

中国水稻高产栽培技术创新与实践的成功经验和稻作技术发展趋势

王安平

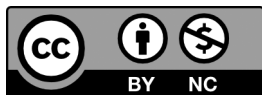
华中农业大学资源与环境学院，武汉

摘要 | 水稻是中国主要粮食作物，也是单产最高的粮食作物。文章利用中国农业统计年鉴数据和国内外文献资料，分析了中国水稻高产栽培技术创新与实践的成功经验、存在问题和稻作技术发展趋势。探讨了中国水稻生产经历的4个阶段的特点，良种良法配套对水稻增产的贡献，不同阶段创新的稻作技术；简述了全球水稻栽培技术发展的特点；回顾了中国矮秆品种、杂交稻及超级稻品种更替及其配套栽培技术创新；剖析了水稻高产栽培存在的新问题；对水稻高产栽培技术的未来发展进行了展望。创新与品种生育特性配套的水稻种植制度、生产模式和环境协调的栽培技术，发挥品种产量潜力和应用，可以实现增产增效，促进水稻产业发展，改善生态环境和提高资源利用效益。

关键词 | 水稻；高产；株型；栽培；技术

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

中国20世纪50年代末育成和推广矮秆水稻品种，与传统高秆品种比较，表现为株高变矮、耐肥抗倒性提高、增穗增产潜力提高，如果采用传统高秆品种的

作者简介：王安平，华中农业大学资源与环境学院，硕士。

文章引用：王安平. 中国水稻高产栽培技术创新与实践的成功经验和稻作技术发展趋势 [J]. 农业科学进展, 2021, 3 (3): 116-124.

<https://doi.org/10.35534/aas.0303015c>

栽培方法，其增产潜力不显著。通过良种良法配套，增加种植密度及增施化肥，大幅提高水稻产量。分析表明矮秆品种的生物产量与高秆品种相似，而收获指数从 0.35 提高到 0.50 左右，提高产量主要依靠收获指数的提高。同时，矮秆水稻品种由于生育期较短，适宜于双季稻等多熟制的创新，提高双季稻面积比例。20 世纪 70 年代末，中国成功实现籼型杂交稻的三系配套及生产应用，采用矮秆常规稻品种的高产栽培方法，杂交稻的增产优势不大。研究表明与改良矮秆常规稻品种相比，杂交稻表现为分蘖力强、根系发达、叶面积大、生物量高及大穗优势，而收获指数几乎与矮秆品种相近，杂交稻增产主要依靠生物产量的提高。根据杂交稻的生长特性，栽培技术上创新了二段育秧，稀播育壮秧，稀植促大穗，大幅提高杂交稻群体生长量和产量。20 世纪 90 年代后期以来，中国开展超级稻计划，选用了一批生长量大、穗大粒多、产量潜力大的超级稻品种，这些品种在新品种区域试验中有的增产不那么显著，但是与相应栽培技术配套，比当地主栽的普通品种相比增产达 10%，甚至更高。栽培学家研究明确了超级稻的中后期营养吸收量和物质生长量大等生长特性，研发了相应的高产栽培技术，实现了超级稻品种高产，推进超级稻品种认定和生产应用，并结合水稻机械化生产，促进超级稻高产高效。目前品种的产量潜力（品种产量）和良种良法配套的高产示范产量达到了较高的水平（高产示范产量），而农民的实际水稻产量（实际产量）还较低，实际单产与品种单产和高产示范单产还有较大差距。究其原因主要是水稻优良品种和高产栽培技术的不配套。实际中水稻生产者仍然较多的沿用传统的栽培技术。这表明中国水稻生产通过良种与良法相配套还存在较大的增产潜力。水稻栽培技术的创新和应用在实现水稻品种增产的同时，优化不同种植制度下茬口品种搭配，确定不同种植方式的品种特点和选用，增强水稻生产抗灾减灾能力，提高肥水利用效率，推进生产规模、种植方式和种植制度发展，带动相关学科的发展和稻农水稻生产技术水平的提升，促进水稻增产增效和环境改善。

