

全球水稻生产现状与制约因素分析

朱德峰, 程式华, 张玉屏, 林贤青, 陈惠哲

(中国水稻研究所, 水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310006)

摘要: 【目的】分析全球水稻生产现状及其制约水稻生产的主要因子, 探讨提高水稻产量的主要途径。【方法】采用全球水稻生产资料定量分析水稻面积和单产变化及其对总产贡献, 及制约水稻生产的主要因素。【结果】全球水稻生产自 1961 年至 2006 年, 由于复种指数提高, 面积增长 32%, 年均增长 0.61%。单产提高 1.21 倍, 年均增长 1.82%, 单产提高主要依靠矮秆品种和杂交稻及其配套栽培技术的推广, 灌溉设施改善和化肥施用。总产增长 1.92 倍, 年均增长 2.46%。水稻总产增长中, 由面积增长贡献 27%, 由单产提高贡献 73%。20 世纪 60 年代以来全球水稻面积年增长率呈现逐年下降趋势。近年来水稻单产的增长率逐年变小, 20 世纪 80、90 年代和 2000 年以来分别为 2.58%、0.98% 和 1.16%。面积下降和单产增长率变小导致总产增长率下降, 20 世纪 80、90 年代和 2000 年以来总产年均增长率分别为 2.73%、1.48% 和 0.88%。制约水稻生产的主要因子是, 水稻生产技术对单产提高的贡献率下降, 病虫害危害及自然灾害频繁, 多熟制生产系统水稻单产下降, 水稻生产效益低。【结论】提高水稻产量的主要技术对策是改良水稻品种和扩大杂交稻应用, 在非洲推进非洲新水稻应用, 推广水稻集成栽培技术弥合水稻产量差异, 发展水稻机械化生产技术及政府加大对水稻生产的政策支持。

关键词: 水稻生产; 产量差异; 制约因子; 杂交稻; 非洲新水稻; 机械化生产; 全球

Analysis of Status and Constraints of Rice Production in the World

ZHU De-feng, CHENG Shi-hua, ZHANG Yu-ping, LIN Xian-qing, CHEN Hui-zhe

(State Key Laboratory of Rice Biology, China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006)

Abstract: 【Objective】 An approach to increase rice yield and production was discussed through analysis of the status of rice production and the main constraints limiting rice production in the world. 【Method】 Changes of rice planting area and yield and its contribution to production, and the main factors limiting rice production were analyzed. 【Result】 In the period from 1961 to 2006, rice planting area increased by 32% mainly due to the increase of the double cropping system, yield increased by 1.21 times mainly due to the application of semi-dwarf variety and hybrid, and its accompanying cultivation technology, improvement of irrigation system and chemical fertilizer application that resulted in the increase of rice production by 1.92 times. Planting area increase contributed to 27% and yield increase to 73% of the increase of rice production. Since 1960s of the 20th century, the annual growth rate of rice planting area decreased significantly. The annual growth rate of yield is becoming small. It is 2.58%, 0.98% and 1.16% respectively in 1980s, 1990s and after 2000. The decrease of annual growth rate of rice area and yield resulted in the decrease of annual growth rate of rice production. The annual growth rate of rice production is 2.73%, 1.48% and 0.88%, respectively, in 1980s, 1990s and after 2000. The factors limiting rice production mainly are low contribution of rice production technology to yield increase, more frequency of pest damage and natural disaster, yield declining in multiple-cropping system and low production profit. 【Conclusion】 To increase the global rice yield, there is a great need for breeding of high-yielding variety and hybrid, practice of new Africa rice varieties in Africa, development of integrated rice management technology to reduce the yield gap and mechanized rice production technology, and enhancement of policy support for rice production.

