# 異なる施肥条件下における水稲品種の窒素利用効率 - 日本晴とタカナリの比較 -

齊藤 邦行 a)・檀野 祐亮 b) (応用植物科学コース)

# Comparisons of nitrogen use efficiency between rice cv. Nipponbare and Takanari at different fertilization levels

Kuniyuki Saitoh<sup>a)</sup>, and Yusuke Danno<sup>b)</sup>

(Course of Applied Plant Science)

The rice cultivar Nipponbare and the high-yielding cultivar Takanari were cultivated in field trials for three years from 2003, and in pot trials (1/2,000a) for two years from 2004. In the field trials, the following three levels of fertilizer were applied : "0 N" without fertilizer, "1 N" with the standard amount (8 kgN 10a<sup>-1</sup>), and "2 N" with twice the standard amount (16 kgN 10a<sup>-1</sup>). In the pot trial, three levels of fertilizer were applied : "0 N" without fertilizer, "1.5 N" with 1.5 times the standard amount (1.5 gN pot<sup>-1</sup>), and "3 N" with three times the standard amount (3 gN pot<sup>-1</sup>). In the field trials, yields were higher in Takanari (538 to 843 g m<sup>-2</sup>) than in Nihonbare (423 to 577 g m<sup>-2</sup>), and the increase in yield with fertilizer application was also larger in Takanari. This was related to the larger sink capacity of Takanari and the smaller decrease in the percentage of filled grain with larger sink capacity. The dry matter weight and nitrogen uptake at the panicle initiation stage were higher in the plots with higher fertilizer application, but the differences between the cultivars were small. Dry matter weight and nitrogen uptake at harvest time were higher in Takanari, and nitrogen use efficiency and sink production efficiency were also higher in Takanari, but the differences in nitrogen use efficiency between cultivars became smaller with increasing fertilizer application. The nitrogen use efficiency for dry matter production also decreased with increasing fertilizer application, and was higher in 2005 in Takanari. The leaf photosynthetic rate of Takanari was higher than that of Nipponbare in the pot experiment. The difference in leaf photosynthetic rate was related to the nitrogen use efficiency (photosynthetic rate / leaf nitrogen content), and the difference in leaf nitrogen content between cultivars was small. The nitrogen use efficiency for dry matter was highest in the "0 N" and decreased with increasing fertilizer application, and was higher in Takanari than in Nipponbare. This was presumably related to the higher nitrogen use efficiency of photosynthesis. It was found that fertilizer application decreased nitrogen use efficiency and sink production efficiency, but yield increased with increasing sink capacity, and that differences in nitrogen use efficiency among cultivars were related to the amount of nitrogen absorbed up to the panicle initiation stage and sink production efficiency. In order to improve the efficiency of fertilizer application, it is desirable to increase nitrogen absorption, which is expressed as multiplying the number of days to panicle initiation and the rate of nitrogen absorption, and to select cultivars with higher sink production efficiency.

Key words : High-yielding rice cultivar, Nitrogen use efficiency, Nitrogen uptake, Sink capacity, Sink production efficiency

# はじめに

今日の水稲栽培において,窒素を主とする施肥は水稲 の収量安定と多収のために重要な技術要素である.しか し,窒素施与量の増加はコスト増大・環境汚染を引き起 こす.水質汚濁については湖沼に流入する窒素成分の約 10%は農畜産系から放出されているとされ,それに占め

#### Received October 6, 2023

a) 岡山大学大学院環境生命自然科学研究科 (The Graduate School of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University)

 b) 岡山大学大学院自然科学研究科
 (The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University) る施肥由来の窒素の割合もかなり大きいと考えられる. また,環境保全型・持続型農業の観点からも化学肥料の 逓減化が求められている<sup>3)</sup>.

前報<sup>7</sup>において1970年から無施肥で栽培を行っている 岡山大学資源植物科学研究所の水田を用いて,収量性の 異なる4品種を栽培したところ,インド型多収性品種タ カナリは日本型品種日本晴に比べ無施肥条件においても 玄米収量が41%高く,これには窒素吸収量が多く,シン ク容量が大きいことが関係していた.また,吸収窒素当 たりのシンク容量で表されるシンク生産効率と吸収窒素 当たりの玄米収量で示される窒素利用効率も日本晴に比 べて高かった.すなわち,多肥多収性品種は無施肥条件 でも多収で<sup>2)</sup>,これには高いシンク生産効率によりシン ク容量が大きく,窒素利用効率が高いことが関係していた.

