

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

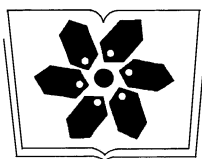
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



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 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

基于 ORYZA2000 模型的北京地区 旱稻适宜播种期分析

薛昌颖^{1,3}, 杨晓光^{2,*}, 陈怀亮^{1,3}, 冯利平², 王化琪⁴, B. A. M Bouman⁵

(1. 中国气象局农业气象保障与应用技术重点实验室, 郑州, 450003; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京, 100193;
3. 河南省气象科学研究所, 郑州, 450003; 4. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京, 100193;
5. 国际水稻研究所, 马尼拉, 菲律宾)

摘要: 确定适宜播种期是制定合理的作物栽培管理方案的关键内容之一。在作物模型 ORYZA2000 有效性验证的基础上, 以北京地区为例, 利用该模型结合长期历史气候资料, 对确定旱稻适宜播种期做了初步研究。结果表明: 在不考虑水分因子条件下, 北京地区旱稻 297 安全播期的范围较广, 多年平均为 3 月 26 日—6 月 4 日; 受温度升高的影响, 最早播期有提前趋势, 而最晚播种期有延后趋势。在同一年份内, 播期不同旱稻的产量也有一定的变化, 呈现为先升高而后降低的趋势。播期过早或过晚导致生育期平均温度偏低是影响穗干物质累积且造成减产的主要原因, 在适宜的播期范围内才能获得高产。以 90%—100% 当年最高产量潜力作为适宜播期的产量指标, 确定北京地区旱稻 297 的适宜播期变化在 5 月 11 日—5 月 19 日之间, 相应的产量变化在 6689—7257 kg/hm² 范围内。研究方法可为其他地区旱稻的播期研究提供借鉴。

关键词: 旱稻; 可能播期; 适宜播期; ORYZA2000 模型

Determining suitable sowing dates for aerobic rice in Beijing area using the ORYZA2000 model

XUE Changying^{1,3}, YANG Xiaoguang^{2,*}, CHEN Huailiang^{1,3}, FENG Liping², WANG Huaqi⁴, B. A. M Bouman⁵

1 Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and Applied Technique, CMA, Zhengzhou 450003, China

2 College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100194, China

3 Henan Institute of Meteorological Science, Zhengzhou 450003, China

4 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100194, China

5 International Rice Research Institute, Manila, Philippines

Abstract: The determination of suitable sowing dates is critical for optimizing cropping systems in relation to climatic conditions. In this paper, we use a validated rice growth simulation model, ORYZA2000, along with long-term historical weather data to determine suitable sowing dates for aerobic rice the Beijing area. Simulations are carried out for variety HD297 under potential production situations in which crop growth and development are only determined by solar radiation and temperature, and in which irrigation water and nutrients are in ample supply and the crop is optimally protected from pests and diseases. The optimum sowing date is defined as those dates which obtain 90%—100% of the maximum simulated yield. Results suggest a wide possible sowing range, from March 26 to June 4. Simulated grain yield is low with early sowing, increases with later sowing, and then decreases again with sowing at the end of the sowing window. The low yields with both early and late sowing are caused by low average temperatures experienced during the crop growth period. Increasing temperatures caused by climate change widen the sowing window, both by advancing the earliest sowing time and prolonging the late sowing period. The optimum sowing dates, resulting in highest yields, are between May 11 and May 19,

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)课题(2006AA10Z224); 国家高技术研究发展计划(863 计划)课题(2006AA100203-04); 河南省气象局项目(Z200810); 国家自然科学基金项目(41005058); 国际合作项目(CP-STAR)

收稿日期: 2009-12-21; 修订日期: 2010-10-25

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

with realize yields potentials of 6689 — 7257 kg/hm². The results of this study provide useful information on sowing opportunities for aerobic rice that can be extended to farmers in the North China region.

Key Words: aerobic rice; possible and optimum sowing date, ORYZA2000 model

随着水资源日益匮乏,我国稻米生产受到越来越严重的威胁。而旱稻由于其具有耐旱、耐涝水陆两栖的特点,是解决水稻生产面临的水资源紧缺问题的有效途径,在我国开发潜力巨大^[1]。自 2003 年以来,我国已有 6 个旱稻品种通过国家农作物品种审定委员会审定,其中“旱稻 297”和“277”已成为国家旱稻区试新一代对照品种。旱稻 297 在京、津、冀、辽南、鲁北等地,适于作一季旱稻春播,全生育期 130—150d,在黄淮地区可作麦茬旱直播,全生育期 110—120d^[2]。为因地制宜地发展旱稻生产,尽量避免由于栽培措施不当造成的产量损失,确定适宜的播种期对旱稻生产推广具有重要的指导意义。

适宜播种期是制定合理栽培管理方案的关键,可以确保作物生长发育与当地最佳光温条件同步,充分利用当地的气候资源^[3],并减少灾害发生,降低产量风险^[4]。分期播种试验法^[5]和气象指标法^[6]是两种确定作物适宜播期的传统方法。前者往往需要进行多点、多品种、多播期试验,周期较长且耗费大量时间、人力和物力^[7];后者通常是假设水分条件适宜,某个作物品种由播种至出苗所需的积温是恒定的,并辅以其他指标来确定适宜播种期,该方法很大程度上依赖于前人对各作物适宜气象指标的研究结果,容易忽略气候条件的变化和品种更替对其的影响^[8-9]。运用知识工程和系统建模方法,建立作物知识动态模型也是一种确定适宜播期的方法^[10-12]。相对于以上方法,作物生长模型由于其机理性较强,在确定作物适宜播期方面具有更强的优势,可以综合考虑光、温、水各种限制条件以及产量水平来确定适宜的播种期。在国内,高亮之等最早建立了水稻不同品种发育期的水稻钟模型,可以用来确定各地水稻的最佳播种期^[13],广泛应用于水稻栽培决策管理^[14]。随着作物模型技术的迅速发展,越来越多的模型被开发并应用于作物播期研究方面,如 RICEMOD^[15]、SIMRIW^[16]、CERES-Rice^[17]、CERES-Maize^[18-19]、PS123^[20]和 APSIM^[21]等。