Key words: rice production; yield gap; constraints; hybrid; new Africa rice; machine production; global

收稿日期: 2009-03-03; 接受日期: 2009-10-19

基金项目: 国家“863”项目(2007AA10Z229, 2007AA10Z220)、中国水稻产业体系项目(2007-2012)、超级稻配套栽培技术开发与技术集成(2006-2008)

作者简介: 朱德峰, 研究员, 博士。Tel: 0571-63370373; E-mail: zhudfcnri@gmail.com

0 引言

【研究意义】水稻是全球近 50% 人口的主要粮食作物，其中 90% 的水稻产于亚洲，并在亚洲等发展中国家消费^[1]。水稻生产对保障全球粮食安全，减少贫困人口和农村就业发挥重要作用。然而，水稻也是全球用水量最大的灌溉作物，亚洲 80% 淡水用于水稻灌溉，水稻生产的肥水资源利用效率低，水稻生产的生态效应也已引起广泛的关注^[2-4]。【前人研究进展】20 世纪 60 年代以来，以矮秆品种推广、灌溉设施改善和化肥广泛应用为核心的绿色革命，实现了水稻单产和总产的较快增长^[5-7]。60 年代至 80 年代，水稻总产年均增长率为 3.3%，高于人口年均增长率 2.0%^[8-11]。而进入 21 世纪，水稻总产年均增长率仅为 0.8%，低于人口年均增长率。根据全球人口增长对稻米的需求估计，2001 年至 2030 年，水稻总产量应保持 1.2% 的年均增长率才能满足人口增长对稻米的需求^[12-14]。【本研究切入点】然而，近几十年来全球水稻生产出现的徘徊和下降现象已引起全球各界的密切关注^[5, 9, 15-18]。

【拟解决的关键问题】本文分析全球水稻生产现状及其制约因素，探讨稳定和提高水稻单产的对策，对确定水稻研究方向，研发水稻生产技术和制定相关政策具有重要的参考价值。

1 全球水稻生产现状

根据 FAO 水稻生产资料分析^[12]，2006 年全球水稻面积 1.53 亿公顷，单产每公顷 4.13 吨，总产达到 6.31 亿吨。与 1961 年比较，面积增长 32%，年均增长 0.61%，单产提高 1.21 倍，年均增长 1.82%，总产增长 1.92 倍，年均增长 2.46%（图 1）。从 1961 年至 2006 年水稻总产增长中，由面积增长贡献 27%，由单产提高贡献 73%。在过去的 45 年中，全球水稻总产的提高主要依靠水稻单产的提高。

1.1 水稻种植面积下降

水稻面积从 1961 年 1.155 亿公顷至 2006 年增长到 1.533 亿公顷，年均增长率为 0.61%。然而，20 世纪 60 年代以来，全球水稻面积年增长率呈现逐年下降趋势，全球水稻面积的增长率已从 60 年代的 1.6% 下降到 90 年代的 0.5%，2000 年以来，水稻面积以年均 0.33% 的速率下降（图 2）。

