

《研究ノート》

中国における超多収稲作をめぐる

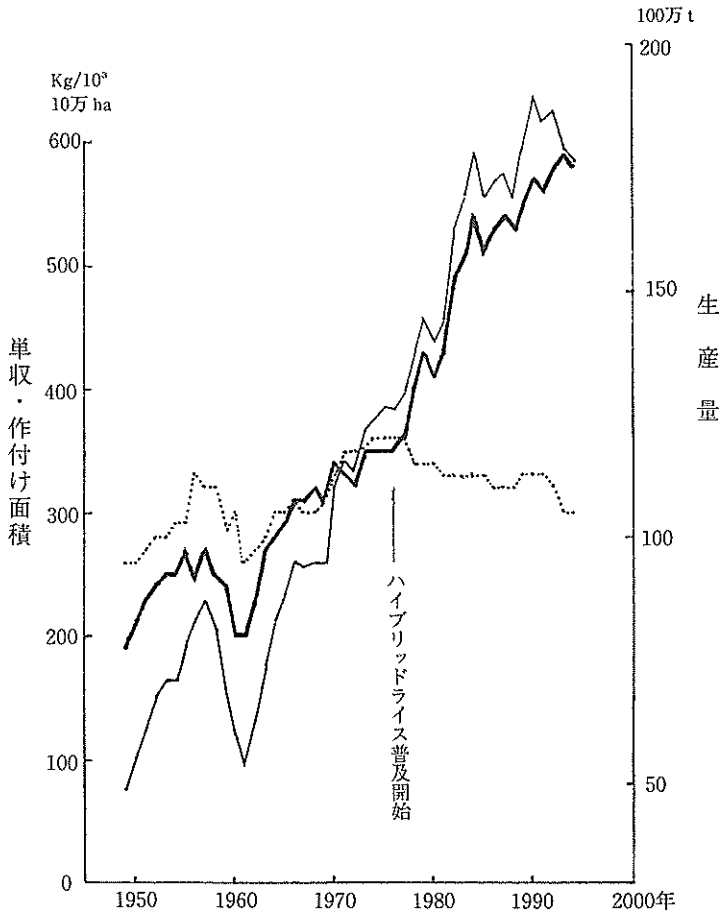
天 野 高 久*

1950年代に中国において10a当たり27,700kg（反当たり461俵）の多収が報じられたことがある。ある日本人の視察記に「勇気をだして大胆に考えれば、大增産が可能である」、「田の潜在力は人の思想と同じで人の思想を解放すれば田の潜在力は高まる」等とあるが、今となっては信じる人はいないだろう。第1図に解放後の中国における水稻の生産量、作付け面積、単収の推移を示した。1950年代の単収は停滞ぎみであり、60年代の初頭には激減した時期もあった。これに人口動態〔若林 1994〕を重ねると上述のような宣伝とは裏腹に大飢饉の時代であったことがわかる。一説によれば数千万人の餓死者が出たとも言われている。

10a当たり27,700kgは論外としても「精耕細作」の伝統をもち、ハイブリッドライスを世界で唯一実用化させている中国の稲作では、多収に関して数々の実績を残していることは確かである。二、三の事例を挙げてみる。1983年江蘇省連雲港市において10a当たり粳収量1,444kg〔許ら 1984〕、1983年雲南省大理市において1,521kg〔雲南省農業科学院 1994〕、1993年同じく雲南省大理市において1,537kg〔韓 1993〕等がある。玄米に換算すれば約1,200kgである。かつての「米作日本一」が1,056kg〔本谷 1989〕であるので驚異的な収量である。

第1図に示すように1970年代の後半から稲の総生産量は急増している。その間、作付け面積は漸減しているので総生産量の急増は明らかに単収増によるものである。単収増とハイブリッドライスの普及は規を一にしており、ハイブリッドライスが単収増に果たした役割は大きい。その他に単収増を牽引するも

*あまの たかひさ、京都府立大学農学部附属農場



第1図 中国における水稲の単収、作付け面積および生産量の推移
 [中国農業年鑑 1980] および [中国農業発展報告 1995] より作図。
 一：単収(粳) ---：作付け面積 一：生産量(粳)

のとして筆者が注目しているのは、中国各地にある屯粮田（多収穫モデル農場）¹⁾である。屯粮田は研究成果の大面积実証圃であるとともに農民に対する

1) 屯(噸)粮田：コムギ+イネ、トウモロコシ+イネ等主要食糧作物の年間収量が畝当たり1t (1.5t/10a) 以上の水田または畑 [周 主編 1993]。



写真1 江蘇省連雲港市贛榆縣の小麥+水稻の屯粮田

展示圃場でもあり、技術普及に大きな役割を果たしているからである。しかし、残念なことに、屯粮田における超多収事例の収量成立過程が科学的に解析されることはほとんどなく、貴重な成果が局地的な未確認情報に終わってしまっているらしいがある。本稿では筆者らが江蘇省連雲港市と雲南省大理州で行った調査結果〔AMANO et al 1993a〕〔AMANO et al 1993b〕〔天野ら 1996a〕〔天野ら 1996b〕〔AMANO et al 1996〕〔天野 1995〕〔天野 1996〕を概説し、単収増加の技術的課題について考えてみたい。

江蘇省連雲港市における事例

江蘇省北部の連雲港市は省内でも多収地帯として知られている。1991年に贛榆県 (34°80'N、119°10'E、海拔40m) とその隣の東海県 (34°60'N、118°70'E、海拔60m) の農家水田 (それぞれ11a、14a) において多収栽培を行った。用いた品種は贛榆県では汕優63、東海県では徐優3-2で、いずれも、多収性のハイ