ORYZA2000^[22]引入中国后,在模拟旱稻适应性方面已得到验证^[22-25],并被应用于旱稻或水稻的生产潜力分析、水肥管理、产量预测等方面^[25-28]。本文在模型适应性验证的基础上,尝试用 ORYZA2000 对旱稻适宜播种期做了初步分析,以期对北京乃至华北平原旱稻的种植管理提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 ORYZA2000 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水稻生长模拟模型^[22]。该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、氮素的动态变化过程。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。逐日气象数据包括日照时数或辐射、最低温度、最高温度、8:00 水汽压、平均风速以及降水量。作物参数主要包括发育速率(℃/d)、干物质分配系数和比叶面积等。土壤属性参数主要包括土壤各层的饱和含水量、田间持水量、萎蔫点含水量、饱和导水率等。管理参数主要指出苗时间、种植密度、灌溉管理和氮肥管理等。

1.2 气象、土壤和作物资料

利用中国农业大学昌平试验站 2001—2004 年田间试验资料对 ORYZA2000 模型模拟旱稻的适应性进行了验证^[22-23],本文利用其中取得的作物和土壤参数输入模型,进行模拟分析。ORYZA2000 运行所需的气象资料来源于北京市气象局年代为 1971—2006 年。

1.3 研究方法

由于旱稻 297 生育期较长,一般为 130—150d,在北京地区作为春直播一季稻种植,因此在确定适宜播期时首先需要保证旱稻安全出苗、安全齐穗和安全成熟。ORYZA2000 中,旱稻安全出苗且能够安全成熟的最低

温度指标是生育期内不出现连续 6d 日平均气温低于 12℃ 的低温天气;而针对抽穗开花期的安全齐穗,模型中主要是通过孕穗期低温对小穗不孕的影响以及开花期高温对开花授粉的影响来模拟温度条件对最终产量的影响,二者的临界温度分别为 22℃ 和 36.6℃,其相关关系分别为:

$$S_c = 1 - (4.6 + 0.054 \times (S \times (22 - T_d))^{1.56}) / 100 \quad (1)$$

$$S_h = 1 / (1 + \exp(0.853(T_{m,a} - 36.6))) \quad (2)$$

式中, T_d 为日平均温度(℃), S 为关系系数, S_c 为不孕率, $T_{m,a}$ 为日最高温度(℃), S_h 为可孕率。

ORYZA2000 模型以 DVS 为发育指数^[22],表示作物所达到的各个发育阶段,根据模型输出的 DVS 值可以分别确定在某一播种日期条件下早稻能否安全出苗、抽穗或成熟,确定方法分别为: $DVS < 0.65$ 时表示早稻不能安全出苗或苗期遇低温危害停止生长; $0.65 \leq DVS < 1.0$ 表示不能安全齐穗; $1.0 \leq DVS < 2.0$ 表示不能安全成熟; $DVS \geq 2.0$ 表示早稻可安全成熟。

在模拟时,将模型设置在肥水均能充分满足的水平,称之为潜在水平,在此水平下早稻的生长发育只受光温条件影响。以日为播期递增步长,模拟 1971—2006 年逐年各播期下早稻的发育进程和产量。根据模型输出的各播期对应的 DVS 值,确定早稻可能播期范围,即 $DVS \geq 2$ 对应的播期初日和终日分别为当年可能的最早和最晚播期,早于最早播期早稻不能安全出苗,晚于最晚播期早稻不能安全成熟。在可能播期范围确定的基础上,根据模型模拟结果分析在可能播种期范围内早稻生物量、产量和生育期长度随播期的变化情况、确定播期对早稻生长发育和产量形成的影响。

在确定适宜播种期时一方面考虑尽可能充分利用气候资源,同时也要兼顾经济上合算的产量水平,参考相关的方法^[20],以 90%—100% 当年最高产量潜力作为适宜播期的产量标准,在此产量范围内的播期为当年适宜的播期,以此方法分别确定 1971—2006 年逐年的适宜播期范围,以多年平均的适宜播期范围作为北京地区早稻适宜的播期。

2 结果和分析

2.1 北京地区早稻可能播种期的变化幅度

根据模型原理,在模型输出的最终发育阶段 $DVS \geq 2$ 时表明早稻能够安全成熟。以 1998 年为例,在图 1 中给出了不同播期时模型输出的 DVS 终值以及相应时段内的日平均气温。当播期在 3 月 22 日以前时,由于日平均气温较低,模型模拟过程中出现连续 6d 平均温度低于 12℃ 的情况,早稻受低温危害停止生长,模型模拟终止。当播期在 3 月 22 日以后时,模型模拟的整个生育期期内温度条件能够满足早稻的生理需求,早稻能够完成出苗、抽穗开花和成熟等生长发育过程,达到生理成熟,此时模型输出的 $DVS \geq 2$ 。随着播种期继续向后推迟,早稻生长发育也逐渐延迟,当播种期为 6 月 12 日时,早稻还能够达到成熟期,成熟的日期为 10 月 27 日,当播期在 6 月 12 日以后时,模型模拟的早稻生育后期再次遭遇低温危害,不能安全成熟,此时模型输出的 $DVS < 2$ 。可见,1998 年早稻的可能播种期范围在 3 月 22 日至 6 月 12 日之间。但受温度年际波动的影响,可能播期的最早日和最晚日在年际间也有一定的波动。根据模型输出的 DVS 值,确定了 1971—2006 年逐年北京地区早稻最早可能播期日和最晚可能播期日,并给出了相应的成熟日期,如图 2。

从图 2 中可以看出,最早和最晚可能播种期在年际间均有一定的波动,最早可能播种期变化在 3 月 12 日至 4 月 9 日之间,而最晚可能播种期则波动在 5 月 22 日至 6 月 15 日之间,多年平均的最早和最晚可能播期分别为 3 月 26 日和 6 月 4 日,表明在这段时间内播种光温条件能够满足早稻生长发育的需要,能够安全成熟。相应的北京地区稳定通过 12℃ 的初日变化在 3 月 26 日至 4 月 26 日之间,该日期较模型模拟的最早可能播种期偏晚,主要是由于模型规定的条件较为宽松,即播种后无连续 6d 平均温度低于 12℃,而不是 5d 滑动平均温度稳定通过 12℃。从年际间的变化趋势看,最早播种期具有逐渐提前的变化趋势,而最晚可能播种期则具有明显的延后的变化趋势,表明温度升高引起可能播种期范围扩大。

对应于最早和最晚播期,成熟期也在一定的范围内波动(图 2),其中最早成熟日期变化在 8 月 15 至 9 月 18 日之间,多年平均值为 8 月 27 日,除个别年份波动幅度较大外,其他年份均变化在多年平均值 $\pm 10d$ 范围