2 国外水稻高产栽培技术特点与发展

2.1 水稻高产栽培

全球水稻育种家采用株型改良与杂交优势结合的方法提高水稻产量，国际水稻

研究所分析 20 世纪 60 年代以来的水稻品种产量途径, 及 90 年代育成的新品种产量潜力徘徊现象, 试图根据高产栽培的株型要求改良水稻株型进一步提高水稻品种产量潜力。研究表明理想株型与杂交优势结合可以进一步提高水稻品种产量潜力, 利用热带粳稻的新株型材料作为杂交稻亲本, 获得的杂交稻比普通杂交稻增产 8%—15%。中国在总结长期高产品种选育和栽培研究基础上, 总结出不同稻区和类型理想株型, 并采用理想株型与杂交优势结合, 育成一批高产水稻新品种。农艺学家研究品种对环境的适应性, 采用肥水等调控建立合理群体和理想株型, 并实现水稻高产。针对非洲及东南亚水稻生产中秧龄过长、密度过高及淹水灌溉等问题, 在马达加斯加首先创新了水稻强化栽培技术。其高产基本原理通过干湿灌溉, 在节水的同时改善土壤理化特性, 根据水稻品种生长特性, 采用增施有机肥料和通气除草等措施, 中小苗移栽和适当降低密度, 发挥品种分蘖和大穗优势。虽然该技术在不同地区和技术出现不一致的结果, 但是, 这些高产基本原理和技术与全球的水稻高产栽培技术一致, 在中国水稻高产示范中的应用也取得增产效果。

2.2 水稻肥水高效利用

施肥是水稻增产的重要措施, 增施肥料提高产量的同时, 提高肥料的利用效率引起全球关注。国际水稻研究所研究建立了水稻实地氮肥管理技术 (SSNM), 根据水稻生产氮肥需求量和土壤供氮能力, 并利用 SPAD 等方法建立叶片氮含量诊断指标, 指导水稻氮肥施用量和时期, 提高产量和氮肥效率。水稻是用水量最大的粮食作物, 全球水稻生产受到水资源的制约突出, 研究水稻节水栽培技术实现高产节水是各国研究方向。研发灌溉稻干湿交替 (AWD) 水分管理技术, 以减少水稻水分用量, 提高水分利用效率, 该技术在亚洲主要产稻国广泛应用。在东南亚及南美等地区旱稻和雨灌稻面积较大, 传统的旱稻和雨灌稻产量低, 生产方式比较落后。巴西等国采用保护性耕作方法, 种植旱稻取得很好的增产节水效果, 在不需灌溉稻的灌溉设施和消耗大量灌溉用水的情况下解决稻米需求。国际水稻研究所针对传统旱稻产量低, 而灌溉稻虽然产量高但用水量大的问题, 研发通气水稻品种, 并采用水稻通气栽培, 大幅减少水稻生产的用水量。通气水稻具有旱稻的耐旱性及灌溉稻的产量潜力, 与灌溉稻比较可节水 50%。由于水稻资源的制约, 东南亚灌溉稻生产受到限制, 稻农选择通气水稻和通气水稻栽培, 提高水资源生

