

邬定荣, 刘建栋, 刘玲, 等. 基于作物生长模型及 CAST 分类的华北夏玉米生产力区划研究. 气象科学 2015, 35(1): 66-70.

WU Dingrong, LIU Jiandong, LIU Ling, et al. Regionalization of summer maize productivity in North China based on crop growth model and CAST method. Journal of the Meteorological Sciences, 2015, 35(1): 66-70. doi: 10.3969/2013jms.0066

基于作物生长模型及 CAST 分类的 华北夏玉米生产力区划研究

邬定荣¹ 刘建栋¹ 刘玲¹ 姜朝阳¹ 于强²

(1 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2 悉尼科技大学 植物功能生态与气候变化组, 悉尼, 新南威尔士 2007, 澳大利亚)

摘要 利用试验数据校正并验证了机理性的作物生长模型 WOFOST, 随后模拟了华北 42 个站点 1961—2006 年夏玉米的光温和气候生产潜力。并首次运用新型统计检验聚类方法 (CAST) 对夏玉米光温及气候生产潜力的要素场分别进行了定量化分区。结果表明, 华北夏玉米光温及气候生产潜力均分为 5 个不同荷载中心的区域。与农业气象传统等值线分区方法相比, 将作物模型与 CAST 相结合进行的生产潜力区划可以更客观地反映以荷载中心台站为代表的产量的时空分布特征。这对于指导区域农业气候区划, 实现区域农业可持续发展具有重要的理论及现实意义。

关键词 气候生产潜力; 夏玉米; 统计检验聚类分析; 产量区划

分类号: P468

doi: 10.3969/2013jms.0066

文献标识码: A

Regionalization of summer maize productivity in North China based on crop growth model and CAST method

WU Dingrong¹ LIU Jiandong¹ LIU Ling¹ JIANG Chaoyang¹ YU Qiang²

(1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

2 Plant Functional Biology & Climate Change Cluster, University of Technology, Sydney,

PO Box 123 Broadway, NSW 2007, Australia)

Abstract Based on the calibrated crop model-WOFOST, the potential and water-limited yields of summer maize at 42 different stations in North China from 1961 to 2006 were simulated. Regionalization of the potential elemental field by a newly developed cluster analysis of statistic test (CAST) method indicated that both the potential and climatic productivity of summer maize could be zoned as 5 sub-regions with different corresponding higher loading centers. Compared with the traditional line analyzing method, CAST analysis is more reliable with the objective regionalization results of temporal-spatial characteristics of the yields with different load centers. This study identified that it is of theoretical and realistical importance to guide the regional agricultural regionalization and to achieve sustainable development by the CAST method.

Key words Climatic potential productivity; Summer maize; Cluster analysis of statistic test; Yield regionalization

收稿日期 (Received): 2013-04-08; 修改稿日期 (Revised): 2013-06-05; 网络出版日期 (Published on-line): 2014-10-18

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3969/2013jms.0066.html>

基金项目: 中国气象科学研究院基本科研业务费重点项目 (2009Z002)

通信作者 (Corresponding author): 刘建栋 (LIU Jiandong). liujd2001@263.net

引 言

华北平原是中国夏玉米的主产区,种植面积占全国的 30%,产量占全国总产的 50%^[1]。对夏玉米生产潜力的合理区划有助于了解实际产量和潜在产量之间的差距,分析限制产量提高的环境要素,并在此基础上提出相应对策,努力使实际产量接近潜在产量,因此,该区域夏玉米的客观合理区划成为目前农业气象工作者一项重要的研究课题。国内学者对作物生产潜力的区划进行过大量研究^[2-5]。进入 1990s 后,随着遥感技术的发展,研究人员开始将作物遥感估产与农作物区划理论结合,按照作物遥感估产区划的原则,进行玉米遥感估产分区研究^[6]。但是,上述区划为制定农业发展规划提供了直接的理论支持,并且为当地作物产量提高做出了切实贡献,为政府制定相应的政策提供了科学依据。

