

## 长江中下游地区水稻产量差及分布特征研究

石全红 刘建刚 陈阜 褚庆全\*

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

**摘要** 结合我国水稻生产实际,构建了水稻产量差定量化研究模型,并对长江中下游地区水稻产量差进行了定量化研究。结果表明:长江中下游地区早稻、中稻、晚稻的潜在产量、高产试验产量、品种区试产量和大田平均产量之间存在显著的产量差,其中大田平均产量与品种区试产量间的产量差( $G_V$ )分别为 2 024、1 455 和 1 835 kg/hm<sup>2</sup>;与高产试验产量间的产量差( $G_E$ )分别为 3 864、5 196 和 4 601 kg/hm<sup>2</sup>;与潜在产量间的产量差( $G_M$ )为 9 990、15 135 和 13 246 kg/hm<sup>2</sup>,区内水稻产量提升空间较大。早稻、中稻、晚稻不同层次产量差在各省份间的分布差异很大;同一省内,同一层次产量差在不同季节类型水稻间的表现也不同。但从整个区域来看, $G_V$ :早稻>晚稻>中稻, $G_E$ 和 $G_M$ 均为:中稻>晚稻>早稻。因此,发展双季稻,恢复双季稻的面积是短期内提升该区水稻总产的有效途径。

**关键词** 水稻;长江中下游地区;AEZ;产量差;分布特点

**中图分类号** S 511

**文章编号** 1007-4333(2012)01-0033-07

**文献标志码** A

## Researches on rice yield gaps and their distribution characteristics in middle and lower area of Yangtze River Valley

SHI Quan-hong, LIU Jian-gang, CHEN Fu, CHU Qing-quan\*

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract** Crop yield can be divided into different levels, the differences between different crop levels were considered to be yield gaps. Based on rice production situation in China, this paper constructed the regional crop yield gap quantitative model and quantified the rice yield gaps in middle and lower area of Yangtze River Valley. The results showed that the rice yield gaps between yields of farmer field and yields of regional trials, yields of high production demonstration and potential yields were significant in middle and lower area of Yangtze River Valley. The  $G_V$  of first crop rice, medium crop rice, second crop rice were 2 024, 1 455 and 1 835 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. The  $G_E$  were 3 864, 5 196 and 4 601 kg/hm<sup>2</sup>, the  $G_M$  were 9 990, 15 135 and 13 246 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. The distribution characteristics of different gaps in various types of rice were different. The distribution of same gap in different types of rice in a same province was also different. But in the whole region, the  $G_V$  of first crop rice and second crop rice were larger than that of medium crop rice. The  $G_E$  and  $G_M$  of medium crop rice were bigger than that of first crop rice and second crop rice. Therefore, these results will be useful for improving rice production in the next few years by restoring the double crop rice area and increasing the rice yield.

**Key words** rice; middle and lower area of Yangtze River Valley; AEZ; yield gap; distribution characteristics

作物产量可分为不同水平。不同产量水平之间的差异即为产量差(yield gap)。产量差的概念首先由 De Datta 提出,定义为农民平均产量与潜在产量

之间的差距,引起这个产量差距的因子称为产量限制因子(Yield constraints)<sup>[1-2]</sup>。由于学术界对潜在产量的定义和测定方法无统一的标准,加之不同研

收稿日期:2011-06-16

基金项目:国家“973”计划项目(2009CB118608);公益性行业(农业)科研专项经费(201103001,200903003)

第一作者:石全红,硕士研究生,E-mail:shiquanhong521@126.com

通讯作者:褚庆全,副教授,主要从事农作制度和模拟模型研究,E-mail:cauchu@cau.edu.cn

研究者对产量限制因素研究的侧重点不同,作物产量差定性、量化研究模型也极为多样<sup>[3-6]</sup>,但作物实际产量与潜力产量之间存在产量差的事实却得到了公认<sup>[7]</sup>。如林毅夫等对我国不同区域主要粮食作物产量差及增产潜力的研究<sup>[8-9]</sup>;FAO对印度、菲律宾、越南、埃及、马达加斯、意大利、巴西、韩国水稻产量差的研究<sup>[10]</sup>;Elsamma、国际半干旱研究所(ICRISAT)对印度不同地区水稻、小麦、棉花、油菜等作物产量差的研究<sup>[11-12]</sup>;Chuc等对越南大豆、玉米、花生实际产量与模拟产量之间产量差的研究<sup>[13]</sup>;Nirmala等对卡纳塔克邦楚尔地区水稻产量差的研究等<sup>[14]</sup>。上述研究均表明,世界范围内作物实际产量与潜在产量之间存在显著的产量差。研究作物产量差,对分析区域作物产量提升空间、指导区域作物生产、提高作物产量,保障区域粮食安全具有重要意义。

