

陈琳琳, 年飞翔, 江洋. 湖北省籼、粳型水稻生长模拟及其应用[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(5): 17-22.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.05.003

湖北省籼、粳型水稻生长模拟及其应用

陈琳琳, 年飞翔, 江洋

华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

摘要 为推进湖北省“籼改粳”种植模式发展, 提升稻作模式光温资源利用效率和改善稻米品质, 本研究结合湖北省多点田间试验资料及气象数据, 对水稻生育期、干物质分配及产量进行了模型模拟。结果显示: 对湖北省籼、粳稻生育期的模拟误差在 2 个生理发育日之内, 对生育期、穗部干物质分配的模拟基本分布在 1:1 线附近, 拟合效果较好; 水稻实际产量和模拟产量的相对均方根误差(RRMSE)为 11.4%, 因此, 该模拟过程具有可信度。同时, 应用本研究模型模拟方法初步预测了粳稻在湖北省的适宜播期。研究结果可为湖北省籼、粳稻种植分布及播期选择提供参考。

关键词 水稻生长模型; “籼改粳”种植模式; 产量模拟; 播期; 光温资源利用; 稻米品质

中图分类号 S 511 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)05-0017-06

水稻(*Oryza sativa* L.)是世界主要农作物之一, 也是我国主要的粮食作物。随着我国经济的快速发展, 稻米的消费结构发生改变, 人们对稻米品质有了更高的要求, 粳米的消费需求逐年增加^[1]。籼稻和粳稻都是栽培稻亚种, 其中籼稻是从野生稻进化而来的基本型, 适应于低海拔、低纬度的地区, 耐寒性较差; 而粳稻是由籼稻在人工选择下演化而来, 适应于高纬度、高海拔地区, 耐寒性较强, 稻米的口感较籼稻好^[2-4]。随着农业栽培技术的提高, 粳稻种植地区不断扩大, 近年来江苏省“籼改粳”工程的成功落实, 为其他同纬度地区提供了丰富的经验。粳稻良好的稻米品质使得其市场需求增加。湖北省光温资源丰富, 基本满足粳稻种植需求, “籼改粳”工程已纳入政府规划中, 并已在播期和种植模式上进行了逐步探索^[5-6]。然而, 目前在探索适宜湖北省种植的粳稻品种及其栽培模式上仍然进度缓慢。

水稻的生长发育过程受到光照、温度等自然气候以及栽培环境等多种因素的综合影响, 国内外学者对水稻生长的模拟也主要从气象、栽培以及水肥等方面对水稻植株生长动态进行模拟^[7-11], 但不同的模型各有优点, 在实际应用中需要根据具体的需求采用相应模型。水稻生长模型最早起始于 20 世

纪 70 年代, 多年来经过国内外研究人员的发展和优化, 目前 CERES-Rice、ORYZA2000、RCSODS 等模型较为成熟。其中, CERES-Rice 用于模拟水稻水分、肥料以及水稻生长, 囊括了水肥资源和生长环境等重要指标^[9]; ORYZA2000 对水稻生长发育、旱稻生长的水分平衡等能够较好模拟^[10]。RCSODS 模型结合了水稻的生长特性, 通过感温性、感光性和临界日长等对干物质和产量进行模拟^[11]。结合上述模型的优势, 本研究采用湖北省武穴市和枣阳市的气象数据, 以及籼稻和粳稻对光温响应的遗传特性, 模拟了不同品种水稻的生育期、光合产量和呼吸消耗、生物量积累及分配等子模型, 并将各个子模型进行耦合, 最终模拟了湖北省不同播期下的产量。本研究通过湖北省各试点的光温资源对不同播期下的产量进行预测, 并初步预测各试点下获得高产的适宜播期, 旨在为湖北省“籼改粳”工程提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本试验气象数据来自中国气象局国家气象信息中心和湖北省气象局。水稻试验数据源于湖北省黄冈市武穴市和湖北省襄阳市枣阳市田间试验, 包括:

收稿日期: 2021-03-22

基金项目: 国家重点研发计划专项(2018YFD0301304; 2017YFD0301400); 中央高校基本科研业务费专项(2662017JC007)