タカナリは穂数が少ないものの一穂籾数が著しく多く, 単位面積当たりの穎花数が多く,さらに登熟期間の乾物 増加量が大きいことで超多収性を発揮する品種である<sup>1.14</sup>. Yoshinaga et al.<sup>13</sup>はタカナリを含む多収性4品種を施肥 レベル2段階で栽培し,多収性品種は窒素吸収量が多く, シンク生産効率が高いことによりシンク容量が著しく大 きく,登熟期の乾物生産が高くシンク充填率が高まるこ とにより多収であることを明らかにしている.

本研究ではタカナリを供試し、異なる施肥条件下で栽 培を行い、生育収量ならびに窒素吸収について日本晴と 比較することを通じて、生育収量に品種間差が生じる機 構を解明することを目的とした。

## 材料と方法

## 1. 圃場試験

2003年から3年間,岡山大学農学部附属山陽圏フィー ルド科学センター3号水田(灰色低地土埴壌土)におい て水稲品種日本晴とタカナリを供試して,栽培試験を 行った.催芽した種子をポット育苗箱に2003年5月12日, 2004年5月10日,2005年5月16日に播種した.慣行に 従って育苗し,2003年は6月9日,2004年は6月14日, 2005年は6月13日に1株3本植えで機械移植した.水管 理は常時湛水とし、中干しは行わなかった.試験区は, 施肥を行わない「0N区」,標準量を施肥する「1N区」, 標準量の2倍を施肥する「2N区」の3水準を設けた(無 反復).施肥を行った1N区・2N区は基肥のみとし,緩 行性肥料LP複合100D-80(N:P2O5:K2O=14:14:14) を用いて,窒素成分で10a当たり1N区は8kg,2N区 は16kgを施肥した.

収穫時に各試験区につき60株(20株,3反復)を刈り 取り,収量と収量構成要素を調査した.移植期から収穫 期まで約2週間おきに,各試験区につき2反復,1反復 当たり8株を抜き取り,根を切除して洗浄した後,地上 部を穂と茎葉部(穂以外)に解体し,80℃,48時間通風乾 燥後,乾物重を測定した.この乾物の窒素含有率をCN コーダ(MT-700, ヤナコ分析工業製)で測定し,窒素 吸収量を算出した.さらに,シンク生産効率を吸収窒素 当たりのシンク容量,窒素利用効率を吸収窒素当たりの 精玄米収量として算出した.

# 2. ポット試験

2004年から2年間,山陽圏フィールド科学センター内 の露場において,日本晴とタカナリの2品種を用いてポッ ト(1/2000 a ワグナー)栽培を行った. 圃場試験に用い たのと同様の苗を,2004年6月14日,2005年6月13日に, 1株3本植え,1ポット当たり3株を移植して,常時湛 水状態として管理した.試験区は,施肥を行わない「0N 区」,標準量の1.5倍を施肥する「1.5N区」,標準量の3倍 を施肥する「3N区」の3水準を設けた.施肥は基肥に 緩行性肥料LP複合140E-80(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 14:14: 14)を用いて,窒素成分で1ポット当たり1.5N区は1.5g, 3N区は3.0gを施与した.また2004年7月28日,2005年 8月5日には硫安による追肥を行い,基肥窒素成分の半 量を与えた.収穫時に各株を地際から刈り取り,収量と 収量構成要素を調査した.

移植期から収穫期まで約2週間おきに,最上位完全展 開第1葉と,2枚下位の第Ⅲ葉について,携帯型光合成 測定装置(CIRAS-1,小糸工業株式会社製)を用いて, 個葉光合成速度を測定した(3反復).また,同時に蒸散 速度の測定も行い,拡散伝導度を算出した.測定に用い た部分の葉身を約5cm切り取り,その中心約3cmにつ いて窒素含有率の測定を行った.また窒素分析に用いた 葉身の前後各1cmの葉身についてクロロフィル含有量 の測定<sup>50</sup>を行った.