第1表 齋藤県および東海県の調査水田の栽培概要

項目	齋藤県		東海県	
	(34° 80' N 119° 10' E 海拔40m)		(34° 60' N 118° 70' E 海拔60m)	
供試品種	油優63号 (F ₁ 品種: Indica×Indica) 黄金晴 (日本品種)		徐優3-2 (F ₁ 品種: Japonica×Japonica) 日本晴 (日本品種)	
調査田面積	1,100 m ²		1,400 m ²	
播種	播種日: 5月3日 播種密度: 乾もみ15g		播種日: 5月9日 (徐優3-2), 5月19日 (日本晴) 播種密度: 乾もみ18.8g m ⁻² (徐優3-2), 15g m ⁻² (日本晴)	
苗代様式	保温折衷苗代		保温折衷苗代	
移植	移植日: 6月15日 栽植密度: 52株 m ⁻² 、1個体/株		移植日: 6月25日 栽植密度: 42株 m ⁻² 、1~2個体/株	
本田施肥	基肥 N: 26.9g m ⁻² (複合肥料+尿素) P ₂ O ₅ : 18.8g m ⁻² (複合肥料) K ₂ O: 18.8g m ⁻² (複合肥料) 活着期追肥(6月20日: 出穂前61日) N: 8.1g m ⁻² (尿素) 分けつ期追肥(6月28日: 出穂前53日) N: 1.6g m ⁻² (磷安) 分けつ期追肥(7月8日: 出穂前43日) K ₂ O: 12.2g m ⁻² (硫酸加里) 穂肥(7月30日: 出穂前21日) N: 3.4g m ⁻² (磷安+尿素) P ₂ O ₅ : 6.1g m ⁻² (磷安)		基肥 N: 12.8g m ⁻² (炭酸アンモニウム) 分けつ期追肥(7月2日: 出穂前48日) N: 9.6g m ⁻² (磷安+尿素) P ₂ O ₅ : 6.9g m ⁻² (磷安) 穂肥(7月25日: 出穂前25日) N: 2.8g m ⁻² (尿素)	
	計 N : 40.0g m ⁻² P ₂ O ₅ : 29.0g m ⁻² K ₂ O : 31.0g m ⁻²		計 N : 25.2g m ⁻² P ₂ O ₅ : 6.9g m ⁻² K ₂ O : 0	
本田防除	除草剤1回 殺虫剤+殺菌剤5回		除草剤1回、手取り1回 殺虫剤+殺菌剤5回	
作付体系	コムギ・イネ1年2毛作		コムギ・イネ1年2毛作	
水管理	水深3~10cm、減水分を逐次補給		水深3~8cm、減水分を逐次補給	
土壌	壤土		埴壤土	

ブリッドライスである。比較のために同じ圃場の一角に日本品種を(1a)栽培した。この時の栽培方法の概要を第1表に示した。栽培方法で注目されるのは日本に比べて著しい密植、多窒素であった。これらについては後述することにして、まず、収量から述べたい。

(1) 収量

第2表に10a 当たり収量を示した。精籾重は油優63の1,241kgが最も高く、次いで、徐優3-2の938kg、黄金晴、日本晴の順であった。許らはここで1981年に1,412kg、1982年に1,364kg、1983年に1,444kgと3カ年連続して10a 当たり1,400kg前後の籾収量を得たことを報告している〔許ら 1984〕。油優63の1,241kgは許らの収量には及ばなかったものの多収が得られることが確かめら

第2表 精粳重、精玄米重、わら重および玄米わら比

調査地	品 種	精粳重 (kg/10a)	精玄米重 (kg/10a)	成熟期わら乾物重 (kg/10a)	玄米わら比*
贛榆県	汕優63号	1241	965	956	1.01
	黄金晴	798	662	932	0.71
東海県	徐優3-2	938	788	781	1.01
	日本晴	773	638	861	0.74

* 精玄米重/成熟期わら乾物重



写真2 収穫期の汕優63号（贛榆県）

れた。徐優3-2の938kgのもみ収量は超多収とはいいがたいが参考までにふれていきたい。精玄米重は汕優63が965kg、徐優3-2が788kgで精粳重の順と一致した。わら重は汕優63が最大で956kg、最低は徐優3-2の781kgであった。玄米わら比は汕優63、徐優3-2がいずれも1.01で、日本の多収事例並であった。日

本品種は0.8以下であった。村山は日本における水稲収量をわら重と玄米わら比との関連で詳細な検討を行い〔村山 1982〕、全国共通にほぼ等しいわら重（10a 当たり800kg）において収量が停滞していることを見出した。なぜその付近から収量停滞がおこるのかは不明であるが、出穂期頃の最適葉面積（6～7）を意味しているものと考えられている。汕優63は日本における収量停滞のわら重を約160kgも越えて著しい多収であった。

(2) 収量キャパシティーと1粒当たり収量内容生産量

玄米収量は収量キャパシティーと1粒当たり収量内容生産量（ ΔE_n ）の積で表されるので、これら2つの生産経路を通し、乾物生産と関連させながら玄米収量の成立過程を検討することができる。本調査では1粒の容積は測定されていないので、 m^2 当たり粒数を収量キャパシティーとし、また、粗玄米千粒重を収量内容とみなして論議する。第3表に各品種の m^2 当たり粒数と出穂期乾物重、出穂期迄窒素吸収量、粒数生産効率を示した。汕優63、徐優3-2の m^2 当たり粒数は、それぞれ 50,360粒、55,100粒で、日本品種に比べて31～36%も多かった。 m^2 当たり粒数は出穂期迄の窒素吸収量と密接な関係がある。両品種の出穂期迄窒素吸収量は日本品種に比べて著しく多く、いずれも $20gm^{-2}$ を越えた。しかし、 m^2 当たり粒数/出穂期迄窒素吸収量で表される粒数生産

第3表 m^2 当たり粒数、出穂期乾物重、出穂期迄窒素吸収量および
吸収窒素の粒数生産効率

調査地	品 種	m^2 当たり 粒数	出穂期全乾 物重 (gm^{-2})	出穂期窒素 含有率(%)	出穂期迄窒素 吸収量 (gm^{-2})	粒数生産 効率*
嶺南県	汕優63号	50,360	1,532	1.37	20.99	2,399
	黄金晴	38,400	1,150	1.44	16.56	2,319
東海県	徐優3-2	55,100	1,048	1.96	20.54	2,683
	日本晴	40,700	990	1.63	16.13	2,523

* 粒数生産効率： m^2 当たり粒数/出穂期迄窒素吸収量

効率は汕優63、徐優3-2とも日本品種と大差なかった。すなわち、籾数生産効率が改善されないまま大きな収量キャパシティーを得ている。汕優63の出穂期迄窒素吸収量の増加は乾物重の増加によるものである。そこで、第4表に個体群生長速度 (CGR) を中心とする生長関数を示した。汕優63の分けつ始期～穂孕期、穂孕期～出穂期の \overline{CGR} は他の品種に比べて著しく大きかった。特に穂孕期～出穂期の \overline{CGR} 、39.46は記録的な値である。 \overline{CGR} の増大は純同化率よりも葉面積指数 (\overline{LAI}) の増大によるものである。汕優63の \overline{LAI} は穂孕期～出穂期に10を越えた。汕優63の収量キャパシティー生産に関連して注目されるのはこの過大な \overline{LAI} とそれによる50,360粒の籾数である。

