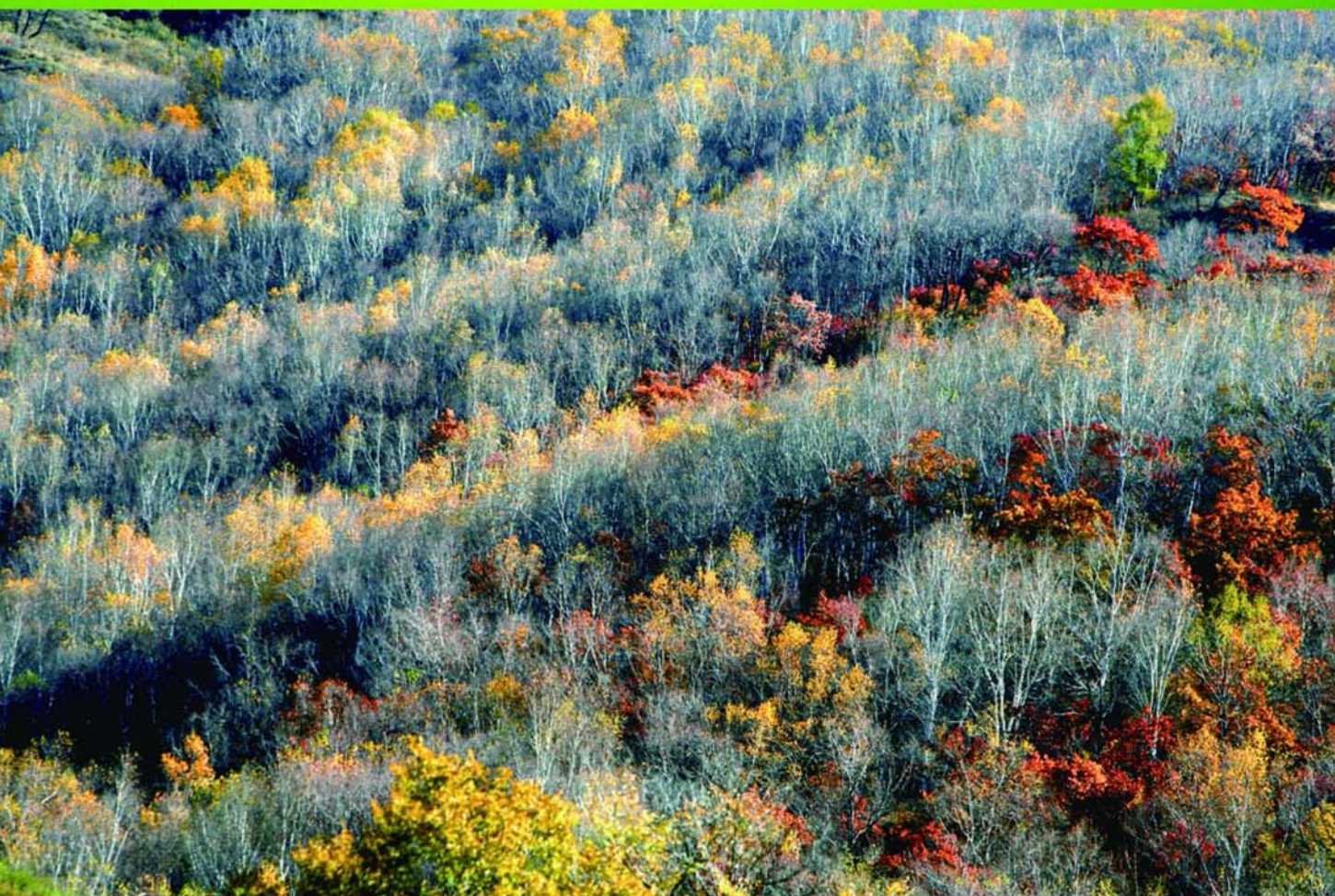


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 16 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目 次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较·····	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟·····	郎 莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响·····	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响·····	吴 坤,吴中红,邵付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较·····	蒋和平,郑青松,朱 明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响·····	庞秋颖,陈思学,于 涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响·····	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析·····	杜 军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长·····	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价·····	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响·····	张征田,庞振凌,夏 敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构·····	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例·····	张 斌,袁 晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数 (FAII) 评价长江口沿岸碎波带健康状况·····	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析·····	朱国平,吴 强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价·····	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡·····	王小彬,王 燕,代 快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量·····	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源·····	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响·····	马 晶,孙 建,张 涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较·····	吕 进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化·····	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征·····	韩 路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略·····	乔 琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响·····	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系·····	邵 璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析·····	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法·····	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展·····	周传斌,戴 欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻 PAL 多基因家族的差异表达·····	方长甸,王清水,余 彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究·····	王 迪,陈丕茂,马 媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征·····	董凯凯,王 惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析·····	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究·····	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N ₂ O 排放及影响因子·····	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-08	



封面图说: 在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

莫志鸿, 冯利平, 邹海平, 王靖, 黄晚华, 杨晓光. 水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价. 生态学报, 2011, 31 (16): 4628-4637.

Mo Z H, Feng L P, Zou H P, Wang J, Huang W H, Yang X G. Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (16): 4628-4637.

水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的 验证与适应性评价

莫志鸿^{1,2}, 冯利平^{1,*}, 邹海平¹, 王靖¹, 黄晚华³, 杨晓光¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;

3. 湖南省气象科学研究所, 长沙 410007)

摘要: 校准与验证水稻生长模型 ORYZA2000, 为模型本地化、区域化研究应用提供依据。采用湖南双季稻区作物田间观测数据, 结合栽培管理措施、土壤以及同期逐日气象数据等资料对 ORYZA2000 进行参数校正, 调试确定了早稻、晚稻有代表性品种的作物参数; 利用独立的数据资料, 对双季稻生育期、叶面积指数、生物量、产量等指标的模拟结果进行了详细地验证与适应性评价。结果表明: 模型对双季稻品种的生育期模拟较好, 开花期和成熟期的相对模拟误差为 1—2d; 早稻和晚稻叶面积指数的归一化均方根误差 (*NRMSE*) 均为 24%, 地上部总生物量、绿叶生物量、茎生物量和穗生物量的 *NRMSE* 值分别为 18%、22%、22%、24% 和 19%、24%、28%、28%, 产量的 *NRMSE* 值分别为 11% 和 16%。校验的作物参数反映了湖南早稻和晚稻品种的生物学特性, 参数值合理、有效。通过校准作物参数, ORYZA2000 可较为准确地模拟双季稻生长发育及其生物量的动态累积过程, 适应性较强, 能够应用于双季稻生产。