但是,上述区划研究中的生产潜力多采用经验公式进行计算,而后将生产潜力的计算结果进行等值线分析和区划。虽然生产潜力经验公式考虑了生育期内的多种气象要素,但是由于其本身受当时条件所限,没有充分考虑作物生长的生理生态过程,因此计算值在一定程度上尚存在较大的局限性。近几十年来,随着农业信息技术的不断发展,国内外越来越多的农业气象工作者开始采用基于生理过程的作物生长模型取代原有经验公式,进行作物生产潜力的模拟研究^[7-8]。此外,原有区划方法多为静态的特征分类方法,采用等值线分析确定区域边界,因而往往带有较多的人为主观因素^[9]。针对传统区划方法的弊端,么枕生教授首次运用数理统计原理,建立了统计检验聚类模型(CAST),克服了传统区划方法所固有的主观性,因而分区结果更加客观真实^[10]。此后,丁裕国等^[11]利用 CAST 方法对于气象变量场诊断、气候变化特征分区等进行了进一步的探讨。

本文以华北夏玉米为研究对象,利用试验数据校正并验证 WOFOST 作物生长模型。之后对夏玉米光温和气候生产潜力进行模拟计算,首次采用作物模型与 CAST 统计检验聚类相结合的方法对夏玉米进行定量区划,以期为当地夏玉米生产合理布局提供更为科学、客观的区划结果,进而为区域可持续发展提供重要的科技支撑。

1 模型和方法

1.1 统计检验聚类方法 CAST

CAST 聚类是具有显著性检验标准的聚类分

析。详细的介绍可参阅文献[9]。CAST 分区虽然改变了传统聚类分析没有显著性检验的缺陷,但区划时聚类中心台站的选择尚缺少客观标准,因此还需要与 REOF 方法配合使用^[9]。本文首先将 CAST 和 REOF 相结合以确定中心站,并在此基础上对模拟的光温和气候生产潜力进行定量化分区。该种分区以及中心站确定方案的有效性已经得到了广泛验证^[11-12]。

1.2 作物模型

本次研究所采用的作物模型为荷兰瓦赫宁根研制的 WOFOST 模型^[13],该模型依据气象及土壤条件对作物生长及土壤水分进行动态模拟,其主要过程包括:碳同化、同化产物分配、营养和生殖生长。计算过程主要由气候、作物、土壤 3 个模块完成,其中气候与作物模块计算出潜在生产力,再加上土壤水分的动态就可以得到水分限制生产力。

研究中采用的气象数据包括华北 42 个气象站 1961—2006 年逐日日照、最高最低气温、降水、风速及水汽压。夏玉米的播种期由农业气象旬报提供并由模型优化确定。模拟时首先利用田间观测试验对 WOFOST 进行了校正和验证,然后对华北夏玉米光温生产潜力和气候生产潜力进行了数值模拟,进而利用 CAST 方法对这 2 种生产潜力进行了定量化分区。

2 研究结果

2.1 模型校正及验证

1998—1999 年在华北中部中国科学院禹城综合试验站综合观测场进行(116.60°E, 36.57°N, 海拔高度 21.2 m)进行了连续 2 a 的田间实验,夏玉米品种为掖单 22,是华北平原最主要的当家品种之一,试验期间大田耕作良好,无虫害与疾病的发生^[14]。夏玉米生长期间用 CID-201 每 5 d 观测 1 次绿叶面积,并计算出叶面积指数,同时对干物重展开相应的测量工作。

图 1 是实测值与模拟值的比较。由图 1 可见,模型较好地模拟了夏玉米干物质的积累过程,对地上部分总干物重的模拟尤其好。在 1999 年,模型模拟的叶面积指数和干物重比实测值略大,尤其是在发育后期(图 1b)。叶重的模拟在后期误差比较大,原因是模型中和试验中对枯叶处理的不同。在模型中,枯叶的重量被从叶重中减去。而在试验中则是将枯叶收集起来一起称重。所以在后期模拟的叶重比实测叶重低很多。从总体上看,在经过参数化后, WOFOST 模型较为准确地模拟了 1998 和 1999 年夏

玉米生长的过程,可以用于华北平原夏玉米的模拟研究。

2.2 光温和气候生产潜力的时空分布特征

利用校正验证后的作物模型模拟华北平原 42 个站点 1961—2006 年夏玉米的生长,得到各站点 46 a 历年光温生产潜力和气候生产潜力,并进行了历年平均计算,结果表明华北夏玉米光温生产潜力为 7 365 ~ 11 374 kg·hm⁻²,总体分布特征呈现由西南到东北逐步递增的趋势,其中高值中心位于山东半岛成山头一带,低值中心则位于华北西南部的栾川及西峡附近(图 2a)。华北夏玉米气候生产潜力在 6 158 ~ 10 434 kg·hm⁻²之间,大体表现为内陆低沿海高的趋势(图 2b),其中高值区位于威海、海阳附近,而低值区则位于济南、郑州和开封一带。气候生产潜力区域分布特征总体上与光温生产潜力类似,这间接表明,对于玉米生长而言降水对产量限制作用相对有限。华北平原全年降水量约 60% ~ 80% 集中于 6—8 月,即夏玉米生长季,因此玉米需水与自然降水的缺口远小于冬小麦,所以与冬小麦相比,降水对玉米产量的限制作用相对较小。