长江中下游地区包括江汉平原、洞庭湖平原、潘阳湖平原、皖中平原、太湖平原、长江三角洲、杭嘉湖平原等广阔区域,是我国农业的作物主产区,也是我国最大的水稻生产区,水稻面积和产量均占到全国50%以上,研究该区水稻产量差及增产潜力对促进区域粮食生产、保障我国粮食安全意义重大。本研究利用联合国粮农组织(FAO)推荐的农业生态区域法(AEZ)对长江中下游地区水稻潜在产量进行估算,结合水稻高产创建资料、新品种区域试验示范资料和大田平均产量资料对区域水稻产量差进行定量化研究,旨在探索区域水稻产量差分布特点,以期为区域水稻生产提供理论指导。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究区域

本研究以长江中下游地区为主要研究区域,包括湖北、湖南、江西、江苏和安徽等8个省。结合南方稻区水稻品种区域试验示范点和标准气象站点的

$$Y_M = C_L \times C_N \times C_H \times G \times [F(0.8 + 0.01y_m) \times y_o + (1-F)(0.5 + 0.025y_m) \times y_c];$$

$$y_m \geq 20 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h}) \quad (1)$$

$$Y_M = C_L \times C_N \times C_H \times G \times [F(0.5 + 0.025y_m) \times y_o + (1-F)(0.05y_m) \times y_c];$$

$$y_m < 20 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h}) \quad (2)$$

式中: $Y_M$ 为作物光温生产潜力; $y_m$ 为作物的干物质生产率; $y_o$ 、 $y_c$ 分别为全阴天、全晴天标准作物的最大干物质生产率; $F$ 为一天中的阴天的份数; $G$ 为作物的全生育期; $C_L$ 为作物最大叶面积指数的校正系

分布特点,本研究确定了长江中下游区水稻产量差研究样点共42个,分布如图1。

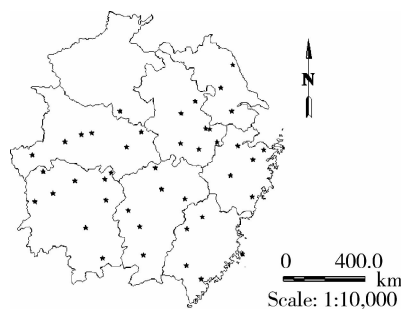


图1 长江中下游地区水稻产量差研究样点分布  
Fig. 1 Distribution of sampling point for rice yield gap research in middle and lower area of Yangtze River Valley

### 1.2 数据来源

AEZ模型所需气象数据(包括逐日平均温度、日最高\最低温、日照时数、降雨量等)来源于中国气象局国家气象信息中心;作物管理相关数据(最大叶面积指数、经济系数、播种日期、收获日期等)来源于现代农作制模式构建与配套技术研究与示范项目调研数据、《水稻区域目标产量生产技术规范》<sup>[15]</sup>等;高产试验数据来源于历年高产创建交流材料<sup>[16]</sup>及公开发表的论文、专著等;区试产量数据来源于《中国水稻新品种试验—2007年南方稻区国家水稻品种区试汇报》<sup>[17]</sup>、《中国水稻新品种试验—2008年南方稻区国家水稻品种区试汇报》<sup>[18]</sup>,区试产量计算方法详见参考文献[9];大田平均产量数据来源于各县市统计年鉴、各县市农村统计资料等。

### 1.3 潜在产量的测算

本研究应用AEZ模型对长江中下游地区水稻潜在产量(光温生产潜力 $Y_M$ )进行测算,该模型是区域研究的重要工具,在作物产量潜力估算中具有广泛的应用<sup>[19-20]</sup>。光温生产潜力的计算公式可表述如下:

数; $C_N$ 为维持呼吸订正系数; $C_H$ 为作物籽粒产量的经济系数。

### 1.4 统计方法

用Excel 2007对数据进行整理后,采用SAS

8.0 软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 长江中下游地区水稻产量差定量化模型构建

在前人研究的基础上<sup>[3-8]</sup>,结合中国长江中下游地区水稻生产特点,构建了水稻产量差分析模型。本研究将区内水稻产量划分为 4 个水平,其中  $Y_F$  (yield of farmer)代表水稻大田平均产量, $Y_V$  (yield of variety)代表品种区试产量,新品种区域试验是在具有当地水稻土壤代表性、肥力水平中等偏上、肥力均匀的田块上进行的,其栽培管理措施以及病虫害防治等与当地大田生产习惯相同,仅品种与当地大田栽培不同,品种区试产量能较好地反映在常规管理措施下,当前新选育品种的产量水平<sup>[21]</sup>; $Y_E$  (yield of experiment)代表作物高产试验产量; $Y_M$  (yield of model)代表作物模型模拟单产(潜在产量),是由区内温度和太阳辐射所决定的水稻的最大产量。在确定上述产量水平的基础上,定义了 3 个层次的产量差,分别为  $G_M$ 、 $G_E$ 、 $G_V$ ,其中  $G_M = Y_M - Y_F$ ,  $G_E = Y_E - Y_F$ ,  $G_V = Y_V - Y_F$  (图 2)。

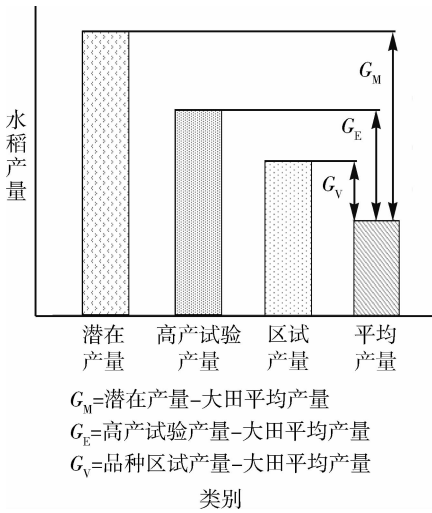


图 2 长江中下游地区水稻产量差定量化模型示意图

Fig. 2 Quantitative model for rice yield gap research in middle and lower area of Yangtze River Valley

对于上述 3 个层次产量差, $G_V$  主要是由品种及部分管理措施差异所致,可通过加强新品种推广应用以及栽培管理措施的优化改良来实现,是最易实现的产量差; $G_E$  为大田平均产量与高产试验产量之间的产量差,高产试验产量的获得,是高产土壤条件、高产栽培技术、高产品种、高素质管理人员以及适宜环境条件等因素共同作用的结果,是现有生产

技术条件下可挖掘的最大产量潜力,是客观存在的、可通过一定技术手段实现的产量差,但实现的难度相对较大; $G_M$  是在区内的光热资源条件下可获得最大产量提升空间,可通过品种改良、技术创新等措施逐步缩小。

长江中下游地区水稻的种植类型比较丰富,早稻、中稻、晚稻的种植管理水平、生育期、产量潜力等方面具有很大的差异,因此,在研究水稻产量差时,将其分为早稻、中稻、晚稻分别进行研究。

### 2.2 长江中下游地区水稻光温生产潜力分布特征

由于各研究样点温度、太阳辐射强度、经纬度等差异较大,加之不同季节类型水稻干物质生产率、呼吸订正系数、叶面积指数、经济系数及其在各研究样点生育日期不同,使得早、中、晚稻干物质积累量及光温生产潜力具有明显的季节差异和地域差异,总体表现如表 1。

表 1 长江中下游地区水稻光温生产潜力分布特点

Table 1 Distribution characteristics of rice light-temperature potential productivity in middle and lower area of Yangtze River Valley

