

# 水稻超高产育种研究进展与前景

陈温福, 徐正进, 张龙步, 张文忠, 杨守仁

(沈阳农业大学, 沈阳 110161)

**[摘要]** 水稻单产经历了由矮化育种和杂交稻带来的两次飞跃以后, 长时间停滞不前。研究表明, 以籼粳稻亚种间强优势利用与理想株型相结合为主要特征的超高产育种(即超级稻), 正孕育着单产水平的第3次突破。基本理论与技术路线是增加生物产量, 优化产量结构, 利用籼粳稻亚远缘杂交或地理远缘杂交创造新株型和强优势, 通过优化性状组配使理想株型与优势相结合。按照这一理论与技术路线, 已经成功地创造出—批新株型优异种质, 并育成了单产 12~13 t/hm<sup>2</sup> 的超级稻。

**[关键词]** 水稻; 新株型; 超高产育种

**[中图分类号]** S511.2+2035.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)01-0031-05

据预测, 到 2025 年, 世界粮食产量需增加 50%, 才能基本满足日益增长人口的需求。在亚洲, 则需要增加 55%<sup>[1]</sup>。水稻是亚洲最重要的粮食作物, 又是亚洲人的主食。提高水稻产量对于增加亚洲粮食总产量和稳定亚洲社会, 都具有举足轻重的作用。然而, 亚洲的水稻单产水平在经历了矮化育种和杂交稻育种实现两次大的飞跃以后, 长期处于停滞不前状态。为了实现单产的第 3 次突破, 人们寄希望于超高产育种, 并于 20 世纪 80 年代初期付诸行动。经过近 20 年的努力, 在超高育种理论研究, 新株型优异种质创造及超高产育种实践等方面, 都已取得了明显的进展并预示着广阔的发展前景。

## 1 超高产育种理论与方法研究

### 1.1 超高产育种研究的兴起

水稻超高产育种 (rice breeding for super high yield) 最早由日本人提出。1981 年, 日本农林水产省开始实施题为“超高产水稻开发及栽培技术确立”的大型合作研究项目, 即所谓的“逆 753 计

划”, 目标是利用 15 年时间, 育成每公顷生产 10 t 糙米, 或比对照品种秋光增产 50% 的超高产品种。到 80 年代末期, 育成了晨星、奥羽 326 等品种, 小面积产量已接近 10 t/hm<sup>2</sup>, 但由于结实率、米质和适应性不理想以及不符合日本国情等原因, 未能推广应用。

### 1.2 IRRI 的新株型 (NPT) 超级稻研究

继 60 年代中期育成并推广了矮秆高产品种 IR8 号以后, 国际水稻研究所 (IRRI) 的育种家又先后育成了一系列 IR 编号品种。但直到育成 IR72 号, 产量潜力仍停留在 IR8 号水平上。IRRI 的科学家认为, 要打破现有高产品种的单产水平, 必须在株型上有新的突破。他们参照其他禾谷类作物的株型特点, 经过比较研究, 提出了新株型 (new plant type) 超级稻育种理论, 并对新株型进行了数量化设计: 低分蘖力, 直播时每株 3~4 个穗; 没有无效分蘖; 每穗 200~250 粒; 株高 90~100 cm; 茎秆粗壮, 根系活力强; 对病虫害综合抗性好; 生育期 110~130 天; 收获指数 0.6; 产量潜力 13~15 t/hm<sup>2</sup>。