2.3 光温生产潜力的 CAST 分区

首先对夏玉米光温和气候生产潜力组成的生产

潜力场进行 REOF 展开,将其中模态绝对值较大的 6 个站点作为聚类中心进行 CAST 聚类,最终将华北地区划分为 5 个具有不同生产潜力变化特征的区域,利用 ArcGIS 地理信息系统进行空间表达。为了验证分区合理性,进一步计算了各站点生产潜力变异系数,对整个区域插值并绘图。

图 3a 是华北平原夏玉米光温生产潜力的区划结果。分区 1 位于北部,是玉米传统的高产稳产区,光温条件较好且稳定,其荷载中心为河北保定一带,荷载值为 0.906。分区 1 代表的是北部一带产量较高且呈下降趋势的区域(图 3b)。分区 2 位于东部,是模拟生产潜力最高的区域,同时也是生产潜力上升趋势最明显的区域,其荷载中心为山东海阳,荷载值为 0.887。分区 3 位于中部,是生产潜力偏低且呈显著增产趋势的区域(图 3c),此外,生产潜力稳定程度为中等(图 3b),其中变异系数较低的安阳系由位置关系合并调整而来。河南新乡为分区 3 的荷载中心,其荷载值为 0.873。最南端是分区 4,同时也是生产潜力最低的区域,特征是生产潜力的变异系数高,而且生产潜力呈微弱增加的趋势,其中变异系数稍低的三门峡系由位置关系合并调整而归入的(图 3b)。分区 4 的荷载中心为河南信阳,荷载值为 0.792。分区 5 分为 2 处,一处是东北角的唐山和乐亭,另一部主要位于山东北部,共同的特点是生产潜力稳定,变异系数为区域最低,其荷载中心为山东济南,荷载值为 0.651。

2.4 气候生产潜力的 CAST 分区

图 4a 是华北地区夏玉米气候生产潜力的区划结果,图 b-c 分别是气候生产潜力的变异系数和回归系数。分区 1 位于中部偏西,代表生产潜力偏低且不稳定,但呈增加趋势的区域(图 4b-c),其荷载中心为河南新乡,荷载值为 0.857。分区 2 位于北部,生产潜力中等偏下(图 2b),变异系数中等偏下(图 4b),其荷载中心为河北保定,荷载值为 0.854。分区 3 位于东部,特点是模拟的生产潜力高,是区域内生产潜力最高的区域,但年际变化大,多年呈增长趋势。分区 3 的荷载中心为山东长岛,荷载值为 0.720。分区 4 位于南部,主要的特点是生产潜力偏低,年际变化较大,且多年呈增长趋势,其中年际变化小的卢氏和栾川系由位置关系合并调整而来的(图 4b)。分区 4 的荷载中心为河南西峡,荷载值为 0.728。分区 5 位于中部,具有生产潜力最低,年际变化大,且多年呈增长趋势的特点,其荷载中心是山东惠民,荷载值为 0.631。

