

## 特约评述

## INVITED REVIEW

# 中国稻作超高产的追求与实践

郑景生<sup>1\*</sup> 黄育民<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 福建省农业科学院稻麦研究所, 福州, 350019

<sup>2</sup> 厦门大学生命科学学院, 厦门, 361005

\* 通讯作者, zheng21006@sohu.com

## 摘要

追求水稻高产再高产一直是中国人的夙愿。经过半个世纪长期不懈的努力, 育种技术和栽培方法不断开拓创新, 中国的水稻单产增长了 2.37 倍, 居世界高产大国, 总产增长 3.13 倍, 占世界总产的 35%, 并取得了许多辉煌的科技成就。其中杂交水稻育种技术居世界领先水平, 水稻最高单产屡屡突破世界纪录。本文列举了中国对水稻超高产执着追求的实例, 回顾了中国水稻产量的提高历程, 综述了水稻产量的理论极限及提高水稻产量的育种、栽培途径及高新技术的应用, 展望了中国稻作未来的发展。

## 关键词

水稻, 超高产, 产量潜力, 育种技术, 栽培技术

# Thrust and Practice of Super High-Yielding Rice Production in China

Zheng Jingsheng<sup>1\*</sup> Huang Yumin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Rice and Wheat, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, 350019

<sup>2</sup> School of Life Science, Xiamen University, Xiamen, 361005

\* Corresponding author, zheng21006@sohu.com

## ABSTRACT

The long-cherished wish of Chinese is pursuing high and higher-yielding of rice. With long-term effort and practice in half a century, there is a continuous upgrading and innovation in rice breeding technologies and cultivation techniques. China had become the world's biggest rice producer and made many great recognized achievements in rice science and technology. The average yield of rice has risen from  $1890\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  in 1949 to  $6366\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  in 1998, increasing by 2.37 times, and the total output has risen from 4864.4 million tons in 1949 to 20073.7 million tons in 1997, increasing by 3.13 times, accounting for 35% of the world's total output. Among them, hybrid rice breeding technology is still keeping ahead in the world and the highest yield per hectare frequently breaks the world record. This paper has introduced the cases of strongly pursuing super high-yielding of rice and retrospectively to the course of the development of rice production in China. The authors have analysed the upper limited potentials of rice production and also reviewed the approaches for increasing rice yield potentials based on breeding and planting and adoption of biotechnologies. The future prospects of rice development in China are put forward in this paper.



均产量超过  $12\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ; 再生季平均产量超过  $7\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 最高产量田块, 头季产量达  $13830\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 再生季产量达  $8727\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 刷新再生季单产最高世界纪录 ( $8716.5\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) (张上守等, 2003)。江苏省徐州农科所颜振德应用高产群体理论与实践相结合, 于 1979 年在淮北也创造出杂交中稻“赣化 2 号”每公顷产稻谷  $12.0\text{t} - 13.5\text{t}$  的高产典型 (颜振德等, 1986)。

上述例子表明, 不管是农民还是科学家, 由于他们长期对稻作高产孜孜不倦的追求, 不断取得了水稻高产再高产, 从而使我国水稻超高产研究走在世界最前沿, 对我国粮食生产做出了重大贡献。

时至今日, 摆在中国人面前的问题仍然是: “水稻产量已经达到相当高的程度, 再进一步提高有可能吗? 稻作高产有极限吗? 稻作高产的极限是多少? 进一步提高水稻产量有哪些途径?” 等等。

## 2 中国水稻产量提高的历程

图 1、表 1 是中国 1949–2001 年的稻谷产量提高历程, 可以看出, 播种面积升降变化较大, 单产和总产呈波浪式攀升 (中国农业年鉴, 1949–2000; 中国统计年鉴, 2001, 2002)。1997 年总

产达历史最高峰 (20073.7 万 t), 比 1949 年增长 313%, 占谷物总产的 45%; 次年单产也达历史最高峰 ( $6366\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ), 比 1949 年增长 237%。综合分析播种面积、单产和总产三项指标, 水稻生产大致可以划分为五个发展阶段 (蔡洪法等, 1992):

(1) 恢复发展阶段 (1949–1957 年)。建国伊始, 农民种田热情高潮, 播种面积、单产、总产三增长。8 年间分别增长 25.4%、42.1% 和 78.4%。

(2) 连续下降阶段 (1958–1961 年)。发生严重自然灾害, 加上政策失误, 出现播种面积、单产、总产三下降局面, 4 年间分别降低 18.5%、24.0% 和 38.2%。

(3) 稳定发展阶段 (1962–1976 年)。矮秆品种的育成推广和大规模单季稻改双季稻, 再次推动播种面积、单产、总产三增长。1976 年播种面积达历史最高峰 ( $3621.7 \times 10^4\text{hm}^2$ ), 比 1949 年扩大 40.9%, 比 1961 年扩大 37.8%。单产在文化大革命前跳跃性提高, 每公顷产量由 1961 年的  $2040\text{kg}$ , 跳到 1966 年的  $3533\text{kg}$ , 5 年提高 73.2%, 平均每年每公顷增产  $299\text{kg}$ 。其后单产徘徊, 文化大革命初期甚至下降, 但播种面积扩大, 总产仍然稳定增长, 1976 年比 1961 年, 总产增长 134.5%, 平均每年增产稻谷 481 万 t。

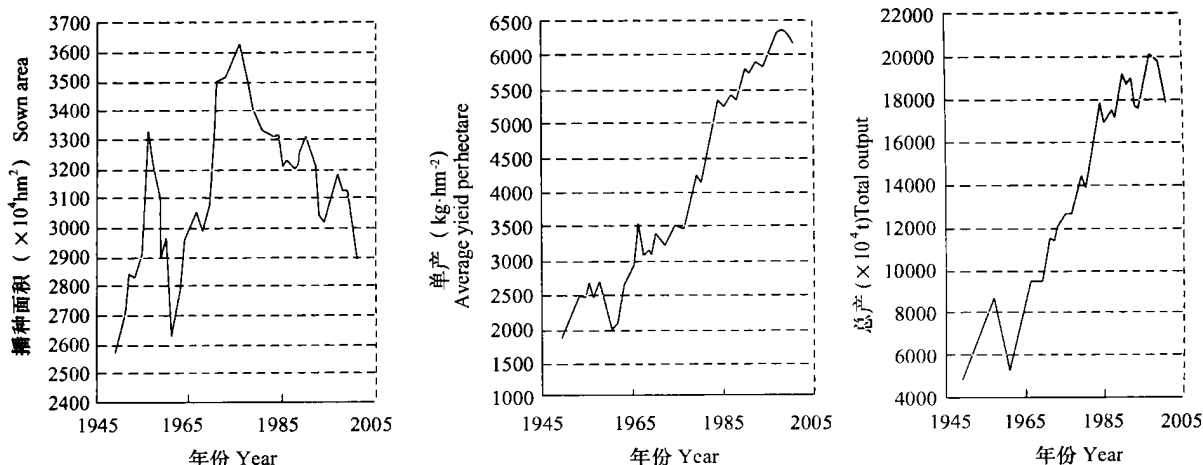


图 1 1949–2001 年中国水稻播种面积、单产和总产量

Figure 1 Sown area, average yield per hectare and total output of rice production in China in 1949–2001

