



对转型时期水稻生产的战略思考

彭少兵

华中农业大学植物科学技术学院, 作物遗传改良国家重点实验室, 武汉 430070

E-mail: speng@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2014-05-10; 接受日期: 2014-06-15

公益性行业(农业)科研专项(批准号: 201203096)、长江学者和创新团队发展计划(批准号: IRT1247)资助

doi: 10.1360/052014-98

摘要 我国的水稻生产正处于前所未有的转型时期, 本文从是否有必要追求单季超高产、转型时期水稻生产的种植模式如何创新、栽培技术的轻简化和机械化如何配合种植模式的创新、品种改良如何适应栽培技术的轻简化和机械化等 4 个方面对转型期的水稻生产进行战略思考. 在农机与农艺结合、种植模式创新、水稻育种策略、品种评价和审定标准方面给予技术和政策上的建议.

关键词

水稻
栽培技术
产量
种植模式
机械化
育种

水稻(*Oryza sativa* L.)、玉米(*Zea mays* L.)和小麦(*Triticum aestivum* L.)是我国三大主要粮食作物, 稳定提高三大粮食作物的总产是保障我国粮食安全的核心. 从 2007 年起, 玉米的播种面积超过水稻, 2012 年玉米的总产首次超过水稻(图 1), 从此水稻、玉米和小麦三大主要粮食作物的排序发生变化, 玉米取代水稻成为我国第一大粮食作物. 由于玉米是 C_4 作物, 其产量潜力大于 C_3 作物水稻, 玉米比水稻生产较易实现全程机械化, 以及消费者食品结构的改变, 玉米与水稻总产的差距会有增加的趋势. 但是, 水稻作为我国第一大口粮作物的地位在短期内不会发生改变.

近年来, 尽管水稻的单产仍在继续增加, 但是增产的幅度趋缓(图 1). 现阶段水稻生产面临着许多新问题和新的挑战. 农村劳动力短缺、劳动力结构发生改变, 美国布朗先生担忧的“谁来养活中国人”变成了“谁来耕种中国田”; 农业生产成本增长过快, 表现在

主要的农业生产资料如种子、化肥的价格不断上涨, 水稻生产的收益微乎其微, 严重地影响农民种粮的积极性; 国家要产量, 但是农民要效益, 精耕细作不再现实; 国家农业政策的调整, 土地的有序流转, 必然带来生产规模的扩大, 轻简化和机械化的栽培管理方式成为大规模作物生产的唯一出路; 消费者环境保护和食品安全意识加强, 通过大肥、大水、大量农药和劳动力投入来提高作物产量的方法已不太可能. 这些新问题和新的挑战的出现意味着我国水稻生产正面临着重大转型. 应对重大转型, 需要主动求新、求变和创新, 需要从结构形态、运转模型到思想观念上产生根本性转变. 因此, 本文从以下 4 个方面对转型期的水稻生产进行战略思考: (i) 还有必要追求单季超高产吗? (ii) 转型时期水稻生产的种植模式如何创新? (iii) 栽培技术的轻简化和机械化如何配合种植模式的创新? (iv) 品种改良如何适应栽培技术的轻简化和机械化?

引用格式: 彭少兵. 对转型时期水稻生产的战略思考. 中国科学: 生命科学, 2014, 44: 845–850

Peng S B. Reflection on China's rice production strategies during the transition period. SCIENTIA SINICA Vitae, 2014, 44: 845–850, doi: 10.1360/052014-98