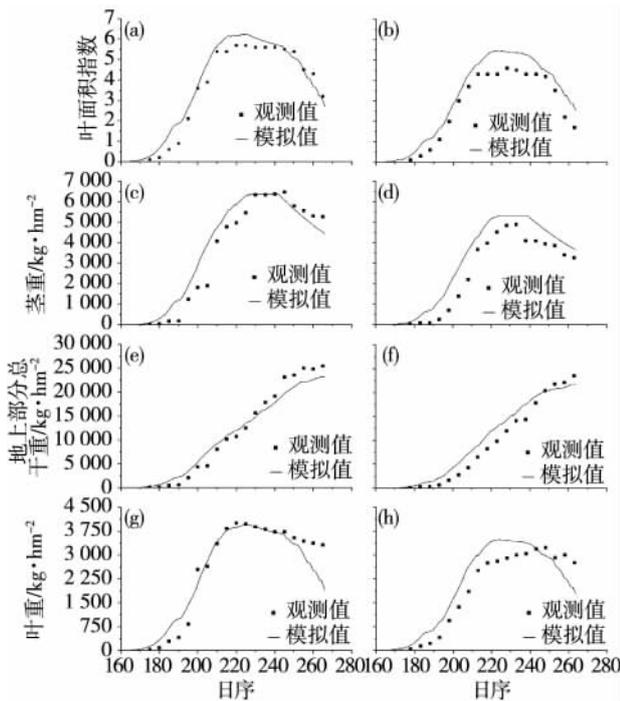


图 1 叶面积指数、茎重、地上部分总干重和穗重模拟值和实测值的对比(左列)1998 年实测值对模型进行校正的结果;(右列)1999 年实测值对模型进行验证的结果

Fig. 1 Comparison of simulated and measured value of LAI , stem weight , above-ground biomass and weight of storage organ. Left panel stands for the calibration in 1998; right one for the validation in 1999

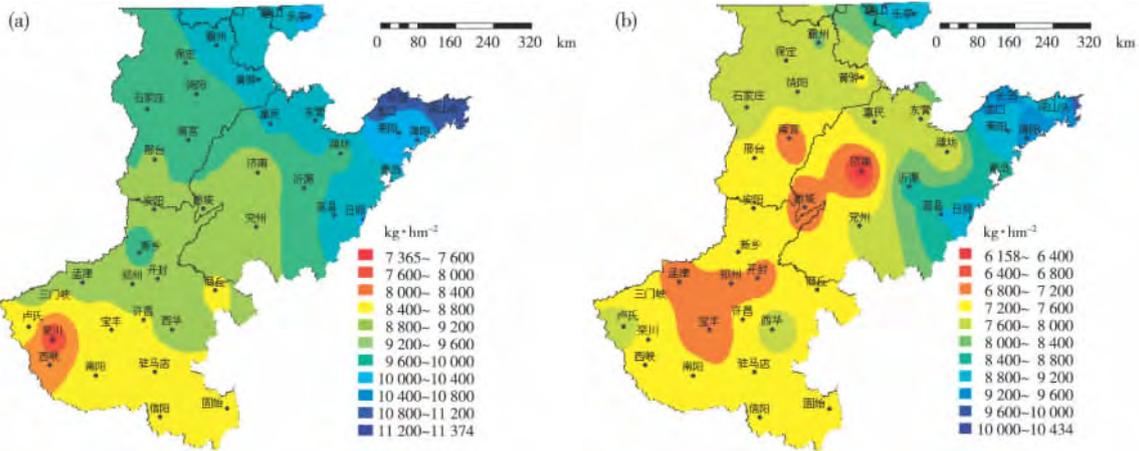


图 2 1961—2006 年夏玉米 (a) 光温生产潜力; (b) 气候生产潜力
 Fig. 2 Average light and temperature potential yield (a) and average rainfed yield (b) of summer maize during 1961—2006

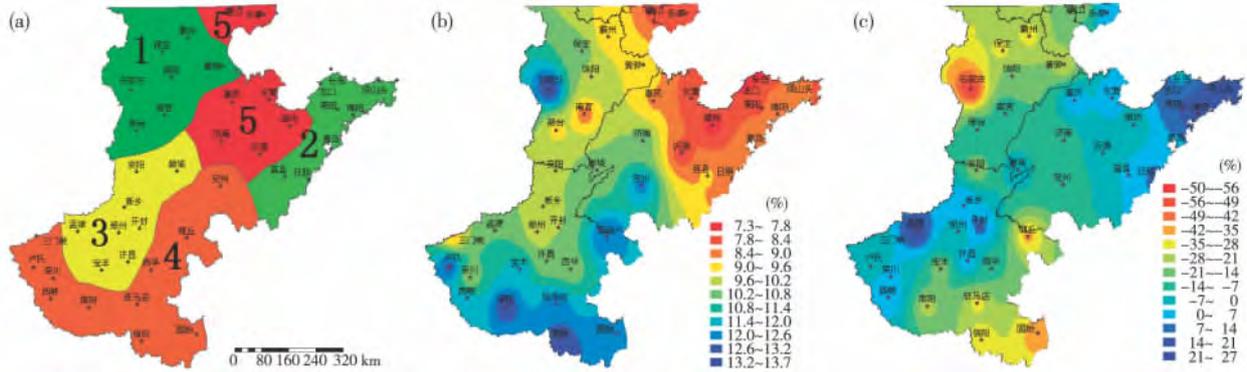


图 3 夏玉米光温生产潜力的区划结果 (a) , 生产力变异系数 (b) 和生产力回归系数 (c)
 Fig. 3 Regionalization results (a) , variation coefficient of production (b) and linear regression coefficient of production (c) of potential yield of summer maize