(4) 快速发展阶段 (1977–1984 年)。杂交水稻和新一代常规矮秆良种的大面积推广, 化肥施用量成倍增长, 加上农村实行家庭联产承包责任

制, 激发了农民生产积极性, 在播种面积有所减少情况下, 单产快速提高, 每公顷稻谷产量由 1976 年的  $3473\text{kg}$  提高到 1984 年的  $5370\text{kg}$ , 8 年间

表 1 1949–2001 年中国水稻播种面积、单产和总产量

Table 1 Sown area, average yield per hectare and total output of rice production in China in 1949–2001

年份 year	播种面积 sown area ( $\times 10^4 \text{hm}^2$ )	单产 average yield ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总产 total output ( $\times 10^4 \text{t}$ )	年份 year	播种面积 sown area ( $\times 10^4 \text{hm}^2$ )	单产 average yield ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总产 total output ( $\times 10^4 \text{t}$ )
1949	2570.9	1890	4864.4	1976	3621.7	3473	12580.5
1950	2614.9	2108	5510.0	1977	3552.6	3615	12856.0
1951	2693.3	2243	6055.2	1978	3442.1	3975	13692.5
1952	2838.2	2408	6842.6	1979	3387.3	4245	14375.0
1953	2832.1	2513	7127.1	1980	3375.5	4125	13926.5
1954	2872.2	2460	7085.1	1981	3329.5	4320	14395.5
1955	2917.3	2670	7802.4	1982	3323.6	4875	16124.5
1956	3331.2	2475	8247.9	1983	3313.6	5093	16886.5
1957	3224.1	2685	8677.3	1984	3317.8	5370	17825.5
1958	3191.5	2535	8084.7	1985	3207.0	5250	16856.9
1959	2903.4	2393	6936.4	1986	3226.6	5340	17222.4
1960	2960.7	2018	5972.8	1987	3219.3	5415	17441.6
1961	2627.6	2040	5364.2	1988	3198.7	5355	17122.7
1962	2693.5	2340	6298.6	1989	3270.0	5595	18301.5
1963	2771.5	2663	7376.5	1990	3306.4	5805	19174.8
1964	2960.6	2805	8300.2	1991	3259.0	5745	18735.1
1965	2982.5	2940	8771.9	1992	3209.0	5918	18992.0
1966	3052.9	3533	9538.7	1993	3035.5	5854	17770.2
1967	3043.6	3075	9368.5	1994	3017.2	5831	17593.2
1968	2989.4	3165	9453.0	1995	3074.5	6024	18522.7
1969	3043.2	3113	9475.1	1996	3140.6	6212	19510.2
1970	3222.1	3398	10955.4	1997	3176.5	6319	20073.7
1971	3491.8	3300	11520.5	1998	3121.4	6366	19871.2
1972	3514.3	3225	11335.2	1999	3128.4	6345	19848.8
1973	3509.0	3473	12174.2	2000	2996.2	6272	18790.8
1974	3551.2	3488	12391.7	2001	2881.2	6163	17758.0
1975	3572.8	3518	12556.0				

注: 资料来源于《中国农业年鉴》, 1980–2000; 《中国统计年鉴》, 2001–2002

note: these data come from China agricultural statistical yearbook (1980–2000) and China statistical yearbook (2001–2002)

提高 54.6%, 平均每年每公顷增产 237kg。由此推动总产快速增长, 8 年间增长 41.7%, 平均每年增产稻谷 655.6 万 t, 是总产增长最快的时期。

(5) 徘徊发展阶段 (1985–2001 年)。随着种植业结构的调整, 水稻播种面积台阶式下降, 1985–1988 年降为 3200 万  $\text{hm}^2$  左右, 1993–1995 年降为 3000 万  $\text{hm}^2$  左右, 2000 年以后又降到 2900 万  $\text{hm}^2$  以下, 仅相当于 1955 年水平。而单产呈波浪式上升, 1985–2001 年的 17 年间, 有

9 年增产, 8 年减产, 但增幅大于减幅。由于新一代高产、多抗品种的育成, 一批适应不同生态地区的栽培技术推广, 水稻单产在已经较高水平上大幅度提高, 1998 年达历史最高峰, 平均每公顷 6366kg, 比 1984 年增产 18.5%。播种面积和单产的变化, 引起总产呈波浪式升降。1985–1992 年总产缓缓登上一个新高峰, 随后下降, 1995–1997 年再次止跌回升, 1997 年达历史最高峰, 其后 4 年复又减产, 2001 年的总产降到 1984 年的水

平。显然，总产徘徊不前，在于偿种面积减少，抵消了单产提高的正效应。

回首中国 52 年来水稻产量的发展历程，获得三点重要的启示：一是保护耕地，保证有必要的播种面积对提高总产至关重要；二是单产不断提高，是推动总产不断增长的主要因素，52 年来总产的增长，10% 依靠播种面积的扩大，90% 依靠单产的提高，预料今后趋势依然；三是单产的不断提高，依靠良种良法配套技术体系的不断开拓创新。

### 3 水稻潜在最高产量和现实最高产量

1958 年报道的每公顷产稻谷 75t 至 975t 的新闻在稻作界曾引起巨大的震动。这么高的产量虽其后证明是虚假的，但人们仍不禁会想到水稻的产量潜力到底可以达到何种程度，最高产量界限是多少。这个问题引起各国科学家的关注并进行热烈的讨论。日本还开展了水稻最高产量的生理生态学观察研究。

太阳辐射是水稻产量形成的能量源泉。各国科学家都是从能量的观点来推算水稻的最高产量潜力的。得出的结论虽有一些差异，但观点没有多大不同，都是依据以下几点进行综合推算的：