陈琳琳, E-mail: 643083316@qq.com

通信作者: 江洋, E-mail: jiangyang@mail.hzau.edu.cn

生育期、光合作用速率、生物量、叶倾角及产量数据。试验品种为粳型杂交稻扬两优 6 号(YLY6)、常规粳稻黄华占(HHZ)、常规粳稻南粳 9108(NG9108)、粳粳杂交稻甬优 4949(YY4949)。试验采取裂区设计,其中播期为主区,品种为副区,小区面积为 20 m²,每个处理设置 3 次重复,秧苗在 4.5 叶秧龄进行移栽。水稻田间管理同当地常规高产田。

1.2 模型模拟

在前人研究的基础上,结合实际大田种植经验,确定了模拟时初始值或初始范围,并结合试验数据,在 C# 程序中用 Levenberg-Marquardt 算法^[12]对模型的初始参数进行调整,将模拟值和实测值的残差平方和降至最低,从而得到相应的模拟值。采用均方根误差(root mean squared error, RMSE)以及相对均方根误差(RRMSE)对模拟值与观测值之间的符合度进行分析,并采用 1:1 关系图对模拟值和实测值之间的拟合度进行比较。其中, RMSE 或 RRMSE 值越小,表明模拟值越能反映实际情况,拟合结果越可靠。

1) 生育期模拟。生育期模拟在孟亚利等^[13]的研究基础上,对每日相对光周期效应(relative photoperiodic effectiveness, P_e)进行拟合,改进后的函数图像呈∩形,更能体现水稻作为短日照作物对光照长度的感应。改进函数式如下:

$$P_e = \begin{cases} \frac{1}{1 + \frac{1}{P_s} \times e^{(D_1 - D_2)}} + 1 & D_1 < D_2 \\ 1 - P_s (D_1 - D_2)^2 & D_1 \geq D_2 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, D_1 为实际光照时间,数值用天文可照时数代替,可由地面气象观测规范中气象辐射观测公式计算得出^[14]; D_2 最适光照长度, P_s 为品种的光周期敏感性,反映水稻对日照长度的敏感程度。

每日相对热效应(relative thermal effectiveness, T_e)和每日生理效应(daily physiological effectiveness, D_p)的计算参考孟亚利等^[13]方法。

2) 光合作用和干物质积累模拟。光合产物积累模拟是通过研究植物的光合特性,通过模拟水稻光合速率及其对光合有效辐射的利用效率,计算水稻的光合产物积累^[15]。结合水稻呼吸作用消耗,最终得出干物质积累量。

水稻光合作用、呼吸作用及干物质积累参考前

人的计算方法^[16],其中,水稻冠层的光合作用采用高斯积分法^[17-18]模拟得出。水稻从播种至成熟时的每日生物量积累量(daily biomass accumulation)总和,即为水稻的干物质积累总量。

3) 干物质分配和产量模拟。

① 干物质分配模拟。本研究侧重于水稻产量的干物质分配,需先计算出稻穗干物质分配量。拟用分配指数法模拟。

② 穗干物质分配指数(partition index of panicle, P_i)随生理发育时间(physiological development time, P_d)的变化公式如下:

$$P_i = \begin{cases} 0 & P_d < 13 \\ H_i \times \frac{1}{1 + e^{-p_1 \times (P_d - p_2)}} & 13 \leq P_d \leq 57 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, H_i 表示水稻穗干物质占总生物量的比例,称为潜在分配指数; p_1 、 p_2 为模型参数;13为水稻幼穗分化始期的 P_d ,57则为成熟期的 P_d 。

③ 产量模拟。在理想情况下,水稻成熟期产量的模拟通过水稻穗部干物质分配、水稻干物质积累等模型耦合得出,因此,产量计算公式如下:

$$Y_m = \frac{W_d \times P_i \times 0.87}{1 - 0.14} \quad (3)$$

其中, Y_m 为稻谷模拟产量, W_d 为成熟时稻谷干质量,其占穗干物质质量的比例约为 0.87^[19];稻谷干质量的含水量记为 0.14。

2 结果与分析

2.1 模型参数的确定

1) 生育期模型。结合水稻生理特性和相关文献,将 4 个品种的生育期模型参数中最低温度、最适温度、最高温度和临界光长确定如表 1^[14,20-22]。利用各品种的遗传特性参数,包括温敏参数(T_s)、光敏参数(P_s)、基本早熟参数(I_e)、基本灌浆参数(F_p)结合实验数据和相关研究^[14,20,23]确定初值,并通过 C# 编程的 Levenberg-Marquardt 法优化参数(表 1)。