关键词: 双季稻; ORYZA2000 模型; 验证评价; 湖南

Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province

MO Zhihong^{1,2}, FENG Liping^{1,*}, ZOU Haiping¹, WANG Jin¹, HUANG Wanhua³, YANG Xiaoguang¹

1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

3 Hunan Institute of Meteorology, Changsha 410007, China

Abstract: Crop model evaluation is a key and essential process in its application. Hunan province is one of the important rice production areas dominated with double cropping rice in China. The rice growth model ORYZA2000 could be used to simulate growth, development and yield formation of lowland rice under conditions of potential production, water limitation and nitrogen limitation. Many studies focused on calibration and validation of ORYZA2000 on single rice, while few validation studies have been made on double-cropping rice in China. To provide the reference for regional adaptation and application of ORYZA2000 in Hunan province, the model was calibrated by the field data observed from three agrometeorological stations (Changde, 29°03'N, 111°41'E; Changsha, 28°12'N, 113°05'E; Zixing, 25°59'N, 113°13'E) with six varieties (early rice: XZX31, JY974 and JY402; late rice: YC893, XYSH and JY207) from 2000 to 2003, and evaluated by the dataset from above stations with the same varieties in 2004 and 2005. The daily meteorological data (maximum temperature, minimum temperature, sunshine hours, wind speed, vapor pressure, and precipitation) over the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30771249); 国家高技术研究发展计划项目 (2006AA10Z224); 国家科技支撑计划课题 (2006BAD04B07)

收稿日期: 2010-08-27; **修订日期:** 2010-12-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fenglp@cau.edu.cn

growing period of double cropping rice for the studied sites were used as driving variables in ORYZA2000 model. Management measures and soil data including soil texture, saturated hydraulic conductivity, etc. were used as the input of the model.

The parameters of development rate, partitioning of biomass, specific leaf area, leaf death coefficient, and relative growth rate of leaves have been determined for the typical varieties of early and late rice in Hunan province. It was showed that the development rate during juvenile phase (DVRJ) and reproductive phase (DVRR), the partitioning parameters of biomass from panicle to flowering, and the value of specific leaf area (SLA) in post-anthesis were different significantly from the given value by the model. The calibrated parameters were reasonable and could reflect the biological characteristics of double cropping rice varieties planted in the studied area.

By the comparison between simulated and measured values of development stage (flowering and maturity), leaf area index (LAI), total biomass, biomass for each organ, and grain yield, the simulation capacity and performance of ORYZA2000 model were evaluated in double cropping rice area. The results showed that the model could simulate the phenology of double cropping rice with 1—2 days' difference for floral and mature stages. The normalized root mean square errors (NRMSE) for LAI were both 24%, and that for total aboveground dry matter, dry weight of green leaves, dry weight of stems, dry weight of storage organs and grain yield were 18%, 22%, 22%, 24%, 11% and 19%, 24%, 28%, 28%, 16% for the early and late rice, respectively. These results showed that ORYZA2000 model could satisfactorily simulate the dynamical process of growth, development and yield of double cropping rice. It was also found that there were large errors in simulating LAI and biomass of green leaves, which needed to be further improved by revising the algorithm of the model. In general, we could conclude that ORYZA2000 model was adaptable and could be applied in scenarios analysis study in double cropping rice area of Hunan province.

Key Words: double cropping rice; ORYZA2000 model; evaluation; Hunan province

湖南是我国稻谷生产的最大省份,双季稻生产在全国粮食生产中占有重要地位。作物模型是农业研究领域重要工具之一,它不仅能检验人们对农业生产系统的认知水平,还能帮助理解和比较不同试验点结果的差异性^[1]。目前,作物模型已应用于开发管理决策支持系统^[2],开展气候变化影响评估、区域农业规划及产量预测^[3]等研究。我国水稻生长模型研究始于 20 世纪 80 年代,黄策^[4]、冯定原^[5]对水稻生长发育及产量形成等过程进行了数值模拟,高亮之等^[6]研制出水稻栽培计算机模拟优化决策系统(RCSODS)并在实际生产上得到较好推广应用。近年来,有研究将国际水稻研究所(IRRI)和瓦赫宁根大学联合研制的水稻生长模型 ORYZA2000 引进我国进行了验证与应用分析,如薛昌颖等^[7]研究了 ORYZA2000 对北京地区旱稻生长的模拟性能,冯利平等^[8]校验了北方旱稻与低地水稻品种参数并进行了节水灌溉模拟研究,李亚龙等^[9]用湖北团林水稻水肥耦合试验资料对 ORYZA2000 进行参数校正与验证,帅细强等^[10]进行了 ORYZA2000 在江南双季稻区的本地化和区域化研究并探讨应用于气象条件影响的定量评价。验证模型与适应性评价是模型应用的一个关键和基础性工作。现有研究多为单季水稻的模拟验证,且对水稻生长发育各过程的模拟效果检验不足。本文通过湖南多个农业气象观测站多年双季稻观测资料,考虑当前生产管理措施水平,在 ORYZA2000 模型中调试并确定了代表性品种的作物参数,详细进行了叶面积、器官生物量及产量等的模拟验证,总体评价 ORYZA2000 模拟能力与适应性,为模型进一步开展气候变化、资源利用等应用研究提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 ORYZA2000 模型简介

水稻生长模型 ORYZA2000 集成和发展了早期开发的 ORYZA1、ORYZA_W 和 ORYZA_N 模块,是一个生理生态模型,它以日为时间步长,可动态和定量地描述潜在生产水平、水分限制水平和氮素限制水平下的水稻生长发育、产量形成以及土壤水分、氮素的动态变化过程^[11]。模型主要由作物生长模块、蒸散模块、氮素动态

运移模块、土壤水分平衡模块等构成。本研究采用 ORYZA2000 最新版本 V2.13, 该版本改进了叶面积指数模块、氮素动态模块, 改进了水分参数(ET 等) 计算, 突出了干旱对作物生长的影响, 增加了一些水分输入输出变量。