**[收稿日期]** 2001-07-19; 修回日期 2001-08-16

**[基金项目]** 国家自然科学基金资助项目 (39870523), 教育部跨世纪优秀人才培养计划基金资助项目

**[作者简介]** 陈温福 (1955-), 男, 辽宁法库县人, 农学博士, 沈阳农业大学教授

IRRI 设计的 NPT 的突出特点是少蘖大穗和高收获指数。基于 Donald (1968) 关于小麦理想型设计中认为独秆无分蘖或少分蘖株型在单一作物群体中竞争力最小的认识<sup>[2]</sup>, IRRI 科学家认为, 少蘖株型可减少无效分蘖, 避免叶面积指数过大造成的群体恶化和营养生长过剩导致的生物学浪费, 同时可缩短生育期, 提高日产量和经济系数, 实现超高产。NPT 设计还充分考虑到水资源限制、工业化发展带来的劳动力紧缺以及化学污染等因素, 使其更符合利用较少的水资源、劳动力和化学物质, 获得较高稻谷产量的要求<sup>[3]</sup>。

1989 年, IRRI 正式启动 NPT 超级稻育种计划, 1994 年向世界宣布, 他们的 NPT 超级稻育种已获得成功, 在小区对比试验中, 产量潜力已超过现有品种 20% 以上<sup>[4]</sup>。但同时承认, 这些 NPT 超级稻结实率低, 饱满度差, 不抗褐稻虱, 不能大面积推广应用。目前, 该所正在努力改进, 希望在 2005 年将 NPT 超级稻推向生产。

IRRI 育成新株型稻以后, 舆论界用“超级稻”(super rice) 一词来大肆宣传这一稻作科学前沿领域的研究成果。自此以后, “超级稻”作为 NPT 稻或水稻超高产育种的代名词, 广泛出现在各种新闻媒体中, 并逐渐被人们所接受和认同。同时, 将“超级稻”界定为: 产量潜力比现有高产品种或杂交稻提高 15%~20%, 绝对产量 12~15 t/hm<sup>2</sup>。

### 1.3 中国的水稻超高产育种研究

中国的水稻超高产育种研究始于 80 年代中期。当时沈阳农业大学对国内外最新育成高产品种的形态生理特征进行了深入、系统的对比分析, 率先提出“增加生物产量; 优化产量结构; 使理想株型与优势利用相结合是获得超高产的必由之路”<sup>[5,6]</sup>, 同时确定了利用籼粳稻亚远缘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<sup>[7]</sup>。

与 IRRI 的 NPT 超级稻育种理论相比, 上述超级稻育种理论的最大特点在于明确了超高产必须兼顾株型与优势, 即形态与机能相结合, 并把直立大穗型做为一项重要指标纳入株型设计。因此, 不仅适用于常规超级稻育种, 也适用于超级杂交稻育种。

广东省农科院在矮化育种的基础上, 提出了通过培育半矮秆丛生早长株型来实现水稻超高产的构想<sup>[8]</sup>。他们设计的早晚兼用型超级稻株型指标为:

株高 105~115 cm, 每穴 9~18 个穗, 每穗 150~250 粒, 根系活力强, 生育期 115~140 天, 收获指数 0.6, 产量潜力 13~15 t/hm<sup>2</sup>。在华南稻作区, 水稻栽培分为早晚两季。与北方单季粳稻和四川盆地的一季中籼稻相比, 每一季的生长时期相对较短。要高产, 品种的生长速度必须快, 通过冠层的早形成尽可能多地利用生育前期的温光条件, 增加日产量。这种株型模式与 IRRI 的 NPT 相比, 在株高、分蘖力及生育期等方面都有明显的差异。

袁隆平认为, 通过两系法直接利用籼粳稻亚种间杂交产生的强优势, 可以育成比现有三系杂交稻产量高 20% 以上的超高产新组合<sup>[9]</sup>。光温敏核不育和广亲和基因的发现为实现这一设想提供了可能性。但随之而来的亚种间直接杂交产生的强大“负向优势”劣化了株型, 使“可利用优势”的增产效果大打折扣。为此, 袁隆平提出“远中求近, 高中求矮”的配组原则。最近, 袁氏进一步注意到株型在超级杂交稻育种中的重要性, 提出了选育超级杂交稻的株型指标: 即株高 100 cm, 上部三叶长、直、窄、厚, V 字型, 剑叶长 50 cm, 高出穗层 20 cm, 穗弯垂<sup>[9]</sup>。这是一种典型的“叶下禾”株型模式, 重点是发挥剑叶冠层在生育后期群体光合作用与物质生产中的作用, 增加日产量。

