

DOI:10.13331/j.cnki.jhau.2014.06.001
投稿网址: http://www.hunau.net/qks

超级杂交早稻组合金优 458 的生长模拟

帅细强^{1,2}, 陆魁东^{1,2}, 黄晚华^{1,2}, 李迎春³

(1.湖南省气象科学研究所, 湖南 长沙 410118; 2.气象防灾减灾湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410118; 3.江西省气象科学研究所, 江西 南昌 330046)

摘要: 根据江西南昌 2012—2013 年超级杂交早稻金优 458 的分期播种田间试验数据, 调试 ORYZA2000 模型中的作物参数; 利用调试后的作物模型模拟数据与整理后的田间试验观测数据, 对超级杂交早稻发育期、地上生物量、穗生物量等进行回代检验和外推检验。结果表明: 超级杂交早稻金优 458 开花期的模拟值与实测值相差 1~3 d, 成熟期的模拟值与实测值相差 0~3 d; 开花期、成熟期的地上生物量的平均误差分别为 5.2%、3.3%, 成熟期穗生物量的平均误差为 2.0%; 调试后的 ORYZA2000 作物模型可用于对超级杂交早稻的生长进行模拟, 可为评价气象条件对超级杂交早稻发育期和生物量的影响提供定量化的技术方法。

关键词: 水稻模型; 生长模拟; 超级杂交早稻; 金优 458

中图分类号: S511.3 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2014)06-0565-06

Growth simulation research of super hybrid early rice: Jinyou 458

SHUAI Xi-qiang^{1,2}, LU Kui-dong^{1,2}, HUANG Wan-hua^{1,2}, LI Ying-chun³

(1.Meteorological Science Institute of Hunan Province, Changsha 410118, China; 2.Key Laboratory of Hunan Province for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, Changsha 410118, China; 3.Meteorological Science Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China)

Abstract: Field experiment observation data of super hybrid early rice, Jinyou 458 sowed at different times from 2012 to 2013 were employed to debug crop parameters in ORYZA2000 model. The simulated data debugged by the model and disposal data from field experiment observation were used to process the fitting test and extrapolation test for confirming the development period, total aboveground biomass and spike biomass of super hybrid early rice. The results showed that the differences between the simulated values and measured values of super hybrid early rice-Jinyou 458 in blossom period were 1-3 d, and the differences in mature period were 0-3 d. The average error of above ground total biomass in blossom period was 5.2%, and the average error in mature period was 3.3%. The average error of spike biomass in mature period was 2.0%. The debugged ORYZA2000 model could be used for the growth simulation of super hybrid early rice. The model offered a quantitative technical method for evaluating the impact of meteorological conditions on the growth and biomass of super hybrid early rice.

Key words: rice model; growth simulation; super hybrid early rice; Jinyou 458

作物生长模型是一种机理性、动态性和量化很强的模型^[1-3]。中国自引进作物模拟技术以来, 已经成功地建立了水稻、小麦、玉米、棉花等作物的生长模拟模型^[2,4-5]。ORYZA2000 作物模型是由荷兰瓦赫宁根大学和国际水稻研究所联合研制的, 能够

模拟水分胁迫和氮素胁迫等情况下水稻的生长、发育及产量形成过程。该模型采用无量纲模拟发育进程^[5-7]。根据水稻不同发育阶段的发育速率、热量单位日增量和光周期来计算发育速率^[8-10]。该模型考虑了秧苗生长期有效积温对发育进程造成的影响。秧

收稿日期: 2014-03-18

基金项目: 中国气象局公益性行业科研专项(GYHY201206020, GYHY201206022)

作者简介: 帅细强(1970—), 男, 湖南醴陵人, 副研究员, 硕士, 主要从事农业气象研究, nqxsq@163.com; *通信作者, lukuidong@163.com

苗生长期有效积温越多,造成发育期延迟的影响也越大。该作物模型的主要生长参数包括比叶面积(单位干质量的鲜叶表面积)、同化物分配系数、叶片相对生长速率、叶片死亡速率、茎同化物向穗转移系数、最大粒重等^[9-11]。在不利气象条件的响应方面,模型考虑了抽穗—开花期低温和开花—灌浆期高温对产量形成的影响,也考虑了干旱胁迫对叶片死亡、开花延迟、同化物分配以及水稻不育等的影响。该模型对水稻生长诸过程,特别是高温、水分胁迫等有更深入的定量描述,已经在一些地区进行了检验和应用^[5,11-12]。