运行 ORYZA2000 模型时, 用户需要按照格式建立作物参数文件、田间管理文件、气象数据文件及土壤数据文件等。

1.2 数据资料及来源

1.2.1 作物与管理数据

湖南双季稻区农业气象观测站 2000—2005 年作物观测数据, 站点为常德(29°03'N, 111°41'E, 海拔 35.0m)、长沙(28°12'N, 113°05'E, 海拔 44.9m) 和资兴(25°59'N, 113°13'E, 海拔 139.3m)。当地气象条件适宜双季稻生长, 土壤肥力中等。观测数据包括物候期(播种期、出苗期、三叶期、移栽期、分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、成熟期)、叶面积指数、器官生物量以及实测产量数据等。各站点早稻品种分别为湘早籼 31 号、金优 974 和金优 402, 晚稻品种分别为余赤 893、湘优十号和金优 207, 属杂交籼稻中熟品种; 管理措施同当地常规大田生产。资料由中国气象局气象资料室提供。

1.2.2 气象数据

2000—2005 年各观测站点逐日气象数据, 包括太阳辐射量(J/m^2) 或日照时数(h)、最高温度($^{\circ}C$)、最低温度($^{\circ}C$)、水汽压(kPa)、平均风速(m/s) 和降水量(mm)。

1.2.3 土壤资料

土壤理化性状数据主要有各土层土壤质地、地下水埋深等, 资料引自《中国土种志》^[12] 中湖南双季稻区稻田土壤剖面实测数据, 并计算饱和体积含水量和饱和导水率等参数。

1.3 模型参数确定与检验方法

1.3.1 模型参数确定

应用模型前要经过一系列的调参与检验, 首先是检验模型运行的输出结果在逻辑上正确, 其次是校正模型, 利用试验数据校正模型中的参数, 最后是验证模型, 用多点不同类型的试验数据检验模型的有效性和适应性。ORYZA2000 模型表征品种间差异的作物参数大部分是根据大量的试验结果分析得出, 具有普适性^[13], 仅有 10% 左右的作物参数需要通过田间试验具体确定, 这些参数包括发育速率、干物质分配系数、比叶面积、叶片相对生长速率、叶片死亡速率、茎同化物转移系数以及最大粒重等。

利用 2000—2003 年双季稻代表性品种田间观测资料对 ORYZA2000 模型进行调试, 并获得了上述参数校正值。同时比较早稻与晚稻作物发育期、叶面积指数、生物量及产量的模拟值与实测值, 以说明模型参数选取的有效性。

1.3.2 模型检验方法

选用国际上通用的指标体系进行模型适应性检验和评价^[14-15]。首先, 通过图形直观地判断模拟值与实测值之间的吻合程度, 对模型进行定性的总体评价。其次, 选择统计指标进行定量化评价, 统计指标包括模拟结果与实测结果的平均值, 两者之间的线性回归系数(α)、截距(β)、确定系数(R^2); 不等方差 Student's-t 检验值($P(t^*)$); 均方根误差(RMSE)、归一化均方根误差(NRMSE)。其中均方根误差(RMSE) 和归一化均方根误差(NRMSE) 的计算公式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$NRMSE = 100 \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}}}{\bar{X}} \quad (2)$$

式中, Y_i 和 X_i 分别为模拟值和实测值, $\bar{X}$ 为实测数据平均值, n 为样本数。

模拟误差的大小可由均方根误差 ($RMSE$) 与归一化均方根误差 ($NRMSE$) 反映, 总体模拟效果由模拟值均值与实测值均值的差异反映。当线性回归系数 (α) 越接近于 1, 截距 (β) 越接近于 0, 并且确定系数 (R^2) 越大时, 吻合度就高。Student's- t 检验值 ($P(t^*)$) 大于 0.05 时, 模拟值与实测值之间的差异不显著。

利用独立的一套数据验证模型, 采用 2004、2005 年观测数据分别验证早稻与晚稻发育期、叶面积系数、各器官生物量及产量的模拟性能, 进一步检验评价模型的有效性与适应性。

2 结果与分析

2.1 模型参数校准及其效果检验

2.1.1 模型参数校准

利用 2000—2003 年双季稻田间观测数据进行模型作物参数调试, 获得不同品种各发育阶段的发育速率、干物质分配系数、比叶面积及叶片相对生长速率等参数。ORYZA2000 模型将作物发育划分为 4 时期, 即出苗 ($DVS=0$)、穗分化 ($DVS=0.65$)、开花期 ($DVS=1$) 和成熟期 ($DVS=2$)。模型中需要校准的作物生育期参数有 4 个, 即营养生长期参数 ($DVRJ$)、光周期敏感期参数 ($DVRI$)、穗分化期参数 ($DVRP$) 和生殖生长期参数 ($DVRR$)。表 1 与表 2 分别列出各品种发育期参数和比叶面积校正值。可见, 发育期参数中, 不同品种间营养生长期参数和生殖生长期参数变化较大, 它们与模型中默认品种 IR72 的参数值相比也变化较大, 比叶面积在穗分化至开花期变化较大, 反映了湖南早稻与晚稻品种的特性, 是模型本地化的重要参数值。

表 1 双季稻发育速率参数校正值

Table 1 Calibrated parameters of development rate for double cropping rice							
发育参数 Developmental parameters	IR72	早稻 Early rice			晚稻 Late rice		
		湘早籼 31 XZX31	金优 974 JY974	金优 402 JY402	余赤 893 YC893	湘优十号 XYSH	金优 207 JY207
DVRJ	0.000773	0.003374	0.001329	0.001423	0.000792	0.001084	0.001093
DVRI	0.000758	0.000758	0.000758	0.000758	0.000758	0.000758	0.000758
DVRP	0.000784	0.000759	0.000759	0.000759	0.000795	0.000795	0.000795
DVRR	0.001784	0.003038	0.002711	0.002365	0.002237	0.002093	0.002268