水稻面积的增长主要由于水稻多熟制的发展。在热带地区，由于温度适宜，1 年可以种植 2 季或多季水稻。在中国，60 年代以来，早熟矮秆品种的推广及

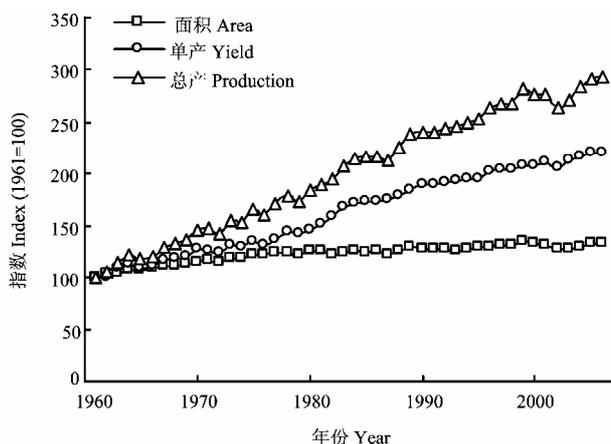


图 1 全球水稻面积、单产与总产的变化

Fig. 1 Changes of rice planting area, yield and production in the world

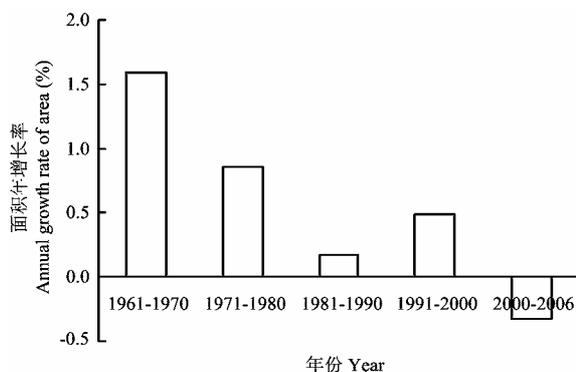


图 2 不同时期全球水稻面积年增长率

Fig. 2 Average annual growth rate of rice planting area in the world

尼龙保温育秧技术的发展使中国南方稻区种植双季稻成为可能，70 年代水稻种植面积大幅增长^[19]。

在亚洲国家，由于城市化和工业化的发展，拓展水稻面积已十分困难。中国作为世界第二大水稻种植大国，由于经济社会发展建设用田量增加，及农业结构的调整和农村劳动力向其它产业转移，部分稻田改种其它经济作物，双季稻面积下降，导致水稻面积日益减少^[19]。在非洲和拉丁美洲，虽然存在大量适宜水稻种植的土地，但改造为稻田的成本较高，限制了稻田的发展。

水稻是耗水量最多的作物，由于水资源的限制和城市以及工业发展对水资源需求的增长，有些国家已经开始通过限制水稻面积减少对水资源的消耗。灌溉

设施建设和修复的投入下降,也制约了水稻种植面积的扩展^[14]。

1.2 水稻单产增幅减小

1961年至2006年全球水稻单产年均增长率为1.82%,显著高于面积年均增长率。然而,20世纪60年代以来水稻单产年均增长率同样呈现下降趋势。60年代、70年代、80年代水稻单产年均增长率分别为2.76%、1.46%和2.58%,而90年代仅为0.98%,2000年以来为1.16%(图3)。如果考虑到2000年以来水稻种植制度从双季稻改为单季稻的单产增加因素,实际的水稻单产年均增长率更小。

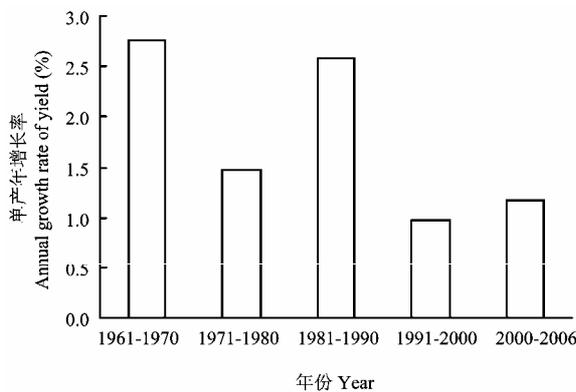


图3 不同时期全球水稻单产年增长率

Fig. 3 Average annual growth rate of rice yield in the world

60年代至80年代,全球水稻单产保持较高的年均增长率主要由于水稻品种改良及其配套栽培技术的推广应用、灌溉条件的改善和化肥的应用^[16-17]。90年代以来,亚洲主要产稻区出现水稻单产徘徊,主要由于热带地区水稻品种改良提高了品种抗病性、改善了稻米品质,但产量潜力没有明显提高^[9,19],部分稻区土壤地力退化,病虫害和自然灾害发生频繁^[15]。