产效率。科学家也发现通气水稻栽培管理不当也会出现连作障碍，导致产量下降。

2.3 水稻抗逆栽培

东南亚水稻生产的主要灾害之一是洪涝灾害，为解决这个难题，科学家在印度耐淹水品种 FR13A 中发现 SUB1 基因，并将其转到热带主导水稻品种。这些带有 SUB1 基因的水稻品种能耐两周的淹水，并正常生长，而淹水敏感品种在淹水一周后生长受抑制并死亡。在没有淹水情况下，带有 SUB1 基因的水稻与没有 SUB1 基因的对照品种产量相当，但在淹水条件下，带有 SUB1 基因的品种产量比没有 SUB1 基因的品种高出 $1\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 或更高。耐淹水稻及其生产应用有效解决了易涝地区的水稻生产。在防御水稻洪涝灾害栽培中，除选择耐淹及高产的水稻品种外，还提出水稻受淹后采用清水洗苗，补施肥料，湿润灌溉等栽培技术，加快水稻恢复生长。欧美及南美主要产稻国的水稻种植方式为直播，直播稻多年种植后往往会出现红稻，也叫杂草稻，严重困扰水稻生产。由于红稻和栽培品种具有亲缘关系，具有水稻属性，普通除草剂对红稻没有灭杀效果。红稻造成水稻减产，还影响品质，生产上只能采用机械方法和灭生性除草剂控制红稻。栽培技术上控制杂草稻的主要方法是在水稻播种前通过耕作和灌溉促使杂草稻种子萌发出苗，再采用耕作和除草剂灭杀，或采用移栽方法减少杂草稻发生。美国研究人员发现非转基因抗咪唑啉酮等除草剂水稻，利用该材料选育了抗咪唑啉除草剂水稻品种，这些品种称为 Clearfield 水稻。种植 Clearfield 水稻的稻田中，当发现红稻时，可施用咪唑啉酮等除草剂将红稻灭杀，而 Clearfield 水稻不受影响。这类除草剂在控制红稻的同时，能有效防除稗草、杂草稻及其他大多数阔叶杂草与莎草科杂草，从而降低除草剂用量。该技术的发明有效解决红稻对水稻产量和品质的影响。在非洲水稻生产中主要问题是干旱、土壤地力低、杂草严重，育种和栽培科学家通过亚洲栽培稻与非洲栽培稻杂交育成非洲新水稻（NERICA），非洲新水稻保留非洲栽培的抗旱、耐低营养和与较强的杂草竞争能力等特性，且表现亚洲栽培稻的高产性状，该类型品种及其栽培技术应用提高了西非和中非的水稻产量。

2.4 水稻生产机械化

社会经济发展及农村劳动力向城镇转移，发达国家及部分发展中国家推进

水稻生产机械化,提高劳动效率和节约成本。水稻生产的耕作和收获环节,很多国家基本实现了机械化,但水稻种植环节,不同国家的机械化水平和方式存在很多差异。欧美、澳大利亚、日本、韩国等基本实现了从播种到收割各环节的信息技术和机械化生产相结合的现代水稻生产。

3 中国水稻高产栽培技术发展回顾

3.1 矮秆品种配套高产栽培

所谓水稻“三黄三黑”是指运用肥水管理措施实现水稻生长过程中叶色三次浓黑、淡黄交替变化,从而构建合理的高产群体结构。“三黄三黑”高产栽培的核心是在分蘖期、节间开始形成到幼穗分化期、穗发育期等三个时期,通过肥水等栽培措施,实现水稻生长发育的三次黑黄交替变化,分别促进“发棵”“壮秆”“长穗”,从而达到高产。南方的早稻和双季晚稻以及北方的中早熟品种,因其生育期短,穗分化和节间形成同时开始,甚至与分蘖末期相重叠,所以一般只出现“两黑两黄”,即没有圆秆拔节期的一次黄黑变化。“随着中国矮秆品种的选育与推广,相配套的高产栽培技术以增密、增肥、增穗为主导。为保障粮食安全,扩大水稻种植面积,中国南方稻区大力发展双季稻生产,提高稻田单位面积的产量,针对长江中下游双季稻生长季节紧张等问题,创新了薄膜育秧等技术,利用薄膜覆盖育秧,增温保湿、防止烂秧、提高成秧率,实现早稻提早播种,缓解了双季稻生产的季节紧张和品种搭配问题。同时,采用壮秧密植、增施化肥等技术,解决了双季稻高产形成过程的穗数及粒数不足等问题,为促进双季稻在中国南方稻区的推广应用及高产打下了基础。