(1) 水稻光合生产的日数，即本田期日数，或所谓“产量形成期”日数（从抽穗前 10 日至成熟期的日数）。

(2) 单位稻田面积上每天入射的太阳辐射量。

(3) 能利用于光合作用的有效辐射占总辐射的比率，据计算为 44.4% - 50%。

(4) 有效辐射中除去反射、漏射而为叶层吸收的比率，约为 70% - 90%。

(5) 吸收的光能转变为化学能的效率，理论值为 28%，而据实测，有的仅为 15%。

(6) 扣除呼吸消耗的能量净同化量占总同化量的比率，据测定，该值约为 50%。

(7) 合成 1g 碳水化合物所需的化学能 (3750cal/g = 15675J/g)，或合成 1g 糙米所需的化学能 (3500cal/g = 14630J/g)。

(8) 净积累的干物质向谷粒的转移率。中国学者按全生长期干物质总积累量 × 收获指数（转移率），估算稻谷产量，确定转移率为 50%。日本学者认为籽粒物质来源于抽穗前的贮藏性干物质（主要在抽穗前 10 日积累）和抽穗—成熟期的光合产物，糙米产量相当于抽穗前 10 日—成熟期

（即所谓产量形成期）的干物质净积累量，确定转移率为 100%。

上述 8 项可归并为三大项：(1)、(2) 的乘积为水稻本田期或“产量形成期”入射的太阳总辐射量；(3)、(4)、(5)、(6) 的乘积为理论上最高的光能利用率；(7)、(8) 为能量—干物质的转换系数及向谷粒的转移率。(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8) 等项的乘积，即为潜在的最高产量。

能量—干物质—产量的转换是相对稳定的。太阳总辐射量则因地区、季节、品种生长期的不同而异。不同科学家计算的最高光能利用率也有些差异：武田 (1966) 为 6.7% [户茨义次, 1979]，村田 (1966) 为 5.5% [户茨义次, 1979]，薛德榕 (1981) 为 4.4% (实用水稻栽培学, 1981)；高亮之等 (1984) 为单季稻 2.7% - 4.3%，双季稻 3.7% - 4.5%。因此，不同科学家推算出来的潜在的最高产量也差异较大：武田的推算值为糙米产量  $36t \cdot hm^{-2}$ ，相当于稻谷产量  $45t \cdot hm^{-2}$ ；村田的推算值为糙米产量  $24t \cdot hm^{-2}$ ，相当于稻谷产量  $30t \cdot hm^{-2}$ ；薛德榕推算的广州地区的稻谷产量，早稻为  $16.3t \cdot hm^{-2}$ ，晚稻为  $23.7t \cdot hm^{-2}$ ；高亮之等推算的中国各稻区的稻谷产量，双季早稻为  $16.1 - 18.4t \cdot hm^{-2}$ ，双季晚稻为  $15.0 - 18.4t \cdot hm^{-2}$ ，单季稻为  $16.1 - 26.6t \cdot hm^{-2}$ 。潜在的最高产量推算值的差异，在于太阳总辐射量和光能利用率的估测有较大差异。

尽管如此，目前水稻大面积产量及超高产田产量，仍离潜在的最高产量很远。目前我国各地区已经达到的超高产纪录，大致相当于潜在最高产量的一半，而大面积平均产量水平又只相当于超高产纪录的一半。由此可见，水稻还有巨大的增产潜力。

据高亮之等 (1984) 研究，达到潜在的最高产量，相当于还原一个分子  $CO_2$  需要 8 个光量子的光能转化效率 28%；已经达到的高产纪录，相当于还原一个分子  $CO_2$  需要 15 个光量子的光能转化效率 15%，特称为现实的最高产量或现实生产力。我们的目标是大面积产量向现实最高产量攀升，现实最高产量向潜在最高产量攀升。

### 4 提高水稻产量的途径

育种和栽培犹如两个轮子，推动了中国 50 年来水稻总产的不断增长。目前中国水稻种植面积

占世界的 20%，稻谷总产占世界的 35% (徐匡迪等, 2002)，单产比世界平均水平高 68%，与日本并列居几个产稻大国单产首位。展望未来，增产潜力巨大，但任重道远。开发育种和栽培新技术，仍然是推动水稻高产再高产的基本途径。

#### 4.1 提高水稻产量的育种途径

矮化育种和杂交稻育种的突破，促进了中国水稻产量的两次飞跃。上世纪 80 年代起的超高产育种，已取得明显的进展，正孕育着新的突破。

##### 4.1.1 矮化育种

高秆品种在高肥、密植以及台风雨的袭击下，极易倒伏，产量很不稳定。培育矮秆抗倒品种，曾是上一世纪五十年代的重要目标。经过努力，终于在 1956 年培育出两个世界上最早的矮秆品种：一是广东省潮阳县农民育种家发现 2 株矮秆自然变异株，从中培育成的“矮脚南特”；一是台湾省育种家利用低脚乌尖矮秆基因，通过杂交育成的“台中在来 1 号”。紧接着，广东省农科院黄耀祥首次发掘出矮子占矮秆基因，用于矮化育种，于 1959 年育成“广场矮”，1961–1963 年又育成早籼“珍珠矮”、“二九矮”、“广陆矮”和晚籼“广二矮”。此后，各省也积极开展矮化育种，育成一大批早、中、晚型水稻矮秆良种。至 60 年代后期，我国南方基本上实现了矮秆良种化，有效解决了稻作倒伏减产的问题，并为 70 年代南方大面积单季稻改双季稻提供熟期配套的品种 (中国农业科技工作四十年, 1989)。据大面积生产统计，矮秆品种的单产一般比高秆品种提高 20%–30%。矮秆品种的育成及在生产上应用，中国比其它产稻国领先 10 年，是国际水稻研究上的一项划时代的成就。

##### 4.1.2 杂交水稻育种

中国杂交水稻的研究和应用率先取得成功，居世界领先地位。誉为“杂交水稻之父”的袁隆平，早在 1964 年从洞庭湖区早籼中找到雄性不育株，揭开我国水稻杂种优势利用的序幕。上世纪 60 年代后期，聚集了以袁隆平为首的一代人才，进行全国杂交稻育种攻关。1970 年李必湖在海南的普通野生稻中发现花粉败育的雄性不育株，以此为突破口，到 1973 年实现三系配套，1976 年首

批杂交水稻组合大面积推广。近年来，全国杂交水稻种植面积约 1533 万  $\text{hm}^2$ ，占全国水稻播种面积的 50% (袁隆平, 2001)。杂交水稻发挥强大的杂种优势，平均单产又比矮秆品种提高 20% 左右 (袁隆平, 1996)。目前杂交水稻已占全国稻作面积的 51%，占全国稻谷总产的 57%–59% (中国农业信息网 [www.agri.gov.cn/gndt/t20020917\\_4361.htm](http://www.agri.gov.cn/gndt/t20020917_4361.htm))。杂交水稻的选育成功是中国科学家对世界水稻生产的杰出贡献。