2) 干物质分配模型。本研究中,杂交水稻的潜在分配指数(H_i)均高于常规水稻品种,表明杂交水稻产量较高的原因之一是其穗部干物质占总干物质质量的比重较高。其中,常规粳稻南粳 9018 的 H_i 远低于其他品种,仅为杂交粳稻扬两优 6 号的 70% (表 2)。

表 1 湖北省籼粳稻生育期模型参数

Table 1 The parameters of growth period of *indica* rice and *japonica* rice in Hubei Province

品种 Variety	最低温度/°C T_{min}	最适温度/°C T_{opt}	最高温度/°C T_{max}	临界光长 D_2	温敏参数 T_s	光敏参数 P_s	基本早熟参数 I_e	基本灌浆参数 F_p
黄华占 Huanghuazhan	12	30	40	10.5	0.82	0.03	0.18	0.760
扬两优 6 号 Yangliangyou 6	12	30	40	10.5	0.87	0.05	0.18	0.750
南粳 9108 Nangeng 9108	10	28	40	10.5	0.11	0.06	0.17	0.490
甬优 4949 Yongyou 4949	10	28	40	10.5	0.34	0.05	0.19	0.572

表 2 穗干物质分配模型参数

Table 2 The parameters of panicle dry matter partition index of model

品种 Variety	潜在分配指数 H_1	参数 1 p_1	参数 2 p_2
黄华占 Huanghuazhan	0.57	0.21	40.13
扬两优 6 号 Yangliangyou 6	0.63	0.14	39.19
南粳 9108 Nangeng 9108	0.44	0.22	39.34
甬优 4949 Yongyou 494	0.60	0.24	41.14

2.2 模型拟合结果

1) 生育期模拟。利用黄华占品种在湖北省武穴市抽穗期和成熟期的观测值对生育期模型进行检验,结果显示:不同播期的黄华占抽穗期和成熟期的模拟值与观测值基本一致(图 1),且生理发育期的模拟误差在 2 个生理日以内,表明拟合效果较好。

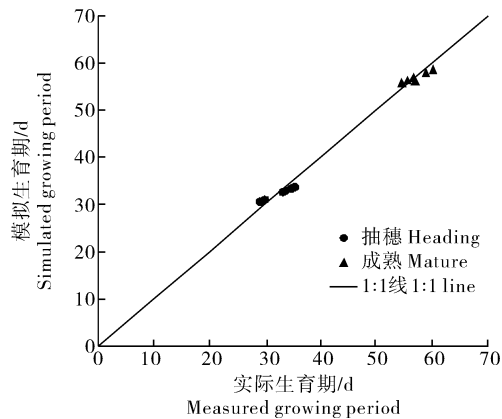


图 1 水稻品种黄华占抽穗期和成熟期的观测值与模拟值的比较

Fig.1 Compared of the period of heading and maturity of observed and simulated for rice variety of Huanghuazhan

2) 干物质积累模拟。对湖北省武穴市和枣阳市不同品种各播期下的穗干物质质量的实测值与模拟值

进行比较,实测值和模拟值均在 1 : 1 直线附近(图 2)。另外,各品种拟合的决定系数 R^2 除甬优 4949 外,均大于 0.90,表明模型可以较好地模拟穗干物质积累的实际状况。

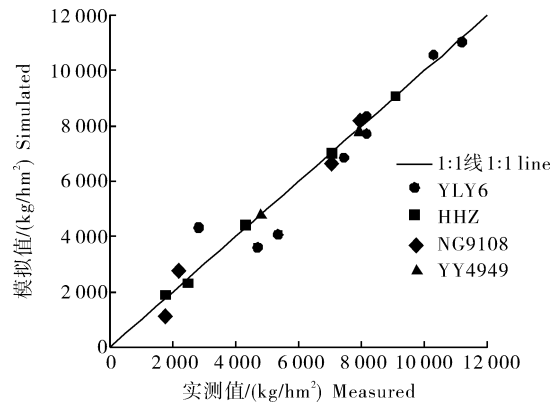


图 2 不同水稻品种穗干物质实测值和模拟值的比较

Fig.2 Compared of panicle dry matter measured and simulated for different varieties

