

ORYZA2000模型模拟北京地区旱稻的适应性初探

薛昌颖¹ 杨晓光^{1,*} B A M Bouman² 冯利平¹ Gon van Laar³ 王化琪⁴

王璞⁴ 王志敏⁴

⁽¹⁾中国农业大学资源与环境学院,北京100094; ⁽²⁾国际水稻研究所,菲律宾; ⁽³⁾瓦赫宁根大学,荷兰; ⁽⁴⁾中国农业大学农学与生物技术学院,北京100094)

摘要:利用北京昌平2年旱稻田间试验结果,对ORYZA2000模型模拟旱稻生长发育的适应性做了初步研究。根据2003年旱稻田间试验结果,对模型进行调试,获得了旱稻的基本作物参数,包括旱稻不同生育阶段的发育速率、干物质分配系数、比叶面积、最大根深等。利用2002年的数据对模型模拟的生物量、叶面积和产量等结果进行了检验。结果表明,ORYZA2000能够比较准确地模拟旱稻的生物量、叶面积动态变化过程及最终产量,尤其是在模拟穗生物量方面具有较高的准确性。地上部总生物量、绿叶生物量、茎生物量、穗生物量、叶面积指数和产量的相对均方根误差NRMSE值分别为45%、35%、57%、37%、35%和23%。

关键词: ORYZA2000; 模拟模型; 旱稻

中图分类号: S511

Preliminary Approach on Adaptability of ORYZA2000 Model for Aerobic Rice in Beijing Region

XUE Chang-Ying¹, YANG Xiao-Guang^{1,*}, B A M Bouman², FENG Li-Ping¹, Gon van Laar³, WANG Hua-Qi⁴, WANG Pu⁴, WANG Zhi-Min⁴

⁽¹⁾ College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China; ⁽²⁾ International Rice Research Institute, the Philippines;
⁽³⁾ Wageningen University, the Netherlands; ⁽⁴⁾ College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing, 100094, China

Abstract: The ORYZA2000 model for aerobic rice was tested and verified via field experiments conducted at the Changping Experiment Station ($40^{\circ}02'N$, $116^{\circ}10'E$; elevation of 43 m) of the China Agricultural University in Beijing, in 2002 and 2003. From aerobic field results in 2003, the developmental rates of aerobic rice in different stages, partitioning factors of dry matter, specific leaf areas and maximum root depth were obtained. The biomass, LAI and yield were verified using the experimental data in 2002. The slope (β), intercept (a), and determination coefficient (R^2) of the linear regression between simulated and measured values as well as the student's t -test assuming unequal variance and the normalized root mean square error (NRMSE) were used for the evaluation of ORYZA2000 model's effective. The results showed that ORYZA2000 model was acceptable in simulations of biomasses and LAI. In general, the simulations for total biomass and panicle biomass were more accurate than that for green leave biomass and stem biomass. NRMSE of total biomass, green leave biomass, stem biomass and panicle biomass were 45%, 35%, 57% and 37%, respectively (Table 1). The simulations of yield were lower than the measured ones with NRMSE of 23% and LAI's simulations were with NRMSE of 35% (Table 2).

Key words: ORYZA2000; Simulation model; Aerobic rice

20世纪60年代中期,荷兰和美国率先开展了作物生长模拟研究。经过40多年的发展,国内外针对水稻、玉米、小麦、棉花、大豆、马铃薯、高粱、苜蓿等作物,已经研创出多种模拟模型,涉及到光合作

用、呼吸作用、蒸腾作用、物质生产和分配、生育进程、形态建成、根系生长、土壤氮素迁移和土壤水分状况等。其中应用比较广泛的有一年生作物模型MACROS和SUCROS^[1]、土壤侵蚀-生产力影响模型

基金项目:国际合作项目(CAU-IRRI/2001-2004)和863重大节水专项(2002AA2Z4021)部分研究内容。

作者简介:薛昌颖(1979-),女,汉,辽宁喀左县人,在读研究生。^{*}通讯作者(Author for correspondence):杨晓光,女,博士生导师,主要从事农业气象和农业节水方面研究。Tel:62733939, E-mail:yangxiuguang@263.net

Received(收稿日期):2005-01-04, Accepted(接受日期):2005-05-29.