##### 4.1.3 水稻超高产育种

在经历了矮化育种和杂交稻育种的两次飞跃后，1980 年以来，品种生产潜力停滞不前。日本和 IRRI 相继实施超高产育种计划。中国则于上世纪 80 年代中期，组织中国农科院、沈阳农业大学和广东省农科院合作研究超高产育种的理论和方法。1996 年起正式组织全国育种单位，采用常规稻、三系杂交稻、两系杂交稻等多种途径并举，合作培育超高产品种 (组合)。目标单产是 2005 年突破  $12 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，2015 年突破  $13.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  (程式华, 1998)。现已形成四套超高产育种技术框架，成功创造了一批优异种质，育成首批品种。

(1) 两系超级杂交稻。袁隆平提出，通过两系法直接利用籼粳稻亚种间杂交产生的强大优势，可以育成比现有三系杂交稻增产 20% 的超高产品种 (袁隆平, 2000)。光温敏核不育和广亲和基因的发现，为实现籼粳亚种间杂种优势利用提供了可能性。但亚种间直接杂交产“负向优势”、结实率低的问题远未克服。为此，目前两系稻育种仍以品种间杂交为主，辅以利用带有籼/粳亲缘材料的亚亚种间杂交，提高杂种优势水平。最近，袁隆平 (2003) 明确提出形态改良与提高杂种优势水平相结合的技术路线。形态改良指标是：顶部三叶长、直、狭、厚，穗型中大，穗层弯垂。经合作选配，江苏省农科院邹江石与袁隆平育成了超高产、米质优的两系稻新组合“两优培九”，1999 年在江苏、湖南共有 13 个  $6.67 \text{ hm}^2$  示范片和 1 个  $66.7 \text{ hm}^2$  示范片，2000 年有 16 个  $6.67 \text{ hm}^2$  示范片和 4 个  $66.7 \text{ hm}^2$  示范片，平均产量超过  $10.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；2001 年在全国推广 113.3 万  $\text{hm}^2$ ，平均产量  $9.2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(2) 三系超级杂交稻。以谢华安为代表的福建省育种家提出，采用形态生理改良与提高杂种优势水平相结合的技术路线，培育三系超级杂交

稻。形态生理指标是：分蘖力中等，偏大穗，冠层叶片直立，茎秆粗壮坚韧；光温钝感，基本营养生长期长；中后期干物质积累强，生物产量高。从1998年起，陆续育成一批接近目标的新组合。其中“特优175”、“II优明86”，2001年在云南省永胜县涛源乡种植，曾突破世界单产纪录；“特优898”，又于2003年在同地种植，创每公顷产量1233.1kg，第三次突破世界单产纪录（www.mxnw.com.cn/ncdt/682.htm）。

(3) 常规粳型超级稻。沈阳农业大学杨守仁提出培育“增加生物产量，优化产量结构，使理想株型与非F<sub>1</sub>优势相结合的常规粳型超高产品种”。制订了采用籼粳亚种间杂交或地理远缘杂交来创造新株型和强优势，再通过复交或回交进行优化性状组配，使理想株型与优势相结合，进而选育超高产品种的技术路线（陈温福等，2002）。经过长期努力，已成功创造出一批新株型优异种质，并育成单产11–12t·hm<sup>-2</sup>的常规粳型超高产品种“沈农265”和“沈农606”。“沈农265”于1999年在沈阳示范8hm<sup>2</sup>，平均单产达11.14t·hm<sup>-2</sup>；“沈农606”于2000年在辽宁中部示范21.25hm<sup>2</sup>，平均单产达12.14t·hm<sup>-2</sup>。并且米质的多数指标达到部颁一级优质粳米标准。

(4) 常规籼型超级稻。广东省农科院黄耀祥提出培育“矮秆早长”和“丛生早长”为主攻方向的常规籼型超高产品种的构想（黄耀祥，1990）。即选用株型出众的矮秆、半矮秆和丛生快长类型的高产、超高产品系为组配亲本，选育具有“早长”性状的品种。该类品种在生长前期叶鞘厚，根系发达，早发快长，可为孕育大穗奠定营养基础，使穗数和粒数协调发展，进一步提高产量潜力。经过汰选，上世纪80年代育成“特青”、“双青”，90年代育成“胜优2号”、“胜泰”、“胜桂”（王文明，1998），其产量潜力均达到12–13t·hm<sup>-2</sup>水平。

## 4.2 提高水稻产量的栽培途径

中国科技人员从总结南陈北崔丰产经验起步，结合生产实际，开展从器官建成、库源结构、光合生产到作物与环境因素关系和调控技术的系统研究，形成独具特色的作物栽培学科技体系，取得诸如耕作改制、叶龄模式栽培、群体质量超高产栽培、巨库强源超高产栽培、轻简栽培、寒地稻作栽培等一系列世界瞩目的成果。良法与良种

配套，相辅相成，推动了中国水稻产量不断提高，从稻作低产国跃居为世界高产国。

### 4.2.1 稻田耕作改制

1954–1956年和1963–1966年，在华南开展单季改双季、间作改连作的熟制改革，水稻复种指数由111%提高到133%，双季稻面积扩大240万hm<sup>2</sup>。1970–1976年，单改双在南方稻区全面开展，水稻复种指数提高到148%，双季稻面积又扩大208万hm<sup>2</sup>（黄国勤，1997）。按当时平均单产匡算，两次改制使每年稻谷总产分别增加670万t和709万t。

单季稻改双季稻的基本经验是：依据当地热量资源，确定水稻安全生长季；依据水稻安全生长季，确定品种搭配；依据水稻品种特性，确定安全播栽期和栽培技术。做到气候—品种—技术三配套。

上世纪80年代后期，随着双季稻面积缩减，单季杂交稻面积扩大，依据当地气候资源，单季杂交稻适当早播早栽，收获后蓄养一季再生稻，成为一种新的省工省本高效的耕作制，在南方悄然兴起。据1997年统计，全国再生稻面积达75万hm<sup>2</sup>，再生季平均单产2040kg·hm<sup>-2</sup>，总产154万t（施能浦等，1999）。

### 4.2.2 叶龄模式化栽培

根据器官相关生长关系，江苏省凌启鸿创立了水稻叶龄模式，用于精准、简捷诊断不同节位叶、鞘、茎、穗的发育动态，并根据苗、蘖、穗、粒数量最佳变化动态及与环境措施关系的大量研究成果，按叶龄期确定数量化的形态生理指标和规范化的栽培措施，编制为定时定量的高产栽培模式图。最先在江浙一带推广，然后辐射全国，在上世纪80、90年代推动了我国水稻单产的大幅度提高。据全国水稻叶龄模式推广协作组的试验资料统计，1981–1990年累计推广叶龄模式栽培面积693万hm<sup>2</sup>，在相同条件下，平均增产766.5kg·hm<sup>-2</sup>，增产11.46%（凌启鸿等，1999）。