個葉光合成速度の測定に用いた株について,部位別に 解体した後に,80℃で72時間以上通風乾燥し,地上部の 部位別乾物重を調査した. 圃場試験と同様に窒素吸収量 を測定し、シンク生産効率・窒素利用効率を算出した.

#### 結 果

# 1. 圃場試験

### 1) 収量と収量構成要素

3ヵ年の穂数は、両品種ともに施肥量が多いほど増加 する傾向にあり、日本晴2N区で最も多く、タカナリの 0N区で最も少なかった、いずれの試験区においても日 本晴に比ベタカナリが少なかった(Table 1). 一穂籾数 は両品種ともに施肥量が多くなるほど増加する傾向にあ り、タカナリ2N区で最も多く、日本晴0N区で最も少 なくなった. タカナリでは全ての試験区において日本晴 2N区より多くなった. 総籾数は施肥量の増加とともに 多くなり、品種間で比較すると、いずれの試験区におい ても日本晴に比ベタカナリで多く、その程度は施肥量の 増加とともに大きくなった. 登熟歩合は両品種ともに 0N区で高く、施肥量の増加とともに低くなり、低下程 度は日本晴で大きかった. 精玄米千粒重は日本晴では

Year	Plots	Panicle	Spikelets	Spikelets	Filled	1000- grains	Sink	Grain vield	Total dry matter	Nitrogen uptake		Sink prod.	GY N-use	DM N-use
Cultivar		no.	no.	no.	spikelets	weight	capacity	(GY)	(DM)	at PI	at FM	efficiency	efficiency	efficiency
		$(m^{-2})$	$(panicle^{-1})$	$(\times 10^{3}  m^{-2})$	(%)	(g)	$(g m^{-2})$	$(g m^{-2})$	$(g m^{-2})$	$(g m^{-2})$	$(g m^{-2})$	$(g gN^{-1})$	$(g gN^{-1})$	$(g gN^{-1})$
2003														
Nipponbare	0 N	259	82.2	21.3	88.1	22.9	488	423	1,194	4.8	11.5	101.6	36.9	104.1
	1 N	355	90.0	31.9	78.5	21.8	696	526	1,481	10.5	15.6	66.3	33.7	95.0
	$2 \mathrm{N}$	373	93.8	34.9	69.6	21.5	750	520	1,389	13.2	15.6	56.8	33.4	89.1
Takanari	0 N	201	155.4	31.2	86.7	19.6	611	538	1,181	5.8	11.7	105.4	46.1	101.2
	1 N	230	177.3	40.8	79.5	20.6	839	648	1,454	11.0	15.9	76.3	40.9	91.7
	2  N	249	191.0	47.4	71.0	20.8	986	700	1,632	16.2	21.0	60.9	33.4	77.9
2004														
Nipponbare	0 N	313	84.0	23.8	83.8	22.1	580	442	1,205	6.9	12.6	84.1	35.0	95.6
	1 N	387	74.7	29.0	76.3	22.1	639	484	1,361	7.7	16.4	83.0	29.6	83.1
	2 N	399	72.0	29.2	78.6	21.8	625	500	1,544	13.8	16.9	45.3	29.7	91.6
Takanari	0 N	289	120.6	34.9	83.9	18.8	655	550	1,333	6.7	14.2	97.7	38.8	94.0
	1 N	308	131.6	40.6	83.9	19.0	772	637	1,520	9.6	20.2	80.4	31.6	75.3
	2 N	317	139.7	46.4	78.2	19.5	861	708	1,736	13.3	24.0	64.7	29.5	72.3
2005														
Nipponbare	0 N	320	90.0	28.8	82.9	22.6	652	539	1,359	6.8	11.0	95.9	48.8	123.1
	1 N	373	95.8	35.7	74.2	22.2	794	587	1,638	11.4	13.9	69.7	42.1	117.6
	2 N	388	109.2	42.5	63.7	21.4	909	577	1,615	17.2	16.6	52.9	34.7	97.1
Takanari	0 N	282	169.2	47.7	81.7	19.8	928	758	1,625	6.9	10.0	134.5	75.9	162.6
	1 N	292	186.0	54.3	76.7	20.2	1,098	827	1,715	10.6	14.8	103.6	56.1	116.3
	2 N	267	206.4	55.1	74.2	20.3	1,117	828	1,783	15.5	17.8	72.1	46.6	100.4
ANOVA	Year (A)	**	* *	**	**	* *	**	* *	**	-	-	-	-	-
	Cultivar (B)	**	* *	**	*	* *	**	* *	* *	-	-	-	-	-
	Plot (C)	**	* *	* *	* *	ns	**	* *	* *	-	-	-	-	-
	$(\mathbf{A} \times \mathbf{B})$	**	* *	**	ns	* *	**	* *		-	-	-	-	-
	$(A \times C)$	* *	* *	* *	* *	* *	* *	ns	* *	-	-	-	-	-
	$(B \times C)$	**	* *	ns	ns	* *	ns	*	*	-	-	-	-	-
	$(\mathbf{A} \times \mathbf{B} \times \mathbf{C})$	ns	ns	* *	ns	* *	*	ns	*	-	-	-	-	-