第4表 生育各期の個体群生長速度 (\overline{CGR})、葉面積指数 (\overline{LAI}) および純同化率 (\overline{NAR})

調査地	品 種	分けつ始期～穂孕期			穂孕期～出穂期			出穂期～成熟期 (登熟後期)		
		\overline{CGR} ($gm^{-2}d^{-1}$)	\overline{LAI}	\overline{NAR} ($gm^{-2}d^{-1}$)	\overline{CGR} ($gm^{-2}d^{-1}$)	\overline{LAI}	\overline{NAR} ($gm^{-2}d^{-1}$)	\overline{CGR} ($gm^{-2}d^{-1}$)	\overline{LAI}	\overline{NAR} ($gm^{-2}d^{-1}$)
蕪湖県	汕優63号	23.76	3.71	6.40	39.46	10.18	3.88	14.27	6.17	2.31
	黄金晴	17.06	3.06	5.58	30.40	6.34	4.79	13.23	5.06	2.61
東海県	徐優3-2	16.51	3.49	4.73	27.96	8.24	3.39	15.75	5.70	2.76
	日本晴	14.71	2.83	5.20	32.01	7.65	4.18	14.17	4.44	3.19

汕優63号、黄金晴：分けつ始期～穂孕期；46日、穂孕期～出穂期；10日、出穂期～成熟期；44日。
 徐優3-2：分けつ始期～穂孕期；46日、穂孕期～出穂期；9日、出穂期～登熟後期；44日。
 日本晴：分けつ始期～穂孕期；46日、穂孕期～出穂期；9日、出穂期～成熟期；44日。

一方、1粒当たり収量内容生産量 ΔEn を第5表に示した。 ΔEn は汕優63が最大で日本品種に比べて2.6g以上増加した。徐優3-2は日本品種よりも低下した。 ΔEn は出穂期迄に蓄積した同化産物が穂へ移行した量 (Tn) と出穂期から成熟期迄の乾物生産量 (ΔWn) からなる。前者は出穂期前約3週間、後者は出穂後約7週間で決定される。 ΔWn は汕優63が最小で、徐優3-2も日本品種よりも小さかったが、 Tn は汕優63が格段に大きく日本品種の3倍以上であった。汕優63の En に関して、出穂期前茎葉部蓄積同化産物の寄与率の高い

第5表 1粒当たり収量内容生産量および登熟歩合

調査地	品種	粗玄米重 ΔE_n (mg)	出穂後乾物増加量 ΔW_n (mg)	移行量* T_n (mg)	$T_n / \Delta E_n$ **	登熟歩合 (%)
徳島県	油優63号	20.0	12.5	7.5	0.385	78.3
	黄金晴	17.4	15.2	2.2	0.126	75.3
東海県	徐優3-2	14.4	14.5	-0.1	-0.007	64.2
	日本晴	15.8	15.4	0.4	0.025	72.2

* : 移行量 (出穂期前茎葉部蓄積同化産物の穂への移行量) $T_n = \Delta E_n - \Delta W_n$

** : $T_n / \Delta E_n$ (粗玄米収量に対する出穂期前茎葉部蓄積同化産物の寄与率)

こと(約40%)が注目される。油優63の T_n は穂孕期から出穂期迄の1粒当たり乾物増加量にほぼ見合うものであり、油優63の大きな T_n もまたその間の記録的な \overline{CGR} と密接に関連している。 ΔE_n の増大を図るにはその生産期間を延長させることが有効である。油優63において T_n が大きいことは ΔE_n の生産期間が実質的に出穂期前に拡大していること意味している。徐優3-2の場合、 T_n はマイナスで、 ΔE_n のほとんどが ΔW_n であった。 ΔE_n の生産期間が後ろへ約1週間延長したものの、 ΔE_n の著しい増加には結びつかなかった。

日本の稲作では耐倒伏性、耐病虫害性を低下させないで m^2 当たり50,000粒以上の籾数を得ることは容易ではない。10a 当たり玄米で1,000kg 以上の超多収を得るためには、千粒重を20g程度とすると、50,000粒以上の籾数が必須であるので、すでに収量キャパシティーの生産段階において多収への接近が阻まれている。これに対して油優63では、過大な \overline{LAI} に基づく50,360粒の籾数と著しく大きい T_n を有している。しかも第3、第4節間が長い。出穂期頃の過大な \overline{LAI} や第3、第4節間の長いことは1粒当たり収量内容生産量や稈の挫折抵抗を低下させるなど、日本の稲作では多収阻害要因とみなされているものである。にもかかわらず油優63は倒伏することなく多収であった。多収を考えていく上で、これまで最適 \overline{LAI} や葉身の直立性がとりわけ強調されてきたが、葉鞘を含めた稈の形態と機能にもっと注目する必要があるだろう。連雲港市にお

ける多収事例は日本の稲作がかかえている困難な課題に対して突破口を示していると考えている。

(3) 「前促中控後保」の多収理論

連雲港市における多収理論を中国流に言えば、「前促中控後保」である。「前重中穂後補」などとも言われるが、ほぼ同じことを意味している。すなわち、移植後穎花分化期迄の生育前期は分けつ発生を促し、穂数の早期確保を図る。穎花分化期から穂孕期迄の生育中期は無効分けつを抑制し、一穂穂数の多い大穂を得る。その後、成熟期迄の生育後期は稲体の早期老化防止に努めるのである。しかし、実際には、両県とも「前促」に重点が置かれており、「中控後保」のための栽培技術には見るべきものはなかった。汕優63の有効茎歩合は60%と低く、出穂後の葉身の枯れ上がりが目だった。