表 2 双季稻不同发育时期比叶面积值

Table 2 Specific leaf area for double cropping rice in different stages						
发育时期 DVS	早稻 Early rice			晚稻 Late rice		
	湘早籼 31 XZX31	金优 974 JY974	金优 402 JY402	余赤 893 YC893	湘优十号 XYSH	金优 207 JY207
0.00	0.0045	0.0049	0.0045	0.0045	0.0046	0.0045
0.16	0.0045	0.0049	0.0045	0.0045	0.0046	0.0045
0.33	0.0035	0.0040	0.0034	0.0034	0.0043	0.0039
0.65	0.0030	0.0033	0.0033	0.0028	0.0037	0.0031
0.79	0.0025	0.0027	0.0026	0.0025	0.0031	0.0027
2.00	0.0021	0.0023	0.0022	0.0022	0.0022	0.0023

2.1.2 生育期模拟效果

开花期与成熟期作为水稻生育进程中重要的物候阶段, 是评价模型模拟效果的关键指标之一。在对发育期参数进行调试后, 模拟值与实测值的比较及统计表明, 开花期和成熟期的相对模拟误差为 0—2d, 平均小于 1d; 模拟值与实测值的线性回归决定系数 R^2 达到 0.99, 归一化均方根误差 ($NRMSE$) 在 0.56%—0.85%, 表明 ORYZA2000 模型对双季稻生育期的模拟精度高。

2.1.3 叶面积指数模拟效果

模型参数调试后, 不同地点、不同年份模拟的叶面积指数动态变化与实测值趋势一致, 移栽期后 LAI 呈现

抛物线型变化。以长沙 2000 年试验为例,早稻和晚稻 *LAI* 的动态变化如图 1。可见,模型能准确地模拟出苗—移栽和移栽—成熟期间双季稻 *LAI* 变化动态,模拟值与实测值具有良好的一致性和吻合度。

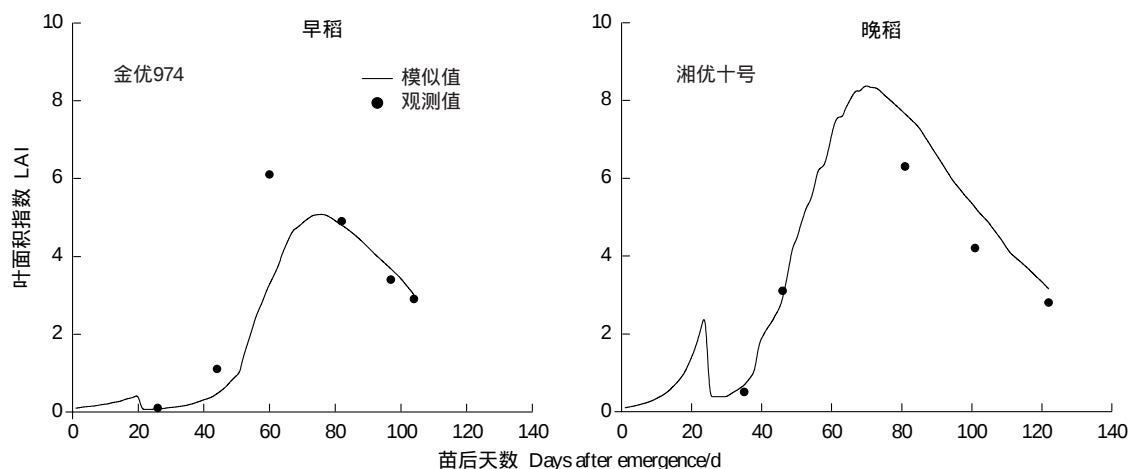


图 1 长沙双季稻 *LAI* 模拟值与实测值比较

Fig. 1 Comparison of simulated and measured *LAI* for double cropping rice in Changsha

分析 4 个年度 3 个地点调参后 *LAI* 总体的模拟效果,以说明模型参数选用的有效性。双季稻叶面积指数模拟值与实测值的比较见图 2。当 *LAI* 大于 6 时,早稻部分模拟值偏小(长沙点);当 *LAI* 在 4—6 之间时,晚稻也有部分模拟值比实测值偏小,离散度较大,其余值都较为均匀地分布在 1:1 线两侧,效果良好。*t* 检验结果表明,叶面积指数模拟值与实测值并无显著差别,早稻和晚稻模拟值均值(2.9 和 3.1)与实测值均值(3.1 和 3.5)接近,线性回归系数 α 值均接近于 1, R^2 分别为 0.835 和 0.686。

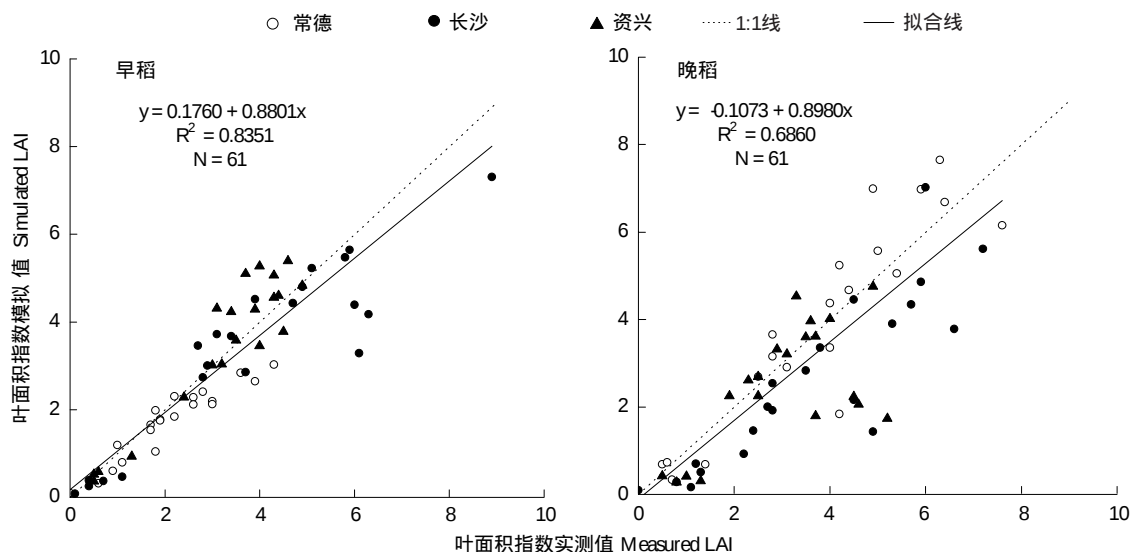


图 2 湖南双季稻 *LAI* 模拟值与实测值的对比(2000—2003 年)

Fig. 2 Comparison between simulated and measured *LAI* for double cropping rice in Hunan (2000—2003)

