

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楡雑29号の多収性*

天 野 高 久・師 常 俊**・秦 徳 林**

津 田 誠***・松 本 保 博****

(京都府立大学農学部・**雲南農業大学水稻研究所・***三重大学生物資源学部・

****松本酒造株式会社)

1995年1月30日受理

要 旨: 中国雲南省において $1,500 \text{ gm}^{-2}$ 以上の収収量をあげ得ることを実証し、多収の成立機構について具体的な知見を得ようとした。楡雑29号を賓川県の慣行の栽植密度(密植区: 78.5 株 m^{-2})で栽培し収収量 $1,664 \text{ gm}^{-2}$ (700 m^2 刈り取り)を得た。さらに、慣行の約1/2の栽植密度(疎植区: 42.7 株 m^{-2})で極めて高水準の収収量 $1,982 \text{ gm}^{-2}$ (6 m^2 刈り取り)が得られた。全生育期間の平均日射量は $19.3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ と、日本における国際生物学事業計画(JIBP)で示され5カ年の平均値 $16.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ に比べ約20%多かった。楡雑29号の全生育期間の地上部全重でみた光エネルギー利用効率(Eu)はJIBPにおける5カ年の平均値(1.25%)よりも28~50%も高く、子実重ではさらに高くJIBPの最高値(0.59%)よりも17~49%高かった。Euの増加のほうがかに大きいことから楡雑29号の多収には日平均日射量の多いことよりもEuの向上が大きく寄与していると考えられた。楡雑29号は成熟期の地上部全重 $2,500 \text{ gm}^{-2}$ 以上で籾重/地上部全重は0.6以上を、また、 $1,180 \text{ gm}^{-2}$ 以上のわら重で籾わら比は1.4以上をそれぞれ示した。 m^2 当たりの籾数は71,000~87,700粒に達した。精玄米千粒重は23.1~23.5g、登熟歩合は76.0~76.2%であった。楡雑29号は乾物生産と籾への乾物分配率がともに高く、また、 m^2 当たり籾数が著しく多い割りに比較的高い登熟歩合が得られ、この特性は密植区よりも疎植区において顕著であった。楡雑29号の疎植栽培は慣行の密植栽培に比べ省力・多収となる可能性が示唆された。

キーワード: 雲南省, 水稻, 多収, 中国, 日射量, 楡雑29号。

High-Yielding Performance of Paddy Rice Achieved in Yunnan Province, China I. High yielding ability of Japonica F_1 hybrid rice, Yu-Za 29: Takahisa AMANO, Chang-Jun SHI**, De-Lin QIN**, Makoto TSUDA*** and Yasuhiro MATSUMOTO**** (*Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan*; ***Rice Research Institute, Yunnan Agricultural College, Kunming, Yunnan Province, China*; ****Faculty of Bioresources, Mie University, Tsu 514, Japan*; *****Matsumoto Brewing Co. Ltd., Hushimi-ku, Kyoto 606, Japan*)

Abstract: Rice seedlings of cultivar Yu-Za 29 were planted by the conventional cultivation method with a planting density of 78.5 hills per m^2 (dense planting) in Binchuan, Yunnan Province and achieved a paddy yield of $1,664 \text{ gm}^{-2}$, the sampling area being 700 m^2 . In addition, a very high paddy yield of $1,982 \text{ gm}^{-2}$, the sampling area being 6 m^2 in total of three sub-plots, was recorded by reducing the planting density to about half of the conventional one (42.7 hills per m^2 , sparse planting). The average daily incident solar radiation during whole growing period ($19.3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) was about 20% higher compared to the mean value ($16.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) obtained in the five-year experiment of the Japanese International Biological Program (JIBP). On the other hand, the efficiency for solar energy utilization (Eu) of Yu-Za 29 for biological production during the whole growth period was higher by 28-50% in comparison with the average Eu (1.25%) of the five-year experiment of JIBP. Eu for grain production exceeded the highest Eu (0.59%) in the JIBP by 17-49%. In Yu-Za 29, the harvest index was estimated at more than 0.6 for top-dry weight over $2,500 \text{ gm}^{-2}$ and the grain-straw ratio reached more than 1.4 for straw weight over $1,180 \text{ gm}^{-2}$. The spikelet number per m^2 was 71,000 to 87,700 and the filled-spikelet percentage was 76.0 to 76.2%. An increase in both components of dry-matter production and the partition ratio of dry matter to grains as well as the high percent of the filled spikelets, regardless of a very large number of spikelets, had been attained with the sparse planting comparing with dense planting.