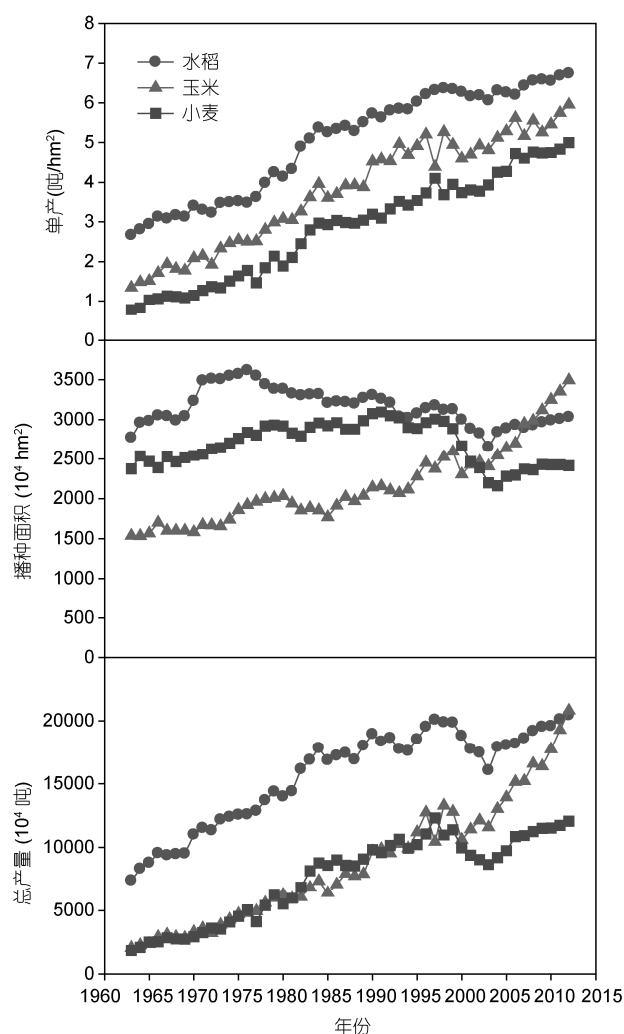


图1 我国水稻、玉米和小麦三大主要粮食作物的单产、播种面积和总产变化趋势

(FAOSTAT, 2014:

<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>)

1 还有必要追求单季超高产吗?

品种的改良和栽培管理技术的优化使我国水稻单产达到了很高的水平, 为保障我国粮食安全发挥了重大作用. 在水稻单产水平较低的情况下, 提高化肥和人工投入(精耕细作)对提高产量效果明显. 但是, 在现有的高水平单产条件下, 通过增加投入来追求单季超高产会带来一系列的问题. 首先, 单季超高产给作物本身带来很大的压力, 这是因为超高产作物一般秆高、群体大、叶片氮浓度高, 导致群体的呼吸消耗大、病虫害和植株倒伏危害的风险增加^[1], 其结果可能是单产不升反降, 同时还会降低作物的资源

利用效率和稻米品质. 更重要的是, 通过加大农业生产资料和劳动力的投入来追求单季超高产会降低经济效益, 导致农民增产不增收, 以及污染和破坏稻田生态环境.

国外相关研究表明, 全球水稻、玉米和小麦主要产区的平均产量仅接近或达到当地气候产量潜力的80%^[2,3], 到目前为止, 还没有一个地区粮食作物的产量水平超过当地气候产量潜力的80%. 当一个国家水稻大面积生产的平均产量接近水稻产量潜力的80%时, 这个国家的水稻平均产量就开始徘徊不前. 在这种情况下, 进一步提高水稻平均产量的最佳途径是通过作物改良进一步提高作物的产量潜力. 在作物生产过程中, 农民追求的是收益最大化, 而不是产量最大化. 大量的研究证明, 作物产量达到产量潜力的80%时, 作物生产的经济效益最高.

提高作物的总产有3条途径: (i) 提高单位面积的单季产量, 也就是单产; (ii) 增加耕地面积; (iii) 提高复种指数^[4]. 在水稻生产中, 单季超高产和缩小产量差(yield gap)的目的都是为了提高水稻总产, 但是后者对提高水稻总产的作用更明显. 缩小产量差是通过优化栽培管理技术和改造中、低产田来减小中、低产田块与高产田块的产量差, 实现均衡增产. 当然, 通过各种作物改良的技术途径提高水稻品种的产量潜力, 并研究与之配套的栽培管理技术来最大程度地发挥其产量潜力是提高水稻单产最有效的途径^[5], 也是水稻科研人员永远面临的课题. 在我国, 通过增加耕地面积来提高作物的总产是不现实的. 但是, 可以通过提高复种指数来增加作物的播种面积、提高作物的总产.

国外学者最近提出, 相对于通过增加单产和耕地面积来说, 通过提高复种指数或收获频次(harvest frequency)提高作物总产更有利于减少对生态环境的影响^[4]. 他们的研究表明, 全球实际收获频次与气候条件所允许的理论收获频次之间还有很大的差距, 这个差距定义为收获差(harvest gap). 收获差的存在说明通过提高复种指数或收获频次来增加全球作物总产还有很大的空间. 我国的复种指数是全世界最高的国家之一, 我国只用全世界10%的耕地, 却养活了占全球20%的人口. 由于劳动力的短缺和生产成本的增加, 我国的复种指数近年来有下降的趋势. 近6年, 我国水稻的播种面积虽然增加了5%, 达到3033×10⁴ hm², 但是离历史上水稻播种面积最高的

1976 年($3620 \times 10^4 \text{ hm}^2$)还有很大的差距(图 1). 转型时期水稻生产需要种植模式的创新, 其目的是通过增加水稻的播种(或收获)面积来提高水稻的总产, 从而实现从“向单季要产量”到“向系统要产量”的战略转变.