密植・多肥は「前促」の目標にそったものである。第1表に示したごとく、贛榆県の m^2 当たり52株の栽植密度は日本の2倍以上である。窒素施用量も著しく多い。基肥に26.9kg、活着期と分けつ期にそれぞれ8.1kg、1.6kg、穎花分化期に3.4kgが追肥され、施用量は10a当たり成分量で計40kgに達した。汕優63の多収の基礎となっている出穂期までの大きなCGRはこうした栽培法に裏付けられているのであるが、日本の稲作から見て極端なまでの「前促」偏重の栽培法は今後いくつかの点で検討が必要であろう。ひとつは、病害虫の多発である。移植後農薬の使用回数は除草剤を含めて6回であった。今ひとつは、肥料成分の利用効率の悪さである。第6表に施用肥料成分の玄米生産効率（精玄米重/施用した化学肥料成分量）ならびに吸収窒素の玄米生産効率（精玄米重/成熟期迄窒素吸収量）を示した。施用肥料成分の玄米生産効率は厳密には、無肥料区の精玄米重を差し引かなければならないが、無肥料区が設定されていないのでここでは便宜的にこの方法で相対的に比較する。汕優63の施用窒素成分の玄米生産効率、吸収窒素の玄米生産効率はそれぞれ24、44.5であった。比較の日本品種よりも高かったが、日本の多収事例ではそれぞれ55～115、46～80である〔本谷 1989〕。日本の多収事例に比べるといずれも著しく低い。リン酸、加里についても中国において著しく低い。肥料・農薬の大量使用

第6表 施用肥料成分の玄米生産効率ならびに吸収窒素の玄米生産効率

調査地	品 種	施用肥料成分の玄米生産効率*			吸収窒素の 玄米生産効率**
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
嶺南県	汕優63号	24.1	33.3	31.1	44.5
	黄金晴	16.6	22.8	21.4	35.8
東海県	徐優3-2	31.3	114.2	—	36.8
	日本晴	25.3	92.5	—	35.4

* : 精玄米重/施用化学肥料の成分量

** : 精玄米重/成熟期窒素吸収量

によるさまざまな問題がすでに顕在化しつつあり、早急に改善を図る必要がある。吸収窒素、施用肥料成分の玄米生産効率はいずれも水田の透水性の良否、有機物施用の有無、施肥時期等によって変動することが知られている。しかし、いずれも土壤肥料学的な検討課題として残されたままである。筆者のこれまでの観察では、それらの問題を改善していくには、育苗法・栽植密度を中心に据えた生産生態学的研究が重要であると考えている²⁾。

雲南省大理州における事例

1994年、雲南農業大学と共同で雲南省白族自治州賓川県 (25°50'N、100°30'E、海拔1,640m) の農家水田 (1,183m²) において多収栽培を行った。その技術内容を第7表に示した。ここでも、ハイブリッドライス、密植を多収技術の要とし、有機質肥料の多投入、基肥・分けつ期窒素施肥、多農薬、健苗移植など「前促中控後保」の多収理論に従って技術が組立てられた。用いた品種は雲南農業

2) 北海道の原 正市氏の指導により「肥床早育稀植法」が中国各地で普及しつつあるのも一例であって、その効果が期待される [李 他編 1992]。

第7表 資川県の調査水田の栽培概要

品種・栽植密度	肥培管理 (各品種・栽植密度共通)
楡雑29号 密植: 78.5株/m ² , 1株2個体 疎植: 42.7株/m ² , 1株3個体	調査田面積: 楡雑29号密植: 57.4m×16.9m=970.1m ² 楡雑29号疎植、楚梗9号密植、楚梗9号疎植: 12.6m×5.6m=70.6m ² 播種期: 3月19日 苗代様式: 水苗代 移植期: 4月29日 本田施肥: 基肥: 有機肥料 (厩肥) 2,300kg/m ² (4月27日) N (尿素 N:46%) 3.5kg/m ² (4月28日) P ₂ O ₅ (磷酸カルシウム P:18.1%) 8.1kg/m ² (4月28日) N, P, K (複合肥料 N, P, K:15%) 2.3kg/m ² (4月28日) 分けつ肥: N (炭酸アンモニウム N:17.1%) 7.7kg/m ² (5月5日) 穂肥: K ₂ O (硫酸カリウム K:50%) 7.5kg/m ² (6月10日) 合計 N, P, K :13.5, 10.4, 9.8 kg/m ² 本田防除: 除草剤1回, 手取り除草2回。 殺虫・殺菌剤7回。 作付体系: 小麦+イネ1年2毛作 水管理: 水深3~6cm, 減水分を逐次補給。 土壌: 褐色森林土, 塩壌土。
楚梗9号 密植: 78.8株/m ² , 1株3個体 疎植: 41.3株/m ² , 1株4個体	

大学が開発したジャポニカの楡雑29号である。密植は連雲港市の場合と同様「前促」にそったものであるが、雲南農業大学が示した栽植密度はm²当たり約80株で日本の約4倍の密度であった。資川県の調査で筆者が最も関心を寄せたのはこの極端なまでの密植である。そこで、ハイブリッドライスの効果とともに多収技術としての密植の効果を確認するために水田の一角を割いて比較区(各71m²)を設けた。すなわち、楡雑29号の疎植区(約40株 m⁻²)と現地で広く栽培されているジャポニカの普通品種、楚梗9号の密植区(約80株 m⁻²)と疎植区(約40株 m⁻²)である。調査の結果は次のようであった。

(1) 収量

各試験区の10a当たり収量を第8表に示した。楡雑29号の密植区では籾収量で1,664kg、玄米収量で1,251kg、疎植区ではそれぞれ1,982kg、1,498kg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籾収量、1,664kgは

第8表 精粳重、精玄米重、地上部全重、わら重および精粳重とそれらの比率

品種・栽植密度	精粳重 (kg/10 ²)	精玄米重 (kg/10 ²)	地上部全重 (kg/10 ²)	藁重 (kg/10 ²)	精粳重/ 地上部全重	精粳重/ 藁重
楡雑29号・密植	1664	1251	2550	1185	0.65	1.40
楡雑29号・疎植	1982	1498	2978	1240	0.69	1.60
楚粳9号・密植	1433	1121	2348	1148	0.61	1.24
楚粳9号・疎植	1482	1150	2377	1157	0.62	1.28
楡雑29号:密 vs. 疎	*	*	**	ns	**	**
楚粳9号:密 vs. 疎	ns	ns	ns	ns	ns	ns
密植:楡29 vs. 楚9	*	*	**	ns	*	*
疎植:楡29 vs. 楚9	*	*	**	**	**	**

* ** : t検定によりそれぞれ5%、1%水準で有意差があることを示す。ns: 有意差なし。



写真3 収穫期の楡雑29号 (資川県)

1畝以上の全刈り収量からの換算であり、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籾収量で127kg越えたことになる。

