

# 基于田间试验的水稻模型 ORYZA2000 区域参数比较

韩湘云<sup>1,2</sup>, 景元书<sup>1,2</sup>, 浩宇<sup>1,2</sup>, 耿利宁<sup>1,2</sup>

(1. 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044;

2. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京 210044)

**摘要:**利用江苏南京、安徽宣城两地的水稻田间试验数据和气象资料,对 ORYZA2000 模型基本作物参数进行调整,包括不同发育阶段的发育速率、干物质分配系数、比叶面积等。两试验点的作物营养生长参数(DVRJ)和生殖生长参数(DVRR)差异很大,反应了模型的区域差异性。模拟效果均能准确反应叶面积指数、生物量的动态变化过程,在地上部生物量的模拟准确度最高。两试验点的叶面积指数、地上部生物量、绿叶生物量、茎生物量和穗生物量的归一化均方根 NSMSE 值分别为 9%、19%、18%、13%、25% 和 16%、25%、17%、19%、24%,因而南京试验点的模拟效果比宣城好,参数更具区域适应性。

**关键词:**ORYZA2000 模型;田间试验;区域化;参数调整

**文章编号:**1006-7639(2013)-01-0037-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0037

**中图分类号:**S16

**文献标识码:**A

## 引言

自 20 世纪 60 年代中期美国、荷兰开展了作物生长模拟研究以来,作物模型在现代农业领域发挥着越来越重要的作用,其综合了我们对作物生理生态过程的认知,用数学方程方式来管理作物生长。它不仅可以用来帮助分析和解释田间试验,还可以用于分析不同试验点的差异性、农业区域规划、作物管理最优化、开展气候变化对作物影响评估等研究<sup>[1-3]</sup>。我国 20 世纪 80 年代开始水稻生长模型研究,期间有多种作物生长模型被引进国内,近年来有许多对这些模型在国内进行验证与分析应用的研究,并取得了大量研究成果<sup>[4-7]</sup>。我国幅员辽阔,地形复杂,形成了水稻分布的区域性特征,因而对水稻模型的区域化应用提高了要求<sup>[8]</sup>。本文选取了江苏南京、安徽宣城地区的水稻田观测数据,结合当地气象资料,对水稻模型 ORYZA2000 进行参数调整,为进一步加快作物生长模型 ORYZA2000 的区域化应用提供参考,为江苏及安徽水稻种植管理提

供决策依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据资料及来源

#### 1.1.1 作物与管理数据

本文选取的试验数据来源于 2011 年江苏南京、安徽宣城试验点。采用 3 播期、2 品种的 2 处理、3 重复裂区组设计试验方案,播种期为主区,品种为副区。参试的水稻品种有两优 6326、南粳 44。播期处理分别为 5 月 5 日、5 月 15 日和 5 月 25 日,间隔 10 d。表 1 为田间试验设计及试验代码。试验区周围有 20 cm 高田埂,重复之间走道留 50 ~ 100 cm,南北向种植。四周有保护行,小区面积 20 m × 20 m。密度等其他田间管理同当地常规高产大田水平,每穴插 2 株,行株距为 20 cm × 20 cm。观测数据包括发育期(播种期、分蘖期、拔节期、孕穗期、抽穗期、乳熟期、成熟期)、生物量观测、密度观测、叶面积指数、产量性状等。

收稿日期:2012-9-24;改回日期:2012-11-07

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY20090622)、江苏省“青蓝工程”资助项目、江苏高校优势学科建设工程(PAPD)项目共同资助

作者简介:韩湘云(1989-),女,江苏南通人,硕士,从事应用气象研究. E-mail:hxxyang@139.com

通讯作者:景元书,博士,教授. E-mail:appmet@nuist.edu.cn

### 1.1.2 气象、土壤资料

由于缺乏试验点的土壤资料,在模拟过程中大部分采用模型默认参数值。ORYZA2000 运行所需的气象资料来源于 2011 年试验点观测的逐日气象数据,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 ORYZA2000 模型简介