研究区域	kg/hm <sup>2</sup>		
	早稻	一季中稻	晚稻
安徽	15 552	21 857	18 293
福建	15 675	21 677	18 407
河南	—	21 705	—
湖北	15 611	23 441	18 042
湖南	14 368	24 503	18 661
江苏	—	26 152	—
江西	16 142	23 288	19 688
浙江	16 274	22 569	20 669
全区	15 603	22 311	18 960

注:水稻光温生产潜力由 AEZ 模型计算得出,各省潜力数据为省内各样点 2007、2008 年均值。—表示数据缺失,因为该区域无双季稻种植。

由上表可以看出:在不同季节类型水稻间,一季中稻产量潜力最高,晚稻次之,早稻最低。这主要是因为一季稻生育期内(5 月中下旬—9 月下旬)光温资源较为丰富(日均温和辐射总量均较高),作物干物质积累速度较快,另外,一季中稻叶面积指数和经济系数总体高于早稻和晚稻,进而导致不同季节类型水稻光温生产潜力差异极为显著。就早、中、晚稻

产量潜力在区内的空间分布而言,早稻以浙江省最高,湖南省最低;一季中稻以江苏省最高,福建省最低;晚稻以浙江省最高,福建省最低,水稻生育期内日均温和辐射总量差异是导致不同区域光温生产潜力差异的主要原因。

## 2.3 长江中下游地区水稻产量差的量化及分布特点

### 2.3.1 早稻产量差的量化及分布特点

长江中下游地区早稻大田平均产量与品种区试产量、高产试验产量、潜在产量之间存在显著的差异

( $\alpha=0.05$ ),区域早稻具有较大的增产潜力。目前,区内早稻大田平均产量为  $5\ 614\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,显著低于品种区试产量、高产试验产量及潜在产量, $G_V$ 、 $G_E$ 、 $G_M$  分别达到  $2\ 024$ 、 $3\ 864$  和  $9\ 990\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,分别为大田平均产量的  $36.05\%$ 、 $68.51\%$  和  $177.95\%$ ,早稻产量提升空间较大(表 2)。

就早稻各层次产量差的空间分布而言, $G_V$  的主要潜力区分布在福建、安徽、江西,这是短期内提升早稻产量的主攻区域,高产优质新品种推广应用是

表 2 长江中下游地区早稻产量及产量差现状

Table 2 Status of first crop rice yield and yield gap in middle and lower area of Yangtze River Valley

研究区域	$Y_F$	$Y_V$	$Y_E$	$Y_M$	$G_V$	$G_E$	$G_M$
安徽	5 313	7 444	9 030	15 552	2 131	3 717	10 239
福建	5 662	8 201	9 870	15 675	2 539	4 208	10 013
湖北	5 742	7 554	9 120	15 611	1 812	3 378	9 869
湖南	5 812	7 535	9 271	14 368	1 723	3 459	8 556
江西	5 509	7 552	9 134	16 142	2 043	3 624	10 633
浙江	5 644	7 540	10 441	16 274	1 896	4 797	10 630
全区	5 614	7 638	9 478	15 603	2 024	3 864	9 990

注: $Y_F$ 、 $Y_V$ 、 $Y_M$  为省内各样点 2007、2008 年均值, $Y_E$  为省内各试点高产试验最高产量(下同)。

上述地区水稻增产的关键; $G_E$  的主要潜力区分布在浙江、福建、安徽等省; $G_M$  的主要潜力区分布在江西、浙江、安徽,是长江中下游区早稻增产潜力较大的省份,在保障我国未来粮食安全中具有极为重要的作用。

### 2.3.2 一季中稻产量差的量化及分布特点

长江中下游各省一季中稻不同产量水平间存在

明显的产量差。2007—2008 年区域中稻大田平均产量为  $7\ 177\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,而同期品种区试产量、高产试验产量、潜在产量分别达到  $8\ 632$ 、 $12\ 373$  和  $22\ 311\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,一季中稻  $G_V$ 、 $G_E$ 、 $G_M$  达到  $1\ 455$ 、 $5\ 196$  和  $15\ 134\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,为大田平均产量的  $20.27\%$ 、 $72.40\%$  和  $210.87\%$ (表 3)。