EPIC^[2]、棉花模型 GOSSYM^[3]、CERES 系列作物模型^[4,5]、水稻栽培优化管理决策系统 RCSODS^[6]、水稻生长日历模拟模型 RICAM^[7]、水稻模拟模型 ORYZA 系列^[8]等。

ORYZA 系列水稻模型是由国际水稻研究所与荷兰瓦赫宁根大学联合研制的。从 20 世纪 90 年代中期至今, ORYZA 系列模型已有诸多版本, 包括最初的潜在生产水平下的 ORYZA1^[9], 以及水分限制条件下的 ORYZA-W^[10], 氮素限制水平下的 ORYZA-N^[11] 和 ORYZA1N^[12]。2001 年, 国际水稻研究所 Bouman 等人将之前各版本的模型装配在一起并进行完善, 形成了 ORYZA 系列模型的最新版本, 称 ORYZA2000^[13]。ORYZA 系列已经在不同地区进行了验证和应用, 表明该模型在模拟水稻的生长发育和叶面积等方面具有较好的准确性^[14~16]。

水资源日益紧缺和水稻生产的巨额耗水都迫切要求快速发展旱稻。旱稻通常是在旱地或干湿地直播, 勿需淹水层, 靠自然降雨或在此基础上辅以少量灌溉的稻作。旱稻耗水量仅是水稻的 1/5~1/3, 灌水量仅是水稻的 1/5 甚至更少, 被誉为“21 世纪新粮源”。目前, 全世界旱稻种植面积约 1900 万 hm², 我国实播面积约 177 万 hm²^[17]。可见, 其发展前景广阔。

现阶段, 针对旱稻的模拟模型研究尚少见报道。中国农业大学与国际水稻研究所从 2001 年开始致力干旱稻模拟模型的研究, 主要以多年田间实验数据为基础, 调试 ORYZA2000 模型中的相关参数, 经过验证后应用于生产实际。

1 资料来源与研究方法

1.1 试验过程

试验于 2001~2004 年在北京市昌平区中国农业大学昌平试验站 (40°02' N, 116°10' E, 海拔 43 m) 进行。土质为砂壤土, 0~100 cm 土层砂粒含量 400~700 g·kg⁻¹, 黏粒含量 100~200 g·kg⁻¹, 土壤容重 1.23~1.5 g·cm⁻³。0~20 cm 耕层含全氮 0.878 g·kg⁻¹、速效氮 93.09 mg·kg⁻¹、有机质 15 g·kg⁻¹, pH 7.8。试验地面积 220 m × 26 m。选用品种为旱稻 297, 直播, 行距 30 cm。

试验设 4 个水分处理 (W1, W2, W3, W4), 分别为全生育期充分灌溉、前期 (PI 前) 充分灌溉后期 (PI 后) 胁迫 (土壤相对含水量 60% 以下)、前期胁迫后期充分灌溉以及全生育期水分胁迫; 5 个氮水平 (N0, N1, N2, N3, N4), 其纯氮投入量分别为 0 kg·hm⁻²、75 kg·hm⁻²、125 kg·hm⁻²、150 kg·hm⁻² 和 225

kg·hm⁻², 投入时期和比例为基肥: 最大分蘖期追肥: 孕穗期追肥 = 30% : 40% : 30%。裂区区组排列, 4 次重复, 每个处理为 1 个小区, 小区面积 6 m × 10 m, 小区间设置 1 m 隔离带。

在苗期、最大分蘖期、拔节期、孕穗期、开花期及灌浆期测定茎、叶、穗的干物重和叶面积, 收获时测定产量。

1.2 ORYZA2000 模型简介

ORYZA2000 水稻生长模型以日为时间步长, 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和产量形成以及土壤水分、氮素的变化过程^[13]。模型中提供了 3 个土壤水分动态模型 PADDY、SAHEL 和 SAWAH 供用户选择, 其中 SAHEL 是适合于模拟旱作田间土壤水分变化的, 因此本研究选用此模型。

模型运行需要输入逐日气象数据、作物数据、土壤数据以及相应的管理数据。这些数据都包含在独立的数据文件中, 方便用户使用和管理。模型中大部分的作物参数是根据大量的试验结果分析得出, 具有普适性, 只有 10% 左右的作物参数需要根据具体的试验结果进行调试, 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、茎同化物转移系数和最大粒重。