Key words: China, High yield, Paddy rice, Solar radiation, Yunnan Province, Yu-Za 29.

世界各地で記録的な多収事例が報告されている³⁾。インディカではインドのマハラシュトラ州に

おける $1,777 \text{ gm}^{-2}$ (収収量)⁸⁾、ジャポニカでは中国雲南省の $1,537 \text{ gm}^{-2}$ (収収量)¹⁰⁾ が極めて高水準であり、それぞれの国の公認記録として認定されている。しかし、いずれの場合も収量構成要素、乾物生

* 本研究は財団法人国際協力推進協会学術奨励金によって行われた。大要は第199回講演会(1995年4月)において発表。

注) 雲南省農業科学院資料 1993。

産特性などの調査を欠いており、多収の成立機構についてはほとんど明らかにされていない^{1,8)}。

最近の中国における水稻の多収研究は品種改良の面でめざましいものがある。特に近年、嗜好性の面からジャポニカの多収性品種の開発に期待が寄せられている。本研究は中国雲南農業大学が1992年に開発したジャポニカの新品種楡雑29号の多収性を主として気象条件、乾物生産、収量構成要素の面から検討した。

材料と方法

楡雑29号は滇楡1号A×R南29号のF₁である。脱粒性が難であるため伝統的な脱穀法には適さないが、従来のインディカのF₁品種に比べて食味に優れており、栽培面積の拡大が見込まれている。比較としてジャポニカの奨励品種、楚粳9号を供試した。

1994年雲南省白族自治州賓川県(北緯25°50′, 東経100°30′, 海拔1,640m)において1筆1,183m² (70m×16.9m)の農家水田を借り上げ試験を実施した。両品種とも栽植密度について密植区(同県の慣行)と疎植区(慣行の約1/2)を設けた。中国において多収記録が公認されるためには1畝(667m²)以上の刈り取り面積が必要であるため、全面積の約

80%, 970m² (57.4m×16.9m)を楡雑29号の密植区に当てた。その内771m² (45.6m×16.9m)を大面積調査専用の区画とし, 199m² (11.8m×16.9m)を小面積収量, 乾物重, 収量構成要素等の調査区画とした。残り約20%, 213m² (12.6m×16.9m)を他の3区に等分した(1区5.6m×12.6m)。播種から収穫まで中国雲南農業大学の担当者が現地に常駐し栽培に当たった。栽培法の概要を第1表に示した。

収量調査は, 各区共2m²づつ3箇所を任意に選定し, 計6m²を刈り取った。楡雑29号の密植区の大面積収量調査は州科学技術協会, 県政府等の立会いのもとで周囲を除いて700m²を刈り取った。脱穀後, 風選によって秕を取り除き, 精粳重を求めた。次いでその約1kgを粳すりし, 粗玄米重を求めた後米選機にかけ, 粒厚1.8mm以上の玄米割合から精玄米重を算出した。重量は水分含有率13%に換算して示した。

乾物重, 収量構成要素は次のように調査した。まず, 移植後に茎数(穂数)調査箇所を各区とも任意に5箇所設定し, 目印の棒を立てた。各箇所連続10株(1区50株)について穂数調査を行い, 箇所ごとに平均1株穂数を算出した。成熟期にその平均穂数の株を4株づつそれぞれの近辺から抜取り(1区20株), 2株を乾物重調査用に, 他の2株を平均1穂粳

Table 1. Outline of cultivation methods in the experimental paddy field.