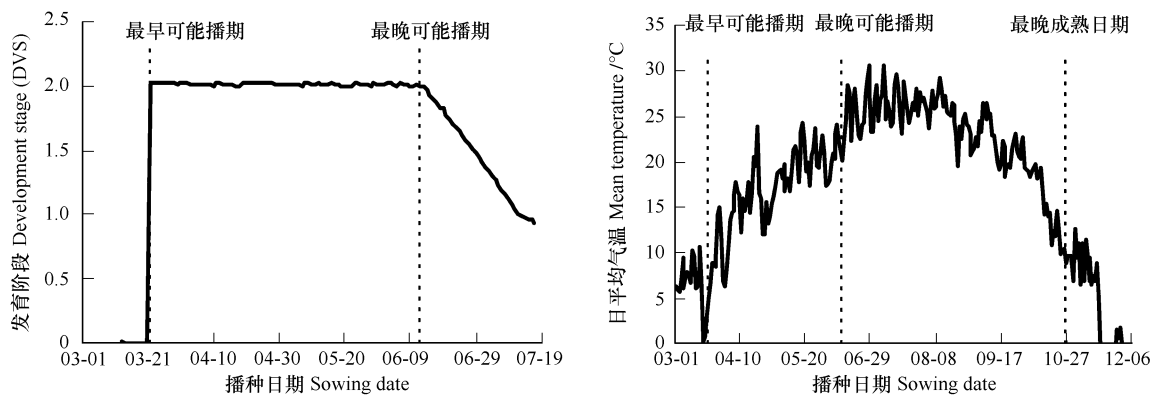


图1 1998 年不同播期时模型输出的最终 DVS 值以及 1998 年 3—11 月日平均气温

Fig.1 Simulated DVS relative to different sowing dates and daily mean temperature during March to November in 1998

内;最晚成熟日期反映了光温条件限制下早稻生长季的最晚时间界限,它变化在 10 月 17 日至 11 月 10 日之间,多年平均值在 10 月 31 日左右。受气候变化条件下温度升高的影响,最早成熟日期的变化也呈现出逐渐提前的趋势,与最早播种日期的变化趋势一致,但最晚成熟日期则相对比较稳定。

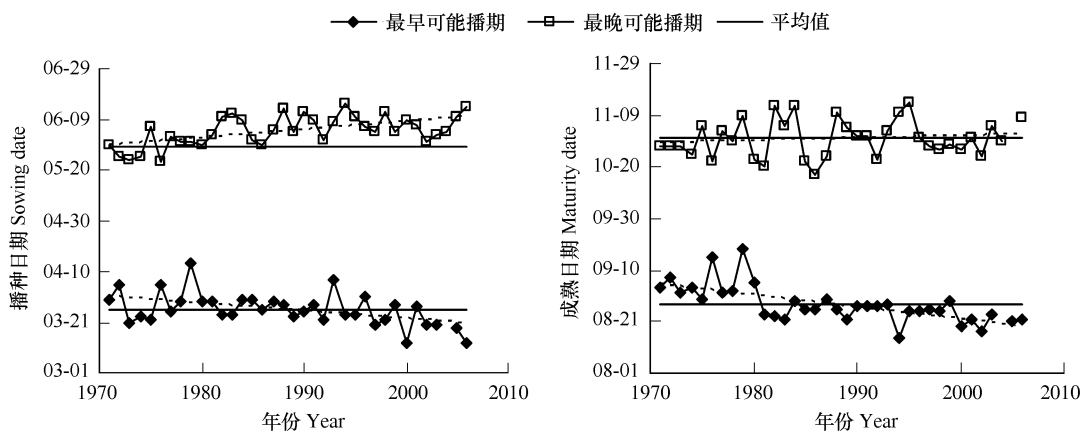


图2 1971—2006 年北京地区早稻可能播期和成熟期变化

Fig.2 Possible sowing dates and maturity dates of aerobic rice in Beijing from 1971 to 2006

2.2 播期对早稻生育期和产量的影响

图 3 为最早和最晚可能播期分别对应的早稻产量和生育期日数。产量的模拟结果表明,尽管最早和最晚可能播期对应的产量年际间有一定的波动,但是最早播期时的产量均显著低于最晚播期时的产量,对应于最早播期的产量平均值为 5195 kg/hm^2 ,而最晚播期的产量平均值为 6994 kg/hm^2 。同样,不同的播期对早稻生育期长度也有影响,最早播期时早稻生育期日数平均为 155d,最晚播期时生育期为 149d。在两种播期条件下,早稻产量和生育期长度随着年代的变化均表现为一定的下降趋势。

播期对产量的影响主要是通过生育期内气象条件对早稻生长发育过程的影响引起的。以 1998 年的模拟结果为例,对不同播期对早稻产量的影响进行分析。本文以早稻生育期平均气温和平均日辐射量两个气象要素分析光温条件对早稻产量的影响。

从图 4 中可以看出,1998 年可能播期范围内,早稻生育期平均温度变化在 $21.6\text{—}24.5^\circ\text{C}$ 之间,当播期在 5 月 25 日以前时,平均温度随播期逐渐升高,此后平均温度转为下降趋势。早稻生育期平均日辐射量随播期的变化也表现为先增加而后降低的趋势,但最高平均日辐射对应的播期在 4 月 30 日左右。可见,播期不同将引起早稻生育期内温度和辐射条件的改变,影响早稻的生长发育过程,从而对最终产量造成影响。