1.3 模型的评价方法

本文根据 2003 年的田间试验结果获得了 ORYZA2000 模型中所需的基本作物参数, 即发育速率、干物质分配系数和比叶面积。此外, 根据本课题组对旱稻根系的研究成果^[18]和试验地土壤条件, 修改了模型中作物的最大根深和土壤供氮率 2 个参数。利用 2002 年的试验结果对 ORYZA2000 模型模拟旱稻生长发育和产量形成进行检验和评价。

模型涉及很多指标, 本文仅选择目前国际上常用的方法和指标对 ORYZA2000 水稻生长模型模拟旱稻的生长发育和产量形成进行评价^[19~21]。通过图形来比较模拟值与实测值之间的吻合程度, 并计算模拟结果与实测结果的线性回归系数 (β)、截距 (a)、决定系数 (R^2)、不等方差 Student's t 检验值; 相对均方根误差 ($NRMSE$)。

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - O_i)^2 / n}}{\bar{O}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, Y_i 和 O_i 分别为模拟值和实测值; \bar{O} 为实测数据的平均值; n 为样本数。实测数据的变异可以用

标准差 SD 和变异系数 CV 来反映。但本文对试验数据没有重复测定, 所以未给出这两个指标。

2 模型检验分析

2.1 生物量的检验

图 1 为生物量的模拟值与实测值的比较, 生物量的各项评价参数值列于表 1。

各项生物量的 t 检验值的概率均大于 0.05, 表明模型模拟的各项生物量序列与实测值序列没有显著的差别, 模拟值的平均值与实测值的平均值也较

接近; 模拟值与实测值的回归系数 β 均较接近于 1, 截距 a 相对较小; 穗生物量的决定系数 R^2 最大, 达到 0.86, 茎生物量的最小, 为 0.62; 从 $NRMSE$ 来看, 绿叶生物量和穗生物量的较小, 而茎生物量和地上部总生物量的偏大。从模拟值与实测值的比较图中可以看出, 茎生物量中大部分的模拟值都与实测值比较接近, 只有个别的偏差较大, 导致最后茎生物量的模拟误差偏大。

各项评价指标均表明 ORYZA2000 模型对穗生物量的模拟效果较好。

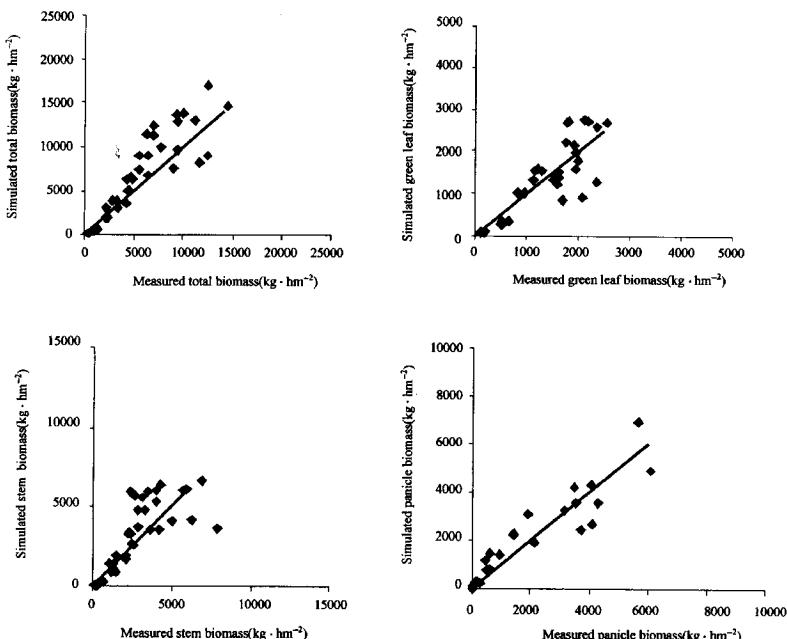


Fig.1 Comparisons between the simulations and measurements of biomass

表 1 生物量模拟结果的各项评价参数

Table 1 Evaluation indices of simulated biomasses for ORYZA2000 model

变量 Variable	n	$X_{\text{meas}}(SD)$	$X_{\text{sim}}(SD)$	t	β	a	R^2	$NRMSE(\%)$
地上部总生物量 Total biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	40	5 250 (3979)	6 160 (4 971)	0.18	1.130	233	0.82	45
绿叶生物量 Green leaf biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	35	1 329 (740)	1 290 (894)	0.42	1.032	-83	0.73	35
茎生物量 Stem biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	40	2 579 (2 009)	2 980 (2 319)	0.21	0.911	632	0.62	57
穗生物量 Panicle biomass ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	25	1 935 (1 933)	2 010 (1 766)	0.45	0.846	369	0.86	37

Note: X_{meas} and X_{sim} represent the measured and simulated values, respectively. The same below.