利用亚种间杂种优势选育超级稻的另一条途径是四川农业大学提出的“亚种间重穗型三系杂交稻超高产育种”<sup>[10]</sup>。四川盆地少风、多湿、高温, 常有云雾。在这种生态条件下, 适当放宽株高, 减少穗数, 增加穗重, 更有利于提高群体光合作用与物质生产能力, 减轻病虫害, 获得超高产。

综合上述各种超高产育种理论, 其实质不外乎以下几点: a. 重塑株型; b. 利用籼粳亚种间杂交产生的强大优势; c. 兼顾理想株型与优势利用, 即形态与机能相结合。从株型设计上看, 无论哪种理论或途径, 所设计的株型一般都具有适度增加株高, 降低分蘖数, 增大穗重, 生物产量与经济系数并重等共同特点。从育种方法上看, 都注意到了利用亚种间杂交来创造中间型材料, 再经复交或回交并辅之其他高新技术, 选育超高产品种或超级杂交稻<sup>[11]</sup>。

事实上, 自 50 年代沈阳农业大学开展籼粳稻亚种间杂交育种理论与方法研究并取得突破以来, 已经育成了许多籼粳稻中间型育种材料。这些中间型材料“你中有我, 我中有你, 亦籼亦粳”, 亲缘

关系已很复杂。它们与籼稻或粳稻杂交，都表现出良好的亲和性和明显的优势，有些则具有独特的株型特点。正是这些中间型材料的育成和积累，为我们今天和继后选育超高产品种或超级杂交稻奠定了坚实的物质基础<sup>[11]</sup>。

## 2 超高产育种实践

### 2.1 北方常规粳稻超高产新品种选育

以沈阳农业大学为代表的北方粳稻超高产育种研究，是80年代中期在籼粳稻杂交和水稻理想株型理论研究基础上形成和发展起来的。到目前为止，大体上已经历了超高产基础理论研究、新株型种质创造和超高产新品种选育3个阶段，并取得了明显的进展。

2.1.1 超高产育种理论研究 研究表明，80年代以来北方粳稻平均单产提高了10%左右，其中育种和栽培的贡献各占约50%。育种主要提高了每穗粒数和千粒重，而栽培则主要提高了结实率。就一般品种而言，产量与穗粒数呈显著的正相关，但与生物产量的关系更密切。因此，要进一步提高单产实现超高产，必须增加其物质基础即生物产量。同时发现，90年代育成的高产品种沈农91的生物产量较高，主要原因是生理功能得到了改善，辽粳326的生物产量高主要是其株型更加理想。因此，将形态和机能两方面的优点结合起来，有可能获得生物产量的突破<sup>[6,11]</sup>。

选择直立穗型、适当增加株高、改善根系形态与功能及增加单茎干重是提高生物产量的可行途径。研究还发现，直立穗型有利于抽穗后群体充分利用光能，促进CO<sub>2</sub>扩散，不但有利于提高生物产量，缓和穗数和穗大的矛盾，而且也有利于增强品种的抗倒性。因此，认为直立穗型可能是继矮化育种之后水稻株型适应超高产要求的又一重要形态变化<sup>[6,11]</sup>。

从源库关系角度分析，大面积推广的辽粳326及沈农91等高产品种，产量进一步提高的主要限制因素是库而不是源。只有在增库的基础上扩源，即在增加单位面积颖花数的基础上，提高抽穗后群体物质生产量，才能获得进一步高产。否则，增加的光合产物重新积累在茎秆和叶鞘中，并不能转化为经济产量。