就空间分布而言, $G_V$  的潜力区分布在福建、安

表 3 长江中下游地区一季中稻产量及产量差现状

Table 3 Status of medium crop rice yield and yield gap in middle and lower area of Yangtze River Valley

研究区域	$Y_F$	$Y_V$	$Y_E$	$Y_M$	$G_V$	$G_E$	$G_M$
安徽	6 557	9 069	13 135	21 857	2 512	6 578	15 300
福建	6 113	8 676	13 050	21 677	2 562	6 937	15 563
河南	7 301	8 581	13 268	21 705	1 280	5 966	14 404
湖北	8 716	8 906	11 160	23 441	190	2 444	14 725
湖南	6 903	8 450	12 004	24 503	1 547	5 101	17 600
江苏	7 921	8 790	12 936	26 152	869	5 015	18 231
江西	6 686	8 377	10 883	23 288	1 691	4 197	16 602
浙江	7 216	8 206	12 550	22 569	990	5 334	15 353
全区	7 177	8 632	12 373	22 311	1 455	5 196	15 134

徽、江西； $G_E$  的潜力区分布在福建、安徽、河南； $G_M$  的潜力区分布在江苏、湖南、江西。在长江中下游各省中，湖北省中稻实际生产水平较高，大田平均产量高达  $8\ 716\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ，与该省水稻品种区试产量之间的产量差仅为  $190\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ，与高产试验产量之间的产量差仅为  $2\ 444\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ，区内新品种推广及栽培管理措施优化对产量提升的贡献十分有限，因此培育更优质、更高产的品种、加强新技术创新、集成与应用是该地区水稻持续、稳定增产的关键。

### 2.3.3 长江中下游地区晚稻产量差的量化及分布特点

长江中下游地区各省晚稻存在显著的产量差，区内晚稻  $G_V$ 、 $G_E$ 、 $G_M$  分别为  $1\ 835$ 、 $4\ 601$  和  $13\ 246\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ，最高分别达到  $2\ 432$ 、 $6\ 351$  和  $14\ 577\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ，区内晚稻增产潜力较大。 $G_V$  以福建、安徽、湖北三省较高； $G_E$  以安徽、福建、江西较高； $G_M$  以浙江、江西、安徽较高(表4)。

在现实生产及科研工作中，应针对各省产量差

表4 长江中下游地区晚稻产量及产量差现状

Table 4 Status of second crop rice yield and yield gap in middle and lower area of Yangtze River Valley

研究区域	$Y_F$	$Y_V$	$Y_E$	$Y_M$	$G_V$	$G_E$	$G_M$
安徽	4 917	7 349	11 268	18 293	2 432	6 351	13 376
福建	5 498	7 649	10 980	18 407	2 151	5 482	12 909
湖北	5 927	7 733	9 150	18 042	1 806	3 223	12 116
湖南	6 274	7 433	9 860	18 661	1 159	3 586	12 387
江西	5 578	7 379	10 125	19 688	1 801	4 547	14 110
浙江	6 093	7 755	10 508	20 669	1 663	4 415	14 577
全区	5 714	7 550	10 315	18 960	1 835	4 601	13 246

分布特点，对  $G_V$  较大的区域应以新品种及相应栽培技术的推广应用为主要任务；对  $G_E$  值较高的区域应加强高产技术向实际生产的转换，适当简化高产栽培管理措施，逐步提高资源利用效率和经济效益，使高产配套技术在大面积应用中具有更高的可行性，另外，应大力加强中低产田改造，提高耕地基础地力，全面提升区域耕地粮食生产能力；对  $G_M$  值较高的地区，培育具有更高光热资源利用效率的品种以及加强栽培技术创新是其研究的重点。

### 2.3.4 不同季节类型水稻间产量差变化特点

在整个长江中下游地区，各层次产量差在不同季节类型水稻间的表现呈如下特点， $G_V$ ：早稻>晚稻>中稻， $G_E$ ：中稻>晚稻>早稻， $G_M$ ：中稻>晚稻>早稻(图3)。因此，从短期来看，通过新品种推广及优化栽培管理措施等大力发展早稻和晚稻是提升水稻总产较为有效的途径，但从中长期来看，一季中稻具有更大的增产潜力。