ORYZA2000 是由国际水稻研究所与荷兰瓦赫

宁根大学联合研制的模拟水田和旱作水稻的生长模拟模型。ORYZA2000 继承了作物生长模拟模型“School of de Wit”的原则<sup>[9]</sup>,以日为时间步长,动态和定量地模拟潜在产量、水分和氮素限制条件下水稻的生长发育以及土壤水分平衡<sup>[10-12]</sup>。模型包括一些单独的模块: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。用户运行 ORYZA2000 模型需输入逐日气象数据、作物参数数据、田间管理文件、土壤数据文件等。

表 1 南京、宣城田间试验设计

Tab. 1 Description and details of field experiment treatments

| 品种   | 两优 6326 |          |          | 南粳 44   |          |          |
|------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
| 播期   | 5 月 5 日 | 5 月 15 日 | 5 月 25 日 | 5 月 5 日 | 5 月 15 日 | 5 月 25 日 |
| 试验代码 | A1B1    | A2B1     | A3B1     | A1B2    | A2B2     | A3B2     |

## 2 结果与分析

### 2.1 区域作物参数确定

模拟作物生长发育过程,首先要根据作物品种调整参数。模型 ORYZA2000 中,90%左右的作物参数对所有稻作品种具有普适性<sup>[13]</sup>,不需要校正。需要根据试验校准的经验参数主要是对环境特性反应最重要的作物特性。

利用 2 地水稻田间观测资料分别对发育参数和生长参数进行调试,获得 2 种水稻品种各发育阶段的发育速率、干物质分配系数、比叶面积及叶片死亡率等参数的校准值。并比较作物叶面积指数、生物量的模拟值与实测值,从而说明参数校准值具有有效性。ORYZA2000 模型将发育阶段划分为 4 个时期,用  $DVS=0、0.65、1.0$  和  $2.0$  分别表示出苗、穗分化期、开花期和生理成熟期。表 2、表 3 分别列出

了南京试验点和宣城试验点需要校准的生育期参数,包括:营养生长期(DVRJ),光敏感期(DVRI),穗分化期(DVRP)和生殖生长期(DVRR)。表 4 列出了南京试验点的比叶面积校正值。

表 3 宣城试验点发育速率参数校准值

Tab. 3 Calibrated parameters of development rate for Xuancheng test station

| 宣城<br>试验代码 | 发育参数     |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|
|            | DVRJ     | DVRI     | DVRP     | DVRR     |
| A1B1       | 0.000746 | 0.000758 | 0.000874 | 0.001608 |
| A2B1       | 0.000868 | 0.000758 | 0.000751 | 0.002011 |
| A3B1       | 0.000933 | 0.000758 | 0.000753 | 0.002052 |
| A1B2       | 0.000751 | 0.000758 | 0.000810 | 0.001911 |
| A2B2       | 0.000767 | 0.000758 | 0.000646 | 0.002003 |
| A3B2       | 0.000781 | 0.000758 | 0.000587 | 0.001952 |

表 2 南京试验点发育速率参数校准值

Tab. 2 Calibrated parameters of development rate for Nanjing test station

| 南京<br>试验代码 | 发育参数     |          |          |          |
|------------|----------|----------|----------|----------|
|            | DVRJ     | DVRI     | DVRP     | DVRR     |
| A1B1       | 0.000419 | 0.000758 | 0.000723 | 0.001625 |
| A2B1       | 0.000417 | 0.000758 | 0.000595 | 0.002877 |
| A3B1       | 0.000406 | 0.000758 | 0.000715 | 0.003723 |
| A1B2       | 0.000429 | 0.000758 | 0.000723 | 0.001642 |
| A2B2       | 0.000459 | 0.000758 | 0.000695 | 0.001599 |
| A3B2       | 0.000488 | 0.000758 | 0.000687 | 0.001998 |