2 转型时期水稻生产的种植模式如何创新?

转型时期水稻种植模式创新的总体原则是: 在总产不降低甚至增加的前提下, 降低劳动力投入和减轻劳动强度, 不增加农资投入, 稳定地保障水稻生产利润, 通过提高复种指数或收获频次来降低甚至消除单季作物追求超高产的压力和风险. 再生稻和双季稻双直播就是在上述原则下对水稻生产的种植模式进行的重大创新, 对于提高水稻的总产具有非常好的应用前景.

2.1 再生稻

再生稻是指头季收获后, 利用稻茬上存活的休眠芽, 采取一定的栽培管理措施使之萌发为再生蘖, 进而抽穗、开花、结实, 再收获一季水稻的种植模式^[6]. 再生稻有利于增加产量, 促进农民增收, 缓解农忙与减轻劳作强度^[7], 是实现灾年减灾的有效措施. 此外, 再生季稻米品质比头季稻米优良. 中国目前再生稻生产主要分布于四川、重庆、福建、湖北、江西、云南、贵州、广西、湖南等地^[8]. 全国再生稻的再生季平均产量仅 2250 kg/hm^2 左右, 不同区域之间差异较大, 高产地区如福建尤溪再生季产量达到 8805 kg/hm^2 , 头季加再生季产量 19305 kg/hm^2 ^[9]. 再生稻技术的研究和推广基本上是由基层农业技术推广人员和农民自发开展的. 由于这一模式的效益比较突出, 能保证在增产的前提下真正增收, 因而在推广中广受农民欢迎.

目前, 湖北省再生稻推广面积约为 $4.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 分布在黄冈、荆州、孝感、咸宁和荆门等地市. 在荆州市, 种植再生稻的县市区由 2011 年的 2 个增加到 2013 年的 6 个, 种植面积也由 2011 年的 $1.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增加到 2013 年的 $1.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$. 2013 年, 对黄冈市蕲春县赤东镇再生稻高产示范片头季和再生季进行了测产验收, 结果表明, 采用再生稻栽培技术模式, 头季稻大面积平均产量 9765 kg/hm^2 , 头季机收和人工收获的再生季平均产量分别达到 5207 和 6618 kg/hm^2 ,

周年产量接近或达到 15000 kg/hm^2 .

在生产实践中发现, 影响我国再生稻发展的关键制约因素包括: (i) 头季稻机械收割对稻桩碾压破坏面积过大, 降低了再生季的产量, 需要研制压痕小的再生稻专用收割机; (ii) 适合再生稻机械化生产的栽培技术研究薄弱; (iii) 适合于机械化生产、高产优质且再生力强的品种不多; (iv) 粮食补贴政策不配套. 各地针对水稻生产的各类补贴中, 再生稻模式只能获得头季惠农补贴, 再生季目前不享有任何补贴.

2.2 双季稻双直播

双季稻是提高水稻复种指数的有效措施, 为我国的粮食安全做出了重大贡献. 但是, 由于劳动强度大、经济效益低, 农民种植双季稻的积极性下降, 导致双季稻的面积逐年减少. 据报道, 1998~2006 年, 我国双季稻区至少有 $174 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的双季稻被改为单季稻, 导致水稻的种植面积和水稻总产显著减少^[10]. 为了迅速扭转双季稻面积下降的局面, 各级政府部门大力推动早稻集中育秧. 但是要从根本上调动农民种植双季稻的积极性, 轻简化和机械化种植双季稻是唯一的途径.

