肥栽培による施肥窒素量と窒素施肥効率の現状. 日作紀 81 : 453-455.
- Nagata, K., S. Yoshinaga and T. Terao 2001. Effects of dry matter production, translocation of nonstructural carbohydrates and nitrogen application on grain filling in rice cultivar Takanari, a cultivar bearing a large number of spikelets. Plant Prod. Sci. 4 : 173-183.
- Peng, S., R. J. Buresh, J. Huang, J. Yang, Y. Zou, X. Zhong, G. Wang and F. Zhang 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. Field Crops Res. 96 : 37-47.
- 塩津文隆・劉建・豊田正範・楠谷彰人 2007. 水稻における登熟性の品種間差に関する研究 - 登熟に及ぼす穂首節間維管束断面積と炭水化物転流量の影響 -. 日作紀 76 : 262-272.
- 塩津文隆・劉建・辺嘉賓・豊田正範・楠谷彰人 2008. 水稻における登熟性の品種間差に関する研究 - 形態形質との関係 -. 日作紀 77 : 183-190.
- 上田一好・谷口政謙・白石浩司・豊田正範・楠谷彰人 2000. 多収性水稻の品種生態に関する研究 - 穂揃期貯蔵炭水化物の転流量の品種間差異 -. 日作四国支報 37 : 29-40.
- 和田源七 1969. 水稻収量成立におよぼす窒素栄養の影響 - 特に出穂期以後の窒素の重要性について -. 農技研報 A16 : 1-167.
- Wada, G., S. Shoji and T. Mae 1986. Relationship between nitrogen absorption and growth and yield of rice plants. JARQ 20 : 135-145.
- 和田源七・Aragones Rowena C.・安藤豊 1991. 熱帯における緩効性

- 窒素肥料 (Meister) の水稻の生育, 窒素吸収量および収量におよぼす影響. 日作紀 60 : 101-106.
- 王余龍・山本由徳・新田洋司 1995. 中国産日本型水稻9004系統の多収要因の解析 : 第 1 報 面積当たりの初数水準同一下での日本稲品種との収量性の比較. 日作紀 64 : 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 系統の多収要因の解析 : 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.
- 山本由徳・赤木浩介・川村智・宮崎彰・吉田徹志 2010. 多収性水稻品種の穂首節間大維管束数及び断面積の穂肥重点施肥による変化. 日作紀 79 (別 2) : 36-37.
- Yang, J., S. Peng, Z. Zhang, Z. Wang, R.M. Visperas and Q. Zhu 2002. Grain and dry matter yields and partitioning of assimilates in Japonica/Indica hybrid rice. *Crop Sci.* 42 : 766-772.
- 姚友礼・山本由徳・新田洋司・王余龍・呉華・吉田徹志・宮崎彰・蔡建中 2000. 水稻の初比重と玄米形質との関係. 日作紀 69 : 54-60.
- Yao, Y., Y. Yamamoto, Y. Wang, T. Yoshida, A. Miyazaki, Y. Nitta and J. Cai 2000. Role of nitrogen regulation in sink and source formation of high-yielding rice cultivars. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46 : 825-834.
- 吉田昌一 1986. 稲作科学の基礎. 村山登・吉田よし子・長谷川周一・末永一博共訳. 博友社, 東京. 155-168.

Effect of Slow Release Fertilizer on Nitrogen Use Efficiency for Grain Yield in Chinese High-Yielding Rice Cultivars: Toshiaki KOKUBO¹⁾, Akira MIYAZAKI²⁾, Tetsushi YOSHIDA²⁾, Yoshinori YAMAMOTO²⁾, Naomi ASAGI³⁾, Hideto UENO⁴⁾, Jing Ju⁵⁾ and Yulong WANG⁵⁾ (¹⁾Unit. Grad. Sch. Agr. Sci., Ehime Univ.; ²⁾Fac. Agr., Kochi Univ., Kochi 783-8502, Japan; ³⁾College Agr., Ibaraki Univ.; ⁴⁾Fac. Agr., Ehime Univ.; ⁵⁾Yangzhou Univ., China)

Abstract : Nitrogen (N) use efficiency for grain yield (the grain yield per absorbed N) in Chinese high-yielding rice cultivars grown with different types of slow release fertilizers (linear and sigmoid types) was analyzed. The amount of N absorbed and dry weight in Yangdao 4 (YD), Wuyugen 3 (WY) and Hinohikari (HH) were significantly increased by applying slow release fertilizers. With increasing amount of absorbed N, the N use efficiency for grain yield was lowered, but the N use efficiency for grain yield in YD and WY grown with sigmoid type slow release fertilizer tended to be higher than that with split application of ammonium chloride irrespective of the amount of N absorbed, due to higher percentage of grain filling. YD had a lower percentage of immature grains than HH, probably due to the high specific gravity of the heavy grains. In addition, the decrease in the amount of straw dry matter during the ripening stage was significantly larger in YD than in HH. These traits may result in the stably high percentage of grain filling.

Key words : Chinese high-yielding cultivar, Nitrogen use efficiency for grain yield, Rice, Slow release fertilizer, Yield production.