表 4 南京试验点比叶面积参数校准值

Tab. 4 Specific leaf area for Nanjing test station

| 发育时期<br>DVS | 南京试验代码 |        |        |        |        |        |  |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|             | A1B1   | A2B1   | A3B1   | A1B2   | A2B2   | A3B2   |  |
| 0.00        | 0.0049 | 0.0049 | 0.0049 | 0.0049 | 0.0049 | 0.0049 |  |
| 0.26        | 0.0049 | 0.0049 | 0.0049 | 0.0045 | 0.0049 | 0.0049 |  |
| 0.35        | 0.0049 | 0.0049 | 0.0037 | 0.0028 | 0.0049 | 0.0036 |  |
| 0.50        | 0.0043 | 0.0048 | 0.0046 | 0.0028 | 0.0046 | 0.0044 |  |
| 0.65        | 0.0037 | 0.0047 | 0.0036 | 0.0028 | 0.0026 | 0.0036 |  |
| 0.80        | 0.0031 | 0.0037 | 0.0026 | 0.0018 | 0.0017 | 0.0025 |  |
| 1.00        | 0.0023 | 0.0026 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0017 | 0.0017 |  |
| 2.00        | 0.0019 | 0.0026 | 0.0015 | 0.0016 | 0.0012 | 0.0013 |  |

### 2.2 作物生育期模拟效果

生育期的模拟效果是评价模型发育期参数校准有效性的关键指标。以南京为例,表 5 列出了水

稻发育期的模拟值与观测值。除开花期个别差异稍大外,大部分模拟值与观测值都比较接近,约有 72% 的生育期误差在  $\pm 3$  d 内。

表 5 南京试验点水稻发育期的观测与模拟值(单位:d)

Tab. 5 The simulated and measured days for development period of rice for Nanjing test station (Unit:d)

| 实验代码 | 出苗  |     | 开花  |     | 成熟  |     | 出苗 | 开花 | 成熟 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
|      | 观测值 | 模拟值 | 观测值 | 模拟值 | 观测值 | 模拟值 |    |    |    |
| A1B1 | 131 | 134 | 240 | 246 | 286 | 291 | 3  | 6  | 5  |
| A2B1 | 138 | 137 | 250 | 261 | 290 | 290 | -1 | 11 | 0  |
| A3B1 | 149 | 147 | 269 | 267 | 289 | 291 | -4 | -2 | 2  |
| A1B2 | 134 | 133 | 242 | 244 | 288 | 289 | -1 | 2  | 1  |
| A2B2 | 135 | 135 | 248 | 251 | 300 | 303 | 0  | 3  | 3  |
| A3B2 | 147 | 144 | 255 | 257 | 303 | 299 | -3 | 2  | -4 |

### 2.3 叶面积指数模拟效果

2 试验点叶面积指数模拟值与实测值比较,表 6 列出的各项参数值中模拟值均值与实测值均值相近, $t$  检验值概率均  $> 0.05$ ,表明 2 试验点的模拟值与实测值无显著差异。南京和宣城试验点模拟值与实测值线性回归决定系数  $R^2$  均为 0.93,回归效果显著 ( $p < 0.05$ ),归一化均方根误差<sup>[14]</sup> 分别为

25%、24%,模拟误差较合理。

图 1 为选取的南京地区南粳 44 品种水稻 LAI 动态变化及 LAI 模拟值与观测值之间的比较。可以直观地看出模拟的叶面积指数动态变化呈抛物线型,除在叶面积指数最大值上稍有差距外,变化趋势与观测值基本一致。LAI 模拟值与观测值间的关系  $p < 0.05$ ,相关性显著。