3) 产量模拟。图 3 为湖北省武穴市 2015 年的实际产量和模拟产量的 1 : 1 关系图,不同品种在各播期下的实际产量与模拟产量的相对均方根误差(RRMSE)为 11.4%,模拟结果具有一定的可信度。但由于在生育期等子模型中,均未考虑农田管理操作及水分、肥料及病虫害对不同品种产量的最终影响,模型对黄华占、甬优 4949 的拟合效果较好,对南粳 9108 和扬两优 6 号的拟合效果较差。

2.3 模型应用

为确保各品种在湖北全省范围内能够安全齐穗,本研究从 3 月 26 日至 7 月 14 日,设置了 12 个播期,并模拟了 4 个品种在不同播期的产量。图 4 为湖北省荆州市不同品种的产量模拟,结果显示,黄华占和扬两优 6 号的产量变化规律相似,而南粳 9108 和甬优 4949 的产量变化规律相似;作为常规品种,黄华占和南粳 9108 的产量在不同播期间的变

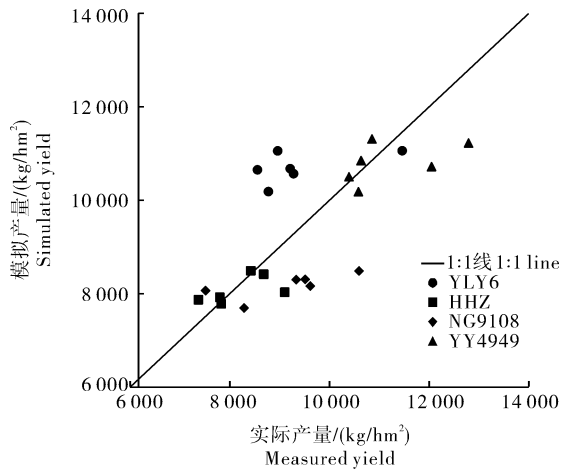


图 3 水稻不同品种实际产量和模拟产量的比较

Fig.3 Compared of measured yield and simulated yield in different varieties

化差异较小,产量也较低;而扬两优 6 号和甬优 4949 的产量及播期间产量差异均较大。

将不同品种的产量结合其对温度、光照的敏感性分析可知,黄华占、扬两优 6 号的温度敏感参数均大于 0.8,在 5 月 5 日至 5 月 25 日的播期下,在抽穗扬花期易受到高温影响,产量会下降,而南粳 9108 的温敏参数仅为 0.11,光敏参数较高,在本研究所设置的播期下,模拟产量的变化趋势为先上升后下降,受生育期影响较大。因此,对试验水稻品种在各个播期下的产量模拟可知,光敏性强的品种在湖北省各地推广时,需要考虑其生育期随光照缩短的变化,确保其获得高产;而对于温敏性强的水稻品种,在选择播期时需要避开重要生育期的高温影响,从而提高产量。结合湖北各试点生产实际本研究初步确定了湖北省各试点水稻的适宜播期(表 3)。