2.1.4 生物量模拟效果

经过参数校准后模型能反映早稻和晚稻各器官生物量积累变化动态,模拟值与实测值吻合。以长沙 2000 年试验为例,地上部分总生物量、绿叶生物量、茎生物量、穗生物量的动态模拟效果见图 3,其它站点与年份的校准模拟结果与之相似。

检验早稻和晚稻各器官生物量的模拟效果,模拟值与实测值呈良好的一致性。以地上部总生物量为例,

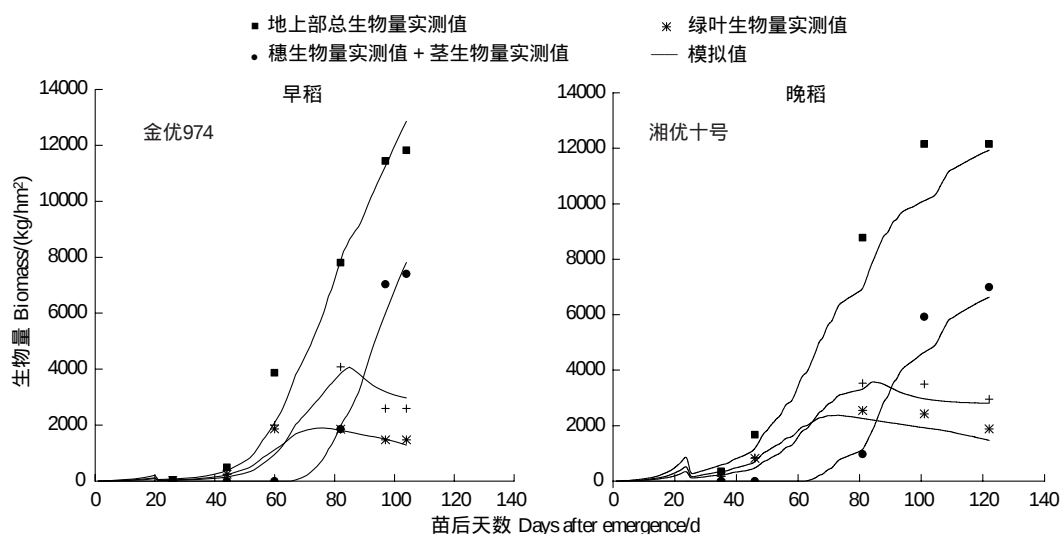


图3 长沙双季稻生物量模拟值与实测值比较

Fig. 3 Comparison of simulated and measured biomass for double cropping rice in Changsha

其模拟值与实测值的比较结果见图4。由统计结果可知,各器官模拟值均值与实测值均值较为接近,两者相差范围在 $-274\sim 299\text{ kg/hm}^2$, t 检验值($P(t^*)$)均大于0.05,表明模拟值与实测值无显著性差异。模拟值与实测值回归系数 α 值变化范围为0.741—1.071,均接近于1,决定系数 R^2 为0.670—0.931,器官生物量总体模拟性能良好。

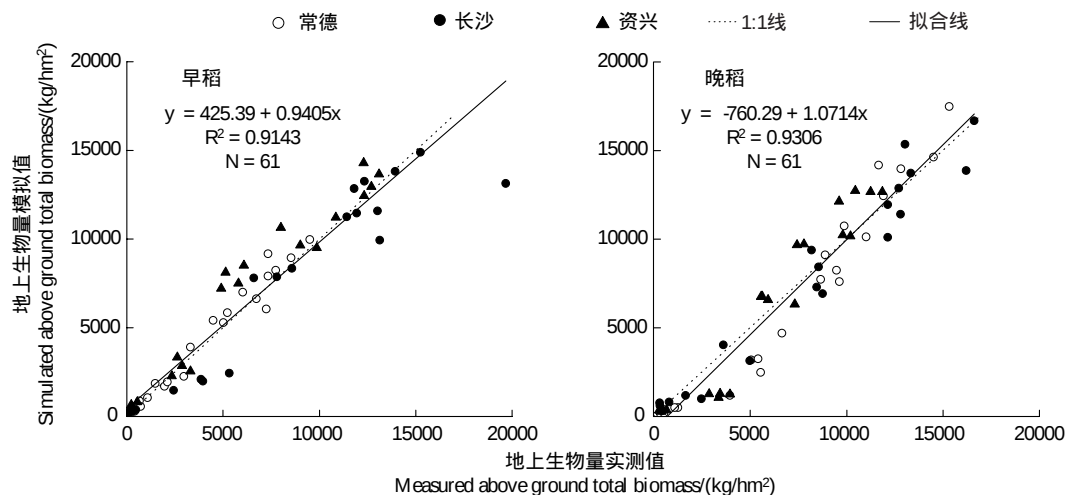


图4 双季稻地上生物量模拟值与实测值的对比(2000—2003年)

Fig. 4 Comparison between simulated and measured above ground total biomass for double cropping rice (2000—2003)

2.1.5 产量模拟效果

对比分析2000—2003年湖南双季稻产量实测值与模拟值,早稻和晚稻产量模拟值均值与实测值均值较接近,两者相差分别为 321 kg/hm^2 和 552 kg/hm^2 。线性回归系数 α 分别为0.880和1.098,均接近于1,截距 β 分别为 1085 kg/hm^2 和 -84 kg/hm^2 ; R^2 分别为0.740和0.560,回归效果极显著($P < 0.01$)。 t 检验结果表明,早稻和晚稻产量模拟值与实测值无显著性差异。上述说明,ORYZA2000模型模拟双季稻产量的性能良好。

2.2 模型独立性验证与评价

2.2.1 生育期验证

利用各试点2004、2005年田间观测资料对发育期模拟性能进行验证,开花期和成熟期模拟值与实测值对

比结果见图 5。可见,模拟值与实测值吻合度高,两者非常接近 1:1 直线,线性回归系数分别为 1.019 和 1.004,决定系数 R^2 均达到 0.99,回归效果极显著 ($P < 0.001$)。模型模拟误差值小于 1d,表明生育期的模拟精度高、性能好,所确定的发育期参数合理、有效。