楡雑29号は成熟期の地上部全重2,500kg以上で0.6以上の精籾重/地上部全重を、また、1,180kg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異が認められた。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。楚梗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。かつて松島〔1974〕の報告した10a当たり玄米収量1,020kgの多収事例では精籾重/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号の多収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。

水稻の多収稲に関する生理、生態的研究は多いが、実際に10a当たり1,000kgを越える籾収量をあつかったものは少ない。資川県の事例は1,600kg以上の籾収量の成立過程を実測値に基づいて解析できる点で貴重な事例と言えるだろう。

(2) 収量構成要素

第9表に収量構成要素を示した。m²当たり籾数は楚梗9号では60,000粒に満たなかったが、楡雑29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、楡雑29号では有意差が認められ疎植区では87,000粒に達した。両品種の精籾千粒重は日本品種並の27.4~28.9gで楚梗9号が楡雑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楡雑29号では76%程度であった。

(3) 光エネルギー利用効率

作物の収量を向上させるためにさまざまな方策が講ぜられるのであるが、突き詰めて言うならば光エネルギーをいかに効果的に収穫部分に集積・固定させるかということである。必要十分な水が供給され、よく管理された圃場では種々の作物について生育期間の積算受光日射量と純生産量との間に比例関係が

第9表 収量構成要素

品種・栽植密度	m ² 当たり 穂数	精玄米 千粒重(g)	精粳米 千粒重(g)	登熟歩合 (%)
楡雑29号・密植	71,000	23.1	27.4	76.0
楡雑29号・疎植	87,700	23.5	27.8	76.2
楚梗9号・密植	55,100	23.5	28.7	88.7
楚梗9号・疎植	56,700	23.1	28.9	90.4
楡雑29号:密 vs. 疎	**	ns	ns	ns
楚梗9号:密 vs. 疎	ns	ns	ns	ns
密植:楡29 vs. 楚9	**	ns	*	*
疎植:楡29 vs. 楚9	**	ns	*	*

* ** ns : 第8表参照。

成立するので、日射量が多いほど多収となる傾向がある [EVANS 1993]。イネについても生育期間の日平均日射量と収量との間には一般に比例的な関係がみられる [YOSHIDA 1981]。したがって、もし、資川県がオーストラリアやカリフォルニアの稲作地帯のように豊富な日射量に恵まれているとすれば [日本気象協会 1992]、これほどの収量もさほど驚くに当たらない。資川県の稲作期間の日平均日射量は $19.3\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ であった。この値は日本の平均と見なされる国際生物学事業計画 (JIBP) の5カ年の平均値 $16.1\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ [MURATA・TOGARI 1975] に比べて約20%多いがオーストラリアやカリフォルニアに比べるとかなり低いものである。資川県の多収は稲作期間の日平均日射量が日本に比べて多いことだけでは説明できない。そこで次の方法 [YOSHIDA 1981] で光エネルギー利用効率 (Eu) を計算し、その結果を第10表に示した。

$$Eu = K \cdot \Delta W / (S \cdot T) \cdot 10^{-4} \quad \dots\dots(1)$$

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

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

第10表 全生育期間の光エネルギー利用効率

品種・栽植密度	全乾物重(%)	子実重(%)
楡雑29号・密植	1.60 ‡ (128) [98]	0.69 ‡ (144) [117]
楡雑29号・疎植	1.88 ‡ (150) [115]	0.88 ‡ (183) [149]
楚梗9号・密植	1.57 ‡ (126) [96]	0.65 ‡ (135) [110]
楚梗9号・疎植	1.59 ‡ (127) [97]	0.66 ‡ (138) [112]
楡雑29号:密 vs.疎	**	**
楚梗9号:密 vs.疎	ns	ns
密植:楡29 vs.楚9	ns	**
疎植:楡29 vs.楚9	**	**

(): JIBP の5ヶ年平均を100とした相対値。

[]: JIBP の最高値を100とした相対値。 ** ns : 第8表参照。

‡: JIBP の5ヶ年平均に対して1%水準で有意差があることを示す。

地上部全重でみた Eu は密植区では品種間差異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 JIBP の5カ年の平均値(1.25%)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%) および最高値(0.59%)よりもそれぞれ44~83%、17~49%高かった。Eu の方が日平均日射量の増加率よりもはるかに大きいことから、楡雑29号の高収量は平均日射量の多いことよりも品種改良や肥培管理など技術改良による Eu の向上が寄与していると考えられる。

(4) 最大潜在収量の推定

最大潜在収量は単位日射量当たり最大光合成純生産量と子実生産に有効な日数の積によって与えられる。この考えに基づいて日本の水稻の最大潜在収量が推定されているが[MURATA・MATSUSHIMA 1976] [武田 1972] [角田 1966]、ここではごく簡単な方法で資川県についてこれを試みる。すなわち、上の(1)式を次のように書き換える。

$$\Delta W = Eu(\max) \cdot S \cdot T / K \cdot 14,535 \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 ΔW ：乾物重の増加量（収量）

$Eu(\max)$ ：日本において最も生育旺盛な時期の5週間に実測された最大値3.32%を与える。

T ：登熟期間の50日を与える。

S ：資川県の登熟期間の日平均日射量 $420\text{cal cm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ を与える。

K ： $3,750\text{cal g}^{-1}$ を与える。

14,535：水分含量14%として10a当たり籾収量への換算係数である。

(2)式によって計算される10a当たり資川県の最大潜在収量は籾で2,702kg、玄米で2,162kgとなる。楡雑29号の疎植区の収量はこれにあと720kg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、2,702kgを達成するには登熟歩合を85%、籾千粒重を28gとすると、少なくとも $113,500\text{粒 m}^{-2}$ の籾数が必要である。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50%にもみえない。登熟歩合はほぼ限界に近い。要するに、十分な収量キャパシティーが得られないことが潜在収量への接近を阻んでいるわけである。楡雑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77%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、多収であった。楡雑29号の $1,600\text{gm}^{-2}$ を越える多収性は m^2 当たり籾数（収量キャパシティー）が著しく多い割には比較的高い登熟歩合（収量内容生産量）が得られる特性が関連している。

(5) 楡雑29号の籾数生産能力と稈強度

楡雑29号の多収要因である $70,000\text{粒 m}^{-2}$ を越える籾数生産能力は日本ではとても考えにくい数値であり、それがどのようにして生産されたかはとりわけ注目される点である。また、その70%もが登熟すれば自重によって倒伏してしま