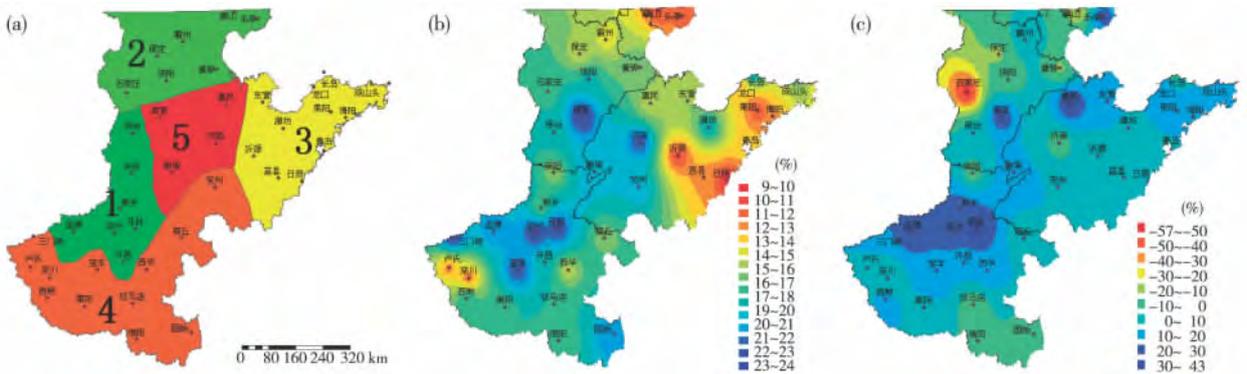


图 4 夏玉米气候生产潜力的区划结果 (a) , 变异系数 (b) 及回归系数 (c)
 Fig. 4 Regionalization results (a) , variation coefficient (b) and linear regression coefficient (c) of potential yield of summer maize

图 2a-b 可分别视为传统区划方法对光温和气候生产潜力分区的结果, 而图 3a 和图 4a 则是本次研究中利用 CAST 方法的分区结果。比较图 3a 和图 2a, 以及图 4a 和图 2b 可以看出二者差异较大。其主要原因在于传统分区方法和 CAST 区划方

法的原理存在较大差异。相对而言, CAST 方法由于对不同站点间进行了统计显著性检验, 因此分区则能更好地体现出生产潜力的内在客观规律, 包括生产潜力增减趋势及其变异系数等。因此从总体上讲, CAST 更客观反应了区域夏玉米生产潜力的内

在变化规律,比传统等值线分区方法更能反应出产量时空变化趋势特征。

3 结论

(1) 本文首先利用中国科学院禹城综合试验站的试验数据,对 WOFOST 模型进行了校正和验证。然后模拟了华北地区 42 站点 1961—2006 年夏玉米光温和气候生产潜力,并将其时空分布作为区划的要素场,利用 CAST 聚类分析方法对其进行了量化分区。

(2) 根据 CAST 聚类的结果,将华北地区夏玉米的光温和气候生产潜力均分为 5 个区。研究表明,不同的分区,在生产潜力水平、年际变化和多年变化趋势上均有较强的一致性,显示出 CAST 分区方法的合理性。基于作物模型的生产潜力的 CAST 分区能够合理反映了以荷载中心台站为代表的生产潜力随时间和空间的变化趋势特征,因此具有传统等值线分区法不可比拟的优势;

(3) 本文仅是作物模型与 CAST 相结合,对生产潜力区划进行的一次初步的科学探讨。在此基础上,利用更多的实验资料对模型进行校正和验证,并进一步利用更精细的空间网格气象数据库的数据支撑,结合 CAST 理论,将更加客观准确地对区域农业生产潜力进行精细定量区划,从而为区域农业合理规划、实现区域可持续发展提供重要科技支撑。