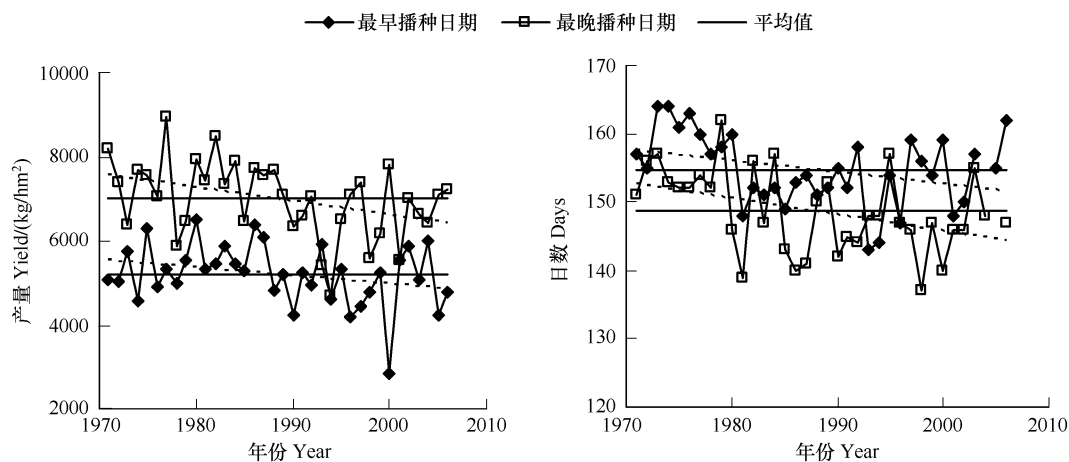


图3 最早和最晚可能播期对应的旱稻产量和生育期长度

Fig. 3 Variations of yield and growing duration with possible sowing dates of aerobic rice

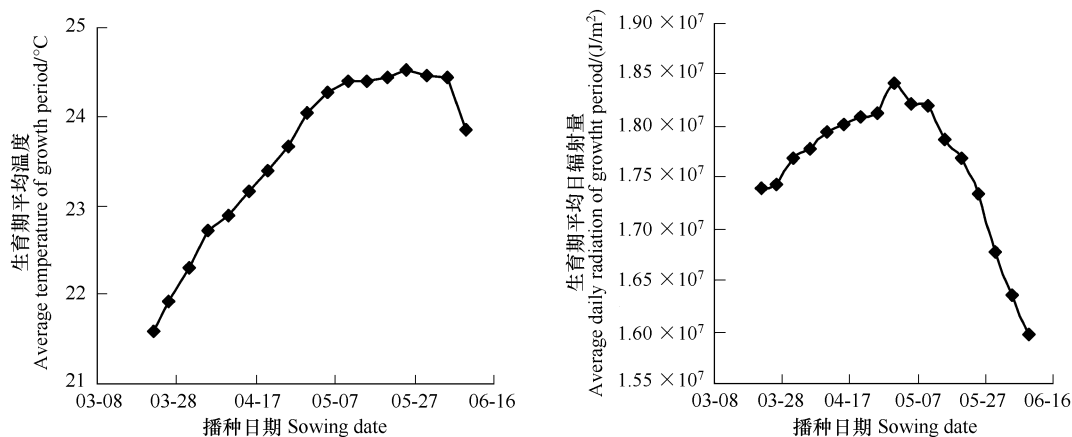


图4 1998年旱稻生育期平均温度和平均日辐射随播种期的变化

Fig. 4 Variations of average daily mean temperature and radiation over growing season with sowing dates in 1998

图5为1998年旱稻产量随播种期的变化关系。当播种期在3月22日时,虽然旱稻也能够成熟,但其产量很低,在不受水肥限制的潜在条件下仅为4786 kg/hm²。随着播期向后推迟,旱稻的产量逐渐升高,当播期在5月30日左右时产量达到最高水平7828 kg/hm²,此后随着播期继续推迟,产量转为下降趋势。最高产量相对于最早播期时的产量提高了64%,可见播期对产量具有很大的影响,选择适宜的播期对提高作物产量具有重要的意义。

植物干物质的累积是作物产量形成的基础。利用作物生长模拟模型,从干物质累积和分配的角度对播期影响产量的机理进行分析。作物不同器官的生长发育和干物质累积都在一定的温度和光照范围内进行,同时气象条件也会影响干物质在作物不同器官间的分配。图6给出了旱稻干物质累积随播种期的变化关系。随着

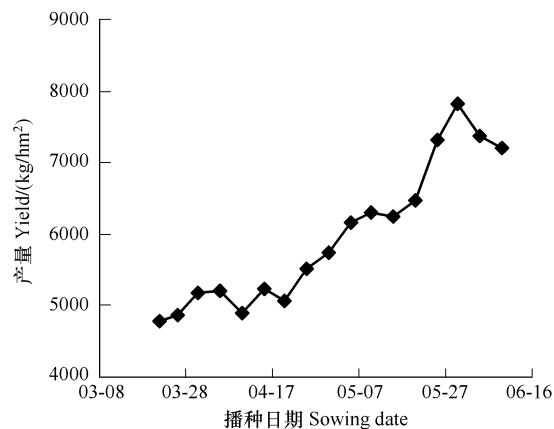


图5 模型模拟的1998年旱稻产量随播种期的变化

Fig. 5 Variations of simulated aerobic rice yield with sowing dates in 1998

播种期的推迟,早稻地上部总生物量尽管也有一定的先增加后降低的变化趋势,但相对变化幅度较小,茎叶生物量和穗生物量随播期呈现出明显的变化趋势,在播期较早时,茎叶生物量一直处于较高的水平,而此时穗生物量则很低,当播期变化到一定程度时,随着播期的继续推迟,茎叶生物量迅速下降,但穗生物量则呈现出迅速上升的趋势。图 7 给出了早稻干物质累积与生育期平均温度和日辐射的变化关系。早稻总生物量、茎叶生物量和穗生物量与生育期平均温度之间具有显著的二次曲线变化关系。总生物量为茎、叶和穗器官生物量的总和,其随着生育期平均温度的升高先增加后降低,但变化幅度较小,从最低的 20917 kg/hm² 变化到最高的 21558 kg/hm²,最高值对应的生育期平均温度范围在 23.5℃ 左右。相对于总生物量的变化幅度,茎叶生物量和穗生物量受温度的影响变化范围较大。当生育期平均温度在 23.5℃ 以下变化时,茎叶生物量一直处于较高的水平,变化在 12000 kg/hm² 上下,而随着温度的继续升高,茎叶生物量迅速下降,总体变化范围在 12516—9348 kg/hm² 范围内;而穗生物量则随着温度的升高呈现为持续上升的趋势。在生育期平均日辐射量变化范围内,其对总生物量无显著的影响,当变化在 17.5 MJ/m² 以下时,随其升高,茎叶生物量逐渐增加,而穗生物量逐渐降低。