2.2 叶面积和产量的检验

图 2 为叶面积指数和产量的模拟值与实测值的比较, 各项评价参数值列于表 2。

t 检验的结果表明, 模型模拟的叶面积指数和产量序列与相应的实测值序列间没有显著的差别, 但是模拟值与实测值的回归系数 β 较大, 截距 α 的

绝对值也较大。对于产量, 其回归截距 α 为 $-3.627 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 这是由于产量的模拟值普遍低于实测值, 可从图 2 中看出。叶面积指数的决定系数 R^2 为 0.76, 产量的决定系数 R^2 为 0.81, 二者的 NRMSE 都比较小, 分别为 35% 和 23%。从总体情况看, 模型能够较好地模拟出叶面积指数和产量。

表 2 叶面积指数和产量模拟结果的各项评价参数

Table 2 Evaluation indices of simulated LAI and yield for ORYZA2000 model

变量 Variable	n	$X_{\text{sim}}(SD)$	$X_{\text{obs}}(SD)$	t	β	α	R^2	NRMSE(%)
叶面积指数 LAI	35	3.23(1.58)	3.32(2.27)	0.42	1.255	-0.73	0.76	35
产量 Final yield($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	5	4293(902)	4000(1779)	0.38	1.778	-3627	0.81	23

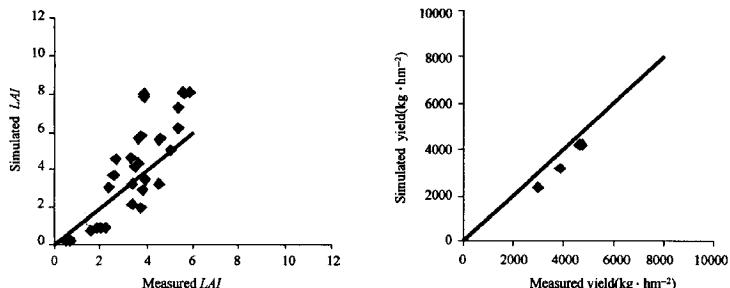


图 2 模型模拟的叶面积指数和产量与实测结果的比较

Fig.2 Comparisons between the simulations and measurements of LAI and yield

从图 2 可以看出, 当叶面积指数较大时, 模拟值明显高于实测值, 实测最大叶面积指数在 6 左右, 而模拟最大叶面积指数达到 8, 其他点的模拟效果则较好。比较 2002 年和 2003 年的田间试验结果, 2003 年实测最大叶面积指数达到 12, 虽然利用 2002 年的试验结果验证表明模型模拟的叶面积指数偏高, 但这一点仍有待证明。

3 讨论

本文利用旱稻田间试验结果, 对 ORYZA2000 模型在模拟旱稻生长发育和产量形成方面作了初步的检验。表明 ORYZA2000 模型能够比较准确地模拟旱稻的生物量、叶面积指数及最终产量, 尤其在模拟穗生物量上具有较高的准确性。

但本文仅利用 1 年的试验结果对 ORYZA2000 模型在模拟旱稻生长发育和产量形成方面的适用性进行检验, 因此还存在一定的不稳定性, 尤其在叶面积和产量的模拟方面还需进一步研究和检验。