### 4.2.3 群体质量超高产栽培

对大水大肥、高度密植负向效应的反思，促成上世纪60年代殷宏章等一批科学家，开展水稻群体合理结构的研究。北京农业大学廉平湖在其

发起的全国第一届水稻高产理论与实践学术会上,发表了“三个90%”的高产形成论,即水稻产量90%以上来自光合产物,高产水稻90%左右来自抽穗后光合产物,水稻产量的90%来自叶片的光合作用(方宣钧等,1991)。凌启鸿(2003)进一步将产量表述为:经济产量=花后光合积累量×花前光合贮藏量×运转率。并将提高花后群体光合积累量作为提高群体质量的总目标,确定苗、蘖、穗、粒和LAI最适发展动态及量化的技术措施,从而形成群体质量超高产栽培体系(凌启鸿等,1993;1995)。其主要措施为:(1)建立合理的群体起点。(2)在有效分蘖临界期形成预期穗数的茎蘖数。(3)塑造最适LAI,提高库/叶比、有效叶面积率和高效叶面积率。(4)改前重式施肥为前轻中控后重式施肥。(5)宽行狭株种植。上世纪90年代在江苏省建立几十个 $6.67\text{hm}^2$ 的群体质量超高产示范片,平均单产达到 $10.5\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,并带动全省水稻增产。江苏省2001年水稻播种面积201万 $\text{hm}^2$ ,平均单产达 $8.42\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,居国内首位,其面积和单产也都遥遥超过日本和美国。

#### 4.2.4 巨库强源超高产栽培

自上世纪30年代提出源库理论以来,国内外常以源库的观点去探讨作物高产的途径。库指贮藏籽粒物质的内外颖容积的总和,等于单位面积总粒数与籽粒容积的乘积;源指库藏物质的生产量,决定于光合生产的干物质积累量及其向穗部的转移率。李义珍研究了超高产水稻库源的多层次结构模式及其栽培技术体系,揭示:水稻超高产必须建设巨库强源的群体;建立巨大库容量的途径是稳定穗数,主攻大穗,发育巨量的单位面积总粒数;积累高额库藏物质的途径,一靠调节生育期,增加太阳辐射截获量,二靠调节冠层叶片面积及姿态,提高群体光合率,增加中、后期的干物质积累。通过综合技术的调控,建立巨库强源群体,1978年在福建龙海创造双季杂交稻年产量超 $23\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (李义珍等,1979),2001年在云南永胜创造单季杂交稻超 $17.9\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的世界单产纪录。

#### 4.2.5 再生稻超高产栽培

上世纪80年代以后,随着一批头季产量高、再生力也高的“双高”杂交稻组合的问世,再生

稻在我国南方迅速发展。但是,大面积单产徘徊在 $1000\text{--}2000\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。福建省农业厅施能浦主持了再生稻超高产的研究与示范,在90年代创造了 $3000\text{hm}^2$ 示范片两季年产 $15\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的成绩,其中尤溪县文峰村 $135\text{hm}^2$ 再生稻,头季平均单产 $10.25\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,再生季平均单产 $6.06\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,麻洋村 $149\text{hm}^2$ 再生稻,头季平均单产 $9.92\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,再生季平均单产 $6.36\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,并有2丘田再生季单产分别达 $8114\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $8384\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,先后创再生稻单产世界纪录(施能浦,1997)。近三年来,尤溪县再生稻生产更上一层楼: $6.8\text{hm}^2$ 中心示范片,头季平均单产 $12633\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,再生季平均单产 $7115\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,两季年单产达 $19747\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,有一丘田再生季单产达 $8727\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,再次突破再生稻世界单产纪录;另外5个 $67\text{hm}^2$ 示范片平均单产达 $10555+6282=16837\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;由此带动全县再生稻生产发展,三年头季+再生季平均单产达 $13.66\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,超过该县同期双季稻平均单产(张上守等,2003)。施能浦和李义珍课题组与尤溪县农技站合作,总结再生稻超高产栽培的主要技术是:(1)选用头季产量高、再生力也高的杂交稻新组合;(2)提早播种,头季本田期延长30d,增加太阳辐射截获量13%,再生季利用8、9月份强光适温的气候生育,安全高产;(3)头季前中后期平衡施肥,稳定穗数,培育大穗,再生季重施芽肥,争多穗高产;(4)畦厢式种稻,间歇性沟灌,降低土壤还原性,培育形态发达、机能高而持久的根系;(5)头季收割时高留稻桩,保留倒2-3节位的优势腋芽和尽量多的稻桩贮藏性物质。

#### 4.2.6 轻简栽培

改变作业方式、简化作业程序、减轻劳动强度的“轻简”栽培,取得一系列成果,因其省工节本、高产高效,受到广大农民群众的欢迎。主要成果有:(1)少免耕技术。(2)化学除草技术。(3)抛秧。其中化学除草已经普及,解除了一项弯腰劳作的辛苦作业。抛秧由中国农科院杨泉涌从日本引进,经消化创新,1981年研制出塑料育秧硬盘。1987年黑龙江省牡丹江地区农科所与上海塑料厂合作研制出塑料育秧软盘。经广泛探索,抛秧自北而南在全国推广,1996年推广面积达154万 $\text{hm}^2$ 。盘育小苗抛栽,又解除了一项弯腰劳作的苦活,工效提高3-5倍,水稻单产提高一成



左右 (刘浩恩等, 1998)。

#### 4.2.7 寒地水稻高产栽培

东北三省是高纬寒地稻作区, 种稻历史短, 1961年水稻播种面积仅 50.6 万  $\text{hm}^2$ , 占全国的 1.9%, 平均单产  $1.91\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。80、90 年代大力开发易涝洼地、盐碱地和平原沿江低地种稻, 面积迅速扩大, 单产稳步上升。至 2001 年水稻播种面积扩大到 276.9 万  $\text{hm}^2$ , 比 1961 年增长 4.47 倍, 平均单产  $6.22\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 超过全国平均水平, 稻谷总产 1722.7 万 t, 比 1961 年增长 16.8 倍, 占全国稻谷总产的 9.7%。在全国水稻播种面积不断缩减之时, 唯独东北三省水稻面积不断扩大, 目前已成为我国重要的稻米商品基地。据黑龙江省农科院寒地水稻研究中心张矢 (1991) 总结, 寒地水稻低产变高产的主要技术经验是: (1) 选育和推广高产优质、适应不同气候生态的粳稻良种; (2) 保温旱育壮秧, 比直播稻延长生长期 30d, 增加  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 300  $^\circ\text{C}$ , 弥补寒地生长期短的不足, 为扩种高产的中晚熟品种提供可能; (3) 推广适应抛秧、机插、手插等多种移栽方式的温棚盘育秧, 缓解寒地农事季节紧张, 提高规模种稻效益; (4) 化学除草。