经过上述系统深入的研究，认为提高生物产量是超高产的物质基础，优化产量结构是超高产的必

要条件，利用籼粳稻杂交或地理远缘杂交创造株型变异和优势是超高产育种的主要方法，通过优化性状组配使理想株型与优势相结合是实现超高产的必由之路。由此形成了一套较为系统完整的水稻超高产育种理论与技术体系，并根据北方寒地稻作区生态生产条件，对粳稻超高产株型模式进行了数量化设计：株高90~105 cm；直立大穗型；分蘖力中等，每穴15~18个穗；每穗150~200粒；生物产量高；综合抗性强；生育期155~160天；收获指数0.55；产量潜力12~15 t/hm<sup>2</sup>

2.1.2 新株型优异种质创造 从80年代初开始，沈阳农业大学就利用籼粳稻亚种间杂交后代疯狂分离的特点，有意识地创造、筛选具有特异性状的新株型优异种质。现在已经选育出矮壮秆、长叶大穗型的沈农89366，穗型直立、半矮秆、株型紧凑、个体竞争力小的沈农159等。这些材料有的已被用于新株型超级稻育种并取得了明显效果，有的正在作为选育籼粳亚种间杂交稻的桥梁亲本用于超级杂交稻育种。例如，IRRI1994年宣布育成的9个新株型超级稻优良品系，其核心亲本就是沈农89366。实践证明，利用籼粳稻杂交是创造新株型优异种质行之有效的方法<sup>[11]</sup>。

2.1.3 超高产新品种选育 按照上述理论与株型设计，第一代超级稻沈农265于1996年在沈阳农业大学育成。1997年在沈阳市郊区试种6.7 hm<sup>2</sup>，平均单产达到10.99 t/hm<sup>2</sup>。其中的1.3 hm<sup>2</sup>，产量达到11.8 t/hm<sup>2</sup>。1999年试种示范8.0 hm<sup>2</sup>，平均单产达到11.14 t/hm<sup>2</sup>，该品种株高105 cm，直立大穗型，生育期158~160天，叶片直、挺、厚、绿。株型性状与理论设计基本相符。1999年，第二代超级稻沈农606培育成功，当年试种2.0 hm<sup>2</sup>，单产达到12.23 t/hm<sup>2</sup>。2000年在辽宁中部稻作区试种示范21.25 hm<sup>2</sup>，平均单产达到12.14 t/hm<sup>2</sup>。与南方籼型超级杂交稻相比，北方粳型常规超级稻主要米质指标也得到了明显的改善。经农业部稻米及制品质量监督检验测试中心检测，在全部12项指标中，沈农265和沈农606分别有9项和8项指标达到部颁一级优质粳米标准（见表1）。

经过多年的努力，北方粳型超级稻育种研究已取得明显进展。沈农265和沈农606的育成，不仅验证了沈阳农业大学提出的超级稻育种理论与技术路线的正确性，而且也验证了在北方寒地稻作生态区实现超高产以及超高产与优质相结合的可能性。

表1 常规粳型超级稻沈农265和沈农606的米质

Table 1 Grainquality of the conventional japonica super rice Shennong 265 and Shennong606

| 品种      | 糙米率<br>/% | 精米率<br>/% | 整精米率<br>/% | 粒长<br>/mm | 长/宽     | 垩白率<br>/% | 垩白度<br>/% | 透明度<br>/级 | 碱消值<br>/级 | 胶稠度<br>/mm | 直链淀粉<br>含量/% | 蛋白质含<br>量/% |
|---------|-----------|-----------|------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|-------------|
| 沈农265-2 | 82.4      | 75.1      | 63.3       | 4.5       | 1.6     | 2         | 0.2       | 1         | 7.0       | 78         | 16.0         | -           |
| 沈农606   | 84.0      | 76.8      | 63.9       | 4.8       | 1.8     | 14        | 0.9       | 1         | 7.0       | 70         | 17.6         | 9.2         |
| 优质米标准*  | >81       | >72       | >60        | 5.0~5.5   | 1.5~2.0 | <10       | <5        | ≤2        | >6        | >60        | <20          | >7          |