Table 1 Yield and yield components of rice plants grown under different levels of nitrogen fertilizer (Field experiment)

 $^{\ast}$  and  $^{\ast\ast},$  significant at 0.05 and 0.01 level ; ns, not significsnt by ANOVA.

Sink capacity = Spikelet no. m<sup>-2</sup> × One grain weight. Sink production efficiency = Sink capacity / Nitrogen uptake at panicle initiation (PI).

GY Nitrogen use efficiency = Grain yield / Nitrogen uptake at full maturity (FM).

DM Nitrogen use efficiency = Total dry matter / Nitrogen uptake at full maturity(FM).

0N区,タカナリでは2N区がやや高くなった.シンク 容量は施肥量の増加とともに大きくなり,いずれの試験 区においても日本晴に比ベタカナリで大きく,その差は 施肥量の増加とともに拡大した.精玄米収量は施肥量の 増加とともに多くなったが、日本晴では2N区と1N区 の差は小さかった.タカナリの2N区で最も多収となり, 2005年には828gm<sup>-2</sup>を記録した.

#### 2) 窒素吸収量と窒素利用効率

乾物生産量は両品種ともに施肥量の増加とともに高く なり、2003年0N区、1N区では日本晴に比ベタカナリ でやや小さくなったが、これ以外の区ではタカナリで高 く、品種間差は2N区で最も大きくなった。幼穂形成期 の窒素吸収量は両品種ともに施肥量の増加とともに大き くなったが、2003年2N区で日本晴に比ベタカナリが大 きくなったが、これ以外の区では同等か、逆にタカナリ で小さくなった.収穫期の窒素吸収量は,両品種ともに 施肥量の増加とともに大きくなり,0N区の相違は小さ かったが,1N区,特に2N区で日本晴に比ベタカナリ で大きくなった.

シンク容量を幼穂形成期の窒素蓄積量で除したシンク 生産効率は、0N区で最も高く、施肥量の増加とともに 小さくなったが、3ヵ年ともに日本晴に比ベタカナリで 高くなった。精玄米収量を収穫期の窒素吸収量で除した 収量の窒素利用効率も、3ヵ年ともに0N区で最も高く、 施肥量の増加とともに小さくなったが、いずれの試験区 でも日本晴に比ベタカナリで高く、品種間差は0N区で 最も大きくなった。乾物生産量を収穫期の窒素吸収量で 除した乾物生産の窒素利用効率も、3ヵ年ともに0N区 で最も高く、施肥量の増加とともに低くなったが、2005年 0N区以外では日本晴に比ベタカナリがやや低くなった。

#### 2. ポット試験

### 1) 収量と収量構成要素

2004, 2005年の穂数は、両品種ともに施肥量が多くな るにつれて増加する傾向にあり、いずれの試験区でもタ カナリに比べ日本晴が多かった(Table 2). 両年とも日 本晴3N区(2004年34.3本株-1, 2005年27.3本株-1)で 最も多く、タカナリの0N区で最少となった。一穂籾数 は両品種ともに施肥量が多くなるほど増加する傾向にあ り、いずれの試験区でも日本晴に比ベタカナリが多 かった。総籾数はいずれの試験区においても日本晴に比 ベタカナリで多く、その差は施肥量の増加とともに大き くなった.登熟歩合には試験区や品種間差による相違は 小さく、これはポットで孤立条件のため葉面積が多くな る多施肥区でも相互遮蔽が起こりにくく、登熟期間中も 高い乾物生産を維持できたためと考えられた. シンク容 量は施肥量の増加とともに大きくなり、いずれの試験区 でも日本晴に比ベタカナリが大きかった. その結果、精 玄米収量も施肥量の増加とともに高くなり、両年ともタ カナリ3N区(2004年63.3g株<sup>-1</sup>, 2005年76.1g株<sup>-1</sup>)で 最も多収となった.