寒地水稻生长季较短, 但稻作期间日照充足 (日均 8h 左右), 太阳辐射强 (日均  $> 16\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ), 日夜温差大, 有利于干物质积累, 各地出现了一批  $10\text{--}12\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$  的超高产田。据东北农业大学金学泳等 (2003) 研究, 超高产栽培的主要技术为: (1) 选用优质超高产品种; (2) 保温旱育稀植, 培育多蘖壮秧; (3) 宽行稀植, 每  $\text{m}^2$  栽 15 丛, 每丛 1–2 株; (4) 深层施肥; (5) 间歇性湿润灌溉。

### 4.3 提高水稻产量的高新技术途径

#### 4.3.1 外源 DNA 遗传转化技术

外源 DNA 遗传转化是近十几年来发展起来的育种新技术, 它可以打破自然界遗传资源的种族界限, 实现有利基因的重组、聚合, 从而培育出优良的新品种。禾谷类作物外源基因遗传转化技术常用的方法有: 农杆菌介导法、脂质体介导法、聚乙二醇 (PEG) 法、电激法 (又称电穿孔法)、基因枪法 (又称粒子轰击法)、花粉管通道法、注射法、浸渍法、超声波导入法、激光微束穿刺法

等 (易自力等, 1999)。张福泉等 (1992) 采用 DNA 溶液浸种法把慈利玉米 DNA 直接导入水稻“湘早籼 8 号”, 选育成穗多、穗大、结实率高的属间远缘杂交水稻新品系“遗传工程水稻 1 号”。洪亚辉等 (1999) 采用花粉管通道法将密穗高粱总 DNA 导入水稻晚粳品种鄂宜 105, 从  $D_1$  至  $D_5$  代变异材料中选育出  $DH_3$ 、 $DH_4$ 、 $DH_5$  等多个具有高光效、高产和优质的水稻新株系。袁隆平与香港中文大学合作, 已获得具有玉米  $C_4$  基因的转基因水稻植株, 进一步将  $C_4$  基因转育到超级稻亲本的工作正在进行中。据测定,  $C_4$  水稻叶片的光合效率比  $C_3$  水稻的高 30% (袁隆平, 2003)。由此可见, 利用外源基因遗传转化技术将为选育高产水稻品种展示美好前景。

#### 4.3.2 基因聚合育种

基因聚合育种是利用分子选择技术将分散在不同种质中的有用基因聚合到同一基因组中 (方宣钧等, 2003)。应用分子标记辅助选择技术可把控制产量及产量性状的数量基因座位 (QTL) 中具有正向加性效应的位点聚合起来, 并剔除负向效应的 QTL, 从而使产量大幅提高。1995 年袁隆平与美国康奈尔大学合作, 采用 RFLP 分子标记技术, 结合田间试验, 在普通野生稻 (*O. rufipogon*) 中定位了两个控制产量增效的 QTL 基因座位 (RZ776 和 RG256), 它们分别位于第 1 号和第 2 号染色体上, 每一基因位点具有比现有高产杂交稻威优 64 增产 20% 的效应 (袁隆平, 1996; 1997; 2003), 并将含这两个位点的染色体片段转育到了 V20B 的核背景中 (王文明, 1998)。日前他们正在通过分子标记辅助选择技术与常规育种技术相结合的方法, 选育携带该两个位点的近等基因系, 以其利用远缘有利基因。

#### 4.3.3 花培育种

花药培养是当今生物技术育种中较为成熟、实用、有效的育种技术, 是在无菌和人为控制外因 (营养成分、光、温、湿) 条件下, 花粉囊中的花粉经过适当的诱导, 有可能去分化而发育成单倍体胚或愈伤组织, 最终形成花粉植株的技术。它具有遗传纯合快、选择效率高、遗传特性较稳定等特点, 但培养率很低, 粳稻为 5%–10%, 籼稻为 1% 左右。尽管培养率低, 但利用花培技术进行单倍体育种仍是快速培育水稻新品种的有效途

径。我国的花培育种研究始于1951年,1975年中科院植物所和黑龙江省农科院及松花江地区水稻试验站等单位进行协作,育成了粳稻品种“单丰1号”,此后各单位又先后育成了“牡花1号、花育1号、单粳1号、中花8号、中花9号”(张淑红等,2001)、“中花10号、中花11号、金优1号、南抗1号”(葛胜娟,1999)、“蜀恢162、花1A”(白新盛等,1999)、“佳禾早占”(王侯聪等,2003)等品种。其中大面积推广的有“中花8号、中花9号”等。到目前为止,我国用花培方法已育成了100多个水稻品种。目前我国水稻花药培养技术主要应用在以下三个方面:一是花培技术与常规品种间杂交育种相结合培育新品种,二是将花培技术应用于粳、籼亚种间杂交育种,三是将花培技术用于杂交水稻提纯复壮(葛胜娟,1999)。

#### 4.3.4 多倍体育种

多倍体育种就是用秋水仙素等方式诱导处理水稻种苗使其染色体加倍的育种技术。与二倍体水稻相比,同源四倍体水稻的单株穗数和每穗粒数明显减少,结实大幅度降低,千粒重增加,株高降低,茎秆粗壮,较抗倒,营养品质变好等(黄群策等,2001)。我国自1951年开始水稻同源四倍体育种,试图选育出具有增产潜力的同源四倍体水稻新品种,至今尚未培育出在生产上大面积应用的新品种。但同源四倍体水稻具有很强的遗传可塑性和很弱的遗传保守性,利用其作为水稻远缘杂交的桥梁,可不断引进野生稻中的有利基因,由此可能创造出具有强再生能力、强宿根性和无融合生殖特性的新种质,这将有利于杂交水稻的多代利用和固定水稻的杂种优势。因此,水稻多倍体育种的研究成功将为水稻育种和水稻产量带来新的突破。

#### 4.3.5 航天诱变育种

水稻航天育种技术是将水稻干种子搭载返回式航天器如人造卫星、宇宙飞船等,经过空间强辐射、微重力、高真空的诱变作用产生变异,在地面选择有益变异培育新种质、新品种的育种方法。它具有变异频率高、幅度大、多数性状能遗传、稳定快、育种周期短等特点(郑家团等,2003)。目前,我国已育成了一些高产的水稻新品种(组合)进入商品化生产,如“航育1号”(陈