Variety used and planting density	Cultivation methods common to each plot
Yu-Za 29, Dense planting (78.5 hills per m ² , 2 plants per hill)	Cropping system: Wheat-rice double cropping Transplanting date: April 29 Fertilizer application Basal dressing
Yu-Za 29, Sparse planting (42.7 hills per m ² , 3 plants per hill)	Compost 2300 gm ⁻² (April 27) Urea (N: 46%) 3.5 gm ⁻² (April 28) Calcium phosphate (P: 18.1%) 8.1 gm ⁻² (April 28) Compound fertilizer (N, P, K: 15%) 2.3 gm ⁻² (April 28)
Chu-Jing 9 Dense planting (78.8 hills per m ² , 3 plants per hill)	Top dressing at the tillering stage Ammonium carbonate (N: 17.1%) 7.7 gm ⁻² (May 5) Top dressing at the panicle formation stage Potassium sulfate (K: 50%) 7.5 gm ⁻² (June 10)
Chu-Jing 9 Sparse planting (41.3 hills per m ² , 4 plants per hill)	Total N: 13.5 gm ⁻² , P ₂ O ₅ : 10.4 gm ⁻² , K ₂ O: 9.8 gm ⁻² Disease, insect and weed control Insecticide and fungicide: 7 times Herbicide: one time, Hand weeding: twice Soil condition: Brown forest soil, Clay loam Water management: Continuous flooding from transplanting to heading (5 to 10 cm depth)

Planted area is 71m² (12.6m×5.6m) without replication in dense planting and sparse planting of Chu-Jing 9 and sparse planting of Yu-Za 29. Dense planting of Yu-Za 29 is 970m² (57.4m×16.9m) without replication.

数調査用に当てた。平均1株穂数と栽植密度から m^2 当たり穂数を算出し、これに平均1穂粒数を乗じて各箇所 m^2 当たり粒数とした。根を除去した後、穂、生葉身、枯葉身、稈+葉鞘に分け、 100°C で2日間通風乾燥後に乾物重を秤量した。わら重、籾わら比は各区とも抜き取った株の乾物重から算出した。登熟歩合は収量調査用の籾を3箇所から100gづつ取り、比重1.06の塩水選によって求めた。その登熟粒について精粒千粒重、精玄米千粒重を測定した。光エネルギー利用効率(Eu)は次式によって推定した^{4,12)}。

$$Eu = K \times \Delta W / (S \times T) \times 10^{-4}$$

ここで、K: 燃烧熱 ($3,750 \text{ cal g}^{-1}$)

ΔW : 乾物重の増加量 (gm^{-2})

S: 日平均日射量 ($\text{cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

T: 日数

以上の収量、収量構成要素、乾物重について1区3~5箇所のデータに基づいて区間差をt-検定した。

気象データは1994年賓川県の測候所が観測したものを用了。京都については同年の京都府立大学農学部附属農場の観測値を用了。

結果と考察

1. 賓川県の気象条件

稲作期間中の日平均日射量、日平均気温を第1図に示した。比較のために京都(北緯 $35^\circ 01'$ 、東経 $135^\circ 44'$ 、海拔90 m)とカルフォルニア州フレズノ(北緯 $36^\circ 46'$ 、西経 $119^\circ 43'$ 、海拔100 m)²⁾の観測値を示した。両品種とも出穂期は7月15日、成熟期は9月8日であった。賓川県の作期は京都に比べて約1ヵ月早かった。

4月から9月までの6ヵ月間の日平均日射量は3地区で差が認められたが、日平均気温の変動パターンはよく似ていた。6ヵ月間の日平均日射量では、賓川県の $19.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ は京都の $17.3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ よりも高いがフレズノの $24.4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ よりもかなり低かった。日平均気温は賓川県 22.8°C 、京都 22.7°C 、フレズノ 22.5°C であり、3地区で大差は認められなかった。収量を解析する場合、収量生産期(出穂前10日から出穂後30日の40日間)の気象、とりわけ日射量が重要である^{5,12)}。賓川県における収量生産期の平均日射量は $18.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ で京都の $17.0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ よりもやや多いが、フレズノの