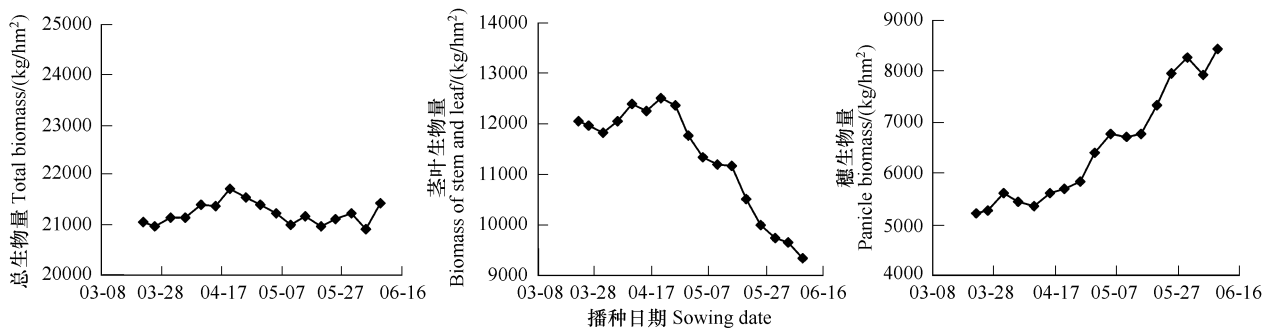


图 6 模型模拟的 1998 年不同器官生物量随播期的变化

Fig. 6 Variation of simulated biomass accumulation of different organs with sowing dates in 1998

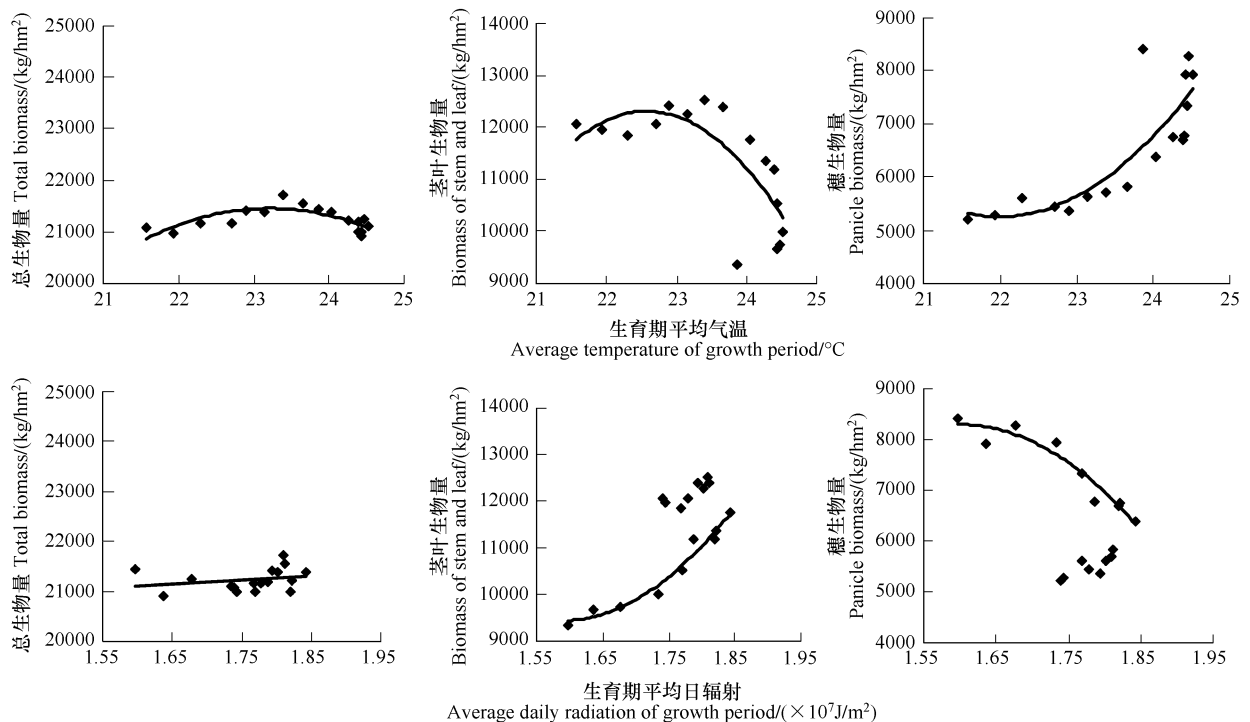


图 7 1998 年模拟的早稻生物量与生育期平均温度和辐射的变化关系

Fig. 7 Relationships between biomass accumulation and average daily mean temperature and radiation

根据早稻不同器官生物量累积与温度和光照间的变化关系,以及早稻生育期温度和光照随播期的变化趋势可以看出,在可能播期的范围内温度条件是影响早稻产量高低的主要因素,光照条件次之。由于总生物量随播期变化的幅度远小于茎叶和穗生物量的变化范围,因此生育期不同气象条件的变化主要影响总生物量在茎叶、穗等不同器官间的分配。当播期过早或过晚时,由于生育期内温度较低,不利于早稻穗部器官干物质的累积以及茎叶生物量向穗部转移,积累的干物质主要用于茎叶等营养器官的生长,穗部干物质累积量较小,造成产量较低。而在一定的播期范围内,早稻生育期温度条件适宜,生物量的累积在营养器官和生殖器官之间进行合理的分配,生殖器官干物质累积量增大,因此产量较高。

2.3 早稻适宜播种期的确定

根据模型模拟的逐年产量随可能播种期的变化关系,选出逐年产量最高时对应的播种期,作为该年份适宜的播种期。图 8 为 1971—2006 年北京地区逐年的适宜播种日期及对应的成熟日期。逐年的适宜播种日期变化在 4 月 29 日至 6 月 4 日之间,随着年代的变化呈现为逐渐延后的变化趋势,多年平均日期为 5 月 19 日。相应的成熟日期变化在 9 月 15 至 11 月 13 日之间,平均为 10 月 17 日左右,即早稻生育期长度变化在 136—156d 范围内,多年平均为 142d。在适宜播期条件下,早稻最高产量年际间变化在 5982—8952 kg/hm² 之间,随着年代变化呈现为一定的下降趋势,多年平均值为 7433 kg/hm²。

同时考虑作物产量存在一定的变化范围,以 90% 产量潜力水平作为适宜播期确定的产量下限,以此来确定北京地区的早稻适宜的播期范围。北京地区 90% 产量潜力对应的播期范围变化在 4 月 22 日至 6 月 2 日之间,多年平均日期为 5 月 11 日(图 8d)。