うことが想像される。次に、70,000粒 m^{-2} を越える籾数の生産過程とともにそれを支持できる稈強度について検討する。

① m^2 当たり穂数および平均1穂籾数

第11表に m^2 当たり籾数を構成する穂数および平均1穂もみ数を示した。楡雑29号における密植区における71,000粒 m^{-2} は m^2 当たり487穂と平均1穂籾数145.8の組み合わせで得られたものである。また、疎植区における87,700粒 m^{-2} は m^2 当たり485穂と平均1穂籾数180.9の組み合わせによって得られたが、 m^2 当たり穂数は密植区と有意差はなく、平均1穂籾数の増加によって m^2 当たり籾数が増加している。各区の m^2 当たり穂数および平均1穂籾数を日本の平均値 (m^2 当たり穂数: 421.4、1穂籾数: 72) と比較するといずれも大きく、特に平均1穂籾数がきわめて大きい。楡雑29号、楚梗9号ともに多収性品種の特徴をよく示しているが、楚梗9号は楡雑29号に比べて平均1穂籾数が少ないため m^2 当たり籾数は60,000に満たなかった。

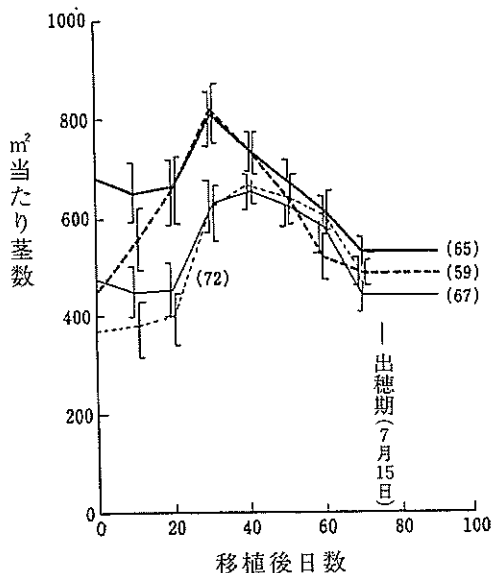
第2図に移植後の茎数の変化を示した。密植区では、楡雑29号は移植の時点ですでに穂数に相当する茎数が存在しており、楚梗9号では穂数を上回る茎数が存在している。日本の移植栽培ではこのような茎数推移はみられない。有効茎歩合は両品種とも低かった。楡雑29号の疎植区の有効茎歩合は密植区よりも

第11表 m^2 当たり穂数および平均1穂籾数

品種・栽植密度	m^2 当たり穂数	平均1穂籾数
楡雑29号・密植	487	145.8
楡雑29号・疎植	485	180.9
楚梗9号・密植	529	104.1
楚梗9号・疎植	442	128.3
楡雑29号: 密 vs. 疎	ns	**
楚梗9号: 密 vs. 疎	**	**
密植: 楡29 vs. 楚9	ns	**
疎植: 楡29 vs. 楚9	ns	**

** ns: 第8表参照。

10%以上高かった。中国の多収栽培における密植は「前促」、すなわち穂数の増加とその早期確保によって大きな1穂籾数を得ることを意図したものであるが、楡雑29号では密植区は疎植区に比べて穂数は早期に確保されているものの穂数、1穂籾数のいずれの増加にも結びついていない。楡雑29号の m^2 当たり籾数の増大には密植による穂数の極端な早期確保よりも疎植によって有効茎歩合を高めることが重要であると考えられる。登熟期の日射量が $25MJm^{-2}d^{-1}$ 以上にもなるオーストラリアやエジプトの水稻の多収事例では800以上の m^2 当たり籾数と100以下の平均1穂籾数の組み合わせで60,000粒以上の m^2 当たり籾数を得ている。70,000粒以上の m^2 当たり籾数を得るためには両者のさまざまな



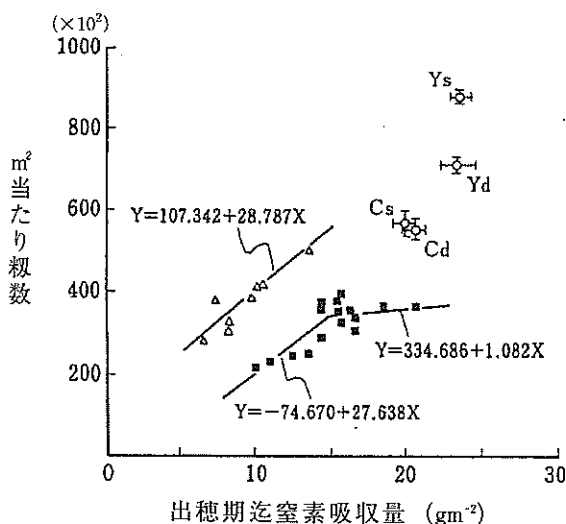
第2図 移植後の茎数の変化

---: 楡雑29号・密植、----: 楡雑29号・疎植
 —: 楚梗9号・密植、- - -: 楚梗9号・疎植
 両品種のデータは5ヵ所の調査点の平均値±標準誤差で示した。
 () 内の数字や有効茎歩合。

組み合わせがあるが、楡雑29号の疎植区の組み合わせは登熟期の日射量が $18\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ 以下の条件下での優れた組み合わせ方を示唆している。

② 籾数生産効率

第3図に楡雑29号と楚梗9号の出穂期迄窒素吸収量（以下窒素吸収量と称する）と m^2 当たり籾数との関係を示した。比較のために京都府立大学で栽培した日本晴と北海道立上川農業試験場で栽培したゆきひかりのデータを示した。日本晴では窒素吸収量が最高 20.7gm^{-2} に達したが、 15gm^{-2} 以上の窒素吸収量で籾数生産効率は急速に低下したため m^2 当たり籾数は40,000粒に達しなかった。一方、ゆきひかりの籾数生産効率は日本晴よりも著しく高かったが、 13.7gm^{-2} を越える窒素吸収量が得られず、 m^2 当たり籾数は50,100粒にとどまった。楡雑29号はゆきひかりの回帰線の延長線付近に分布した。楡雑29号の