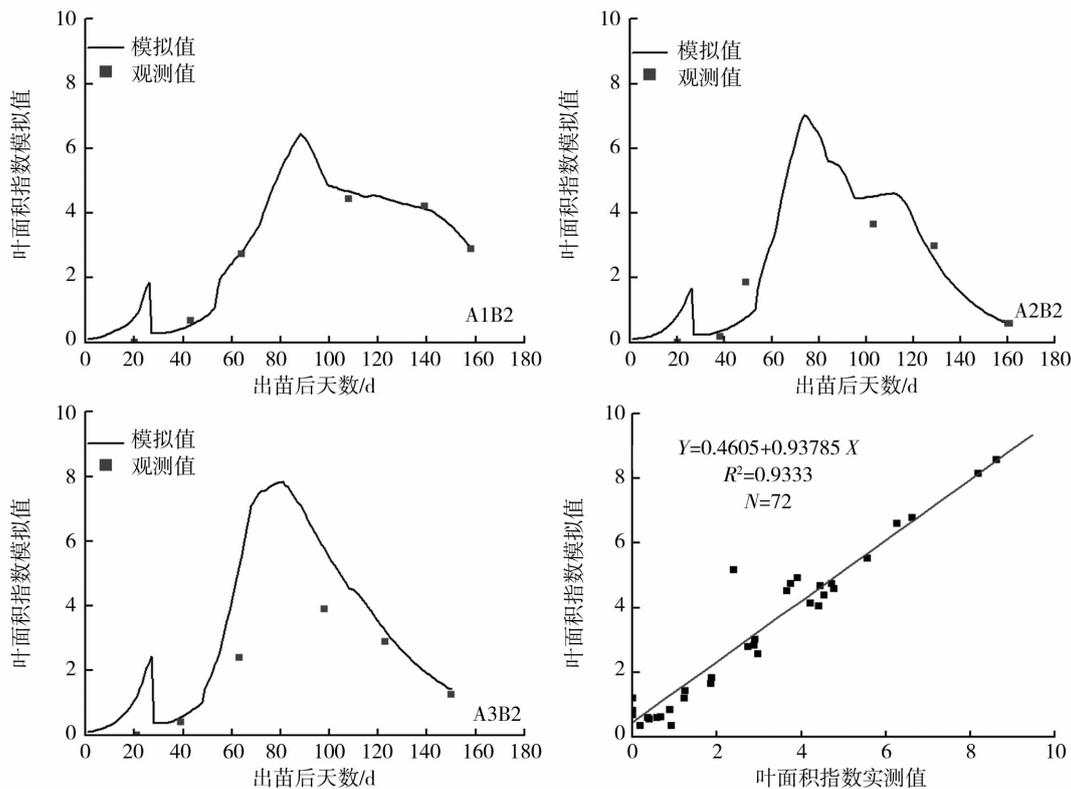


图 1 南京试验点 LAI 模拟值与实测值比较

Fig. 1 Comparison of simulated and measured LAI for Nanjing test station

## 2.4 生物量模拟效果

模拟出的各项生物量动态变化趋势与实测值一致,较好地反映出水稻生物量变化动态。各生物量的各项参数值列于表 6,由表可知各生物量的模拟平均值与实测平均值较为接近, $t$  检验值概率均  $> 0.05$ ,无显著差异。南京与宣城 2 试验点的地上部总生物量、绿叶生物量、茎生物量及穗生物量的 NRMSE 分别为 9%、19%、18%、13%、25% 和 16%、25%、17%、19%、24%。总体来看,模型对各生物量

的模拟效果均较好。

其中,以南京试验点南粳 44 品种为例,图 2 为地上部总生物量、绿叶生物量、茎生物量及穗生物量的动态模拟效果及地上总生物量的模拟值与实测值对比情况( $p < 0.05$ ),相关性显著。