因此,北京地区早稻适宜播期范围为 5 月 11 日至 5 月 19 日。

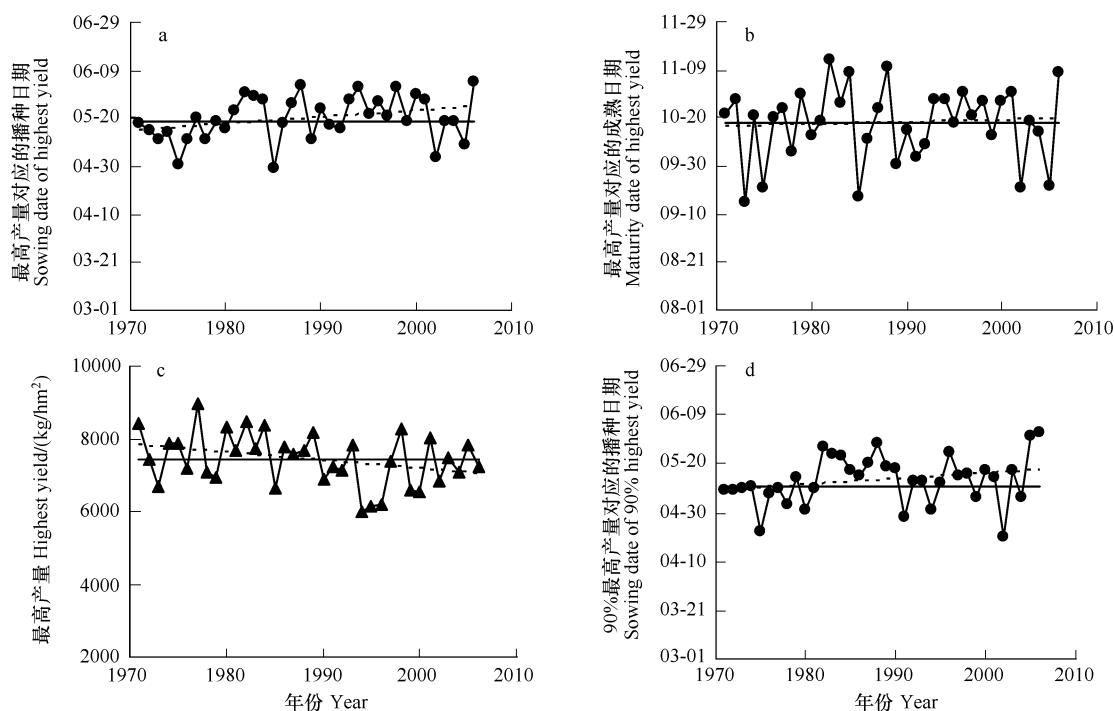


图 8 1971—2006 最高产量和 90% 产量潜力对应的播种日期、最高产量播期对应的成熟日期以及最高产量

Fig. 8 Sowing dates relative to maximum yield and 90% maximum yield, maturity dates relative to maximum yield and maximum yield from 1971 to 2006

表 1 和表 2 为模型确定的适宜播期与试验实际播期的对比,其中的试验数据取自 2001—2002 以及 2004—2006 年在北京开展的早稻田田间试验结果,其中的产量数据选择当年试验中水肥管理相对较好的处理,尽可能排除水肥等其他条件对产量的影响。有关试验的详细信息见参考文献^[29]。通过比较试验实际播期与

模型确定的适宜播期以及试验实际产量与模型模拟的适宜播期时的产量可以看出:试验实际播期与模型确定的适宜播期相比总有一定的提前或延后,除 2001 年外,试验实际播期与模型适宜播期相差的日数越大,实际产量与模型模拟的适宜播期时的产量相差也越大,特别是 2004—2006 年相关性较强。由于试验中已经尽可能排除了水肥等其他因素对产量的影响,因此播期的不同应是造成实际产量低于适宜播期产量的一个主要原因,即试验实际播期越接近模型确定的适宜播期时,实际产量也越接近适宜播期时的最高产量。对比结果表明模型确定的适宜播期具有一定的合理性。但由于试验年份较少,模型结果还需要实际生产以及分期播种等试验数据的进一步验证。

表 1 模型确定的适宜播期与试验实际播期的比较
Table 1 Comparison between suitable sowing date by model and practical sowing date of experiment

年份 Year	模型确定的适宜播期(日期) Suitable sowing date by model	试验实际播期(日期) Practical sowing date of experiment	相差日数 Difference of sowing date
2001	05-14	05-16	2
2002	04-20	05-15	25
2004	05-06	05-12	6
2005	05-31	05-19	12
2006	06-02	05-10	23

表 2 模拟模拟的适宜播期产量与试验实际产量的比较
Table 2 Comparison between yield simulated by model and practical yield of experiment

年份 Year	模型模拟的适宜播期产量 Yield with suitable sowing date by model/(kg/hm ²)	试验播期产量 Practical yield of experiment/(kg/hm ²)	产量差 Yield difference/%
2001	7207	5400	25.1
2002	6168	5289	14.3
2004	6361	6026	5.3
2005	7055	5542	21.5
2006	6500	4963	23.7

3 结论与讨论

本文利用 ORYZA2000 作物模拟模型,以生长发育指数(*DVS*)作为定量发育进程的指标,在分析播期对早稻生物量累积和产量形成影响的基础上,初步确定了北京地区早稻 297 的适宜播期范围。ORYZA2000 充分考虑了生育期内光温条件对早稻生长发育和产量形成的影响,如孕穗开花期的低温、高温对抽穗、小穗不孕率等的影响^[22],因此,利用该模型进行适宜播期的确定具有较强的机理性。