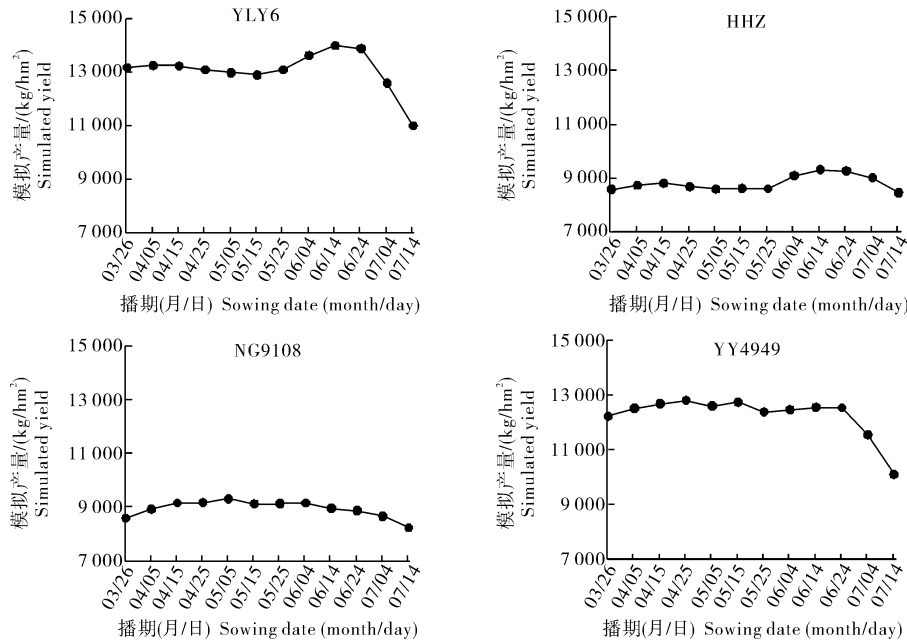


图 4 湖北省荆州市不同播期的产量模拟

Fig.4 Simulated yield in different sowing periods in Jingzhou City,Hubei Province

表 3 湖北省各试点的水稻适宜播期

Table 3 Suitable sowing date of different varieties rice in different pilot site in Hubei Province

品种 Variety	适宜播期(月/日) Suitable sowing date(month/day)					
	枣阳市 Zaoyang City	武穴市 Wuxue City	武汉市 Wuhan City	随州市 Suizhou City	荆州市 Jingzhou City	荆门市 Jingmen City
黄华占 Huanghuazhan	05/15-05/25	03/25-04/04 06/14-06/24	03/25-04/04 06/04-06/14	05/25-06/04	05/25-06/04	05/25-06/04
扬两优 6 号 Yangliangyou 6	05/15-05/25	06/04-06/14	06/04-06/14	05/25-06/04	05/25-06/04	05/25-06/04
南粳 9108 Nangeng 9108	04/25-05/05	06/14-06/24	05/15-05/25	05/05-05/15	05/05-05/15	05/05-05/15
甬优 4949 Yongyou 494	04/15-04/25	05/15-05/25	05/15-05/25	04/25-05/05	04/25-05/05	04/25-05/05

3 讨论

本研究以生理发育时间恒定原理对4个典型籼稻、粳稻品种的生理特性及光照、温度敏感性、基本早熟性、基本灌浆因子等参数进行拟合,并对水稻抽穗期及成熟期的生理发育日期进行模拟,误差在2个生理发育日内。通过试验数据及相关文献研究,确定了水稻穗部干物质分配模型参数,各品种的拟合决定系数 R^2 除甬优4949外,均大于0.90。并利用C#语言设计算法,将各个子模型进行耦合,对水稻产量进行模拟,实际产量和模拟产量的总RRMSE为11.4%,模拟结果较理想。此外,本研究采用“∞型”函数拟合每日光周期效应,反映水稻对短日照的响应。

本研究以国内外成熟水稻模型为参考,在前人研究^[7-11]的基础上,结合湖北省当地的气象资料,对湖北省各试点的籼稻和粳稻在不同播期的产量进行模拟,并在考虑当地种植特点及水稻安全成熟的前提下,为湖北省各试点提供了粳稻获得高产的适宜播期。从本研究模型模拟的产量结果来看,粳稻品种在湖北省有较好的适应性,尤其是籼粳杂交稻品种具有明显的产量优势,且湖北省大部分生态区域内光温资源均可以满足粳稻的生长需求,因此,本研究也进一步证实了湖北省内进行“籼改粳”的可行性。水稻在田间生长环境复杂,本研究仅考虑光照和温度及水稻品种特性对产量的影响。因此,模型预测结果在实际生产中可能会受到突发气象灾害和病虫害及种植管理模式等因素的干扰,可相应增加该模块,使产量的模拟更加接近于实际情况。

参考文献 References

[1] 邓建平,杜永林.江苏粳稻生产现状及发展对策[J].中国稻米,2006(4):8-11.DENG J P,DU Y L. Status quo and countermeasures for development of *japonica* rice production in Jiangsu[J]. Chinese rice,2006(4):8-11(in Chinese).