先彰,1996)、“华航1号”(http://www.last.gov.cn/xinghuo/xunqiuhezuo/doc/001%5C2002070315471632.shtml)、“赣早粳”(李源祥,2001)、“博优721”(沈桂芳,2001)、/特优航1号0(杨东等,2003)、/II优航1号0、/II优2470等。福建省农科院利用航天技术培育的杂交水稻组合/II优航1号0,2003年在福建尤溪6167hm<sup>2</sup>再生稻超高产示范片栽培,头季平均每公顷超12t,最高达13161t#hm<sup>-2</sup>(新华网,福州2003年8月11日)。2003年在云南省永胜县涛源乡种植,/II优航1号0产量达17143t#hm<sup>-2</sup>,/II优2470产量达17176t#hm<sup>-2</sup>。研究和实践表明,利用航天技术可在较短时间内创造出优良的种质,选育出高产、优质、抗逆性强的水稻新品种(组合),为水稻产量潜力的提高开辟了一条新途径。

不仅航天诱变培育出了许多高产优良品种,利用C射线辐照育种也有很大的应用前景。厦门大学王侯聪教授利用C射线水稻花粉辐照诱变技术与常规杂交技术相结合,获得200多个大粒、优质、株形好、生育期适宜的株系新材料,并选育出福建省第一个优质早粳新品种/佳禾早占0。该品种2000年在福建省推广68406hm<sup>2</sup>,其中早稻面积52836hm<sup>2</sup>,占福建省早稻面积的1113%(王侯聪等,2003)。这对提高农民收入,实现农业现代起了积极的推广作用。

#### 41316 无融合生殖育种

无融合生殖是指不经过两性细胞融合仅用无性胚或无性种子繁殖后代的过程。由于无性胚或无性种子具有保持杂合性的特点,因此能够固定杂种优势,且被认为是固定杂种优势的最理想方式。用无融合生殖方法固定农作物品种间、亚种间、种间杂种优势的育种方法,是选育新品种的一个新途径。水稻无融合生殖育种是一个早代稳定或固定杂种优势育种的新技术。该技术保留了杂交稻的杂种优势和常规稻的可多代利用、不需年年制种的优点,是水稻超高产育种的一个有效途径。中国农科院作物所陈健三等利用无融合生殖育种法经过10多年的研究培育出具远缘杂种优势、增产潜力大、可多代利用、不需年年制种的水稻无融合生殖系84-15,并用它做亲本与其它材料杂交选育出多个无融合品种(陈健三,1992)。我国选育的无融合生殖材料还有/粳稻30270、/HDAR001-0020、/SAR-10、/C10010

等(陈健三等, 1993)。陈健三首次利用首创的无融合生殖水稻育种技术育成了超高产无融合生殖杂交稻/固优8号0(张金华, 1997), 他与武穴市农作物良种所合作育成了超级无融合生殖杂交稻新品种/固优20号0, 其单季产量高达 $1315\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ (钟修合等, 2003)。

## 5 结束语

经过半个世纪的不懈努力, 中国粮食总产在1996–1999年登上50000万t的台阶, 人均拥有粮食400–412kg, 实现了低水平的供需平衡而略有盈余。但2000年以后连续减产, 人均粮食降到355kg, 已近于淘空库存余粮, 粮食安全又亮起红灯。随着人民生活水平的提高, 要求消费更多的肉蛋奶而需消费三倍于此的饲料。如人均消费100kg肉蛋奶, 即需投入300kg饲料。则未来人均拥有粮食450kg必不可少, 其中人均稻谷消费量150kg, 折精米消费量105kg, 相当于目前日本的稻米消费水平。据预测, 2030年中国人口将达到最高峰15亿, 则届时粮食和稻谷总产需分别比2001年增加49%和27%。考虑到耕地减少不可逆转, 将要求单产以更大的幅度提高。因此, 在大力改进米质的同时, 追求水稻高产更高产, 终究是中国人不变的心愿。

## 参考文献

Yuan Longping, Super hybrid rice, Chinese rice research news letter, 2000, 8 (1), 13–15

白新盛, 周开达, 李梅芳, 汪旭东(主编), 生物技术在水稻育种中的应用研究, 北京, 中国农业科技出版社, 1999, 66–73, 78–83

蔡洪发, 朱明芬, 中国稻米的生产、消费和贸易, 熊振民, 蔡洪发(主编), 中国水稻, 北京, 中国农业科技出版社, 1992, 182–196

陈健三(著编), 水稻无融合生殖育种论文集, 北京, 中国科学技术出版社, 1992

陈健三, 李昌发, 李科祥, 周济黎, 我国无融合生殖水稻育种的发展趋势, 中国农学通报, 1993, 9 (3), 17–21

陈温福, 徐正进, 张步龙, 张文忠, 杨守仁, 水稻超高产育种研究进展与前景, 中国工程科学, 2002, 4 (1), 31–35

陈先彰, 水稻航天育种突破性进展, 农业科技要闻, 1996, 3, 4–5

程式华, 廖西元, 闵绍楷, 中国超级稻研究: 背景, 目标

和有关问题的思考, 中国稻米, 1998, 1, 3–5

方宣钧, 王守林, 巫伯舜, 苏宝林, 水稻栽培技术, 苏宝林主编, 北京, 金盾出版社, 1991, 27–30

方宣钧, 吴为人, 分子选择, 分子植物育种, 2003, 1 (1), 1–5

高亮之, 郭鹏, 张立中, 林武, 中国水稻的光温资源与生产力, 中国农业科学, 1984, 17 (1), 17–22

葛胜娟, 水稻花培育种现状与发展方向, 中国农学通报, 1999, 15 (5), 45–46

洪亚辉, 董延瑜, 赵燕, 萧浪涛, 密穗高粱总DNA导入水稻的研究, 湖南农业大学学报, 1999, 25 (2), 87–91

户茨义次(主编), 薛德榕(译), 作物的光合作用与物质生产, 北京, 科学出版社, 1979, 469–478

黄国勤, 中国南方稻田耕作制度的演变和发展, 中国稻米, 1997, 4, 3–8

黄群策, 孙梅元, 邓启云, 多倍体水稻及其潜在价值, 杂交水稻, 2001, 16 (1), 1–3

黄耀祥, 水稻超高产育种研究, 作物杂志, 1990, 4, 1–2

金学泳, 金正勋, 秋太权, 寒地水稻三超栽培技术及其增产原理, 全国第九届水稻高产理论与实践学术研讨会论文, 海南三亚, 2003

李义珍, 水稻器官的相关生长和形态诊断, 福建农业科技, 1978, 4, 20–31

李义珍, 王朝祥, 水稻高产工程研究(晚稻部分), 福建农业科技, 1979, 4, 11–17

李义珍, 王朝祥, 水稻高产工程研究(早稻部分), 福建农业科技, 1979, 1, 1–9

李义珍, 杨高群, 彭桂峰, 林文, 两系杂交稻培矮64S/E32的超高产特性与栽培研究, I. 超高产的植株性状, 杂交水稻, 2000, 15 (1), 28–30