水稻占中国粮食总产量的近40%。中国于1996年启动超级稻育种计划^[13]。2006年,长江中游地区的超级杂交早稻研究取得了较大突破,株两优819和两优287被农业部认定为超级杂交早稻品种^[14-16]。2006、2007年湖南亚华种子有限公司在湖南、江西安排了15个超级杂交早稻百亩示范片,试验普遍获得成功^[15]。湖南湘乡市、江西丰城市等10个核心示范片的测产验收结果表明,株两优819的平均产量为7999.38 kg/hm²,比当地主栽品种平均增产12.14%,其中2007年在江西鄱阳油墩街镇示范种植6.73 hm²,经专家测产验收,产量达8281.5 kg/hm²,比三系杂交早稻金优974增产10.62%。2009年,金优458被农业部认定为超级杂交早稻^[17-19]。通过高产示范种植,金优458表现出产量高、生育期适中、适应性广等特点,适宜在江西、湖南和福建北部、浙江中南部的稻瘟病轻发双季稻区作早稻种植^[18-20]。笔者根据超级杂交早稻田田间试验观测资料对作物生长模型有关参数进行调试和检验,旨在为评价气象条件对超级杂交早稻发育期和生物量的影响提供定量化的技术方法。

1 材料与方 法

1.1 材 料

超级杂交早稻品种选用金优458。

气象资料采用与试验基地邻近的南昌县气象局的资料,包括超级杂交早稻生长期逐日最高气温、最低气温、日照时间、降水量、平均风速、平均水汽压等要素。

1.2 试验设计

分期播种试验于2012—2013年在双季稻区的

江西省南昌县莲塘镇农业气象试验基地进行。土壤肥力中等偏上。超级杂交早稻分期播种的时间间隔为7d,每年设计4个播期,2012年分期播种时间分别为3月18日、3月25日、4月1日、4月8日,2013年分期播种时间分别为3月16日、3月22日、3月29日、4月5日。

1.3 测定指标及方法

生物量测定使用精度为0.001g的电子天平,干物质处理利用智能调温烤箱烘干。

按照《农业气象观测规范》,观测、记载各播期的播种期、出苗期、移栽期、返青期、分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、乳熟期、成熟期等发育期;在主要营养生长期、抽穗期、乳熟期等发育期进行密度、叶面积、分器官生物量测定,并在成熟期增测分器官生物量,同时测定穗粒数、实粒数、秕谷数、千粒质量等。

1.4 数据处理

利用Excel 2007等对田间观测数据和气象数据进行处理,选用ORYZA2000模型,使用整理后的数据调试作物模型参数,并预留部分独立数据进行模型检验,即用2012年第1期、第2期、第4期和2013年第1期、第3期、第4期的观测资料进行作物模型参数调试,并采用计算平均误差的方法对发育期、地上生物量和穗生物量等进行回代检验,用2012年第3期和2013年第2期的观测资料进行外推检验。

2 结果与分析

2.1 模型参数调试结果

在作物模型ORYZA2000的众多参数中,大部分参数是通用的,不需要校正,可以直接采用,只有少部分对环境特性反应比较敏感的作物参数需要调试。这部分参数可以通过子程序DRATE、PARAM和气象数据、田间试验数据求得,主要有发育速率、比叶面积、叶茎穗分配系数、叶片相对生长速率、叶片死亡速率、茎同化物向穗转移系数等。参数获取流程为:

1) 编辑天气文件,按站名、年份、日序、日照时间、最低温度、最高温度、水汽压、平均风速、降水量等顺序排列。

2) 编辑试验文件,将运行模式设定为试验模

式，并修改试验的基本管理数据，如出苗时间、移栽时间、密度等。

3) 调试物候学参数，如出苗期、幼穗分化期、开花期、成熟期等。

4) 编辑实测的叶面积指数、绿叶干质量、死叶干质量、茎干质量、穗干质量、地上生物量等。

5) 打开控制文件 PARM.IN，修改试验数据文件名和作物文件名。

6) 运行 DRATES.EXE 文件，利用 drate.out 文件中的发育速率，修正作物文件中的 DVRJ、DVRI、DVRP、DVRR 数据，其中，DVRJ 表示基本营养