1.3 水稻总产萎缩

水稻总产年增产率自60年代以来逐渐下降,60年代、70年代、80年代水稻总产量平均年增长率分别为4.41%、2.39%和2.73%,而90年代为1.48%,2000年以来为0.88%(图4)。90年代以来,水稻面积和单产年均增长率下降,2000年以来水稻面积出现负增长,导致水稻总产增长率大幅下降。

2 水稻生产的主要限制因子

2.1 水稻生产技术对提高单产的贡献率下降

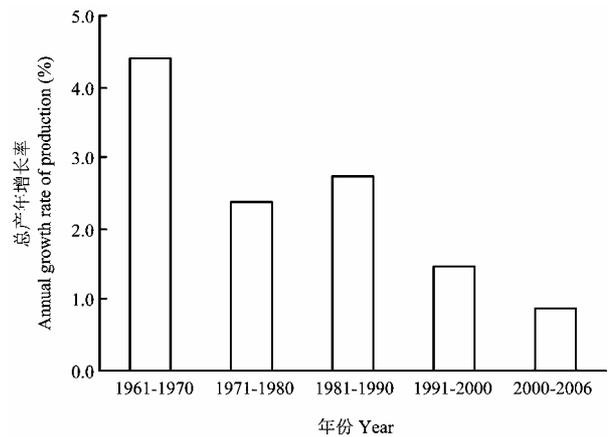


图4 不同时期全球水稻总产年增长率

Fig. 4 Average annual growth rate of rice production in the world

1966年在热带地区育成和推广以IR8为代表的水稻高产品种,提高了水稻单产。20世纪70年代以来,热带地区相继育成了大批高产水稻品种,虽然这些新品种抗性提高、品质改善和生育期缩短,日产量和稳产性提高,但其产量潜力仍与IR8相近,使该地区80年代以来出现水稻产量徘徊^[20]。为此,国际水稻研究所在90年代开始了水稻新株型育种,以改善水稻品种的增产潜力。中国在过去50年中水稻单产持续提高,但近10年来水稻单产出现徘徊。进一步提高水稻产量面临水资源不足、全球气候变暖、农业劳动力短缺等制约,为提高水稻单产需要培育和推广抗病虫、耐高低温、抗旱节水水稻品种,研发配套的栽培技术,增强技术推广体系^[16,18-19]。近年来,由于生产应用的水稻品种数量多,更新快,导致稻农对新品种特性了解少,水稻品种与栽培技术不配套,新品种对环境变化适应性差,导致新品种的产量潜力在生产上没有充分发挥^[5]。

另一个问题是稻作技术与经济社会发展水平不协调。在中国,随经济社会发展和农业劳动向其它产业转移,水稻生产迫切需求相适应的以机械化作业为核心的现代稻作技术,然而水稻生产的机械化种植水平低,仅为12%左右,且近年应用的水稻机插秧技术由日本和韩国引进,而中国的水稻品种类型、季节和种植环境与这些国家不同,现有的水稻机插秧技术不能充分发挥品种的产量潜力^[2]。

2.2 非生物逆境的影响

近年来,全球自然灾害发生次数多、影响大。统

计表明,全球重大自然灾害(干旱、洪涝、风暴等),1987年至1998年平均每年发生195次,而2000年至2006年平均每年发生365次。水稻品种更新快、品种多,且有的品种对自然灾害的抗性还不太清楚,也是造成产量损失的原因之一^[21]。

亚洲是全球主要水稻生产地区,近年来,印度、中国等产稻国受干旱、高温等影响,中国、菲律宾等产稻国受台风等影响,孟加拉受洪涝影响,澳大利亚也因干旱频发,水稻面积和单产受到严重影响。国际水稻研究所研究表明,1979—2003年期间,旱季水稻生长季节最高温度和最低温度分别上升0.35和1.13℃,旱季灌溉稻产量与夜间最低温度密切相关,夜间最低温度每上升1℃,灌溉稻产量下降10%^[22]。2003年中国长江中下游稻区,由于单季稻开花期与高温干旱季节相遇,造成大面积颖花不育而减产,导致2003年全国平均单产下降。2007年中国东南沿海地区中稻生育后期受到台风低温影响,大面积水稻倒伏,后期低温造成水稻青枯,因结实率下降造成大面积减产。2009年,东北地区由于移栽后近1个月的较低温度,引起水稻抽穗开花推迟1周左右,部分地区水稻因低温引起结实率下降。