\* 农业部 NY122-86《优质食用稻米》标准

## 2.2 南方超级杂交籼稻新组合选育

与北方常规粳稻超高产育种不同,南方籼稻主要是通过两系法或三系法选育超级杂产稻,其中进展较为明显的是国家杂交水稻工程技术研究中心和中国水稻研究所。

国家杂交水稻工程技术研究中心袁隆平院士领导的课题组,主要是利用两系法选育籼粳稻亚种间超级杂交稻。按照袁氏提出的“高中求矮,远中求近”的配组原则和直立长叶弯穗株型模式,已育成超级杂交稻新组合“两优培9”。2000年在湘西的龙山稻区试种示范71.67 hm<sup>2</sup>,平均单产10.55 t/hm<sup>2</sup>。其中实收最高单产11.13 t/hm<sup>2</sup>。中国水稻研究所主要是通过三系法选育超级杂交籼稻。现已育成的代表性组合为“协优9308”。2000年在浙江省新昌县试种示范6.87 hm<sup>2</sup>,平均单产达11.83 t/hm<sup>2</sup>[11]。

中国超级稻在北方与南方同时试种示范成功,说明无论超级常规粳稻还是超级杂交籼稻的研究,都取得了历史性的重大突破。与国际上同类研究相比,至少在超级稻育种理论研究、新株型优异种质创造和实用型超级稻新品种或新组合选育方面处于领先地位,并预示着广阔的发展前景。

## 3 发展趋势

据预测,2030年是我国人口高峰期,届时全国人口将达到大约16×10<sup>8</sup>。为了满足人口不断增加对粮食的需求,从现在开始到2030年,我国粮食年生产量至少还需要登上5个以500×10<sup>8</sup> kg为单位的台阶。在新增的粮食产量中,水稻要占30%~40%,任务是十分艰巨的。从我国的具体国情分析,靠扩大种植面积提高总产量的潜力已很有限,唯一出路是在有限的土地上生产出更多的稻谷,即提高单位面积产量。历史经验告诉我们,通过育种手段增加品种的生产潜力是提高水稻单产行之有效的途径。由此可见,在现有高产水平上开展

水稻超高产育种研究,是极其必要的。

如前所述,经过多年的努力,我国在水稻超高产育种基础理论研究、新株型优异种质创制及育种实践等方面均已取得了明显的突破。除已经形成了具有重要导向作用的“理想株型与优势利用相结合”理论外,还初步建立起适于不同稻作生态区的超高产育种理论,设计出株型模式。这些理论的形成、发展和完善,对今后水稻超高产育种实践将具有重要指导作用。

就育种方法而言,在克服了疯狂分离、结实率低和后代不易稳定3大困难以后,籼粳稻亚种间杂交已经成为水稻育种的常规手段。籼粳稻杂交所产生的巨大变异为重塑株型并使之与优势相结合提供了可能性。由此创造出的新株型优异种质已经应用于超高产育种实践并取得了明显效果。光敏核不育和广亲和基因的发现,进一步扩大了水稻杂种优势利用的范围,为选育超级杂交稻奠定了基础。

现在,一个全国性的“中国超级稻育种技术”研究协作网已初步形成。各稻作生态区已经确定了自己的研究目标、方向和技术路线,有些单位已与国际相关研究单位接轨。一个多种育种途径并行,常规稻与杂交稻并重的大型协作攻关计划正在深入开展。可望在不久的将来,水稻超高产育种将以其杰出成就,为解决新世纪粮食安全做出贡献[11]。