### 2) 窒素吸収量と窒素利用効率

乾物生産量は両品種ともに施肥量の増加とともに高く なり、2004年は各試験区とも、日本晴に比ベタカナリで 同等かやや小さくなったが、2005年は0N区と1.5N区で はタカナリで大きく、3N区ではほぼ同等となった、幼 穂形成期の窒素吸収量は両品種ともに施肥量の増加とと もに大きくなり、日本晴とタカナリでほぼ同等であった が、2004年3N区ではタカナリで大きくなった、収穫期 の窒素吸収量は、両品種ともに施肥量の増加とともに大 きくなり、日本晴に比ベタカナリでやや小さくなったが、 2004年3N区ではほぼ同等となった。

シンク生産効率は、0N区で最も高く、施肥量の増加 とともに低くなったが、2004年3N区以外では日本晴に 比ベタカナリで高くなった. 収量の窒素利用効率も、 2ヵ年ともに0N区で最も高く、施肥量の増加とともに 小さくなったが、いずれの試験区でも日本晴に比ベタカ ナリで高く、品種間差は1.5N区で最も大きくなった. 乾 物生産の窒素利用効率も、2ヵ年ともに0N区で最も高 く、施肥量の増加とともに小さくなったが、2004年3N 区以外では日本晴に比ベタカナリでやや高くなった.

3) 個葉光合成速度

個葉光合成速度は、両品種ともに0N区に比べ施肥区 (1.5N区、3N区)で高く推移する傾向にあり、両品種 の1.5N区と3N区の試験区間差は小さかった(Fig.1). いずれの試験区においても日本晴に比ベタカナリが高く 推移した.上位第I葉の個葉光合成速度は移植後20日頃 の分げつ期に高く、その後は葉齢の増加とともに漸次低 下がみられたが、出穂期以降再び高い値を示すようにな り、その後老化にとともに徐々に低下した. 拡散伝導度は、品種間で比較すると日本晴に比ベタカ ナリが高く推移したが、試験区間で比較すると明確な差 異は認められなかった(Fig.2).拡散伝導度と個葉光合 成速度の関係(Fig.3)をみると、両者の間に密接な正の 相関関係が認められた.両者の回帰直線の傾きは日本晴 に比べてタカナリで小さく、タカナリでは気孔開度の増 加に伴う光合成速度の増加割合が小さいことがわかった.

葉身クロロフィル含有量と個葉光合成速度との間には 密接な正の相関関係が認められた(Fig.4).また、タカナ リは葉身クロロフィル含有量が日本晴と同程度であって も、個葉光合成速度が高く維持されていることがわかった.

個葉窒素含有量と個葉光合成速度の関係を求めると (Fig.5),両者の間には密接な正の相関関係が認められ た(日本晴 r = 0.72\*\*,タカナリ r = 0.76\*\*).また回 帰直線を品種間で比較すると、日本晴に比ベタカナリの 回帰直線は上方に位置し、両品種の個葉窒素含有量が同 程度であっても、日本晴に比ベタカナリの個葉光合成速 度は高いこと、すなわち光合成の窒素利用効率が高いこ とが明らかとなった.

# 考 察

3ヵ年の圃場試験の収量と収量構成要素についてみる と、タカナリは穂数が少ないものの一穂籾数が多く、穂 重型の特徴を備えており<sup>1)</sup>、総籾数が多くシンク容量が大 きかった(Table 1).両品種ともにシンク容量が大きく なるほど精玄米収量が高くなる傾向が認められ(Fig.6), 圃場試験における収量は、いずれの年次、施肥条件にお いてもタカナリの精玄米収量が日本晴を上回った(Table 1).