温带和热带地区的低温亦限制水稻生产。1980年日本的Aomori县由于夏季低温,水稻产量由常年的每公顷6t下降到3t^[10]。1993年在意大利北部、日本和韩国由于夏季平均夜间温度下降到11℃,引起结实率低。水稻结实期间低温同样是美国加利福尼亚、巴西南部地区和澳大利亚水稻生产的主要限制因子^[11]。

2.3 病虫害造成的产量损失

据估计,在不防治病虫害的情况下,中国水稻产量损失平均在12.2%左右,在防治情况下水稻产量损失在2.0%左右^[23]。由于水稻品种抗性衰退及过度使用广谱、残留期长的农药,破坏害虫自然天敌的控制系统,导致近年来水稻飞虱大爆发。2005年以来,仅水稻飞虱大爆发造成东南亚主要产稻国的越南、印度尼西亚以及中国、韩国和日本上百万公顷水稻几乎绝收。

2.4 多熟制生产系统水稻产量下降

早在20世纪80年代初,国际水稻研究所的试验发现多熟制水稻生产系统产量下降现象^[9]。随后,在多个国家研究发现存在这一现象。研究表明,多熟制水稻生产系统部分稻田水稻产量下降的主要原因是由于稻田长期保持淹水状态使土壤肥力退化^[15]。亚洲部分地区水稻单产由于长期淹水灌溉导致土壤特性和养分改变从而导致水稻产量下降^[3,15]。水稻产量下降主要由于长期水层灌溉引起土壤缺素等因素造成^[9]。

2.5 水稻生产效益低

在大多数发展中国家,水稻生产为稻农提供了主要就业机会和经济收入。在早期,水稻单产的提高增加水稻的产出和稻农的收入。然而,1995年以来,国际稻米价格显著下降,而生产资料,如化肥、农资、人力、燃料、机械等价格上升,使水稻生产成本上升,水稻生产效益下降。这种状况长期持续,制约了农民对水稻生产的投入,导致多数发展中国家的水稻产量下降。2008年全球化肥价格大幅上涨,导致水稻生产效益进一步下降。

3 提升水稻生产能力的对策

3.1 水稻新品种及杂交稻的选育与应用

在热带灌溉稻生态系统,为应对水稻产量徘徊现象,国际水稻研究所于1989年开始进行水稻新株型的育种,有些新株型品系产量比对照IR72提高20%左右,第二代新株型育种取得较好进展^[16]。新株型材料也在不同地区的育种计划中应用,已有多个产量超过当地高产对照品种的新株型品种在中国和印度尼西亚通过审定并生产应用^[24]。1997年以来,中国开始了“超级稻育种”计划,到2007年已有61个超级稻品种和组合获得认定,其推广面积占中国水稻面积20%左右,大面积推广应用的超级稻品种和组合比一般品种和组合增产15%左右,在百亩示范区比对照增产30%以上^[5-6]。

1976年以来,中国在生产上应用和推广杂交水稻取得成功。杂交水稻平均产量比常规水稻高15%—20%。自70年代末以来杂交水稻面积不断增加,近年杂交水稻应用面积已超过水稻种植面积的55%^[13]。杂交水稻的推广使水稻总产量稳定提高。2007年,杂交水稻在亚洲其它国家,如孟加拉、印度尼西亚、菲律宾、越南、印度、缅甸等主要产稻国推广250万公顷,显示出杂交水稻对水稻单产的提高和总产增加的潜力。杂交水稻在亚洲其它国家的应用还需要提高制种产量并降低制种成本、选育异交率高、品质优的不育系,以促进杂交水稻的广泛采用^[14]。