传统的双季稻生产劳动强度大主要是因为每年两次育秧和两次移栽, 如果早晚稻都采用直播(包括湿直播和旱直播), 可以显著减少双季稻的劳动力投入及劳动强度, 有利于实现水稻生产的全程机械化. 此外, 通过中等目标产量的双直播双季稻来降低甚至消除单季水稻追求超高产的压力是水稻生产的一种风险管理策略. 早在 20 世纪 70~80 年代, 我国就已经开始有双季稻双直播的探索^[11,12]. 自 90 年代起, 许多农业科技人员从双季直播稻的产量性状^[13]、栽培技术^[14,15]以及种子包衣技术^[16]等方面进行了广泛研究. 21 世纪初以来, 又从品种搭配^[17]、适宜用种量^[18]、经济效益^[19,20]等方面进一步研究了双季稻双直播体系. 然而, 到目前为止, 我国双季稻双直播的推广面积很小, 仅分散在温光资源较好的湖南、浙江和江西等地. 其主要原因是缺乏生育期短而产量高, 早稻苗期抗寒、晚稻生育后期抗寒, 适合于双季稻双直播的专用品种或早晚稻兼用型品种. 另外, 一播全苗、杂草管理、肥水管理等配套技术还不够完善, 严重地影响了双季稻双直播的产量发挥以及产量的稳定性.

包括湖北在内的华中单、双季稻作区的大部分地区的温光资源丰富，适宜于双季稻种植。但是在这些地区推广双季稻直播就要求缩短早、晚稻品种的生育期，使水稻品种的生育期在 90 天左右。品种的生育期缩短无疑会降低其产量潜力，必须通过提高这些品种的日产量来减轻生育期缩短对产量的负面影响。对于生育期短的品种，早发、苗期叶面积快速生长和高分蘖速率都有助于提高日产量。另外，一播全苗需要提高品种发芽期的耐寒和耐厌氧的能力，这些必须通过品种改良或种子包衣技术来实现。

3 栽培技术的机械化和轻简化如何配合种植模式的创新？

机械化和轻简化栽培是今后我国作物生产的唯一出路。种植模式的创新必须有机械化和轻简化的栽培技术作保证，否则，新的种植模式不会有生命力。同时，机械化和轻简化栽培技术会推动种植模式的创新。从精耕细作到轻简栽培会导致单产的降低，但是在当前的转型时期不一定会导致总产的降低，反而有可能通过增加种植面积提高总产(图 2)。如果能实现农机与农艺的有效结合并选用适合于机械化栽培的品种，机械化栽培的单产有望达到精耕细作的水平。另外，同精耕细作相比，机械化栽培有可能通过缩小田块之间以及田块之内的产量差来提高作物的总产。

水稻生产过程主要包括整田、作物建立(crop establishment)、田间管理和收获，而田间管理包括水、肥、病、虫、草的管理。在这些过程中只有作物建立与种植模式关系最为密切，因此种植模式的创新迫切需要作物建立的机械化和轻简化。水稻作物建立

的方法很多(图 3)，这些操作可以靠人工或机械完成。除了水直播外，其他的种植方式在我国水稻生产上都有应用。表 1 是我国水稻生产上常用的作物建立方法，其在省工、操作简易程度、技术含量方面均存在很大的差别。农民选择作物建立的方法受经济效益、生产规模、品种特性、土壤条件、水分条件以及农作习惯的影响，这些因素也决定了新的种植模式中作物建立方法的选择。中国不同水稻生产区域的生态条件和社会经济状况差异很大，导致作物种植模式以及作物建立方法的多样化。在种植模式的创新过程中，不能将作物建立的方法单一化，要发展更多的机械化和轻简化程度不同的作物建立方法供农民选择。

栽培技术机械化和轻简化的新型种植模式有可能在水稻生产上带来新的问题。例如，水稻旱直播连作引起的杂草稻(weedy rice)问题，对水稻的产量和品质都有严重的影响。因此，在评价栽培技术的机械化和轻简化带来的新型种植模式时，除了考虑产量、经济效益、生态环境影响，还要综合考虑整个系