生长阶段发育速率，发育阶段为出苗期至光周期敏感开始期；DVRI 表示光周期敏感阶段发育速率，发育阶段为光周期敏感开始期至幼穗分化期。

DVRP 表示穗形成阶段发育速率，发育阶段为幼穗分化期至开花期。DVRR 表示灌浆阶段发育速率，发育阶段为开花期至生理成熟期。

7) 运行 PARAM.EXE 文件，提取 param.out 文件中的有关参数数据。

各播期发育速率、移栽休眠影响系数和茎向穗转移系数等见表 1。

表 1 不同播期的发育速率和茎向穗转移系数

Table 1 Development rate and transfer coefficient from stem to spike at different sowing times

年份	播期	不同发育阶段的发育速率				移栽休眠影响系数	茎向穗转移系数
		基本营养生长阶段	光周期敏感阶段	穗形成阶段	灌浆阶段		
2012	第 1 期	0.001 105	0.000 758	0.000 948	0.002 121	0.100 7	0.184
	第 2 期	0.001 243	0.000 758	0.000 980	0.001 800	0.299 8	
	第 4 期	0.001 514	0.000 758	0.000 770	0.002 112	0.319 5	0.176
2013	第 1 期	0.001 036	0.000 758	0.000 851	0.002 486	0.155 3	0.438
	第 3 期	0.001 010	0.000 758	0.000 985	0.002 034	0.172 6	0.439
	第 4 期	0.001 166	0.000 758	0.000 970	0.001 958	0.215 2	0.440
平均		0.001 179	0.000 758	0.000 917	0.002 085	0.210 5	0.335

2012 年第 2 期超级杂交早稻的茎向穗转移系数最大值出现在成熟期，有疑问，未采用。

分别从 2012 年超级杂交早稻第 1 期、第 2 期、第 4 期和 2013 年第 1 期、第 3 期、第 4 期的 param.out 文件中提取比叶面积、叶茎穗分配系数等数据，利用 Execl 制作作物发育阶段与作物比叶面积、作物发育阶段与作物地上生物量的叶、茎、穗分配系数等的散点图，根据散点图的变化规律确定超级杂交早稻不同发育阶段的比叶面积和地上生物量的叶、茎、穗分配系数等(图 1~4)。

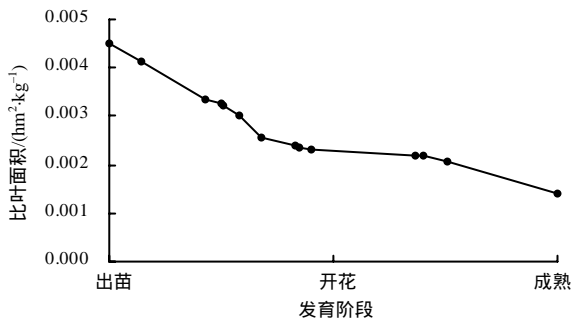


图 1 不同发育阶段的比叶面积

Fig.1 Specific leaf area at different development stages

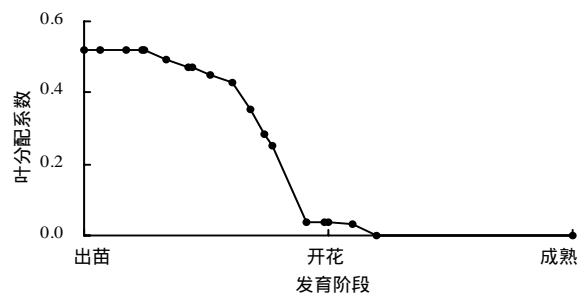


图 2 不同发育阶段地上生物量的叶分配系数

Fig.2 Leaf distribution coefficient of aboveground total biomass at different development stages

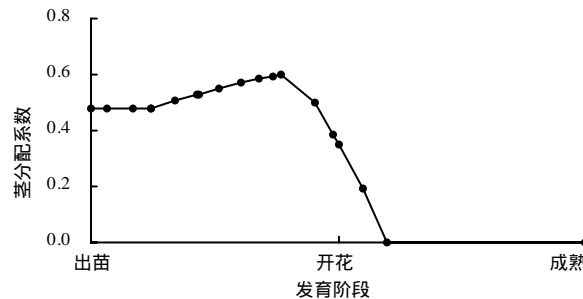


图 3 不同发育阶段地上生物量的茎分配系数

Fig.3 Stem distribution coefficient of aboveground total biomass at different development stages