通常确定适宜播期一般需考虑以下 3 个因素:产量最高或较高;茬口适宜;灾害较轻,稳产性好^[15,17]。受自身品种特性决定,早稻 297 生育期较长,在京津地区适宜作为一季稻种植,因此本文在确定北京地区早稻适宜的播期时没有考虑与冬小麦茬口的衔接问题,主要考虑确保早稻安全出苗、齐穗和成熟,其次是生育期内灾害较轻,高产稳产性好。根据该原则,能够保证早稻安全出苗至成熟的可能播期的范围变化较大,在 3 月 26 日和 6 月 4 日之间,表明该地区具有较丰富的热量和光照资源能够满足早稻对光、温气象条件的生理需求。尽管在可能播期范围内种植早稻均能够保证其达到成熟,但是由于生育期内遇到的气象条件不同,对早稻生长过程及干物质累积和分配产生不同的影响,造成产量随可能播期的变化波动较大,稳定性较差。以往播期对水稻产量影响原因分析大多是通过田间试验分析播期对产量构成因素的影响,但由于试验地点、参试品种及播种时间的不同,研究结果也不尽相同。李秀芬等针对辽宁地区播期推迟对水稻产量的影响进行研究,结果表明随着播栽期推迟,水稻产量有所降低,而每穗成粒数减少是引起水稻减产的主要原因,其次是千粒重下降和成穗数降低^[30]。王夫玉等对淮北地区粳稻产量构成因素受播期影响的研究表明播期主要影响结实率,其次是千粒重,而对每穗颖花数影响较小^[31]。本文利用 ORYZA2000 作物模拟模型从作物干物质累积和分配

的降低对播期影响产量的原因进行分析,通过生物量与生育期内温度、辐射要素之间的关系分析表明,当播期过早或过晚时,由于生育期内平均温度偏低,不利于旱稻干物质累在储藏器官穗部的积累,造成产量降低。

以产量达到当年最高产量潜力的 90%—100% 作为适宜播期的评价指标,确定北京地区旱稻 297 适宜的播期范围在 5 月 11 日至 5 月 19 日之间,此时旱稻的潜在产量变化在 6689—7257 kg/hm² 范围内。在此播期范围内旱稻能够安全出苗至成熟,同时产量较高,稳产性好。

本文仅针对旱稻 297 这一品种在北京地区的适宜播期进行了研究,不同品种由于其生长特性及生育期长度等方面的差异,适宜播期相差也较大,因此,比较不同旱稻品种适宜播期的差异,确定适宜不同地区种植结构的旱稻品种,从而提高农业生产力仍需进一步研究。

References:

- [1] Grain and oil department, planting industry management division, Ministry of Agriculture of PRC. Developing aerobic rice production, leading the road of water saving agriculture — broad prospects for aerobic rice production in China. China Agricultural Information Bulletin, 2003, (7).
- [2] Wang H Q, Ma D W. Brief introduction of series of aerobic rice varieties breeding by China Agricultural University. Hebei Agricultural Science and Techniques, 1999, (4):14.
- [3] Gomez-Macpherson H, Richards R A. Effect of sowing time on yield and agronomic characteristics of wheat in south-eastern Australia. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1381-1399
- [4] Farrell A T C, Fukai A C S, Williams B R L. Minimising cold damage during reproductive development among temperate rice genotypes. I. Avoiding low temperature with the use of appropriate sowing time and photoperiod-sensitive varieties. Australian Journal of Agricultural Research, 2005, 57(1): 75-88
- [5] Liu J B, Lin J Q, Li W X, Wei J S, Yuan D R. Studies on safe and high-yielding seeding dates for single cropping hybrid rice in Hilly area of Hunan Province. Hybrid Rice, 2009, 24(1):39-44.
- [6] Cui Y S, Han J W, Cao G, Meng J, Zhang J W. Effect of pre-winter positive accumulated temperature on suitable planting dates of winter wheat in south center area of Hebei. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(4): 195-198.
- [7] Rong Y P, Niu B M, Han G X, Gao K H, Gao C R, Liu Y T, Wang J R, Qiao X F. The effect of temperature change on proper seeding time of winter wheat in the Northwest of Shandong Province. Meteorological Monthly, 2007, 22(10):110-113.
- [8] Niu L L, Ma H X, Wu W A, Zhang R, Hao X. Effects of warming climate change on suitable sowing date of winter wheat. Journal of Anhui Agri Sci, 2009, 37(3):1003-1004,1006.
- [9] Mao Z Q, Yu Z R, Liu H. Experimental research on thermal requirement for winter wheat and its leaves. Journal of China Agricultural University, 2002, 7(5):14-19
- [10] Zhu Y, Cao W X, Jiang D, Dai T B. A dynamic knowledge model for design of suitable sowing date and sowing rate of wheat wheat. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(2):147-154.
- [11] Yan D C, Zhu Y, Cao W X. A dynamic knowledge model for designing suitable sowing date of rice. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(4):634-638.
- [12] Guo Y Q, Guo X Y, Zhao C J, Zhao C D, Li C D. Design and implementation of a dynamic knowledge model for suitable cultivars and sowing time of maize. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(2):274-280.
- [13] Gao L Z, Jin Z Q, Huang Y, Zhang L Z. Rice clock model-a computer model to simulate rice development. Agricultural and Forest Meteorology, 1992, 60:1-16.
- [14] Gao L Z, Jin Z Q, H Y, Chen H. A combination of crop simulation with optimization principles of cultivation-RCSODS. Crops, 1994, (3): 4-7. (in Chinese)
- [15] H Y, Gao L Z, Li L. Rice Computer Simulation Model (RICEMOD) and Its Applications IV: The optimum growing season for rice and its corresponding photosynthetic yield in the Yangtze River Valley. Chinese Journal of Agrometeorology, 1990, 11(1):16-21
- [16] Lee N H, Anseong. Application of dynamic model SIMRIW for predicting the growth and yield of rice. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 1993, 35(2): 73-80.
- [17] Ge D K, Jin Z Q. Establishing cultivation decision using CERES simulation model. Jiangsu Agricultural Sciences, 1993, (5):14-15, 43.
- [18] Anapalli Saseendrana S, Maa L, Nielsen D C, Vigil M F, Ahuja L R. Simulating Planting Date Effects on Corn Production Using RZWQM and CERES-Maize Models, Agronomy Journal, 2005, 97: 58-71.
- [19] Dai M H, Zhao J R, Wilhelm C, Wang P. Decision for optimized water management based on CERES-Maize crop model. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(1):187-192.
- [20] Zhang Y S. Sustainable management of summer maize production aided by crop growth simulation modeling. Beijing: PhD Dissertation of China Agricultural University, 2000.
- [21] Farr I, Robertson M J, Walton G H, Asseng S. Simulating phenology and yield response of canola to sowing date in Western Australia using the