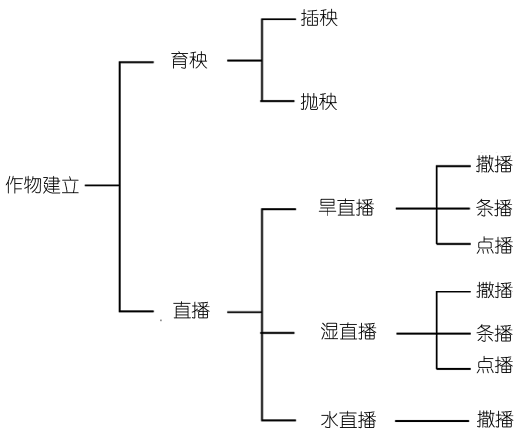


图 3 水稻作物建立方法的分类

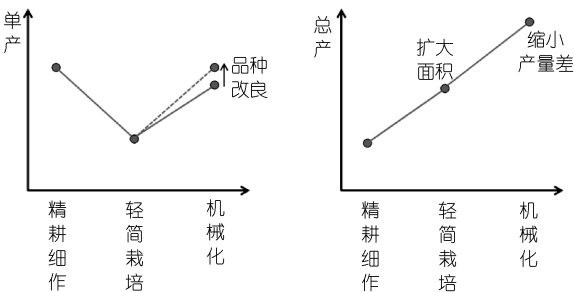


图 2 精耕细作、轻简化和机械化栽培技术对水稻单产和总产的影响

表 1 常用作物建立方法在省工、操作简易程度、技术含量方面的比较^{a)}

作物建立	省工	操作简易	技术含量
人工插秧	6	3	4
人工抛秧	5	2	5
机械插秧	4	6	1
机械旱直播	3	4	3
机械湿直播	2	5	2
人工撒播	1	1	6

a) 1 分别代表最省工、最易操作、技术含量最高

统的稳定性和持续性(sustainability).

4 品种改良如何适应栽培技术的轻简化和机械化?

选育适应轻简化和机械化栽培技术的水稻品种可以减少轻简化栽培造成的减产和进一步提高机械化栽培的产量水平. 适合于轻简化和机械化栽培的品种特征有: 早发、前期营养生长快速(以限制杂草生长)、分蘖力强、穗数多、生育期短、感光性和感温性弱、生态适应性广、日产量高和养分利用率高等. 这些品种特征与 Zhang^[21]构想的绿色超级稻的绿色性状不谋而合. 绿色超级稻除了要求高产、优质外, 还要基本不打农药、少施化肥、节水抗旱, 使水稻生产能够实现“高产高效, 资源节约, 环境友好”^[22].

绿色超级稻不过分追求超高产, 其绿色性状有利于减少投入, 提高资源利用效率, 保护生态环境. 表 2 是绿色超级稻与超级稻在育种途径、品种性状、产量水平、适宜的条件等方面的比较. 除此以外, 超级稻需要精细管理才能充分发挥其产量潜力, 而绿色超级稻则在粗放管理条件下产量下降相对较少. 因此, 绿色超级稻更适合于轻简化和机械化栽培技术, 符合转型时期水稻生产的要求. 另外, 绿色超级

表 2 超级稻与绿色超级稻在育种途径、品种性状、产量水平、适宜的条件等方面的比较

	超级稻	绿色超级稻
育种途径	理想株型育种	绿色性状的聚合
株型	中等分蘖力、大穗、株型高大	高分蘖力、多穗、中等株高
生理性状	提高最适叶面积指数、增加光照拦截、高干物质生产	高干物质转运效率、高结实率、高收获指数
产量水平	超高产田块的创建	大面积的高产和稳产
适宜田块	高地力田块	中、低地力田块
适宜生态条件	温光资源充足	温光资源有限
投入水平	生产资料高投入	生产资料中低投入

稻比超级稻更能应对全球气候变化. 目前尽管还没有绿色超级稻品种审定和推广, 但绿色超级稻通过传播一些理念已经开始对我国水稻生产产生影响.

绿色超级稻与超级稻的另一个区别是超级稻只是一类品种, 而绿色超级稻不只是具有绿色性状的一类品种, 它还代表一种种植方式, 一种高效环保的栽培管理方式. 绿色超级稻品种的绿色性状可分为狭义的绿色性状和广义的绿色性状. 狭义的绿色性状包括养分高效、节水抗旱、抗病虫害等; 适合于轻简化和机械化栽培的品种特征属于广义的绿色性状, 如早发、生态适应性广、干物质转运高效、高结实率和高收获指数等.

在育种策略、品种评价标准与审定政策上, 下面的建议有助于促进品种改良适应栽培技术的轻简化和机械化: (i) 大力推动公益性的常规稻育种, 因为适合于轻简化和机械化的栽培技术一般用种量加大, 使用杂交稻品种会增加生产成本; (ii) 引进国际上常用的农民参与式选种(participatory variety selection, PVS), 以满足农民对水稻品种的要求; (iii) 品种的产量评价标准除了用单季产量, 还要综合考虑日产量和周年产量; (iv) 品种审定标准和渠道多元化, 否则适合于轻简化和机械化栽培技术、具有绿色性状、受农民欢迎的优良品种就无法脱颖而出, 育种工作者也没有积极性去培育这样的品种.