References

- [1] Bouman B A M, van Keulen H, van Lari H H, Rabbinge R. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: A pedigree and historical overview. *Agric Syst*, 1996, 52(2-3): 171-198
- [2] Rinaldi M. Application of EPIC model for irrigation scheduling of sunflower in Southern Italy. *Agricultural Water Management*, 2001, 49(3): 185-196
- [3] Khorsandi F, Whisler F D. Validation of the Soil-temperature Model of GOSSYM-COMAX. *Agric Syst*, 1996, 51(2): 131-146
- [4] Castrignano A, Di Bari V, Stelluti M. Evapotranspiration predictions of CERES-Sorghum model in Southern Italy. *European Journal of Agronomy*, 1997, 6(3-4): 265-274
- [5] Ben Nouna B, Katerji N, Mastrolilli M. Using the CERES-Maize model in semi-arid Mediterranean environment. Evaluation of model performance. *European Journal of Agronomy*, 2000, 13(4): 309-322
- [6] Gao L-Z(高亮之), Jin Z-Q(金之庆), Huang Y(黄耀), Chen H(陈华), Li B-B(李秉柏). Rice Cultivation Simulation-optimization-decision Making System(RCSODS)(水稻栽培计算机模拟优化决策系统). Beijing: China Agricultural Sci & Tech Press, 1992. 124-134 (in Chinese)

- [7] Yin X-Y(殷新佑), Qi C-H(戚昌衡). Studies on the rice growth calendar simulation model (RICAM) and its application. *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 1994, 20(3): 339 - 346(in Chinese with English abstract)
- [8] Casanova D, Goudriaan J, Nosch A D. Testing the performance of ORYZA1, an explanatory model for rice growth simulation, for Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 2000, 12(3 - 4): 175 - 189
- [9] Kropff M J, Matthews R B, van Laar H H, Ten Berge H F M. The rice model ORYZA1 and its testing. In: Matthews R B, Kropff M J, Bachelet D, Van Laar H H ed. Modelling the impact of climate change on rice production in Asia, CAB International, Wallingford, UK, 1995. 27 - 50
- [10] Wopereis M C S, Bouman B A M, Tuong T P, Ten Berge H F M, Kropff M J. ORYZA - W: rice growth model for irrigated and rainfed environments, SARP Research Proceedings, IRRI/AB-DLO, Wageningen, Netherlands, 1996. 159
- [11] Drenth H., Ten Berge H F M, Riethoven J J M. ORYZA simulation modules for potential and nitrogen limited rice production. In: SARP Research Proceedings. IRRI/AB-DLO, Wageningen, Netherlands, 1994. 223
- [12] Aggarwal P K, Kropff M J, Cassman K G, Ten Berge H F M. Simulating genotypic strategies for increasing rice yield potential in irrigated tropical environments. *Field Crops Research*, 1997, 51: 5 - 17
- [13] 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. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, and Wageningen University and Research Centre, Wageningen, Netherlands, 2001. 235
- [14] Casanova D, Goudriaan J, Bosch A D. Testing the performance of ORYZA1, an explanatory model for rice growth simulation, for Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 2000, 12(3 - 4): 175 - 189
- [15] Laneigan F P, Pandey S, Bouman B A M. Combining crop modeling with economic risk-analysis for the evaluation of crop management strategies. *Field Crop Research*, 1997, 51(1 - 2): 133 - 145
- [16] Young M D B, Gowing J W, Wyseure G C L, Hatibe N. Parched Thirst: development and validation of a process-based model of rainwater harvesting. *Agricultural Water Management*, 2002, 55(2): 121 - 140
- [17] Xu Q-Y(薛全义), Jing Y(荆宇), Hua Y-F(华玉凡). Discussions about productions and developments of aerobic rice in China. *Journal of Liaoning Agricultural Vocational-Technical College*(辽宁农业职业技术学院学报), 2002, 4(2): 1 - 3(in Chinese with English abstract)
- [18] Zhao J-F(赵俊芳), Yang X-G(杨晓光), Chen B(陈彬), Wang H-Q(王化琪), Wang Z-M(王志敏), Bouman B A M. Effects of different irrigation treatments on root growth and water use efficiency of upland rice. *Chinese Journal of Agrometeorology*(中国农业气象), 2004, 25(4): 44 - 47(in Chinese with English abstract)
- [19] Caton B P, Fein T C, Hill J E. A plant growth model for integrated weed management in direct-seeded rice. II. Validation testing of water-depth effects and monoculture growth. *Field Crop Research*, 1999, 62: 145 - 155
- [20] Kobayashi K, Salam M U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, 2000, 92: 345 - 352
- [21] Gauch H G, Hwang J T G, Fick G W. Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values. *Agronomy Journal*, 2003, 95(6): 1442 - 1446