[2] 陈成斌,李道远,林登豪.普通野生稻性状籼粳分化观察[J].西南农业学报,1994,7(2):1-6.CHEN C B,LI D Y,LIN D H. Observation on *indica-japonica* differentiation of common wild rice characters[J]. Southwest agricultural journal,1994,7(2):1-6 (in Chinese with English abstract).

[3] 陈文炳.亚洲栽培稻起源分化的遗传学研究[J].上海农业学报,1999,15(3):42-48.CHEN W B. Genetic research on the origin and differentiation of Asian cultivated rice[J]. Shanghai journal of agriculture,1999,15(3):42-48(in Chinese with English abstract).

[4] 陈雨,潘大建,曲延英,等.水稻籼粳分化研究进展[J].广东农业科学,2007(12):3-7.CHEN Y,PAN D J,QU Y Y,et al. Research progress of rice *indica-japonica* differentiation[J]. Guangdong agricultural sciences,2007(12):3-7 (in Chinese with English abstract).

[5] 汪本福,程建平,李阳,等.播期对湖北省粳麦生产区粳稻生育期,产量及温光资源利用的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(5):74-81.WANG B F,CHENG J P,LI Y,et al. Effect of sowing date on growth period,yield and utilization of temperature and light resources of *japonica* rice in the *japonica* rice and wheat production area in Hubei Province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2020,39(5):74-81(in Chinese with English abstract).

[6] 杨罗浩,彭福燕,高俊阳,等.不同种植密度和施肥水平下湖北二期晚粳群体物质生产特征及其与产量形成的关系[J].华中农业大学学报,2020,39(5):82-90.YANG L H,PENG F Y,GAO J Y,et al. Mass production characteristics of Hubei second-cropping late *japonica* population and its relationship with yield formation under different planting densities and fertilization levels[J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2020,39(5):82-90(in Chinese with English abstract).

[7] 曹卫星,罗卫红.作物系统模拟及智能管理[M].北京:高等教育出版社,2003.CAO W X,LUO W H. Crop system simulation and intelligent management [M]. Beijing: Higher Education Press,2003(in Chinese).

[8] 骆世明,郑华,陈春焕,等.水稻高产栽培中应用计算机模拟的研究[J].广东农业科学,1990(3):14-17.LUO S M,ZHENG H,CHEN C H,et al. Research on the application of computer simulation in rice high-yield cultivation[J]. Guangdong agricultural sciences,1990(3):4-17(in Chinese).

[9] TIMSINA J,HUMPHREYS E. Performance of CERES-rice and CERES-wheat models in rice-wheat systems;a review[J]. Agricultural systems,2006,89(1/2/3):5-31.

[10] BOUMAN M,LAAR H H V. Oryza 2000:modeling lowland rice[C]. Los Baños:IRRI and Wageningen University and Research Centre,2001.

[11] 高亮之,金之庆,黄耀.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,1992:152.GAO L Z,JIN Z Q,HUANG Y. Rice cultivation computer simulation and optimization decision-making system[M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press,1992:152(in Chinese).

[12] 裴鑫德.多元统计分析及其应用[M].北京:北京农业大学出版社,1991:188-195.PEI X D. Multivariate statistical analysis and its application [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press,1991:188-195(in Chinese).

[13] 孟亚利,曹卫星,周治国,等.基于生长过程的水稻阶段发育与物候期模拟模型[J].中国农业科学,2003,36(11):1362-1367.MENG Y L,CAO W X,ZHOU Z G,et al. A simulation model of rice development and phenology based on the growth process[J]. Chinese agricultural sciences,2003,36(11):1362-1367(in Chinese with English abstract).

[14] 中央气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003.