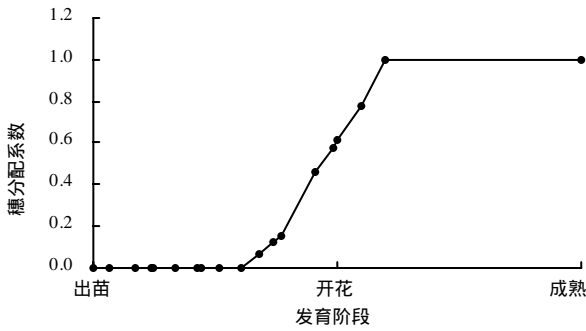


图 4 不同发育阶段地上生物量的穗分配系数

Fig.4 Storage organ distribution coefficient of aboveground total biomass at different development stages

2.2 模型检验结果

模拟结果表明：超级杂交早稻开花期模拟值与实测值的时间相差 1~3 d，成熟期模拟值与实测值的时间相差 0~3 d；开花期地上生物量模拟值与实

测值的平均误差为 5.1%(回代检验平均模拟误差与外推检验平均模拟误差两者的平均值，下同)，成熟期地上生物量模拟值与实测值的平均误差为 3.3%，成熟期穗生物量模拟值与实测值的平均误差为 2.0%。

2.2.1 回代检验结果

发育期检验结果表明，2012 年第 1 期、第 2 期、第 4 期和 2013 年第 1 期、第 3 期、第 4 期超级杂交早稻开花期模拟值与实测值的时间相差 1~2 d(表 2)，其中 2012 年第 4 期和 2013 年第 3 期、第 4 期的时间相差不超过 1 d 的占 50%(6 期中有 3 期)；成熟期模拟值与实测值的时间相差为 0~3 d，其中 2012 年第 2 期、第 4 期和 2013 年第 3 期、第 4 期的时间相差不超过 2 d 的占 67%(6 期中有 4 期)。

表 2 发育期回代检验结果

Table 2 Fitted test at development stages

年份	播期	开花期			成熟期		
		观测日(月-日)	模拟日(月-日)	时间差/d	观测日(月-日)	模拟日(月-日)	时间差/d
2012	第 1 期	06-15	06-17	2	07-12	07-15	3
	第 2 期	06-17	06-19	2	07-19	07-17	-2
	第 4 期	06-29	06-28	-1	07-27	07-27	0
2013	第 1 期	06-18	06-16	-2	07-11	07-14	3
	第 3 期	06-21	06-20	-1	07-19	07-18	-1
	第 4 期	06-23	06-24	1	07-22	07-21	-1

生物量检验结果表明，超级杂交早稻开花期地上生物量的平均模拟误差(模拟值与观测值的差除以观测值，下同)为 1.8%(表 3)，2012 年第 1 期和 2013 年第 1 期、第 3 期、第 4 期的模拟误差在 20% 以内的占 67%(6 期中有 4 期)；成熟期地上生物量的平均模拟误差为 2.1%，2012 年第 1 期、第 2 期、第 4 期和 2013 年第 3 期、第 4 期的模拟误差在 16%

以内，模拟误差在 16% 以内的占 83%(6 期中有 5 期)。开花期穗生物量的平均模拟误差为 22.2%(表 4)，2013 年第 1 期、第 3 期、第 4 期的模拟误差在 20% 以内的占 50%(6 期中有 3 期)；成熟期穗生物量的平均模拟误差为 0.3%，2012 年第 1 期、第 3 期、第 4 期和 2013 年第 4 期的模拟误差在 12% 以内的占 67%(6 期中有 4 期)。

表 3 地上生物量回代检验结果

Table 3 Results of fitted test for aboveground total biomass

年份	播期	开花期地上生物量			成熟期地上生物量		
		观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%	观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%
2012	第 1 期	4 468.2	5 345.1	19.6	9 783.1	9 340.2	-4.5
	第 2 期	3 785.0	5 746.8	51.8	8 985.1	10 033.0	11.7
	第 4 期	2 908.0	3 798.0	30.6	7 053.2	7 287.0	3.3
2013	第 1 期	6 713.8	6 147.9	-8.4	8 361.5	11 104.0	32.8
	第 3 期	6 863.3	5 668.0	-17.4	11 380.4	9 627.9	-15.4
	第 4 期	7 268.6	5 870.1	-19.2	11 111.0	10 455.0	-5.9
平均	5 334.5	5 429.3	1.8	9 445.7	9 641.2	2.1	