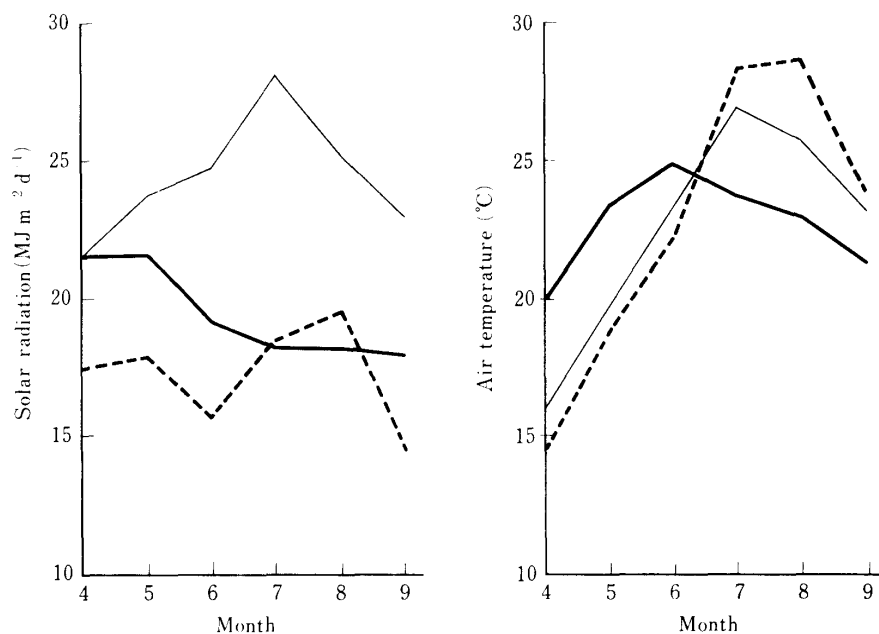


Fig. 1 Daily mean incident solar radiation and daily mean air temperature in Binchuan, Kyoto and Fresno, California.

—: Binchuan ($25^\circ 50' \text{ N}$, $100^\circ 30' \text{ E}$, 1,640 m above sea level) ; Yield production period is from July to August.

--: Kyoto ($35^\circ 01' \text{ N}$, $135^\circ 44' \text{ E}$, 90 m above sea level) ; Yield production period is from August to September.

— · —: Fresno ($36^\circ 46' \text{ N}$, $119^\circ 43' \text{ W}$, 100 m above sea level) ; Yield production period is from August to September.

24.2 MJ m⁻² d⁻¹ に比べるとかなり低かった。日平均気温は 23.4°C で京都の 26.3°C、プレスノ 24.6°C よりも低かった。賓川県の稲作立地条件は収量生産期の平均日射量からみてカルフォルニアの稲作地帯よりも京都に近いと考えられる。

2. 収量

各試験区の収量を第2表に示した。6 m² 刈り取りの楡雑 29 号の密植区では収量が 1,697 gm⁻²、玄米収量で 1,278 gm⁻²、疎植区ではそれぞれ 1,982 gm⁻²、1,498 gm⁻² を記録した。密植区、疎植区とも楚梗 9 号より楡雑 29 号が有意に多収であった。楚梗 9 号では栽植密度間に有意差は認められなかったが、楡雑 29 号では疎植区が密植区より有意に多収であった。楡雑 29 号の密植区における 700 m² (1.05 畝) 刈り取りの収量 1,664 gm⁻² は新たに中国の

公認記録として認定された。従来の中国の公認記録を収量で 127 gm⁻² 越えたことになる。したがって、楡雑 29 号の収量を解析することによって 1,600 gm⁻² 以上の収量の成立過程を実測値に基づいて解析することができる。