乾物生産量は施肥量の増加とともに高くなり,日本晴 に比ベタカナリで高く,品種間差は2N区で最も大きく なった(Table 1).徐ら<sup>14)</sup>も、タカナリの乾物生産量が 高く,これには吸光係数で示される受光態勢が良好であ ることが関係すると報告している.ポット試験において 個葉光合成速度を日本晴と比較したところ,生育期間を 通じてタカナリで高く推移した(Fig.1).徐ら<sup>15)</sup>, Takai et al.<sup>8)</sup>, Taylaran et al.<sup>10)</sup>も同様にタカナリの個葉光合成 速度が高いことを認めており,乾物生産が高いことには 個葉光合成速度が高いことも関係していると考えられる. 斎藤ら<sup>6)</sup>は密陽23号の乾物生産が高いことには受光態勢 が関係し,個葉光合成速度には日本晴と相違がみられな いことを報告している.

収量を左右するシンク容量は、幼穂形成期までの総窒 素蓄積量などによって、その大小が決定することが認め られている(Wada and Sta.Cruz<sup>11)</sup>, Yoshida et al.<sup>12)</sup>, Yoshinaga et al.<sup>13)</sup>.本実験でも圃場試験を行った両品種 の幼穂形成期窒素蓄積量とシンク容量との間には有意な 正の相関関係が認められ(Fig.7),さらに収量とシンク 容量の間にも密接な正の相関関係が認められた(Fig.6). すなわち、収量を高めるには栄養成長期により多くの窒

Year Cultivar	Ploto	Panicle no.	Spikelets no.	Spikelets no.	Filled spikelets	1000- grains weight	Sink capacity	Grain yield (GY)	Total dry matter (DM)	Nitrogen uptake		Sink prod.	GY N-use	DM N-use
	L'IOTS									at PI	at FM	efficiency	efficiency	efficiency
		$(hill^{-1})$	(panicle <sup>-1</sup> )	$(hill^{-1})$	(%)	(g)	(g hill <sup>-1</sup> )	$(g hill^{-1})$	(g hill <sup>-1</sup> )	$(g hill^{-1})$	$(g hill^{-1})$	$(g g N^{-1})$	$(g g N^{-1})$	$(g g N^{-1})$
2004														
Nipponbare	e 0 N	12.7	61.7	789	87.0	20.9	16.6	14.5	35.9	0.13	0.23	126.8	63.5	157.3
	1.5 N	23.7	75.1	1,778	87.6	22.4	39.8	34.9	97.3	0.57	0.94	69.9	37.0	103.1
	3 N	34.3	82.7	2,838	83.8	22.2	63.0	52.7	130.1	0.77	1.29	82.0	40.8	100.6
Takanari	0 N	12.7	85.9	1,079	81.6	18.1	19.5	15.9	35.7	0.14	0.21	137.3	75.1	168.4
	1.5 N	18.3	148.6	2,725	89.0	20.0	54.5	48.4	92.1	0.50	0.70	108.8	69.7	132.6
	3 N	24.7	148.2	3,660	84.8	20.3	74.4	63.3	121.5	0.96	1.30	77.4	48.5	93.1
2005														
Nipponbare	e 0 N	10.3	64.8	670	86.3	22.4	15.0	12.9	31.5	0.11	0.20	139.2	65.0	159.0
	1.5 N	15.0	96.2	1,432	83.1	24.0	34.5	29.0	97.3	0.35	0.80	99.8	36.2	121.4
	3 N	27.3	92.3	2,528	85.8	22.8	57.6	49.7	130.1	0.63	1.32	92.1	37.6	98.3
Takanari	0 N	10.0	127.2	1,263	78.8	18.0	22.8	17.9	39.8	0.10	0.24	224.6	75.7	168.1
	1.5 N	13.7	222.7	3,039	78.1	19.4	59.0	46.1	88.3	0.32	0.69	184.2	66.6	127.6
	3 N	17.7	241.3	4,270	89.2	19.9	85.1	76.1	136.0	0.62	1.28	137.2	59.4	106.2
ANOVA	Year (A)	**	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	-	-	-	-	-
	Cultivar (B)	**	**	* *	ns	**	* *	**	ns	-	-	-	-	-
	Plot (C)	**	**	* *	ns	**	* *	**	* *	-	-	-	-	-
	$(\mathbf{A} \times \mathbf{B})$	ns	**	*	ns	* *	ns	ns	ns	-	-	-	-	-
	$(A \times C)$	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-
	$(\mathbf{B} \times \mathbf{C})$	**	**	*	ns	* *	*	*	ns	-	-	-	-	-
	$(A \times B \times C)$	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	_	_	_	_	_

Table 2 Yield and yield components of rice plants grown under different levels of nitrogen fertilizer (Pot experiment)

 $^{\ast}$  and  $^{\ast\ast}\!,$  significant at 0.05 and 0.01 level; ns, not significant by ANOVA.