李义珍, 杨高群, 彭桂峰, 杨惠杰, 水稻超高产库源结构的研究, 全国第八届水稻高产理论与实践学术研讨会论文, 厦门, 2001

李源祥, 航天育种新成果赣早粳47, 中国种业, 2001, 3, 42

林文, 李义珍, 姜照伟, 郑景生, 再生稻根系形态和机能的品种间差异及与产量的关联性, 福建农业学报, 2001, 16 (1), 1–4

林文, 李义珍, 郑景生, 姜照伟, 杨惠杰, 杂交水稻根系形态与机能对养分的反应, 福建农业学报, 2000, 15 (1), 1–6

凌启鸿, 过益先, 费槐林, 黄丕生, 水稻栽培理论与技术兼作物栽培学的发展述评(上), 中国稻米, 1999, 1, 3–8

凌启鸿, 论中国特色作物栽培科学的成就与振兴, 全国第九届水稻高产理论与实践学术研讨会论文, 海南三

- 亚, 2003
- 凌启鸿, 苏祖芳, 张海泉, 水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究, 作物学报, 1995, 21 (4), 463- 469
- 凌启鸿, 张洪程, 蔡建中, 苏祖芳, 凌励, 水稻高产群体质量及其优化控制探讨, 中国农业科学, 1993, 26 (6), 1- 11
- 刘浩恩, 史建良, 刘泽书, 刘君成, 纪月江, 水稻抛秧技术的应用与发展, 河北农垦科技, 1998, 7, 21- 25
- 农业部科学技术委员会、农业部科学技术司(编), 中国农业科技工作四十年(1949- 1989), 北京, 中国科学技术出版社, 1989, 63- 69
- 人民日报, 1958, 07/31, 8/13, 8/20, 8/22, 9/18
- 申宗坦, 熊振民, 朱旭东, 常规水稻品种选育的回顾与展望, 熊振民, 闵绍楷(主编), 2000年稻作展望, 1991, 149- 168
- 沈桂芳, 航天育种))) 21世纪前景诱人的农业高新技术, 农业科研经济管理, 2001, 3, 4- 7
- 施能浦, 焦世纯(主编), 中国再生稻栽培, 北京, 中国农业出版社, 1999
- 施能浦, 杂交中稻))) 再生稻超高产栽培技术, 中国稻米, 1997, 5, 18- 20
- 王侯聪, 邱思密, 陈如铭, 方亚顺, 杨觉民, 黄厚哲, 黄育民, C射线辐照水稻成熟花粉的杂交后代突变效应分析, 分子植物育种, 2003, 1 (1), 33- 41
- 王文明, 水稻超高产育种的现状与展望, 西南农业学报, 1998, 11 (育种和栽培专辑), 7- 11
- 徐匡迪, 沈国舫, 依靠稻作科技创新, 推动中国水稻产业发展))) 在首届国际水稻大会上做的主题报告, 中国稻米, 2002, 6, 8- 11
- 颜振德, 胡承太, 杂交稻赣化2号高产群体的建立与调节, 作物学报, 1986, 12 (3), 145- 153
- 杨东, 张水金, 马宏敏, 黄庭旭, 王乌齐, 特优航1号产量结构分析及高产栽培技术研究, 福建稻麦科技, 2003, 21 (2), 26- 27
- 杨惠杰, 李义珍, 黄育民, 郑景生, 姜照伟, 林文, 超高产水稻的产量构成和库源结构, 福建农业学报, 1999, 14 (1), 1- 5
- 杨惠杰, 杨高群, 李义珍, 王乌齐, 杂交稻特优175的超高产生理生态特性研究, 福建稻麦科技, 2001, 19 (4), 1- 2
- 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 姜照伟, 郑景生, 水稻超高产品种的产量潜力及产量构成因素分析, 福建农业学报, 2000, 15 (3), 1- 8
- 易自力, 周朴华, 刘选明, 胡新喜, 植物外源基因直接导入技术及其在禾谷类作物中的应用, 作物研究, 1999, 4, 43- 46
- 袁隆平, 超级杂交水稻的现状与展望, 粮食科技与经济, 2003, 1, 2- 3
- 袁隆平, 从育种角度展望我国水稻的增产潜力, 杂交水稻, 1996, 4, 1- 2
- 袁隆平, 我在杂交水稻方面所做的工作, 中国科技奖励, 2001, 9 (1), 14- 19
- 袁隆平, 杂交水稻超高产育种, 杂交水稻, 1997, 12 (6), 1- 6
- 张福泉, 万文举, 董延瑜, 洪亚辉, 外源DNA导入水稻的初步研究, 湖南农学院学报, 1992, 18 (2), 241- 247
- 张金华, 超高产无融合生殖杂交稻))) 固优8号栽培技术, 杂交水稻, 1997, 2, 13
- 张上守, 卓传营, 姜照伟, 李义珍, 郭聪华, 超高产再生稻产量形成和栽培技术分析, 福建农业学报, 2003, 18 (1), 1- 6
- 张矢, 寒地稻作的进展与期望, 熊振民, 闵绍楷(主编), 2000年稻作展望, 1991, 387- 395
- 张淑红, 刘玉玲, 谢丽霞, 李影新, 浅谈水稻花培育种, 垦殖与稻作, 2001, 6, 11- 13
- 浙江农业大学, 华中农学院, 江苏农学院, 南京农学院, 湖南农学院(编), 实用水稻栽培学, 上海, 上海科学技术出版社, 1981, 142- 144
- 郑家团, 谢华安, 王乌齐, 张建福, 张水金, 黄庭旭, 杨东, 马宏敏, 水稻航天诱变育种研究进展与应用前景, 分子植物育种, 2003, 1 (3), 367- 371
- 郑景生, 林文, 姜照伟, 李义珍, 超高产水稻根系发育形态学研究, 福建农业学报, 1999, 14 (3), 1- 6
- 中国农业年鉴编辑委员会编, 中国农业年鉴, 北京, 农业出版社, 1980- 2000
- 中华人民共和国国家统计局编, 中国统计年鉴, 北京, 中国统计出版社, 2001- 2002
- 钟修合, 常小平, 超级无融合生殖杂交稻))) 固优20号, 农村新科技, 2003, 4, 33