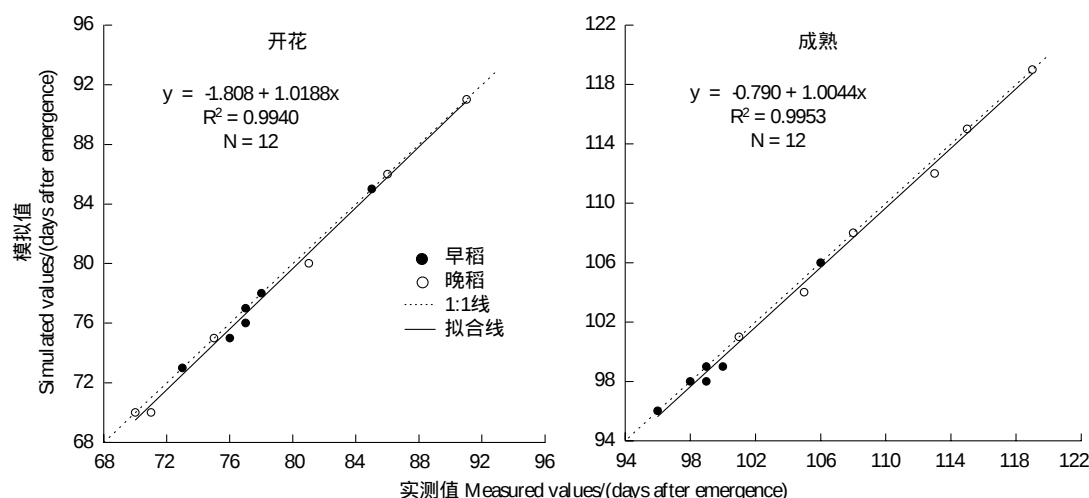


图 5 双季稻开花期和成熟期模拟值与实测值的对比验证(2004—2005 年)

Fig. 5 Validation on the simulated and measured days of flowering and maturity for double cropping rice (2004—2005)

2.2.2 叶面积指数验证

利用各试点 2004、2005 年不同品种测定资料对叶面积指数模拟性能进行验证。结果表明,模拟的叶面积指数动态变化与实测值趋势一致,模型能较好地反映双季稻叶面积指数变化动态。早稻和晚稻叶面积指数模拟值均值与实测值均值相接近, t 检验结果表明,二者无显著性差异。模拟值与实测值线性回归决定系数 R^2 值均大于 0.80,回归效果极显著 ($P < 0.001$)。早稻和晚稻均方根误差 ($RMSE$) 分别为 0.91 和 1.01,归一化均方根误差 ($NRMSE$) 为 24% (表 3)。上述表明,模型能够较好地模拟早稻和晚稻品种 LAI 的变化,模拟误差较为合理。

2.2.3 生物量验证

利用 2004、2005 年相应站点不同品种观测资料对双季稻地上部总生物量及各器官生物量的模拟性能进行验证。模拟的地上部总生物量及各器官生物量动态变化与实测值趋势一致,模型能较好地反映双季稻生物量变化动态。图 6 显示双季稻总生物量及穗生物量的模拟值与实测值对比情况。由统计分析结果(表 3)可知,地上部分总生物量及各器官生物量的模拟值与实测值较为接近,二者之间无显著差异 ($P < 0.05$)。早稻生物量模拟值均值略高于实测值均值,变化范围在 1—325 kg/hm^2 之间 ($WLVG$ 最小, $WAGT$ 最大);晚稻除 WSO 外,其余各生物量模拟值均值略低于实测值均值,两者相差范围在 -66—407 kg/hm^2 之间 ($WAGT$ 最小, WSO 最大)。回归系数 α 变化范围为 0.831—1.035,均接近于 1, R^2 均大于 0.80,回归方程效果极显著 ($P < 0.001$)。早稻归一化均方根误差 ($NRMSE$) 都小于 25%,晚稻 $NRMSE$ 都小于 30%。利用独立的验证资料对模型定标参数进行检验,表明各生物量的模拟误差均在合理范围内,生物量总体模拟性能良好。

2.2.4 产量验证

作物产量是作物生长发育状态良好与否的综合表现,最终产量的模拟结果可反映发育速率、干物质分配系数等作物参数的合理性,也是对模型模拟精度进行评价的一项重要内容。由表 3 统计结果可知,多年多地点各品种早稻和晚稻产量模拟值均值与实测值均值较接近,两者相差分别为 237 kg/hm^2 和 722 kg/hm^2 , t 检验结果显示,早稻和晚稻的模拟产量与实测产量无显著差异 ($P < 0.05$)。回归系数 α 接近于 1, R^2 分别为 0.618 和 0.532,线性回归效果显著 ($P < 0.10$)。早稻与晚稻归一化均方根误差 ($NRMSE$) 分别为 11% 和 16%。可见,模型的模拟精度与性能均较为良好。