在不同的省份，除  $G_M$  均表现为：中稻>晚稻>

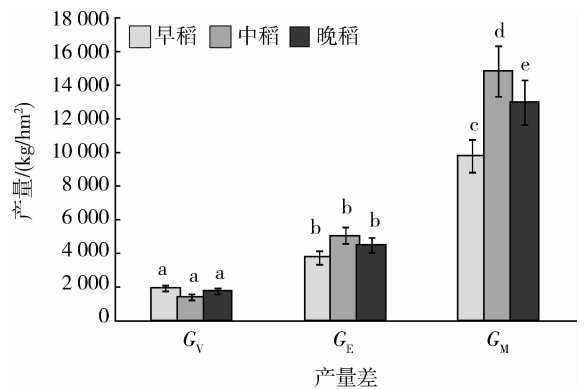


图3 长江中下游区不同季节类型水稻间产量差变化特点  
Fig. 3 Yield gaps during different types of rice in middle and lower area of Yangtze River Valley

早稻外， $G_V$ 、 $G_E$  的变化特点略有不同。安徽省  $G_V$ 、 $G_E$  均以中稻最高，晚稻次之，早稻最低；湖北省  $G_V$ 、 $G_E$  均以早稻最高，晚稻次之，中稻最低；在江西省， $G_E$  表现为：早稻>中稻>晚稻， $G_V$  的顺序恰好相反；福建、湖南两省  $G_E$  表现与整个区域相同，但  $G_V$

的表现差略有异,福建省以中稻最高,晚稻最低,而湖南省以早稻最高,晚稻最低;浙江省  $G_V$  以中稻最低,早稻最高,而  $G_E$  均则表现为中稻最高,晚稻最低。同一省份内,同一层次产量差在不同季节类型水稻间的表现不同,因此应依据当地的实际情况,合理进行水稻生产布局。

### 3 讨论

作物产量差研究是目前作物领域研究的重点和热点,是衡量区域粮食生产现状和增产潜力、探索区域作物产量限制因素和解决方法的有效途径。本研究结合我国实际生产现状,构建了“大田平均产量-品种区试产量-高产试验产量-潜在产量”产量差分析模型,这即与 Lobell 等前人的量化模型具有一定的相似性<sup>[7]</sup>,又与我国的作物生产体系紧密结合,在我国不同区域作物产量差研究中具有一定的通用性。此模式中包含 3 个层次的产量差,既体现了现有条件下最易获得的产量提升空间、又准确量化了现实生产中的最大产量潜力和理论增产潜力,这与朱德峰等研究结果较为吻合<sup>[9]</sup>。研究进一步对不同季节类型水稻各层次产量差空间分布特点和区域水稻生产及科研实践中应重点解决的问题进行了探讨,这对区域水稻生产具有重要的指导意义。但本研究只着重于产量差的定量化研究,对产量限制因素的分析有待进一步拓展。

近年来,作物产量差研究的领域不断拓宽,作物产量限制因素的研究也在不断深入,有关作物品种、肥料用量、施肥方式、施肥次数、水分管理、病虫害防治、栽培方式、机械投入、市场导向等对作物产量的影响及其产量限制程度在不同的国家和地区均已得到了充分的验证<sup>[22-23]</sup>。作物产量差研究的方法也逐步成熟,回归分析、比较优势分析、通径分析、主成分分析、回归树分析、参与式评估法、单产损失评估法等产量差及产量限制因素的研究中均得到了较好的应用<sup>[24-26]</sup>。另外,随着信息技术在农业生产中的应用,作物生长模拟模型(如 APSIM 模型、DSSAT 系列模型、ORYZA 系列模型)在作物产量差研究中的作用逐渐凸现,它对测算作物潜在产量、量化不同产量限制因素对作物产量的影响程度等均具有较好的效果<sup>[27-28]</sup>。利用作物生长模拟模型,