4 水稻高产栽培存在的问题

4.1 水稻种植机械化水平低,农机与农艺措施不配套

中国社会经济发展、农村劳动力转移和成本提高及水稻生产规模化的新情况下,迫切需要水稻生产机械化。近年来,中国水稻机械化发展很快,主产区

水稻生产耕作和收获基本实现机械化,但是,存在种植机械化水平和程度还较低,区域间及季节间差异大,水稻施肥和植保机械化水平还较低,及耕作和收获的机械化与种植机械化不配套等问题。近年来,在国家政策的支持下,中国的水稻生产机械化发展迅速,其中整地和水稻收获环节机械化水平较高,种植环节机械化水平还很低,2014年全国水稻机械化种植水平只达到38%左右。

水稻种植环节机械化主要是机械化移栽和机直播,水稻钵形毯状机插技术作为水稻机插新技术,其年推广面积超过 $4.5 \times 108\text{hm}^2$ 。机直播和机械化摆栽约占水稻种植面积2%左右。目前中国水稻种植逐渐向机械化、规模化和社会化服务方向发展。水稻种植机械化存在农机与农艺不配套的问题。机械化种植和耕作技术结合的不够紧密,水稻田机械平地质量较差,从而造成机插效果不佳。由于生长季节比较紧张,双季稻机插主要存在早晚稻品种搭配问题,需选择生育期适宜的品种,减少早稻苗期倒春寒和晚稻中后期寒露风的危害。单季稻中杂交稻品种面积大,发展杂交稻机插秧技术必须解决好目前育秧用种量过多的问题,降低育秧用种量,实现杂交稻双本精量机插。

4.2 水稻肥水利用效率低

化肥的施用是农业发展史上一次重大变革,它极大地提高了农作物的产量,缓解了全球的粮食紧张局面。水稻生产中肥水是高产栽培的主要手段,但是,过量的肥水不仅会造成减产、减低品质,增加成本,还污染环境。中国氮肥消费量占世界氮肥总量的30%,水稻生产所消耗的氮肥占世界水稻氮肥总消耗量的37%。中国水稻生产氮肥施用量较生产水平相当的产稻国高30%—50%,造成其利用率较低。中国水稻生产氮肥用量大及利用较低,与水稻品种耐肥性较强、土壤地力、肥料类型、施肥及水分管理等多方面有关。研究表明,在中国稻田碳酸氢铵氮肥的吸收利用率低于30%,尿素为30%—40%,中国稻田氮肥吸收利用率为30%—35%,部分省份如江苏水稻的氮肥吸收利用率仅19.9%,远低于全国平均水平。南方六省农田氮素盈余高达50%—190%,且有继续增大的趋向。中国肥料利用效率不高的主要原因在于长时间以高产为导向,大部分品种高产性能只有在高肥水条件下才能表现出来,另外肥料类型比较单一,大部分属于

速效肥，肥料损失很大。中国淡水资源整体上是南多北少，水资源南北分布差异很大。北方地区土地面积占全国的63.7%，耕地面积为全国的62.2%，而水资源总量却只占全国的20.11%。近年来，北方水稻面积在不断增加，限制北方水稻发展的关键问题是水资源短缺，因此如何合理有效利用淡水资源是北方水稻稳产的关键问题。

4.3 水稻灾害防控能力差

中国水稻种植区域跨度大，种植制度多样，易遭受多种灾害天气的影响，主要包括高低温、干旱和洪涝灾害。长江中下游稻区水稻开花结实期间经常遇到异常高温，易造成早稻高温逼熟，单季稻结实率大幅度下降。