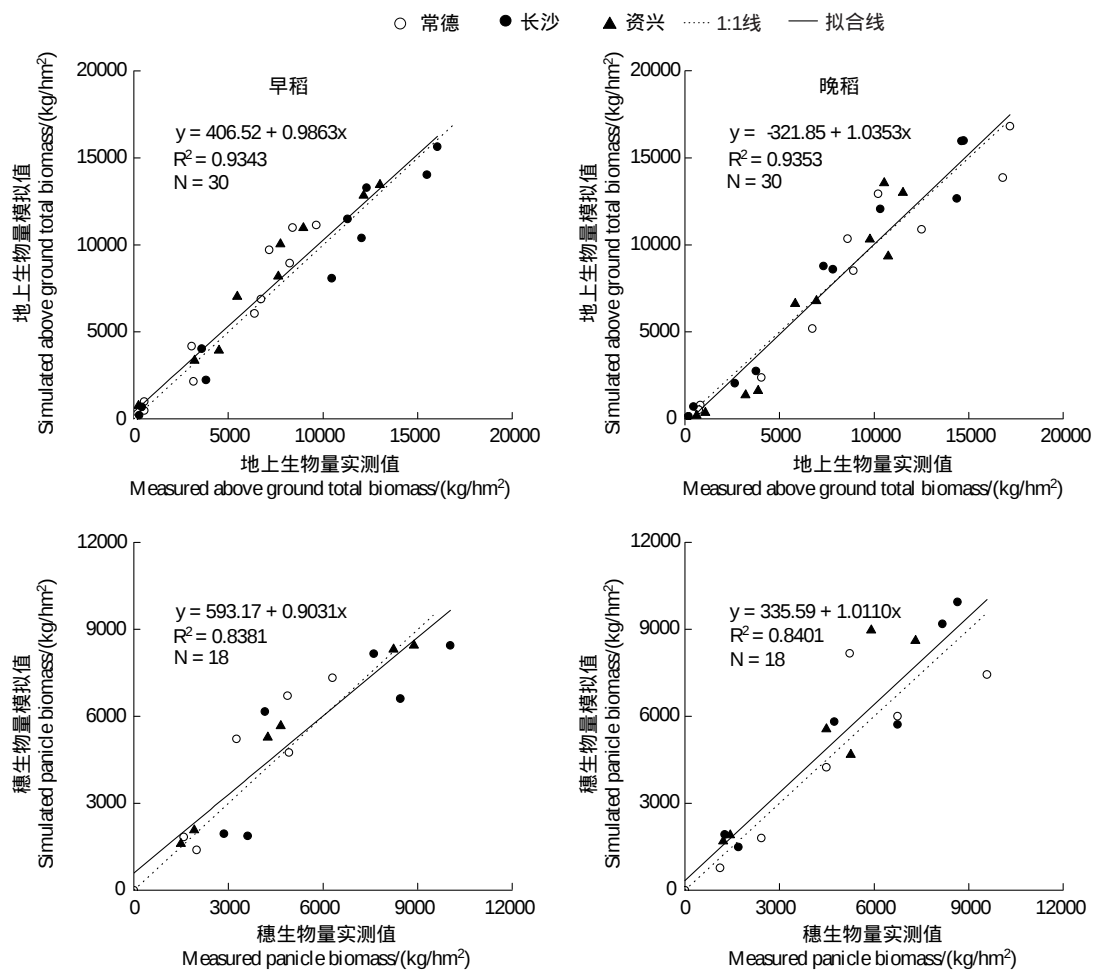


图 6 双季稻生物量模拟值与实测值对比验证 (2004—2005 年)

Fig. 6 Validation on the simulated and measured biomass for double cropping rice (2004—2005)

表 3 双季稻 LAI、生物量和产量模拟值与实测值的统计指标 (2004—2005 年)

Table 3 Statistical indicators of simulated and measured LAI, biomass and yield for double cropping rice (2004—2005)									
作物变量 Crop variable	N	$X_{obs}(SD)$	$X_{sim}(SD)$	$P(t^*)$	α	β	R^2	RMSE	NRMSE/%
早稻 Early rice									
叶面积指数 LAI	30	3.9(1.9)	3.5(1.8)	0.25	0.850	0.2	0.826	0.91	24
地上总生物量 WAGT/(kg/hm ²)	30	6986(4665)	7311(4744)	0.40	0.986	407	0.937	1264	18
绿叶生物量 WLVG/(kg/hm ²)	30	1392(751)	1393(645)	0.50	0.806	261	0.849	306	22
茎生物量 WST/(kg/hm ²)	30	2235(1365)	2363(1306)	0.36	0.907	325	0.882	500	22
穗生物量 WSO/(kg/hm ²)	18	4950(2712)	5097(2654)	0.44	0.903	593	0.838	1182	24
产量 Yield/(kg/hm ²)	6	7201(989)	7438(1316)	0.37	1.046	-99	0.618	780	11
晚稻 Late rice									
叶面积指数 LAI	30	4.2(2.2)	4.0(2.6)	0.37	1.090	-0.56	0.864	1.01	24
地上总生物量 WAGT/(kg/hm ²)	30	7568(5194)	7502(5590)	0.48	1.035	-322	0.935	1461	19
绿叶生物量 WLVG/(kg/hm ²)	30	1644(812)	1469(872)	0.21	0.970	-121	0.848	391	24
茎生物量 WST/(kg/hm ²)	30	2738(1831)	2439(1651)	0.25	0.831	158	0.851	780	28
穗生物量 WSO/(kg/hm ²)	18	4806(2769)	5213(3065)	0.34	1.011	336	0.840	1346	28
产量 Yield/(kg/hm ²)	6	7143(1158)	6421(635)	0.11	1.331	-1401	0.532	1040	16

N 为样本数; X_{obs} 表示观测值的平均值; X_{sim} 表示模拟值的平均值; SD 表示标准差; $P(t^*)$ 表示 t 检验; α 为模拟值与实测值的线性回归斜率, β 为截距, R^2 为决定系数; RMSE 表示模拟值与实测值的均方根误差, NRMSE 表示归一化均方根误差

3 结论与讨论

作物模型的验证与适应性评价对于模型引进及应用至关重要。本研究通过湖南多个农业气象观测站多年双季稻观测资料及当地土壤资料与逐日气象数据,对水稻生长模型 ORYZA2000 进行调参并确定了早稻与晚稻代表性品种的关键性参数,进行了生育期、叶面积指数、地上部分各器官生物量及产量等的详细模拟验证与适应性评价。研究表明,发育期参数中,不同品种间营养生长参数(DVRJ)和生殖生长参数(DVRR)变化较大,干物质分配系数以穗分化至开花期变化较大,比叶面积则在后期变化较大,反映了湖南早稻与晚稻品种的生物学特性,是模型本地化的重要参数值。各作物变量及最终产量的模拟值与实测值一致性较好,模型能较为准确地模拟双季稻生长发育以及产量的形成过程。总体上,模型具有较好的模拟精度及较强的适应性,能够应用于湖南双季稻生产,可为进一步应用模型开展资源利用分析、生产管理支持及气候变化影响研究提供依据和基础。

作物模型可以较好地解释气候、土壤等环境因素与生产管理措施对作物生育进程及产量的影响,具有较强的机理性和适应性。由于农业系统内在的复杂性,作物模型尚不能完全反映其所有的过程与关系,模拟结果与实测结果仍有一定的偏差。因而,作物模型本身有待进一步的改进与完善。

目前,作物模型对 LAI 的模拟主要有 3 种方法,即 Logistic 方程法、比叶重(比叶面积)法和叶片生理法^[16]。在 ORAZY2000 模型中,LAI 的增长与衰亡采用“比叶面积法”来模拟,其值由绿叶干重和叶面积大小决定,是模拟生物量动态变化的敏感参数。由于“比叶面积法”对叶片生长与衰亡、环境因素与管理措施影响等机理解释不足,导致模拟值与实测值之间仍存在一定误差,这也是本研究中叶面积与绿叶生物量模拟误差较大的原因所在。囿于资料的局限性,在模拟土壤水分动态平衡过程中大部分采用模型默认参数值,部分参数根据土壤普查资料计算得到,也会带来一定的误差。