通过表 6 还可以看出,模型在南京试验点的模拟效果好于宣城试验点,模型在南京的适应性更强,参数更具地域性,且 2 地都是对地上总生物量的模拟效果最好。

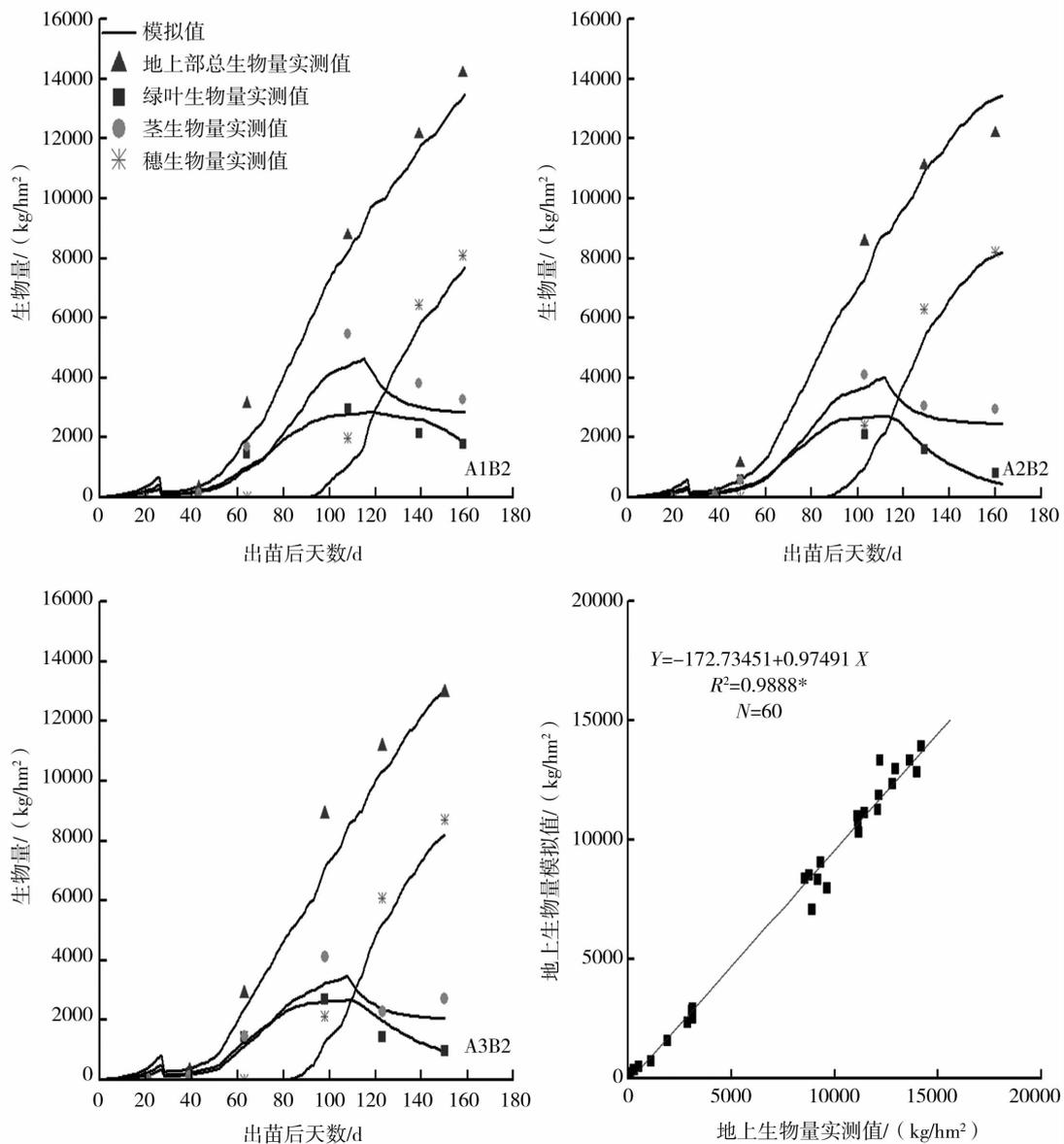


图 2 南京试验点生物量模拟值与实测值比较及生物量模拟值与观测值关系

Fig. 2 Comparison of simulated and measured biomass in Nanjing test station

表6 南京和宣城试验点生物量、LAI和产量实测值与模拟值的统计评价  
Tab.6 Evaluation results for ORYZA2000 simulations of crop growth variables  
in the entire growing season for Nanjing and Xuancheng test station