Sink capacity = Spikelet no. m<sup>-2</sup> × One grain weight. Sink production efficiency = Sink capacity / Nitrogen uptake at panicle initiation (PI).

GY Nitrogen use efficiency = Grain yield / Nitrogen uptake at full maturity (FM).

DM Nitrogen use efficiency = Total dry matter / Nitrogen uptake at full maturity (FM).





素を蓄積させることにより、十分なシンク容量を確保す ることが不可欠であると推察された.



Fig.2 Changes in leaf conductance of fully expanded first leaf from the top of the stem. Arrows indicate the heading date.

# シンク生産効率・収量の窒素利用効率には品種間差が あり<sup>77</sup>、本実験でも日本晴に比べタカナリで高かった



Fig.3 The relation between leaf conductance and photosynthetic rate.



**Fig.4** The relation between leaf chlorophyll content and photosynthetic rate.



Fig.5 The relation between leaf nitorogen content and photosynthetic rate.



Fig.6 The relation between sink capacity and grain yield (Field experiment).



Fig.7 The relation between N-uptake at panicle initiation stage and sink capacity (Field experiment).

(Table 1). また,シンク生産効率の上昇に伴い窒素利 用効率も上昇する傾向がみられ、タカナリでは両者の間 に有意な正の相関関係が認められ、シンク生産効率の高 い品種は窒素利用効率も高くなることが明らかとなった (Fig.8). しかし、シンク生産効率・窒素利用効率とも に、施肥量の増加にしたがって低下することが認められた.

ポット試験を行ったところ,個葉光合成速度は日本晴 に比ベタカナリが高く(Fig.1),個葉光合成速度と窒素 含有量(Fig.5),クロロフィル含有量(Fig.4)との間 には密接な正の相関関係が認められた.また窒素含有量, クロロフィル含有量が等しくても日本晴に比ベタカナリ の個葉光合成速度は高かった.タカナリの個葉光合成速 度が高かったのは,葉内の単位窒素あたりの個葉光合成 速度が高い(Fig.5)というタカナリの生理的特性によ るものと推察された.すなわち,日本晴に比ベタカナリ





の光合成の窒素利用効率(光合成速度/葉身窒素含量)が 高いことが明らかとなった(Fig.5). Ohkubo et al.4 も葉 身の窒素含量が等しくてもコシヒカリに比ベタカナリの 光合成速度が高いことを認めている. 乾物生産の窒素利 用効率は圃場試験では日本晴に比ベタカナリで低い傾向 がみられたが(Table 1), ポット試験では日本晴に比ベ タカナリでやや高くなった(Table 2). これには群落条 件では乾物生産に受光態勢が大きく影響するため光合成 の窒素利用効率の影響は小さいが, ポット試験で孤立条 件に生育する場合は光合成の窒素利用効率の高さが乾物 生産の窒素利用効率の向上に関係すると考えられた.

ポット試験においても、シンク容量と精玄米収量との 間には正の相関関係( $r = 0.996^{***}$ )が認められ、幼穂形 成期窒素吸収量とシンク容量( $r = 0.854^{***}$ )、シンク生 産効率と収量窒素利用効率( $r = 0.772^{**}$ )との間にも正 の相関関係が認められた、シンク生産効率と収量の窒素 利用効率は日本晴に比ベタカナリで高かった(Table 2).