5 水稻高产栽培技术发展展望

5.1 水稻良种良法配套栽培

中国水稻生产从高秆品种到矮秆品种，从矮秆品种到杂交稻及近年的超级稻对产量提高和稳定的贡献均得益于良种良法配套。育种技术的进步加快水稻品种类型和品种的选育及应用，不同类型品种生育特性差异较大，且中国稻作技术和生产方式转型，更加需要良种良法的配套，使品种适用于适宜生态区、种植制度和种植方式。水稻良种良法配套已从传统的先有品种，后配套栽培技术的方式，转变为育种与栽培研究互动，按需求目标选育品种。近几十年来，随着水稻规模化生产和机械化作业的发展，全球气候变化引起的自然灾害频发，土壤结构和肥力衰退，水资源短缺，肥药用量大及利用效率不高等新状态，更加需要加强育种与栽培学科联合来解决问题。水稻栽培技术研究也正在从传统的高产高效优质为主要目标，发展到高产高效优质生态安全的综合生产目标。

5.2 水稻生产机械化

水稻机械化重点解决水稻育插秧模式、装备和技术，双季稻和杂交稻的机

插技术, 杂交稻制种技术, 机械化施肥施药技术, 及主要环节机械化作业的配套。特别是创新精量播种、取秧和机插, 深施肥与机插一次作业, 机插集中育供秧模式和技术, 及选育适宜机插品种, 探索适宜地区的机械直播技术, 加快推进水稻规模化生产、机械化作业和社会化服务。

5.3 水稻肥水高效管理

水稻生产降低氮肥用量, 提高氮肥效率, 实现增产高效, 需要选育氮敏感和高效品种, 改善和培育稻田结构和地力, 研发新型肥料和施肥方法, 创新通气耕作、肥水一体化管理和合理密植等栽培技术。中国的水稻水分管理研究已经取得很好进展, 但是, 水稻种植方式、品种特性、作业方式的发展和演变, 还有盐碱地、重金属地区的水稻生产, 需要创新配套的新型水分管理模式和技术, 提出定量化、指标化的水分管理模式。

5.4 水稻灾害防控体系

中国水稻种植区域广阔, 全球气候变化及水稻种植制度的演变, 及新类型品种育成和推广, 呈现水稻生产灾害频发重发。中国水稻生产自然灾害主要有高低温、干旱和洪涝。重点建立水稻高低温、干旱和洪涝灾害品种耐性鉴定方法、评价标准和灾害损失评估方法, 选育抗灾品种, 创新避灾抗灾水稻种植制度, 研究水稻高低温、干旱和洪涝等灾害的预警和抗灾减灾技术, 建立品种、环境和技术结合的危害防控技术体系。

参考文献

- [1] 颜振德. 杂交水稻高产群体的干物质生产与分配的研究 [J]. 作物学报, 1981, 7 (1): 11-18.
- [2] 蒋彭炎, 冯来定, 姚长溪. 从水稻稀少平栽培法的高产效应看栽培技术与株型的关系 [J]. 中国水稻科学, 1987, 1 (2): 111-117.
- [3] 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 [J]. 作物学报, 1995, 21 (4): 463-469.

Successful Experience of Innovation and Practice of High Yield Rice Cultivation Technology and Development Trend of Rice Cultivation Technology in China

Wang Anping

College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan

Abstract: Rice is the main grain crop in China, and also has the highest yield per unit area. In this paper, the successful experience, existing problems and development trend of high yield rice cultivation techniques in China were analyzed based on the data of Chinese agricultural statistical yearbook and literature at home and abroad. The characteristics of the four stages of rice production in China, the contribution of the combination of good varieties and good methods to the increase of rice production, and the innovative rice cultivation techniques in different stages were discussed. The characteristics of the development of rice cultivation techniques in the world were summarized. The replacement of dwarf rice, hybrid rice and super rice varieties in China and the innovation of supporting cultivation techniques were reviewed. New problems existing in high yield cultivation of rice were analyzed. The future development of high yield rice cultivation technology was prospected. The innovation of rice planting system, production mode and cultivation technology coordinated with the growth characteristics of rice varieties, and the application of rice yield potential can realize the increase of yield and efficiency, promote the development of rice industry, improve the ecological environment and improve the utilization efficiency of resources.

Key words: Rice; High yield; Plant type; Cultivation; Technology