为满足全球人口增加对稻米的需求,通过改善群体、理想株型育种、杂交优势利用、遗传工程、扩大遗传背景、分子育种,提高水稻品种的产量潜力^[17,25]。中国通过水稻株型和优势利用选育的超级稻品种及其配套栽培技术研究在生产中发挥了重要作用^[7],生物技术与常规育种技术的结合提高了杂交稻产量、品质和抗性^[6,26]。水稻品种株型改良和杂交稻是水稻产量

进一步提高的主要途径^[27]。

近年在水稻超高产育种的材料创制、基础理论研究方面也取得重要的进展,拓宽了其遗传多样性。水稻单碱基因的克隆及其育种应用使提高分蘖成穗、优化水稻群体成为可能^[28-30]。另有一些科学家试图将玉米的 C₄ 光合基因导入到水稻,提高光合效率,进而提高水稻产量 30%—35%。将 Bt 基因导入水稻提高水稻对危害最大的螟虫的抗性,可减少产量损失^[9]。抗除草剂、抗生物和非生物逆境转基因水稻的培育,将减少杂草的竞争,降低生物和非生物逆境对产量造成的损失^[29]。

3.2 非洲新水稻

针对非洲传统水稻产量低的状况,西非水稻发展协会(WARDA)通过亚洲栽培稻与非洲栽培稻杂交育成的非洲新水稻(NERICA)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,为提高西非和中非的水稻产量提供了技术^[4]。NERICA 旱稻品种表现生育期短,这样水稻可以避开干旱胁迫对产量的影响,还可在稻田采用多熟种植,可在水稻-豆科作物等种植制中应用,以改良土壤肥力、提高旱稻的产量^[14]。

研究表明,在该地区的高地和雨养低地上种植非洲新水稻,在较低肥料等投入的情况下,增产稻谷 25%。非洲新水稻(NERICA)的研制成功为非洲水稻产量的提高提供了技术支持。

3.3 集成栽培技术与水稻产量差异弥合

在热带地区,生产应用的水稻品种和组合的产量潜力大多每公顷超过 10 t,而稻农较高的产量一般在 7—8 t,农民的实际平均产量仅 4—5 t^[32-34]。同样,在亚热带地区农民产量、品种产量和专家指导下的产量存在很大差异^[21]。研究水稻产量差异形成的原因,提出弥合产量差异的技术,对提高地区和國家的水稻平均产量具有重要意义^[28]。

澳大利亚研发和推广的水稻标准化生产技术,对提高水稻产量起重要作用。1973 年至 1985 年期间澳大利亚水稻单产徘徊在 6 t,1986 年开始研发水稻标准化生产技术,并开始应用于生产,该技术的推广使澳大利亚水稻单产迅速提高,到 2000 年水稻平均产量达到 9.65 t^[8,28]。该技术在印度尼西亚示范应用增产 23%,在巴西和委内瑞拉应用增产 30%左右^[14]。

良种良法配套已成为中国水稻产量提高的成功法宝,从矮秆品种到杂交稻的成功实例均反映了配套栽培技术在提高品种产量潜力方面的作用,在当前超级

稻推广应用中也起重要作用^[19]。

3.4 水稻机械化生产技术

水稻生产技术随社会经济发展而发展。在中国,水稻生产迫切需要以机械化作业为核心的现代稻作技术,然而,现有的水稻生产机械化程度较低,特别是种植技术机械化程度较低,且现有引进的水稻机械化种植技术适应性不强,不能充分发挥品种的产量潜力^[31]。水稻种植机械化是中国稻作技术的发展方向和重点,需要大力研究和推进。