以上より,施肥は窒素利用効率・シンク生産効率を低 下させること,しかし,一定量までの施肥により収量は シンク容量の拡大とともに増加すること,窒素利用効率 の品種間差には幼穂形成期までの窒素吸収量とシンク生 産効率とが関係することが明らかになった.今後,施肥 の効率を向上するには幼穂形成期までの日数と窒素吸収 速度の積で表される窒素吸収量を増加させてシンク容量 を確保できる作期や栽培法を選択するとともに,シンク 生産効率の高い品種を選択することが望ましいと推察さ れた. Takai et al<sup>9</sup>は,タカナリから葉の光合成速度を 高める遺伝子 GPS を単離し,葉を細くする遺伝子として 既に知られていた NAL1と呼ばれる遺伝子の変異型で, 葉肉細胞の数を増やし,光合成速度を向上させることを 見出した.今後の多収性品種育種に GPS を活用されるこ とが期待される.

#### 引用文献

- 1)井辺時雄・赤間芳洋・中根 晃・羽田丈夫 他16名:多用途 向き多収水稲品種「タカナリ」. 作物研究所研究報告, 5, 35-51 (2004)
- 2) Hasegawa, H.: High-yielding rice cultivars perform best even at reduced nitrogen fertilizer rate, Crop Science, 43, 921-926 (2003)
- 3)農林水産省:みどりの食料システム戦略.
  https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/ (2021)
- 4) Ohkubo S, Y. Tanaka, W. Yamori and S. Adachi : Rice cultivar Takanari has higher photosynthetic performance under fluctuating light than Koshihikari, especially under limited nitrogen supply and elevated CO<sub>2</sub>. Frontiers in Plant Science, **11**, 1308 (2020)
- 5) Schmid, G. H.: Origin and properties of mutant plants : in Yellow Tobacco. In Methods in enzymology Vol. 23 (A. San Pietro ed.), pp.171–194., Academic Press, London, UK.(1971)
- 6)斎藤邦行・下田博之・石原 邦:水稲多収性品種の乾物生産 特性の解析 第3報 個葉光合成速度の比較.日本作物学会紀 事,60,65-74 (1993)
- 7) 齊藤邦行・岩目好史・前川雅彦・武田和義:水稲における窒 素利用効率の品種間差異. 岡山大学農学部学術報告, 113, 17-24 (2024)
- 8) Takai, T., S. Matsuura, T. Nishio, A. Ohsumi, T. Shiraiwa and T. Horie : Rice yield potential is closely related to crop growth rate during late reproductive period. Field Crops Res. 96, 328-335 (2003)
- 9) Takai T, S. Adachi, F. Taguchi-Shiobara, Y. Sanoh-Arai, N. Iwasawa, S. Yoshinaga, S. Hirose, Y. Taniguchi, U. Yamanouchi, J. Wu, T. Matsumoto, K. Sugimoto, K. Kondo, T. Ikka, T. Ando, I. Kono, S. Ito, A. Shomura, T. Ookawa, T. Hirasawa, M. Yano, M. Kondo and T. Yamamoto : A natural variant of *NAL1*, selected in high-yield rice breeding programs, pleiotropically increases photosynthesis rate. Scientific Reports **3**, 2149(2013)
- 10) Taylaran, R. D., S. Adachi, T. Ookawa, H. Usuda and T. Hirasawa : Hydraulic conductance as well as nitrogen accumulation plays a role in the higher rate of leaf photosynthesis of the most productive variety of rice in Japan. Journal of Experimental Botany, **62**, 4067-4077 (2011)
- Wada, G. and P. C. Sta. Cruz : Varietal difference in nitrogen response of rice plants with special reference to growth duration. Japanese Journal of Crop Science, 58, 732-739 (1989)
- 12) Yoshida, H., T. Horie and T. Shiraiwa : A model explaining genotypic and environmental variation in leaf area development of rice based on biomass growth and leaf N accumulation. Field Crops Research, **113**, 227–237 (2009)
- 13) Yoshinaga, S., T. Takai, Y. Arai-Sanoh, T. Ishimaru and M. Kondo: Varietal differences in sink production and grain-filling ability in recently developed high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) varieties in Japan. Field Crops Research, **150**, 74-82 (2013)
- 14)徐 銀発・大川泰一郎・石原 邦:水稲多収性品種タカナリの収量と乾物生産過程の解析-1991年から1994年の4年間-.
  日本作物学会紀事,66,42-50 (1997)
- 15)徐 銀発・大川泰一郎・石原 邦:多収性水稲品種タカナリの光合成特性の解析.日本作物学会紀事,66,616-623 (1997)