第3図 出穂期迄窒素吸収量と m^2 当たり籾数との関係

○Yd：楡雑29号・密植、○Ys：楡雑29号・疎植

○Cd：楚梗9号・密植、○Cs：楚梗9号・疎植

両品種のデータは5ヵ所の調査点の平均値±標準誤差で示した。

■：日本晴（大塚の折れ線モデルに当てはめた。 $R=0.847^{**}$ ）〔大塚 1978〕

△：ゆきひかり（直線回帰に当てはめた。 $R=0.917^{**}$ ）

70,000粒以上の m^2 当たり籾数は日本晴の窒素吸収量の最高値よりさらに $2.7gm^{-2}$ 以上多い $23.4\sim 23.6gm^{-2}$ において高い籾数生産効率を得たことによる。楡雑29号の窒素吸収量は栽植密度によって大差ないので、疎植区の m^2 当たり籾数が密植区に比べて多いのは籾数生産効率の向上によるものである。楚梗9号の窒素吸収量、籾数生産効率はいずれも楡雑29号より低かった。

窒素吸収量当たりの籾数で表される m^2 当たり籾数の生産効率は寒冷な北海道や東北で高く、西日本で低いことはよく知られている〔村山 1982〕。ゆきひかりと日本晴における窒素吸収量と m^2 当たり籾数の関係は既往の研究とほぼ一致する。籾数の生産効率は穎花分化期から出穂期迄の気温と密接に関係しているとされているが、資川県のその期間の平均気温 ($24.4^{\circ}C$) は旭川 ($20.8^{\circ}C$) よりも京都 ($26.6^{\circ}C$) に近い。籾数生産効率の違いを気温のみに帰することは困難であろう。

③ 出穂期の地上部乾物重、窒素含有率、稈+葉鞘重、葉身重/(稈+葉鞘重) および稈長

出穂期の地上部乾物重、窒素含有率、稈+葉鞘重、葉身重/(稈+葉鞘重) および稈長を第12表に示した。地上部乾物重は品種間に有意差が認められ密植区、疎植区とも楡雑29号が楚梗9号よりも大きかった。また、両品種は日本晴、ゆきひかりに比べて著しく大であった。窒素含有率には大差がなかったので、楡雑29号の窒素吸収量の増加は主として地上部全重の増加によるものである。稈+葉鞘重にも品種間差異が認められ、密植区、疎植区とも楡雑29号が楚梗9号よりも大きく、日本晴、ゆきひかりよりも著しく大であった。葉身重/(稈+葉鞘重) は楡雑29号と楚梗9号に有意差はなく、いずれも日本晴、ゆきひかりに比べて明らかに小さかった。楡雑29号の稈長は楚梗9号とは大差なかったが、日本晴に比べて10cm以上長かった。このように楡雑29号の m^2 当たり籾数の増加には稈長と非同化器官の増大が伴っている。

稈長が長く、非同化器官への乾物の分配割合が多いことは無駄な呼吸の増大によって登熟期の乾物生産を低下させ、籾重/地上部全重、籾重/わら重の低下をもたらし、また、倒伏にも悪影響を及ぼす恐れがあるとされている。しか

第12表 出穂期の地上部全重、窒素含有率、稈長、葉身重/(数+鞘重)

品種・栽植密度	地上部全重 (gm^{-2})	窒素含 有率(%)	稈+葉鞘重 (gm^{-2})	葉身重/ (稈+葉鞘重) (g/g)	稈長† (cm)
楡雑29号・密植	1681.2‡	1.39	1055.7‡	0.31‡	92.5±4.7
楡雑29号・疎植	1662.6‡	1.42	1034.7‡	0.32‡	92.6±4.3
楚梗9号・密植	1455.6‡	1.42	926.4‡	0.31‡	88.4±5.8
楚梗9号・疎植	1317.3‡	1.52	822.7‡	0.34‡	90.0±5.7
日本晴 [#]	1024.7	1.56	576.5	0.49	75.5±4.1
ゆきひかり ^{##}	608.4	1.58	334.4	0.43	66.6±3.9
楡雑29号:密 vs.疎	ns	—	ns	ns	
楚梗9号:密 vs.疎	*	—	**	ns	
密植:楡29 vs.楚9	*	—	*	ns	
疎植:楡29 vs.楚9	**	—	**	ns	

‡: 京都府立大学附属農場で栽培した日本晴の4区の平均値(1992)。

##: 北海道立上川農業試験場で栽培したゆきひかりの8区の平均値(1986)。

* ** ns: 第8表参照。‡: 日本晴に対して1%水準で有意差があることを示す。

†: 4株の20~40茎について平均値±標準偏差を示す。

し、楡雑29号は著しい多収であり、稈長、稈+葉鞘重の増大が収量に悪影響を及ぼしているとは考えにくい。むしろ、多収性と稈強度を高める上できわめて重要な役割を果たしていると考えられる。

④ 倒伏関連形質

第13表に第3節間および第4節間の挫折重、曲げモーメント、倒伏指数を示した。両品種の挫折重は第3節間、第4節間とも疎植区よりも密植区が小さかった。曲げモーメントも密植区が小さかったが、倒伏指数は大きかった。倒伏の危険性は倒伏指数200が目安であり、それを越えると倒伏の危険性が高まる。楡雑29号の密植区における第3節間の倒伏指数は200を越えており、倒伏に対してきわめて危険な状態になっている。楡雑29号の疎植区では m^2 当たり 87,700粒の穂数を得て倒伏指数は密植区よりも低かった。楡雑29号の著しく大

第13表 第3, 第4節間の挫折重、曲げモーメントおよび倒伏指数

品種・栽植密度	挫折重(g) [#]		曲げモーメント ^{##}		倒伏指数 ^{###}	
	第3節間	第4節間	第3節間	第4節間	第3節間	第4節間
楡雑29号・密植	407.7±129.1	513.8±161.4	865.2±247.3	984.0±335.9	212.2±39.5	191.5 ±35.9
楡雑29号・疎植	662.7±161.4	679.2±196.0	1029.9±307.1	1276.8±415.7	157.0±39.5	176.5 ±43.1
楚梗9号・密植	411.9±140.9	448.5±194.7	694.5±238.3	846.5±290.9	168.6±39.1	188.7 ±43.3
楚梗9号・疎植	526.9±233.4	661.9±287.0	833.7±315.1	1031.1±378.2	164.0±33.2	161.6 ±28.9