- APSIM model. Australian Journal of Agricultural Research, 2002, 53(10): 1155-1164.
- [22] 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 Banos, Philippines, and Wageningen University and Research Centre, Wageningen, Netherlands, 2001.
- [23] Xue C Y, Yang X G, B A M Bouman, Feng L P, Gon van Laar, Wang H Q, Wang P, Wang M. Preliminary approach on adaptability of ORYZA2000 model for aerobic rice in Beijing Region. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(12): 1567-1571.
- [24] Xue C Y, Yang X G, Bouman B A M, Deng W, Zhang Q P, Yan W X, Zhang T Y, Rouzi A, Wang H Q. Optimizing yield, water requirements, and water Productivity of aerobic rice for the North China Plain. Irrigation Science, 2008, 26: 459-474.
- [25] Li Y L, Cui Y L, Li Y H, Lü G A, Feng Y H, Bouman B A M. Growth simulation of aerobic rice and its nitrogen management on the basis of ORYZA2000. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 141-146.
- [26] Xue C Y, Yang X G, Deng W, Zhang T Y, Yan W X, Zhang Q P, Rouzi A J, Zhao J F, Yang J, Bouman B A M. Yield potential and water requirement of aerobic rice in Beijing analyzed by ORYZA2000 model. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(4): 625-631.
- [27] Xue C Y, Yang X G, Deng W, Zhang Q P, Yan W X, Wang H Q, Bouman B A M. Establishing optimum irrigation schedules for aerobic rice in Beijing using ORYZA2000 model. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 76-82.
- [28] Shuai X Q, Wang S L, Ma Y P, Li Y C, Xie B 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.
- [29] Xue C Y. Reduction of drought risk by deficit irrigation in aerobic rice in Beijing area. Beijing: China Agricultural University, 2008.
- [30] Wang F Y, Zhang H C. Effect of seeding time on yield component of japonica-type rice in Huaibei. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2001, 19(3): 211-215.
- [31] Li X F, Jia Y, Huang Y C, Zang X. Effects of seeding time on grain yield, yield components and growth duration in different rice varieties. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 98-100.

参考文献:

- [1] 农业部种植业管理司粮油处. 发展旱稻生产 走节水农业之路——我国旱稻生产前景广阔. 中国农业信息, 2003, (7).
- [2] 王化琪, 马敦武. 中国农业大学系列旱稻新品系简介. 河北农业科技, 1999, (4): 14.
- [5] 刘建兵, 林金桥, 李稳香, 魏贱生, 袁迪仁. 湖南丘陵区一季杂交稻安全高产播种期研究. 杂交水稻, 2009, 24(1): 39-44.
- [6] 崔彦生, 韩江伟, 曹刚, 孟建, 张进文. 冬前积温对河北省中南部麦区冬小麦适宜播期的影响. 中国农学通报, 2008, 24(4): 195-198.
- [7] 荣云鹏, 牛保美, 韩贵香, 高克华, 高春荣, 刘延涛, 王家仁, 乔秀芳. 气温变化对鲁西北冬小麦最佳适宜播期的影响. 气象, 2007, 22(10): 110-113.
- [8] 牛丽玲, 马焕香, 武文安, 张冉, 郝新. 气候变暖对冬小麦适宜播种期的影响分析. 安徽农业科学, 2009, 37(3): 1003-1004, 1006.
- [9] 毛振强, 宇振荣, 刘洪. 冬小麦及其叶片发育积温需求研究. 中国农业大学学报, 2002, 7(5): 14-19.
- [10] 朱艳, 曹卫星, 姜东, 戴廷波. 冬小麦适宜播期和播种量设计的动态知识模型研究. 中国农业科学, 2003, 36(2): 147-154.
- [11] 严定春, 朱艳, 曹卫星. 水稻适宜播种期设计的动态知识模型研究. 应用生态学报, 2004, 15(4): 634-638.
- [12] 郭银巧, 郭新宇, 赵春江, 赵传德, 李存东. 玉米适宜品种选择和播期确定动态知识模型的设计与实现. 中国农业科学, 2006, 39(2): 274-280.
- [14] 高亮之, 金之庆, 黄耀, 陈华. 作物模拟与栽培优化原理的结合-RCSODS. 作物杂志, 1994, (3): 4-7.
- [15] 黄耀, 高亮之, 李林. 水稻计算机模拟模型及其应用之四——长江中下游水稻生产的最适季节与光合产量. 中国农业气象, 1990, 11(1): 16-21.
- [17] 葛道阔, 金之庆. 利用 CERES 模拟模型制定水稻栽培决策. 江苏农业科学, 1993, (5): 14-15, 43.
- [19] 戴明宏, 赵久然, Wilhelm Claupen, 王璞. 基于 CERES-Maize 模型春玉米水分优化管理决策. 水土保持学报, 2009, 23(1): 187-192.
- [20] 张银锁. 基于作物生长模拟模型的夏玉米可持续生产管理系统分析. 北京: 中国农业大学博士学位论文. 2000.
- [23] 薛昌颖, 杨晓光, B A M Bouman, 冯利平, Gon van Laar, 王化琪, 王璞, 王志敏. ORYZA2000 模型模拟北京地区旱稻的适应性初探. 作物学报, 2005, 31(12): 1567-1571.
- [25] 李亚龙, 崔远来, 李远华, 吕国安, 冯跃华, Bouman B A M. 基于 ORYZA 2000 模型的旱稻生长模拟及氮肥管理研究. 农业工程学报, 2005, 21(12): 141-146.
- [26] 薛昌颖, 杨晓光, 邓伟, 张天一, 闫伟兄, 张秋平, 肉孜阿基, 赵俊芳, 杨婕, Bouman B A M. 利用 ORYZA2000 模型分析北京地区旱稻产量潜力及需水特征. 作物学报, 2007, 33(4): 625-631.
- [27] 薛昌颖, 杨晓光, 邓伟, 张秋平, 闫伟兄, 王化琪, Bouman B A M. 应用 ORYZA2000 模型制定北京地区旱稻优化灌溉制度. 农业工程学报, 2008, 24(4): 76-82.
- [28] 帅细强, 王石立, 马玉平, 李迎春, 谢伯承. 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.
- [29] 薛昌颖. 北京地区旱稻非充分灌溉模式及灌溉降低干旱风险研究. 北京: 中国农业大学, 2008.
- [30] 王夫玉, 张洪程. 播期对淮北粳稻产量构成因素的影响. 上海交通大学学报(农业科学版), 2001, 19(3): 211-215.
- [31] 李秀芬, 贾燕, 黄元才, 臧鑫. 播栽期对水稻产量和产量构成因素及生育期的影响. 生态学杂志, 2004, 23(5): 98-100.

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 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

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