表 4 穗生物量回代检验结果

年份	播期	开花期穗生物量			成熟期穗生物量		
		观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%	观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%
2012	第 1 期	1 014.8	1 287.1	26.8	6 612.1	5 977.0	-9.6
	第 2 期	803.5	1 328.9	65.4	5 683.1	6 340.9	11.6
	第 4 期	664.9	915.0	37.6	4 866.8	4 849.0	-0.4
2013	第 1 期	1 431.2	1 652.8	15.5	5 128.2	7 365.4	43.6
	第 3 期	1 364.5	1 536.0	12.6	7 934.7	6 216.5	-21.7
	第 4 期	1 502.4	1 568.9	4.4	7 285.2	6 889.5	-5.4
平均	1 130.2	1 381.5	22.2	6 251.7	6 273.1	0.3	

2.2.2 外推检验结果

发育期外推检验结果(表 5)表明,超级杂交早稻开花期模拟值与实测值的时间相差 2~3 d,成熟期模拟值与实测值的时间相差 1~2 d。生物量外推检验结果(表 6)表明,超级杂交早稻开花期地上生物量的平均模拟误差为 8.4%(表 6),2013 年第 2 期的模

拟误差为 6.7%;成熟期地上生物量的平均模拟误差为 4.5%,2012 年第 3 期的模拟误差为 1.7%。表 7 结果表明,开花期穗生物量的平均模拟误差为 32.9%,2013 年第 2 期的模拟误差为 16.5%;成熟期穗生物量的平均模拟误差为 3.7%,2012 年第 3 期的模拟误差为 2.0%。

表 5 发育期的外推检验结果

年份	播期	开花期			成熟期		
		观测日(月-日)	模拟日(月-日)	时间差/d	观测日(月-日)	模拟日(月-日)	时间差/d
2012 年	第 3 期	06-21	06-23	+2	07-23	07-21	-2
2013 年	第 2 期	06-20	06-17	-3	07-16	07-15	-1

表 6 地上生物量的外推检验结果

年份	播期	开花期地上生物量			成熟期地上生物量		
		观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%	观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%
2012	第 3 期	3 727.0	5 018.5	34.7	8 692.4	8 837.5	1.7
2013	第 2 期	6 488.1	6 056.3	-6.7	9 868.4	10 554.0	6.9
平均		5 107.6	5 537.4	8.4	9 280.4	9 695.8	4.5

表 7 穗生物量的外推检验结果

年份	播期	开花期穗生物量			成熟期穗生物量		
		观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%	观测值/(kg·hm ⁻²)	模拟值/(kg·hm ⁻²)	模拟误差/%
2012	第 3 期	742.3	1 199.5	61.6	5 555.3	5 668.0	2.0
2013	第 2 期	1 293.7	1 507.3	16.5	6 409.0	6 736.3	5.1
平均		1 018.0	1 353.4	32.9	5 982.2	6 202.2	3.7

3 结论与讨论

已有研究表明,调试后的 ORYZA2000 模型对水稻发育期的模拟较好。这可能与 ORYZA2000 作物模型以小时为时间步长模拟水稻的生长发育进程,并采用三基点温度进行发育期模拟和考虑了移

栽对水稻休眠的影响等有关^[6-8]。湖南双季稻开花期和成熟期模拟值与实测值时间差小于 1 d^[21];安徽地区水稻发育期模拟值比实测值小,日期时间差为 2~7 d^[22];江南早(晚)稻开花期、成熟期模拟回代样本的平均误差均为 3~6 d,外推检验样本误差为 3~5 d^[10]。本研究中,超级杂交早稻开花期模拟

值与实测值相差 1~3 d, 成熟期模拟值与实测值相差 0~3 d, 与文献[21]、[22]报道的结论一致, 且优于文献[22]报道的结论, 说明调试后的 ORYZA2000 模型对超级杂交早稻发育期的模拟较好。

在生物量模拟方面, 北京地区旱稻地上部总生物量模拟值与实测值的 NRMSE 为 45%, 穗生物量的 NRMSE 为 37%^[5]; 贵阳地区一季中稻地上部总生物量的 NRMSE 为 16.4%, 穗生物量的 NRMSE 为 23.5%^[11]; 安徽地区水稻地上部分总生物量的 NRMSE 为 6%~13%, 穗生物量的 NRMSE 为 19%~25%^[22]; 湖南早稻地上部总生物量及各器官生物量的 NRMSE 小于 25%^[21]。本研究中, 超级杂交早稻地上部总生物量的 NRMSE 为 15.2%~23.1%, 穗生物量的 NRMSE 为 19.5%~25.4%, 与上述研究的结论一致, 比北京地区旱稻的 NRMSE^[5]小, 说明用调试后的 ORYZA2000 模型对超级杂交早稻的生物量进行模拟是可行的。