第3表に全生育期間の地上部全重ならびに子実重に基づく Eu を示した。地上部全重でみた Eu は密植区では品種間差は認められなかったが、疎植区では、楡雑 29 号が楚梗 9 号よりも有意に大きかった。子実重では栽植密度にかかわらず楡雑 29 号が楚梗 9 号よりも有意に大きかった。楡雑 29 号の地上部全重でみた Eu を日本における国際生物学事業計画 (JIBP) の 5 カ年の平均値 (1.25%)⁴⁾ と比較すると、28~50% 高かった。子実重ではさらに高く JIBP の平均値 (0.48%)⁴⁾ および最高値 (0.59%)⁴⁾ よりもそ

Table 2. Yields of Chu-Jing 9 and Yu-Za 29 at two planting densities.

Cultivar	Planting density	Weight of winnowed-unhulled rice (gm ⁻²)		Weight of winnowed-brown rice (gm ⁻²)†	
Yu-Za	Dense planting (D)	1,697	1,664 #	1,278	1,251 #
	Sparse planting (S)	1,982		1,498	
Chu-Jing 9	D	1,433		1,121	
	S	1,482		1,150	
Yu-Za 29	(D vs. S)	*		*	
Chu-Jing 9	(D vs. S)	ns		ns	
D	(Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	*		*	
S	(Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	*		*	

: An area of 700 m² was used for yield determinations.

All data except two were obtained by harvesting 6m² in total of three sub-plots from each plot.

† : More than 1.8mm of grain thickness.

* : Significant at the 0.05 probability level based on t test, ns: Not significant.

Table 3. Efficiency for solar energy utilization (En) during whole growth period of Chu-Jing 9 and Yu-Za 29 at two planting densities.

Cultivar	Planting density	Total-top dry matter (%)			Grains (%)		
Yu-Za 29	Dense planting (D)	1.60 ‡	(128)	[98]	0.69 ‡	(144)	[117]
	Sparse planting (S)	1.88 ‡	(150)	[115]	0.88 ‡	(183)	[149]
Chu-Jing 9	D	1.57 ‡	(126)	[96]	0.65 ‡	(135)	[110]
	S	1.59 ‡	(127)	[97]	0.66 ‡	(138)	[112]
Yu-Za 29	(D vs. S)	**			**		
Chu-Jing 9	(D vs. S)	ns			ns		
D	(Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	ns			**		
S	(Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	**			**		

() : Relative value compared with five-year mean Eu of the Japanese International Biological Program (JIBP).

[] : Relative value compared with the highest Eu of JIBP.

** : Significant at the 0.01 probability level based on t-test, ns: Not significant.

‡ : Significant compared with five-year mean Eu of JIBP at the 0.01 probability level based on t-test.

れぞれ 44~83%, 17~49%高かった。全生育期間の平均日射量は $19.3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ で JIBP における 5 カ年の平均値 $16.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ⁶⁾ に比べて約 20% 多かった。平均日射量が多いことは増収に対して寄与したであろうと推測されるが, Eu の方は子実重でみた場合, より低い値を示した密植区ですら JIBP で得られた平均値を 44% 上回り, 平均日射量の増加率よりもはるかに大きかった。このことから, 楡雑 29 号の高収量は平均日射量の多いことよりも全生育期間の Eu の向上によるところが大きいと考えられる。

3. 乾物の生産および分配

第 4 表に地上部全重, わら重およびそれらに対する精籾重の比を示した。楡雑 29 号は成熟期の地上部全重 $2,500 \text{ gm}^{-2}$ 以上で 0.6 以上の精籾重/地上部全重を, また, $1,180 \text{ gm}^{-2}$ 以上のわら重で 1.4 以上