3.5 加大水稻生产的政策支持

亚洲是全球水稻主要产地,稻农的生产规模比较小,随社会经济发展,需要推进水稻生产规模化、种植机械化和服务社会化,促进水稻种植水平和生产效率提高。从发达国家的水稻生产经验看,政府对水稻科研的支持和对水稻生产的补贴对实现水稻可持续发展发挥十分重要的作用。因此,研究和实施与社会经济发展相适应的水稻生产政策,有助于促进水稻生产持续发展。

References

- [1] Maclean J L, Dawe D C, Hardy B, Hettel G P. *Rice Almanac*. Philippines: International Rice Research Institute, 2002.
- [2] 程式华, 方福平. 2009 年中国水稻产业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2009.
Cheng S H, Fang F P. *Report of Rice Industry of China in 2009*. Beijing: China Agriculture Press, 2009. (in Chinese)
- [3] Bouman B A M, Tuong T P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*, 2000, 1615: 1-20.
- [4] Dingkuhn M, Jones M P, Johnson D E, Sow A. Growth and yield potential of *Oryza sativa* and *O. glaberrima* upland rice cultivars and their interspecific progenies. *Field Crops Research*, 1998, 57(1): 57-69.
- [5] 朱德峰, 石庆华, 张洪程. 超级稻品种配套栽培技术. 北京: 金盾出版社, 2008.
Zhu D F, Shi Q H, Zhang H C. *Cultivation Technology of Super Rice Variety*. Beijing: Jindun Publishing Company, 2008. (in Chinese)
- [6] Cheng S H, Zhuang J Y, Fan Y Y, Du J H, Cao L Y. Progress in research and development on hybrid rice: A super-domesticated in China. *Annals of Botany*, 2007, 100(5): 959-966.
- [7] Cheng S H, Cao L Y, Zhuang J Y, Chen S G, Zhan X D, Fan Y Y, Zhu D F, Peng S B. Super hybrid rice breeding in China: Achievements and prospects. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2007, 49(6): 805-810.
- [8] Clampett W S, Tran D V, Nguyen V N. The development and use of