总之, 水稻生产由于投入大、经济效益低、对环境污染大、提高单产的空间小, 超高产不应该是继续追求的目标. 应该通过种植模式的创新来减少单季的风险, 提高种植系统的周年产量. 种植模式的创新依赖于栽培技术的机械化和轻简化, 轻简化和机械化栽培是稳定复种指数, 保证粮食安全的唯一出路. 品种改良的策略与品种审定的政策都应该服务于种植模式的创新以及轻简化和机械化栽培技术的推广应用.

参考文献

- 1 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略. 中国农业科学, 2002, 35: 1095–1103
- 2 Cassman K G. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. Proc Natl Acad Sci USA, 1999, 96: 5952–5959
- 3 Lobell D B, Cassman K G, Field C B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annu Rev Environ Resour, 2009, 34: 179–204
- 4 Ray D K, Foley J A. Increasing global crop harvest frequency: recent trends and future directions. Environ Res Lett, 2013, 8: 44041–44050

- 5 Peng S, Khush G S, Virk P, et al. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. *Field Crops Res*, 2008, 108: 32–38
- 6 朱永川, 熊洪, 徐富贤, 等. 再生稻栽培技术的研究进展. *中国农学通报*, 2013, 29: 1–8
- 7 谢华安. 超级稻作再生稻高产栽培特性的研究. *杂交水稻*, 2010, 25: 17–26
- 8 李经勇, 张洪松, 唐永群. 中国再生稻研究与应用, 2009, 5: 88–92
- 9 张上守, 卓传营, 姜照伟, 等. 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: 1–6
- 10 辛良杰, 李秀彬. 近年来我国南方双季稻区复种的变化及其政策启示. *自然资源学报*, 2009, 24: 58–65
- 11 华中农学院农学系植保专业一年级双季稻直播试验小组. 一九七二年双季稻直播高产试验总结. *华农科技*, 1973, 7: 27–29
- 12 景德镇农科所. 双季稻直播试验简报. *江西农业科技*, 1979, 1: 9–11
- 13 李秀棋, 金龙光, 周卢泽, 等. 浙南沿海地区杂交水稻双季直播的生育特点及栽培技术. *浙江农业科学*, 1998, 3: 16–18
- 14 徐正浩, 丁元树, 徐静燕. 双季直播稻的技术关键与应用前景. *中国稻米*, 1995, 3: 15–17
- 15 顾掌根, 杨志根. 双季直播稻栽培技术研究初报. *福建稻麦科技*, 1998, 3: 12–13
- 16 程旺大, 陆建贤, 顾掌根. 水稻专用种衣剂在双季直播稻上的应用. *上海农业科技*, 1997, 4: 43–44
- 17 程乐根, 周志平, 曾建国, 等. 湘北早晚稻双季直播品种搭配研究. *中国稻米*, 2009, 3: 45–48
- 18 程乐根, 李安德, 黄建余, 等. 洞庭湖区双季稻直播适宜用种量研究. *作物研究*, 2010, 2: 80–82
- 19 方宝华, 夏胜平, 刘云开, 等. 洞庭湖区水稻双季直播模式研究. *湖南农业科学*, 2009, 7: 27–30
- 20 房玉伟, 吉洪湖, 薛占奎, 等. 金华市双季稻稻作方式现状及发展趋势. *杂交水稻*, 2013, 4: 1–4
- 21 Zhang Q F. Strategies for developing green super rice. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, 104: 16402–16409
- 22 张启发. 绿色超级稻的构想与实践. 北京: 科学出版社, 2009

Reflection on China's Rice Production Strategies During the Transition Period

PENG ShaoBing

National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

China's rice production is in the unprecedented period of transition. In this article, we raise four strategic questions: Is it still necessary to pursue super high yields? How to develop new rice cropping systems that are suitable for the transition period? How to facilitate the innovation of rice cropping systems by promoting mechanization and simplification of crop management practices? How to breed new rice varieties that are adapted to the mechanization and simplification of crop management practices? For smoothly going through the transition period, suggestions concerning techniques and policies are provided on the mechanization of crop management practices, innovation of rice cropping systems, rice breeding strategies, and varietal evaluation and release procedures.

rice, crop management practice, yield, cropping system, mechanization, breeding

doi: 10.1360/052014-98