の精籾重/わら重を示し, 密植区のわら重以外はいずれの形質にも有意な品種間差が認められた。また, わら重以外の形質は疎植区が密植区よりも大であった。楚粳 9 号では各形質とも栽植密度間に有意差は認められなかった。地上部全重およびわら重が増大すると精籾重/地上部全重, 精籾重/わら重は一般に低下の傾向を示す⁷⁾。松島の報告した多収事例⁷⁾では精籾重/わら重が著しく低いものであった。楡雑 29 号ではわら重が日本の多収事例に比べてはるかに高い値を示したにもかかわらず精籾重/わら重は低下せず, むしろ高い値を示した。楡雑 29 号の高収量は乾物生産と籾への乾物分配率がともに高いことによってもたらされていると解釈される。

4. 収量構成要素

第 5 表に収量構成要素を示した。 m^2 当たり籾数は楚雑 9 号では 60,000 粒に満たなかったが, 楡雑 29

Table 4. Total-top dry weight, straw weight and economic yields of Chu-Jing 9 and Yu-Za 29 at two planting densities.

Cultivar	Planting density	Total-top dry weight (gm^{-2}) (T)	Straw weight (gm^{-2}) (S)	Winnowed-unhulled rice (gm^{-2}) /T	Winnowed-unhulled rice (gm^{-2}) /S
Yu-Za 29	Dense planting (D)	2,550	1,185	0.65	1.40
	Sparse planting (S)	2,978	1,240	0.69	1.60
Chu-Jing 9	D	2,348	1,148	0.61	1.24
	S	2,377	1,157	0.62	1.28
Yu-Za 29	(D vs. S)	**	ns	**	**
Chu-Jing 9	(D vs. S)	ns	ns	ns	ns
	D (Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	*	ns	*	*
	S (Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	**	**	**	**

*, **: Significant at the 0.05, 0.01 probability levels based on t-test, respectively, ns: Not significant.

Table 5. Yield components of Chu-Jing 9 and Yu-Za 29 at two planting densities.

Cultivar	Planting density	Spikelet number per m^2	1000-grain weight (g)†		Filled grain (%)‡
			a	b	
Yu-Za 29	D	71,000	23.1	27.4	76.0
	S	87,700	23.5	27.8	76.2
Chu-Jing 9	Dense planting (D)	55,100	23.5	28.7	88.7
	Sparse planting (S)	56,700	23.1	28.9	90.4
Yu-Za 29	(D vs. S)	**	ns	ns	ns
Chu-Jing 9	(D vs. S)	ns	ns	ns	ns
	D (Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	**	ns	*	*
	S (Yu-Za 29 vs. Chu-Jing 9)	**	ns	*	*

† a: Winnowed-brown rice. b: Winnowed-unhulled rice.

‡: Grain selection was made by salt solution of the specific gravity of 1.06.

*, **: Significant at the 0.05, 0.01 probability levels based on t-test, respectively, ns: Not significant.

号では70,000粒を越えた。楚梗9号では栽植密度間に有意差はなかったが、榆雑29号では有意差が認められ疎植区では87,700粒に達した。 m^2 当たり籾数の成立内容については次報で詳述する。両品種の精玄米千粒重は23.1~23.5g、精籾千粒重は27.4~28.9gでいずれも日本品種並みであった。精玄米千粒重には栽植密度、品種間に有意差は認められなかったが、精籾千粒重では楚梗9号が榆雑29号よりも約1g大きかった。登熟歩合は栽植密度間に有意差はなく、品種間に有意差が認められ、楚梗9号が90%前後であったのに対し榆雑29号では76%程度であった。