| 作物变量/(kg/hm <sup>2</sup> ) | <i>N</i> | <i>X</i> <sub>mea</sub> ( <i>SD</i> ) | <i>X</i> <sub>sim</sub> ( <i>SD</i> ) | <i>P</i> ( <i>t</i> <sup>*</sup> ) | $\alpha$ | $\beta$ | <i>R</i> <sup>2</sup> | <i>RMSE</i> | <i>NRMSE</i> /% |
|----------------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------|---------|-----------------------|-------------|-----------------|
| 南京试验点                      |          |                                       |                                       |                                    |          |         |                       |             |                 |
| 地上总生物量                     | 42       | 6 993(5 066)                          | 7 350(5 167)                          | 0.39*                              | 0.975    | -172.73 | 0.99                  | 650         | 9               |
| 绿叶生物量                      | 42       | 1 546(1 026)                          | 1 657(1 116)                          | 0.34*                              | 0.885    | 80.2    | 0.93                  | 323         | 19              |
| 茎生物量                       | 42       | 2 176(1 468)                          | 2 516(1 694)                          | 0.20*                              | 0.86     | 11.6    | 0.99                  | 448         | 18              |
| 穗生物量                       | 24       | 4 575(2 675)                          | 5 159(2 737)                          | 0.26*                              | 0.969    | -422.5  | 0.98                  | 682         | 13              |
| 叶面积指数                      | 72       | 3.01(2.34)                            | 2.72(2.43)                            | 0.30*                              | 0.938    | 0.461   | 0.93                  | 0.684       | 25              |
| 宣城试验点                      |          |                                       |                                       |                                    |          |         |                       |             |                 |
| 地上总生物量                     | 42       | 6 165(6 907)                          | 6 899(7 287)                          | 0.32*                              | 1.051    | 418     | 0.99                  | 1 010       | 16              |
| 绿叶生物量                      | 42       | 1 198(1 218)                          | 1 418(1 295)                          | 0.21*                              | 1.049    | 161     | 0.97                  | 307         | 25              |
| 茎生物量                       | 42       | 2 601(2 766)                          | 2 949(2 965)                          | 0.29*                              | 1.065    | 179     | 0.99                  | 456         | 17              |
| 穗生物量                       | 24       | 4 140(4 350)                          | 4 426(4 339)                          | 0.41*                              | 0.982    | 361     | 0.97                  | 804         | 19              |
| 叶面积指数                      | 36       | 2.96(2.43)                            | 3.23(2.58)                            | 0.33*                              | 1.023    | 0.199   | 0.93                  | 0.715       | 24              |

注:*N*为样本数;*X*<sub>mea</sub>表示实测值的平均值;*X*<sub>sim</sub>表示模拟值的平均值;*SD*表示标准差;*P*(*t*<sup>\*</sup>)表示*t*检验; $\alpha$ 为模拟值和实测值的线性回归率, $\beta$ 为截距;*R*<sup>2</sup>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。\*表示模拟值和实测值处于95%的置信水平

### 3 初步结果与讨论

利用江苏南京和安徽宣城水稻田间试验资料,结合当地气象资料及土壤资料,对 ORYZA2000 模型进行了调参。模型在调参后,叶面积指数和生物量的模拟值与观测值具有较好的一致性,其中南京地区的模拟效果较好。2 试验点调整后的参数对比结果表明,2 地的作物营养生长参数(DVRJ)和生殖生长参数(DVRR)差异很大,反应了模型地域性特征。由于利用田间观测资料对 ORYZA2000 模型进行参数校正,得到的2地模型参数仅是初步值,模型的适应性还有待检验,需要进一步的研究和讨论。

#### 参考文献:

- [1] 姚桃峰,王润元,王燕. 中国小麦生长模拟模型研究概述[J]. 干旱气象,2009,27(1):66-72.
- [2] 黄策,王天铎. 水稻群体物质生产过程的计算机模拟[J]. 作物学报,1986,12(1):1-8.
- [3] 冯定原,夏海峰. 水稻生长和产量形成的数值模式[J]. 南京气象学院学报,1987,10(2):201-210.
- [4] 高亮之,金之庆,黄耀,等. 水稻栽培计算机模拟优化决策系统[M]. 北京:中国农业科技出版社,1992.
- [5] 薛昌颖,杨晓光,BAM Bouman,等. ORYZA2000 模型模拟北京地区早稻的适应性初探[J]. 作物学报,2005,31(12):1567-1571.
- [6] Xue C Y, Yang X G, Bouman BAM, et al. Optimizing yield, water

requirements, and water Productivity of aerobic rice for the North China Plain[J]. Irrigation Science,2008,26:459-474.