- Central Meteorological Bureau. Ground meteorological observation specifications [M]. Beijing: Meteorological Press, 2003 (in Chinese).
- [15] 于强, 王天铎, 刘建栋, 等. 玉米株型与冠层光合作用的数学模拟研究 I 模型与验证[J]. 作物学报, 1998, 24(1): 7-15. YU Q, WANG T D, LIU J D, et al. Mathematical simulation of maize plant type and canopy photosynthesis I model and verification [J]. Acta agronomica sinica, 1998, 24(1): 7-15 (in Chinese with English abstract).
- [16] 孟亚利, 曹卫星, 柳新伟, 等. 水稻光合生产与干物质累积的动态模拟[J]. 生物数学学报, 2004, 19(2): 205-212. MENG Y L, CAO W X, LIU X W, et al. Dynamic simulation of rice photosynthetic production and dry matter accumulation [J]. Journal of biological mathematics, 2004, 19(2): 205-212 (in Chinese with English abstract).
- [17] 汤亮, 李艳大, 张玉屏, 等. 水稻冠层光分布模拟与应用[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(4): 427-434. TANG L, LI Y D, ZHANG Y P, et al. Simulation and application of rice canopy light distribution [J]. China rice science, 2011, 25(4): 427-434 (in Chinese with English abstract).
- [18] 李绪孟, 王小卉, 郑华斌, 等. 水稻群体冠层光分布及光合作用模型[J]. 生物数学学报, 2014, 29(1): 87-98. LI X M, WANG X H, ZHENG H B, et al. Canopy light distribution and photosynthesis model of rice population [J]. Journal of biological mathematics, 2014, 29(1): 87-98 (in Chinese with English abstract).
- [19] 孟亚利, 曹卫星, 柳新伟, 等. 水稻地上部干物质分配动态模拟的初步研究[J]. 作物学报, 2004, 30(4): 376-381. MENG Y L, CAO W X, LIU X W et al. Preliminary study on the dynamic simulation of dry matter distribution in rice shoots [J]. Acta agronomica sinica, 2004, 30(4): 376-381 (in Chinese with English abstract).
- [20] SÁNCHEZ B, RASMUSSEN A, PORTER J R. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review [J]. Global change biology, 2014, 20(2): 408-417.
- [21] 唐锡华, 倪彭寿, 童本仙, 等. 在控制条件下对不同稻种日长和温度反应发育特性的研究[J]. 植物生理学报, 1978, 4(2): 158-167. TANG X H, NI P S, TONG B X, et al. Study on the developmental characteristics of different rice varieties in response to day length and temperature under controlled conditions [J]. Acta plant physiology, 1978, 4(2): 158-167 (in Chinese with English abstract).
- [22] 水稻光温生态研究协作组. 中国水稻品种的光温生态[M]. 北京: 科学出版社, 1978. Rice Photo-Temperature Ecological Research Cooperative Group. The light and temperature ecology of rice varieties in China [M]. Beijing: Science Press, 1978 (in Chinese).
- [23] 高亮之, 金之庆, 黄耀, 等. 水稻计算机模拟模型及其应用之一: 水稻钟模型——水稻发育动态的计算机模型[J]. 中国农业气象, 1989(3): 3-10. GAO L Z, JIN Z Q, HUANG Y, et al. Rice computer simulation model and one of its applications. I. Rice clock model: a computer model of rice development dynamics [J]. Chinese agricultural meteorology, 1989(3): 3-10 (in Chinese).

Growth simulation and application of *indica* and *japonica* rice in Hubei Province

CHEN Linlin, NIAN Feixiang, JIANG Yang

College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract A model simulation of the growth period, dry matter distribution and yield of rice was conducted based on the data from multiple field experiments and meteorological data in Hubei Province to promote the development of the “Shifting from *indica* rice to *japonica* rice” planting model in Hubei Province, increase the utilization efficiency of light and temperature resources in the rice farming model, and improve the quality of rice. Results showed that the simulation error of the growth period of *indica* and *japonica* rice in Hubei Province was within 2 days of physiological development. The simulation of growth period and panicle dry matter distribution was basically distributed near the 1 : 1 line, and the fitting effect was good. The relative root mean square error (RRMSE) of the practical rice yield and the simulated yield was 11.4%, indicating that the simulation process is credible. At the same time, the simulation method of this model was used to preliminarily predict the suitable sowing date of *japonica* rice in Hubei Province. It will provide references for selecting the planting distribution and sowing date of *indica* and *japonica* rice in Hubei Province.

Keywords rice growth model; “Shifting from *indica* rice to *japonica* rice” planting model; yield simulation; sowing date; utilization of light and temperature resource; rice quality

(责任编辑: 张志钰)