村田・松島⁵⁾、武田¹⁰⁾、角田¹¹⁾らによって水稻の最大潜在収量が推定されている。単位入射日射量当たりの最大光合成純生産量と子実生産に有効な日数との積によって推定するものであるが、今、村田・松島⁵⁾の計算式に賓川県における出穂後40日間の平均日射量 $425 \text{ cal cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ を代入すると最大潜在収量は $2,679 \text{ gm}^{-2}$ となる。榆雑29号の疎植区の収量はこれにあと約 700 gm^{-2} にまで接近している。この試算での重要な仮定は収量キャパシティーの大きさが子実収量を制限しないとしている点である。収量キャパシティーが収量を制限しないとすると、 $2,679 \text{ gm}^{-2}$ の収量を得るためには、楚梗9号の場合、最大精籾千粒重を29g、登熟歩合を85%とすると108,000粒 m^{-2} 、榆雑29号の場合、それぞれ28g、85%とすると112,600粒 m^{-2} の籾が確保されなければならない。楚梗9号では実際に確保された籾数は栽植密度にかかわらずその水準の約50%である。登熟歩合はほぼ限界に近いのでさらに多収穫を目指す場合、籾数生産能力が不十分である。榆雑29号では密植区において m^2 当たり籾数はその約63%、疎植区において78%にまで増加した。楚梗9号より精籾千粒重が約1g小さく、登熟歩合はやや低かったが、 m^2 当たり籾数が多く多収であった。また、疎植区は密植区に比べて籾数は多いが精籾千粒重と登熟歩合はほとんど変わらず、最高の収量を示した。

榆雑29号の $1,600 \text{ gm}^{-2}$ を越える多収性は乾物生産と籾への乾物分配率がともに高く、また、 m^2 当たり籾数が著しく多い割には比較的高い登熟歩合が得られる特性が関連していると考えられる。したがって、乾物生産を高め、 m^2 当たり籾数をさらに増大させることができれば、最大潜在収量にさらに接近できると推察される。榆雑29号の多収性が密植区

よりも疎植区においてより大きく発現していることは、賓川県における慣行の栽植密度よりさらに疎植にすることで省力・多収栽培が可能であることを示唆している。この点については今後さらに異なる環境条件のもとで実証試験を行う予定である。

謝辞: 本研究を遂行するに当たり国際交流協会の吉田與和博士、中国雲南省体育運動委員会の張俊科長、鄧效源副科長の協力を頂いた。また、取りまとめに当たって山口大学農学部森脇勉教授から有益な助言と校閲を頂いた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

1. Amano, T., Q. Zhu, Y. Wang, N. Inoue and H. Tanaka 1992. Case studies on high yields of paddy rice in Jiangsu Province, China. I. Characteristics of grain production. *Jpn. J. Crop Sci.* 62: 267—274.
2. Bryson, R.A. and F.K. Hare, 1974. *World Survey of Climatology Vol. 11. Climates of North America*. Elsevier Scientific, New York. 1—140.
3. Evans, L.T. 1993. *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge Univ. Press, London. 269—316.
4. Kanda, M. 1975. Efficiency for solar energy utilization. In Murata, Y. ed., *JIBP Synthesis Vol. 11. Crop Productivity and Solar Energy Utilization in Various Climates in Japan*. University of Tokyo Press, Tokyo. 187—198.
5. Murata, Y. and S. Matsuhima 1976. Rice. In Evans, L.T. ed., *Crop Physiology*. Cambridge Univ. Press, London. 73—99.
6. Murata, Y. and Y. Togari 1975. Summary of data. In Murata, Y. ed., *JIBP Synthesis Vol. 11. Crop Productivity and Solar Energy Utilization in Various Climates in Japan*. University of Tokyo Press, Tokyo. 9—19.
7. 村山 登 1982. 収穫漸減法則の克服. 養賢堂, 東京. 1—233.
8. 宋 祥甫・呉 和一・川満芳信 1990. 中国産ハイブリッドライスの物質生産特性. 第1報 乾物生産特性. *日作紀* 59: 19—28.
9. 末次 勲 1975. インドにおける米多収穫の記録. (1) 「米作インドー」の審査方法と成績. *農業技術* 30: 212—215.
10. 武田友四郎 1972. 収量限界と多収理論. 戸刈義次監修, 作物の光合成と物質生産. 養賢堂, 東京. 377—391.
11. 角田重三郎 1966. 育種からみた増収論. 東北大学農学研究所編, 稲作発展の理論と方向. 農文協, 東京. 87—101.
12. Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. IRRI, Los Baños, Philippines. 84—94.