- [7] 尹东. 农业产量预报技术的研究和应用[J]. 干旱气象,2007,25(2):12-16.
- [8] 范广洲,贾志军. 植物物候研究进展[J]. 干旱气象,2010,28(3):250-255.
- [9] Bouman BAM, van Keulen H, van Laar HH, et al. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: pedigree and historical overview[J]. Agric Sys,1996,52:171-198.
- [10] de Wit C T, Penning de Vries FWT. L'analyse des systemes de production primaire. In: Penning de Vries FWT, Djiteye MA, editors. La productivite des pasturages sahelien. Une etude des sols, des vegetations et del'exploitation de cette ressource naturelle. Agric. Res. Rep. 918. Wageningen (Netherlands):20-27.
- [11] 李亚龙,崔远来,李远华,等. 基于 ORYZA2000 模型的早稻生长模拟及氮肥管理研究[J]. 农业工程学报,2005,21(12):141-145.
- [12] Bouman BAM, Kropff MJ, Tuong TP, et al. ORYZA2000: modeling lowland rice[M]. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, and Wageningen University and Research Centre, Wageningen(Netherlands) 2001.
- [13] Bouman BAM, van Laar HH. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions[J]. Agricultural Systems, 2006,87(3):249-273.
- [14] 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.

## The Comparison of Regional Parameters Of ORYZA2000 Based on The Field Test

HAN Xiangyun<sup>1,2</sup>, JING Yuanshu<sup>1,2</sup>, HAO Yu<sup>1,2</sup>, GENG Lining<sup>1,2</sup>

(1. *Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing 210044, China*; 2. *College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China*)

**Abstract:** In this paper, the basic crop parameters including development rate, partitioning of biomass, specific leaf area of the rice growth model ORYZA2000 were adjusted by the field test data observed from two agrometeorological stations (Jiangsu Nanjing and Anhui Xuancheng) and the daily meteorological data. It was showed that the development rate during juvenile phase (DVRJ) and reproductive phase (DVRR) of Nanjing test station was significantly different from that of Xuancheng test station, which reflected the regional difference of the model. The all simulated values could accurately react the dynamic change processes of leaf area index and biomass, and the total aboveground dry matter had the highest simulation accuracy. The normalized root mean square errors (NRMSE) for LAI, total aboveground dry matter, dry weight of green leaves, dry weight of stems, dry weight of storage organs were 9% , 19% , 18% , 13% , 25% and 16% , 25% , 17% , 19% , 24% for these two test stations, respectively. These results showed that the simulation results in Nanjing station were better than that of Xuancheng station, the parameters of Nanjing station have more regional adaptability.

**Key words:** ORYZA2000; field test; regionalization; parameter adjustment

\*\*\*

(上接第 36 页)

## Analysis of Temperature Variation in Recent 130 Years in Central Asia

SHEN Weifeng<sup>1</sup>, MIAO Qilong<sup>1</sup>, WEI Tiexin<sup>1,2</sup>, KONG Chengcheng<sup>3</sup>

(1. *Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China*;  
2. *Defending Center of Meteorological Disasters of Hebei Province, Shi Jiazhuang 050000, China*;  
3. *Jingyuan County Meteorological Station of Ningxia, Guyuan 756400, China*)

**Abstract:** Based on the global grid point monthly average surface temperature anomaly sequence established by the Goddard Institute for Space Studies (GISS/NASA), the basic characteristics of the surface temperature change in central Asia from 1880 to 2011 were analyzed and discussed by using linear regression method and Mann – kendall test. The results show that in recent 130 years, the temperature increased with a rate of 0.073°C/10 a in central Asia, which was similar to the global level and more than Chinese level. In January, April and October, temperature in central Asia presented increasing trend, and in July, it presented a weak decreasing trend. The annual average temperature in central Asia had the abrupt change in the early 1980s, especially in recent 50 years temperature increased obviously.

**Key words:** Central Asia; global warming; temperature variation trend; abrupt change