并结合参与式评估法和单产损失评估法对限制长江中下游地区水稻生产的主要因素进行解析,将成为本研究未来工作的主要方向。

### 参 考 文 献

- [1] De Datta S K. Principles and practices of rice production[M]. New York(USA): Wiley-Interscience Publications, 1981: 553-575
- [2] 王纯枝,李良涛. 作物产量差研究与展望[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1283-1287
- [3] Van Kraalingen D W G. The FSE system for crop simulation, version 2. 1[J]. AB-TPE rapport, 1995(4): 7-16
- [4] Bindraban P S, Stoorvogel J J, Jansen D M. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2000, 81(2): 103-112
- [5] De Bie C A J M. The yield gap of mango in Phrao, Thailand, as investigated through comparative performance evaluation[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 102(1): 37-52
- [6] Lobell D B, Ortiz-Monasterio J I. Regional importance of crop yield constraints: Linking simulation models and geostatistics to interpret spatial patterns[J]. Ecological Modelling, 2006, 196: 173-182
- [7] Lobell D B, Kennedy G C. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes [J]. Annu Rev Environ Resource, 2009, 34: 179-204
- [8] 林毅夫. 中国农业科研优先序[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 70-76
- [9] 陈惠哲,朱德峰. 我国南方稻区水稻产量差异及增产潜力[J]. 中国稻米, 2004(4): 9-10
- [10] Minas K P, Frank G D, Edward M H. Bridging the rice yield gap Asia-pacific region[M]. Rome: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 2000: 2-163
- [11] Elsamra Job. Yield gap of rice in Alappuzha district of Kerala [J]. Journal of Tropical Agriculture, 2006, 44(2): 88-90
- [12] ICRISAT. Quantification of yield gaps in rain-fed rice, wheat, cotton and mustard in India [J]. Global Theme on Agroecosystems, 2008(43): 1-38
- [13] Chuc N T, Piara S. Yield gap analysis of major rainfed crops of Northern Vietnam using simulation modeling [J]. Global Theme on Agroecosystems, 2006(26): 1-30
- [14] Nirmala B. Yield gap analysis of rice in Raichur district of Karnataka [J]. Karnataka J Agric Sci, 2009, 22(1): 238-239
- [15] 廖西元. 水稻区域目标产量生产技术规范[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 145-325
- [16] 农业部高产创建办公室. 2009 高产创建各省交流材料[R]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2010: 1-116
- [17] 全国农业技术推广中心, 中国水稻研究所. 中国水稻新品种试验——2007 年南方稻区国家水稻品种区试汇总报告[M]. 北

- 京:中国农业科学技术出版社,2008:297-509
- [18] 全国农业技术推广中心,中国水稻研究所. 中国水稻新品种试验——2008年南方稻区国家水稻品种区试汇总报告[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2009:195-502
- [19] 王宏广. 中国农业——问题 潜力 道路 潜力[M]. 北京:农业出版社,1993:122-133
- [20] 王宏,陈阜,石全红,等. 近30黄淮海农作区冬小麦单产潜力的影响因素分析[J]. 农业工程学报,2010,26(增1):90-95
- [21] 杨仕华,廖琴. 中国水稻品种试验与审定[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2005:1-30
- [22] Audebert A, Fofana M. Rice yield gap due to iron toxicity in West Africa[J]. *J Agronomy & Crop Science*, 2009, 195: 66-76
- [23] Boling A A, Bouman B A M, Tuong T P. Yield gap analysis and the effect of nitrogen and water on photoperiod-sensitive Jasmine rice in North-east Thailand [J]. *NJAS—Wageningen Journal of Life Sciences*, 2010, 58(2): 11-19
- [24] 陈健,李良涛,宇振荣. 作物产量差研究进展[J]. 生态农业科学, 2008, 24(12): 418-423
- [25] 王崇桃,李少昆. 玉米生产限制因素评估与技术优先序[J]. 中国农业科学, 2010, 43(6): 1136-1146
- [26] 胡瑞法, Erika C H. 采用参与式方法评估中国玉米研究的优先序[J]. 中国农业科学, 2004, 37(6): 781-787
- [27] Gaydon D S, Buresh R J. Simulating rice in farming systems—modeling transitions between aerobic and ponded soil environments in APSIM [C]. World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia, 2009: 13-17
- [28] Ahrens T D, Lobell D B. Narrowing the agronomic yield gap with improved nitrogen use efficiency: a modeling approach [J]. *Ecological Applications*, 2010, 20(1): 91-100

责任编辑:袁文业