本研究中根据 1 个试验点的 2 年田间观测数据来进行模型参数校正, 存在试验点和试验品种偏少的情况。为了提高 ORYZA2000 模型的模拟精度和应用区域, 有必要进行不同区域和多个品种田间试验, 对模型参数进行进一步的本地化校正, 以提高 ORYZA2000 模型在更大区域范围内的应用。

参考文献:

- [1] 高亮之. 农业模型学基础[M]. 北京: 天马图书有限公司, 2004: 186-206.
- [2] 潘学标. 作物模型原理[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 273-303.
- [3] 陈恩波. 作物生长模拟研究综述[J]. 中国农学通报, 2009, 25(22): 114-117.
- [4] 马玉平, 王石立, 王馥棠. 作物模拟模型在农业气象业务应用中的研究初探[J]. 应用气象学报, 2005, 16(3): 293-303.
- [5] 薛昌颖, 杨晓光, Bouman B A M, 等. ORYZA2000 模型模拟北京地区旱稻的适应性初探[J]. 作物学报, 2005, 31(12): 1567-1571.
- [6] Kropff M J, van Laar H H, Ten Berge H F M. ORYZA1: A Basic Model for Irrigated Lowland Rice Production[M]. Wageningen: Centre for Agrobiological Research, 1993: 76-83.
- [7] Kropff M J, van Laar H H, Matthews R. ORAZA1, An Eco-physiological Model for Irrigation Rice Production[M]. Wageningen: SARP Research Proceedings, 1994: 104-110.
- [8] Matthews R B, Hunt L A. A model describing the growth of cassava[J]. Field Crops Res, 1994, 36(1): 69-84.
- [9] 帅细强, 邹锦明, 谢佰承, 等. B2 情景对湘鄂双季稻发育期及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(33): 121-126.
- [10] 帅细强, 王石立, 马玉平, 等. 基于水稻生长模型的气象影响评价和产量动态预测[J]. 应用气象学报, 2008, 19(1): 71-81.
- [11] 冯跃华, 黄敬峰, 陈长青, 等. 基于 ORYZA2000 模型模拟贵阳地区一季中稻的适应性初探[J]. 中国农学通报, 2012, 28(9): 26-32.
- [12] 刘布春, 王石立, 马玉平. 国外作物模型区域应用研究进展[J]. 气象科技, 2002, 30(4): 194-203.
- [13] 袁隆平. 发展杂交水稻, 造福世界人民[J]. 科技导报, 2012, 30(1): 3.
- [14] 邓华凤, 向晓诚, 张武汉, 等. 长江中游双季超级杂交早稻研究进展[J]. 杂交水稻, 2009, 24(1): 1-4.
- [15] 杨远柱, 符辰建, 张章, 等. 超级杂交早稻新组合株两优 819 的选育及应用[J]. 农业科技通讯, 2007, 36(12): 77-79.
- [16] 周勇, 居超明, 徐国成, 等. 优质两系超级杂交早稻新组合两优 287[J]. 杂交水稻, 2008, 23(1): 71-72.
- [17] 蔡耀辉, 李永辉, 颜龙安, 等. 早恢 R458 的选育与应用[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(6): 985-988.
- [18] 黄海燕, 胡金和, 刘宗发, 等. 南昌市超级早稻新品种比较试验研究[J]. 现代农业科技, 2011, 40(2): 96-97.
- [19] 邓荣银, 蒋火生, 谢许平. 超级杂交早稻金优 458 在湖南零陵示范表现及高产栽培技术[J]. 杂交水稻, 2010, 25(1): 50-51.
- [20] 钱银飞, 邱才飞, 邵彩虹, 等. 控穗剂对超级杂交早稻金优 458 生长发育及产量形成的影响[J]. 杂交水稻, 2011, 26(3): 71-75.
- [21] 莫志鸿, 冯利平, 邹海平, 等. 水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4628-4637.
- [22] 浩宇, 景元书, 马晓群, 等. ORYZA2000 模型模拟安徽地区不同播种期水稻的适应性分析[J]. 中国农业气象, 2013, 34(4): 425-433.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库