References:

- [1] Jing Q, Bouman B A M, Hengsdijk H, van Keulen H, Cao W. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China. *European Journal of Agronomy*, 2007, 26(2): 166-177.
- [2] Guo Y Q, Li C D, Zhao C J, Guo X Y. Progresses and perspectives on maize cultivation theory and intelligence systems research. *Journal of Maize Sciences*, 2005, 13(1): 95-98.
- [3] Xiong W. Simulation of Climate Change on the Grain Production in China. Beijing: China Meteorological Press, 2009.
- [4] Huang C, Wang T D. Computer simulation of biomass production in rice community. *Acta Agronomica Sinica*, 1986, 12(1): 1-8.
- [5] Feng D Y, Xia H F. Numerical modelling of rice growth and yield formation. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1987, 10(2): 201-210.
- [6] Gao L Z, Jin Z Q, Huang Y, Chen H, Li B B. Rice Cultivational Simulation-Optimization-Decision Making System. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1992.
- [7] Xue C Y, Yang X G, Bouman B A M, Feng L P, van Laar G, Wang H Q, Wang P, Wang Z M. Preliminary Approach on Adaptability of ORYZA2000 Model for Aerobic Rice in Beijing Region. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(12): 1567-1571.
- [8] Feng Liping, Bouman B A M, Tuong T P. Exploring options to grow rice using less water in northern China using a modelling approach I. Field experiments and model evaluation. *Agricultural Water Management*, 2007, 88: 1-13.
- [9] Li Y L, Cui Y L, Li Y H. Validation and evaluation of ORYZA2000 under water and nitrogen limited conditions. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2005, 24(1): 28-32.
- [10] Shuai X Q, Wang S L, Ma Y P, Li Y C. Assessment of meteorologic condition effects and dynamic yield forecasting based on rice growth model. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2008, 19(1): 71-81.
- [11] Bouman B A M, Kropff M J, Tuong T P, Wopereis M C S, Ten Berge H F M, van Laar H H, ORYZA2000: Modeling Lowland Rice. Los Baños: International Rice Research Institute, and Wageningen: Wageningen University and Research Centre, 2001: 235-235.
- [12] Editorial Committee in National Survey of Soil. The Native Soil of China (Volume III). Beijing: China Agriculture Press, 1994.
- [13] Bouman B A M, van Laar H H. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. *Agricultural Systems*, 2006, 87(3): 249-273.
- [14] Kobayashi K, Salam M U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, 2000, 92(2): 345-352.

- [15] Gauch H G Jr, Gene Hwang J T, Fick G W. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. *Agronomy Journal*, 2003, 95: 1442-1446.
- [16] Ye H B, Meng Y L, Tang L, Zhu Y, Cao W X. A simulation study on leaf age and leaf area index in rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2008, 22(6): 625-630.

参考文献:

- [2] 郭银巧, 李存东, 赵春江, 郭新宇. 玉米栽培理论及智能决策系统的研究进展. *玉米科学*, 2005, 13(1): 95-98.
- [3] 熊伟. 气候变化对中国粮食生产的模拟研究. 北京: 气象出版社, 2009.
- [4] 黄策, 王天铎. 水稻群体物质生产过程的计算机模拟. *作物学报*, 1986, 12(1): 1-8.
- [5] 冯定原, 夏海峰. 水稻生长和产量形成的数值模式. *南京气象学院学报*, 1987, 10(2): 201-210.
- [6] 高亮之, 金之庆, 黄耀, 陈华, 李秉柏. 水稻栽培计算机模拟优化决策系统. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [7] 薛昌颖, 杨晓光, Bouman B A M, 冯利平, van Laar G, 王化琪, 王璞, 王志敏. ORYZA2000 模型模拟北京地区早稻的适应性初探. *作物学报*, 2005, 31(12): 1567-1571.
- [9] 李亚龙, 崔远来, 李远华. 水-氮联合限制条件下对水稻生产模型 ORYZA2000 的验证与评价. *排水灌溉学报*, 2005, 24(1): 28-32.
- [10] 帅细强, 王石立, 马玉平, 李迎春. 基于水稻生长模型的气象影响评价和产量动态预测. *应用气象学报*, 2008, 19(1): 71-81.
- [12] 全国土壤普查办公室. 中国土种志 (第三卷). 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [16] 叶宏宝, 孟亚利, 汤亮, 朱艳, 曹卫星. 水稻叶龄与叶面积指数动态的模拟研究. *中国水稻科学*, 2008, 22(6): 625-630.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31, No. 16 August, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination	WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of <i>Prunus sibirica</i> L. under different soil water conditions	LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field	QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves	WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujun, et al (4517)
Comparative physiological responses of cadmium stress on <i>Enteromorpha clathrata</i> and <i>Enteromorpha linza</i>	JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
Effects of salt stress on glucosinolate contents in <i>Arabidopsis thaliana</i> and <i>Thellungiella halophila</i> rosette leaves	PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field	GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia	DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
Seed characteristics and seedling growth of <i>Spartina alterniflora</i> on coastal wetland of North Jiangsu	XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model	TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in <i>Pirata subpiraticus</i> (Araneae: Lycosidae) in different habitats	ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current	ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area	ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary	MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
Population age structure of Antarctic krill <i>Euphausia superba</i> off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey	ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province	MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems	WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period	WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake	NI Zhaoxui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi	MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallen) and <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (<i>Helarctos malayanus</i>) in captivity	LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)
Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River	HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, <i>Bretschneidera sinensis</i>	QIAO Qi, QIN Xinsong, XING Fuwu, et al (4709)
Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress	DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency	HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
Review and Monograph	
The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement	CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
Indicators for evaluating sustainable communities: a review	ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
Discussion	
Differential expression of <i>PAL</i> multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions	FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
Scientific Note	
Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay	WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration	DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics	LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
Study on sap flow in forest of <i>Quercus liaotungensis</i> and <i>Populus davidiana</i> by using the TDP method	SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
N ₂ O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元