4株の15~20茎について平均値±標準偏差を示す。#: 支点間距離5cmとし、葉鞘を付けたまま測定。

##: 節間基部から穂の先端までの長さ(cm) × 節間基部から穂の先端までの生体重(g)。

###: 曲げモーメント/挫折重×100。

きい粳数生産は賓川の慣行の栽植密度よりもさらに疎植条件のもとで耐倒伏性と両立するものと考えられる。

栽植密度に関する考察

江蘇省、雲南省の事例調査を通して多収技術としてのハイブリッドライスの効果は確かに大きかった。しかし、ハイブリッドライスとともに多収技術の両輪である密植については多くの課題を今後に残していると思われる。まず、密植を重視している割には栽植密度に関する生産生態学的な研究が乏しいように思われる。天野元之助が詳しく論じているが、1958年の農業大躍進政策のなかでいわゆる八字の憲法が提出され、多収栽培が強力に推進された経緯がある〔天野 1989〕。八字とは土（深耕と土壤の改良）、肥（肥料・施肥）、水（水利と合理用水）、種（良種の普及）、密（密植）、保（作物保護）、管（耕地の管理）、工（工具の改良）の八要素であり、それらを総合的に実施することである。それぞれについて詳しい説明は省くが、その「密」の項では、深耕・施肥・灌漑などの諸条件が併行し、また、細心の田間管理が行われてはじめて密植の効果が現れ増産が実現するとある。具体的には早稲では m^2 当たり37.5株、1株苗数5~10本、晩稲では70株程度が標準であった。1959年の「合理密植是水稻豊産主要措置」によれば、先進地区の早稲・中稲は m^2 当たり45~75株1株苗数

8本程度で、双季晩稲は60～120株、1株苗数7～10本であった。それ以前と比べると正に革命的な密植である。しかし、この農法は国を挙げて強力に推進されたにもかかわらず中国の実質的なコメ増産には結びつかなかった。労働生産性を全く無視した極端な集約農法であったことにもよるが、栽植密度と農業生態との関係について科学的な検討ができていなかったことが原因であると考えている。現在、1株苗数については1～4本と著しく低下しているが、意外なことに、 m^2 当たり株数は当時と大差ない。八字の憲法の「密」がいつしか広域的に慣行化し、科学的な検討が不十分なままだに尾を引いているのかも知れない。

江蘇省や雲南省の屯糧田と周囲の一般田とを比較して目だったのは病害虫による被害である。一般田では、病害ではイモチ病、モンガレ病、シラハガレ病、イネコウジ病、虫害ではウンカ類、イナゴなどによる被害が目だった。屯糧田の農薬使用回数は日本並に移植後5～8回にのぼっており、多収稲が農薬に強く依存していることを伺わせるものである。さらに、筆者が中国稲作を見た範囲では倒伏が多い。倒伏も病虫害の多発も密植が関係していることが推察される。病虫害の発生と栽植密度との関係について現在、調査を進めているところであるが、疎植区は密植区に比べてそれらの病虫害が少ないことを観察している。また、これもおそらく密植が関係しているが、本田に対する苗代面積の割合が著しく大きい。苗代面積の縮小と田植え労力の軽減は中国稲作の当面の課題となっている。楡雑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を見いだした意義は大きい。今後の多収研究において品種改良はもとよりであるが、栽植密度の研究を重要課題として設定すべきであろう。栽植密度の研究は多収のみならず減農薬や、省力化の問題解決にも寄与するものと考えている。

参 考 文 献

天野 元之助

1989 「解放後の水稲作法」『中国農業史研究』お茶の水書房、東京、424-468.

AMANO, T., Q. ZHU, Y. WANG, N. INOUE and H. TANAKA

1993a Case Studies on High Yields of Paddy Rice in Jiangsu Province, China. I. Characteristics of Grain Production. *Jpn. J. Crop Sci.* 62 : 267-274.

1993b Case Studies on High Yields of Paddy Rice in Jiangsu Province, China. II. Analysis of Characters related to Lodging. *Jpn. J. Crop Sci.* 62 : 275-281.

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稲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」『日作紀』65 : 16-21.

1996b 「中国雲南省における水稲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楡雑29号の籾数生産」『日作紀』65 : 22-28.

AMANO, T., C.J. SHI, D.L. QIN, M. TUDA and Y. MATSUMOTO

1996 The Highest Record Yields of Japonica Rice Obtained in Yunnan Province, China. *Bull. Exp. Farm, Fac. Agr., Kyoto Prefectural University* 17 : 1-6.

天野 高久

1995 「大増収千五百キロどりめざす中国稲作の挑戦 中国の事例調査から」『いま、中国を知りたい』（現代農業増刊）、農文協、202-207.

1966 「稲作における栽植密度に関する生態的考察—中国の事例を中心に—」『橋川潮 編著 二十一世紀への提言・低投入稲作は可能』富民協会、大阪、336-342.

EVANS, L.

1993 *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge Univ. Press, New York. 147.

本谷 耕一

1989 『多収穫稲作の解明』博友社、東京、1-148.

韓 如龍

1993 雲南日報 10月23日 朝刊.

松島 省三

1974 「理想稲による多収原理の実証」『稲作の改善と技術』養賢堂、東京、84-126.

MURATA and MATSUSHIMA

1976 Rice. In EVANS, L.T. ed., *Crop Physiology*. Cambridge Univ. Press, London. 73-99.

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.

村山 登

- 1982 「収量水準向上への途」『収量逓減法則の克服』養賢堂、東京、1-13.

日本気象協会

- 1992 「太陽光発電利用システムの研究開発利用システムに関する調査研究」『平成3年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書』.

李 樟雲 他編

- 1993 「一九九二年水稻肥床旱育稀技術試験報告選編」江蘇省引進国外智力領導小組.

武田 友四郎

- 1972 「収量限界と多収理論」『作物の光合成と物質生産』戸刈義次監修、養賢、東京、377-391.

角田 重三郎

- 1966 「育種からみた増収論」『稲作発展の理論と方向』東北大学農学研究所編、農文協、東京、87-101.

雲南省農業科学院

- 1994 雲南省農業科学院資料、謄写印刷.

若林 敬子

- 1994 「二つの高峰と一つの鋭い谷」『中国人口超大国のゆくえ』岩波書店、東京、34-48.

許 恒道・播 君民・齊 運田・劉 希強

- 1984 「韓化2号畝産1800斤以上田塊群体及其その控制技术」『中国農業科学』第5期：12-17.

YOSHIDA, S.

- 1981 *Fundamentals of Rice Crop Science*. IRRI, Los Banos, Philippines. 84-94.

周 立達 主編

- 1993 『江蘇噸粮田建設』江蘇科学技術出版社、南京、1-391.