- integrated crop management for rice production//*Proceedings of the 20th Session of the International Rice Commission*. Bangkok, Thailand. FAO, Rome, Italy, 2003: 135-144.
- [9] Flinn J C, de Datta S K, Labadan E. An analysis of long-term rice yields in a wetland soil. *Field Crops Research*, 1982, 5: 201-216.
- [10] Kushibuchi K. Historical changes in rice cultivars// Japanese Ministry of Agriculture, Forestry, and Fishery. *Science of the Rice Plant*, vol. III: *Genetics*. Tokyo, Japan, 1997: 837-875.
- [11] McDonald D J. Temperate rice technology for the 21st century—The New South Wales example//*Proceedings of the First Temperate Rice Conference*. Yanco, Australia, 1994: 1-12.
- [12] FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/faostat>
- [13] Yuan L P. Hybrid rice technology for food security in the world // *International Conference on Sustainable Rice Systems*. FAO, Rome, Italy, 2004.
- [14] van Nguyen N, Ferrero A. Meeting the challenges of global rice production. *Paddy Water Environment*, 2006, 4: 1-9.
- [15] Dawe D, Dobermann A, Moya P, Abdurachman S, Singh B, Lal P, Li S Y, Lin B, Panaullah G, Sariam O, Singh Y, Swarup A, Tan P S, Zhen Q X. How widespread are yield declines in long-term rice experiments in Asia? *Field Crops Research*, 2000, 66(2): 175-193.
- [16] Peng S B, Tang Q Y, Zou Y B. Current status and challenges of rice production in China. *Plant Production Science*, 2009, 12(1): 3-8.
- [17] Peng S, Khush G S, Virk P V, Tang Q Y, Zou Y B. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. *Field Crops Research*, 2008, 108(1): 32-38.
- [18] Peng S, Khush G S, Cassman K G. Evolution of the new plant ideotype for increased yield potential//Cassman K G. *Breaking the Yield Barrier*. IRRI, Los Banos. 1994.
- [19] 朱德峰, 林贤青, 金学泳, 熊洪, 陈惠哲. 水稻强化栽培技术. 北京: 中国农业科技出版社, 2006.
- Zhu D F, Lin X Q, Jin X Y, Xiong H, Chen H Z. *Technology of the System of Rice Intensification*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [20] 朱德峰, 陈惠哲, 张玉屏, 林贤青. 浙江水稻生产的现状与对策. 农业现代化研究, 2006, 27(6): 470-472.
- Zhu D F, Chen H Z, Zhang Y P, Lin X Q. Status and countermeasure of rice production in Zhejiang. *Research of Agricultural Modernization*, 2006, 27(6): 470-472. (in Chinese)
- [21] Foodclimate. <http://www.fao.org/foodclimate/expert/en/>
- [22] Peng S B, Huang J L, Sleehy J E, Laza R C, Visperas R M, Zhong X H, Centen G S, Khush G S, Cassman K G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming//*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2004, 101(27): 9971-9975.
- [23] 王艳青. 中国水稻病虫害发生与趋势分析. 中国农学通报, 2006, 22(2): 343-347.
- Wang Y Q. Analysis on the occurrence and trend of rice diseases and insects in China. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(2): 343-347. (in Chinese)
- [24] Khush G S. Harnessing science and technology for sustainable rice-based production system//*International Conference on Sustainable Rice Systems*. FAO, Rome, Italy, 2004.
- [25] Khush G S. Strategies for increasing the yield potential of rice. *Studies in Plant Science*, 2000, 7: 207-212.
- [26] Wu X J. Prospects of developing hybrid rice with super high yield. *Agronomy Journal*, 2009, 101(3): 688-695.
- [27] Yang W H, Peng S B, Laza R C, Visperas R M, Dionisionese M L. Grain yield and yield attributes of new plant type and hybrid rice. *Crop Science*, 2007, 47(4): 1393-1400.
- [28] 张玉屏, 朱德峰. 澳大利亚水稻生产标准化技术. 中国稻米. 2003(1): 39-40.
- Zhang Y P, Zhu D F. Rice check technology in Australia. *China Rice*, 2003(1): 39-40. (in Chinese)
- [29] Lucca P, Hurrell R, Potrykus I. Genetic engineering approaches to improve the bioavailability and the level of iron in rice grains. *Theoretical and Applied Genetics*, 2001, 102: 392-397.
- [30] Li X Y, Qian Q, Fu Z M, Wang Y H, Xiong G S, Zeng D L, Wang X Q, Liu X F, Teng S, Hiroshi F, Yuan M, Luo D, Han B, Li J Y. Control of tillering in rice. *Nature*, 2003, 422: 618-621.
- [31] 朱德峰, 陈惠哲, 徐一成. 我国水稻机械种植的发展前景与对策. 农业技术与装备, 2007(1): 14-15.
- Zhu D F, Chen H Z, Xu Y C. Propetive and countermeasure of the development of rice machine transplanting in China. *Agricultural Technology and Equipment*, 2007(1): 14-15. (in Chinese)
- [32] Rosegrant M W, Paisner M S, Meijer S, Witcover J. Global food projections to 2020: Emerging trends and alternative futures. IFPRI, Washington, DC. 2001.
- [33] 陈惠哲, 朱德峰, 林贤青, 张玉屏. 我国南方稻区水稻产量差异及增产潜力. 中国稻米, 2004(4): 9-10.
- Chen H Z, Zhu D F, Lin X Q, Zhang Y P. Rice yield gap and potential in southern rice zone in China. *China Rice*, 2004(4): 9-10. (in Chinese)
- [34] Brookes G, Barfoot P. GM Rice: Will this lead the way for global acceptance of GM crop technology? *ISAAA Briefs*. Los Banos, Philippines, 2003.