参 考 文 献

- [1] 于振文. 作物栽培学各论(北方本). 北京: 中国农业出版社, 2003.
YU Zhenwen. Theory of crop cultivation. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese), 2003.
- [2] 丁德峻,张旭晖. 粮食作物气候-土壤生产潜力探讨. 气象科学, 1993, 13(1): 83-89.
DING Dejun, ZHANG Xuhui. On the climatic-soil productivity of grain crop. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 1993, 13(1): 83-89.
- [3] 封志明,郑海霞,杨太保. 基于 GIS 的甘肃省作物生产潜力分区. 兰州大学学报(自然科学版), 2005, 41(1): 12-18.
FENG Zhiming, ZHENG Haixia, YANG Taibao. Crop potential productivity in Gansu province based on GIS regionalization. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences) (in Chinese), 2005, 41(1): 12-18.
- [4] 康西言,马辉杰. 河北省气候生产潜力的估算与区划. 中国农业气象, 2008, 29(1): 37-41.
KANG Xiyan, MA Huijie. Evaluation and classification of climate productive potential in Hebei province. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 2008, 29(1): 37-41.
- [5] 吴洪颜,黄毓华,田心如. 基于 GIS 的徐州地区冬小麦气候分析. 气象科学, 2002, 22(3): 362-366.
WU Hongyan, HUANG Yuhua, TIAN Xinru. Climatic analysis of winter wheat in Xuzhou district based on GIS. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 2002, 22(3): 408-414.
- [6] 千怀遂,李明霞. 中国玉米遥感估产区划研究. 中国农业科学, 1998, 31(4): 32-39.
QIAN Huaisui, LI Mingxia. Study on regionalization for estimation of maize yield using remote sensing data in China. Scientia Agricultura Sinica (in Chinese), 1998, 31(4): 32-39.
- [7] 金之庆,葛道阔,石春林,等. 东北平原适应全球气候变化的若干粮食生产对策的模拟研究. 作物学报, 2002, 28(1): 24-31.
JIN Zhiqing, GE Daokuo, SHI Chunlin, et al. Several strategies of food crop production in the Northeast China plain for adaptation to global climate change—A modeling study. Acta Agronomica Sinica (in Chinese), 2002, 28(1): 24-31.
- [8] 黄耀,陈华. 水稻群体动态预测与栽培决策. 气象科学, 1996, 16(1): 86-92.
HUANG Yao, CHEN Hua. Population dynamics prediction and cultivational decision making of rice crop. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 1996, 16(1): 86-92.
- [9] 么枕生. 用于数值分类的聚类分析. 海洋与湖沼通报, 1994, (2): 1-12.
YAO Zhensheng. Cluster analysis used in numerical classification. Transactions of Oceanology and Limnology (in Chinese), 1994, (2): 1-12.
- [10] 么枕生. 聚类统计检验分析用于气候分类//么枕生. 气候学研——气候理论与应用. 北京: 气象出版社, 1997: 85-94.
YAO Zhensheng. Cluster analysis with statistic test used for climate classification // YAO Zhensheng. Climatology research——climate theory and application. Beijing: Meteorology Press (in Chinese), 1997: 85-94.
- [11] 丁裕国,梁建茵,刘吉峰. EOF/PCA 诊断气象变量场问题的新探讨. 大气科学, 2005, 29(2): 307-313.
DING Yuguo, LIANG Jianyin, LIU Jifeng. New research diagnoses of meteorological variable fields using EOF/PCA. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2005, 29(2): 307-313.
- [12] 丁裕国,张耀存,刘吉峰. 一种新的气候分型区划方法. 大气科学, 2007, 31(1): 129-136.
DING Yuguo, ZHANG Yaocun, LIU Jifeng. A new cluster method for climatic classification and compartment using the conjunction between CAST and REOF. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 2007, 31(1): 129-136.
- [13] Supit I, Hooijer A A, van Diepen C A. System description of the WOFOST 6.0 Crop Growth Simulation Model. Joint Research Center, Commission of the European Communities, Brussels, Luxembourg, 1994.
- [14] 王琳,郑有飞,于强,等. APSIM 模型对华北平原小麦-玉米连作系统的适用性. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2480-2486.
WANG Lin, ZHENG Youfei, YU Qiang, et al. Applicability of agricultural production systems simulator (APSIM) in simulating the production and water use of wheat-maize continuous cropping system in North China Plain. Chinese Journal of Applied Ecology (in Chinese), 2007, 18(11): 2480-2486.