### 参考文献

- [1] Khush G S. Breaking the yield frontier of rice[J]. *Geo J.* 1995,35:329~332
- [2] Donald C M. The breeding of crop ideotypes[J]. *E-upghtica*, 1968, 17:385~403
- [3] Peng S, Khush G S, Cassman K G. In: *Breaking the yield barrier* [M]. Edited by KG Cassman, IRRI, Philippines, 1994. 5~12
- [4] 杨仁崔. 国际水稻研究所的超级稻育种[J]. *世界农*

- 业, 1996, (2): 25
- [5] 杨守仁, 张龙步, 陈温福, 等. Theories and methods of rice breeding for maximum yield[J]. 作物学报, 1996, 22(3): 296~304
- [6] 陈温福, 徐正进, 张龙步. 水稻超高产育种生理基础[M]. 沈阳: 辽宁科技出版社. 1995
- [7] Chen Wenfu, Xu Zhengjin, Yang Shouren. Creation of new plant type and breeding super rice in northern China[J]. Chinese Rice Research News Letter, 2000, 8(3): 13~14
- [8] 黄耀祥, 林青山. 水稻超高产特优质株型模式的构想和育种实践[J]. 广东农业科学, 1994, (4): 1~6
- [9] Yuan Longping. Super hybrid rice[J]. Chinese Rice Reserch News Letter, 2000, 8(1): 13~15
- [10] 周开达. 杂交水稻亚种间重穗型组合选育[J]. 四川农业大学学报, 1995, 13(4): 403~407
- [11] Chen Wenfu, Xu Zhengjin, Zhang Longbu, et al. Theories and practices of rice breeding for super high yield [A]. Proceedings of International Conference on Engineering and Technological Sciences[C]. 2000. 378~382
- [8] 黄耀祥, 林青山. 水稻超高产特优质株型模式的构想

## Advances and Prospects of Rice Breeding for Super High Yield

Chen Wenfu, Xu Zhengjin, Zhang Longbu, Zhang Wenzhong, Yang Shouren

(Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**[Abstract]** After experiencing two major breakthroughs—one, through breeding for dwarfs and the other, through use of hybrid heterosis—rice yield level has stagnated for a long time. The third breakthrough in yield should come from breeding for super high yield, to be realized by combining the use of an ideal plant type and the use of growth vigor. Research findings have shown that increasing the biological yield is the material basis, whereas optimizing yield components is the precondition for attaining such a goal. The findings have also indicated that the effective way to develop super high-yielding varieties is to create a plant type and harness the mighty vigor through crossing indica with japonica subspecies, or crossing geographically distant varieties. This two advantages are then consolidated through optimizing the combination of desirable traits via multiple crossing or backcrossing. Based on this theory and method, germplasm with new plant type and super high-yielding japonica varieties have been developed. And grain yield has registered 12~13 t/hm<sup>2</sup>. The most distinctive feature of the varieties is their erect heavy panicle and substantial biomass production. Judging from the perspectives of photosynthetic efficiency and biomass production, such an erect panicle type could be another phenomenal change in adjusting the japonica rice plant type to meet the maximum requirement.

**[Key words]** rice; new plant type; breeding for super high yield

## 表面活性剂与两亲分子有序组合材料的研究现状及发展建议

两亲分子有序组合材料是指由表面活性剂这类两亲分子与其他有机无机化合物一起形成的分子有序聚集层及层间厚度为纳米级, 因而不仅可以提供形成纳米粒子的合适场所, 且其本身亦显示出了许多新奇的性质。近 10 年来, 人们广泛将其用于纳米与纳米结构材料的合成与改性, 药物控释、缓释与剂型转换, 生命科学与酶促反应, 原油降粘及燃油高效低污染应用, 绿色农药制剂的开发及环境治理等, 取得了一系列有价值的成果。对近十几年来表面活性剂与两亲分子有序组合材料的国内外研究现状及发展趋势做了简要介绍, 并对我国在该领域的发展提出了一些建议。

(中国日用化学工业研究院 张高勇)