

# 基于 PS123 作物生长模型的黑龙江海伦市玉米生产潜力计算

吴绍洪<sup>1</sup>, 靳 京<sup>1,2</sup>, 戴尔阜<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 在概括国内外作物生产潜力研究方法的基础上, 对 PS123 模型进行方法的改进, 将 PS123 作物生长模型与常规方法相结合, 计算黑龙江省海伦市玉米生产潜力, 寻求一种更为客观、科学的生产潜力计算方法, 也为 PS123 模型在东北地区不同作物中的应用奠定基础。选取海伦市 1999~2001 年数据进行计算, 取平均值代表近年来该地区玉米生产潜力。结果显示: 修正的 PS123 模型科学、合理, 计算简便; 海伦市玉米的光合、光温、气候、气候-土壤生产潜力分别为: 54008、11998、9531、8006 kg/hm<sup>2</sup>。与实际产量相比, 光能、光温、气候资源利用率以及农业自然潜力利用率分别为: 10.7%、48.3%、60.9%、72.4%, 海伦市玉米生产仍然有较大的潜力。

**关键词:** PS123 作物生长模型; 玉米生产潜力; 海伦

**中图分类号:** S5-33

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)08-0093-05

吴绍洪, 靳 京, 戴尔阜 基于 PS123 作物生长模型的黑龙江海伦市玉米生产潜力计算[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 93-97.

Wu Shaohong, Jin Jing, Dai Erfu PS123 crop growth model based method to calculate potential maize productivity in Hailun, Heilongjiang[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 93-97. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

粮食安全是影响人类生存发展的基本问题之一<sup>[1]</sup>。随着人口的增加和人们生活水平的提高, 以及气候变化和环境问题的出现, 粮食生产能力及人口承载力问题得到更加广泛的关注。本文运用作物生长模型对黑龙江海伦市玉米的生产潜力进行研究, 从理论层面上寻求一种更为客观、科学的计算玉米生产潜力的方法, 也为作物生长模型在东北地区其它作物中的应用奠定基础; 从实践层面上揭示海伦市玉米生产潜力, 为提高玉米产量以及合理进行农业资源综合开发提供科学依据。

作物生产潜力模型是作物生长动态模拟和生产力定量化研究发展到一定程度学科交叉的产物<sup>[3]</sup>。荷兰、美国和前苏联都是研究作物生长模型比较集中的地区, 在地区作物生产潜力评价方面主要应用的模型有 CERES、EPIC 和 ALMANAC 等<sup>[2,4,5]</sup>, 同时许多国内学者也利用改进的模型进行光温水肥影响方面的研究<sup>[6-8]</sup>, 在气候变化对作物生产潜力影响预测方面以 CERES 模型应用较多<sup>[9,10]</sup>。

利用作物生长模型计算玉米生产潜力方面, 谢云等<sup>[11]</sup>利用 ALMANAC 模型分别在田间和县级尺度上对玉米的产量进行了模拟, 并与实际产量进行比较, 得到了较好的模拟结果; 李军<sup>[2]</sup>等利用 DSSAT3 中的 CERES—玉米模型模拟黄土高原 22 个地点玉米的光温生产潜力和气候生产潜力, 获得了各点 6~15a 玉米

的产量潜力值, 并统计了研究时段内玉米生产潜力的平均值、标准差、最高值、最低值和水分满足率, 为提高黄土高原玉米产量和作物结构调整提供了依据; 王宗明<sup>[4]</sup>等以黄土塬区玉米等作物为例, 对 EPIC 模型的适用性进行了分析和验证, 表明 EPIC 模型在黄土高原地区作物生产潜力模拟研究中具有较好的适用性。

本文将荷兰 PS123 作物模型与常规方法相结合, 模拟黑龙江海伦市地区 1999~2001 年玉米不同层次生产潜力。两种方法互相取长补短, 既有利于得到一个较为客观的潜力值并进行光温水层次上的环境因素分析, 又有利于控制工作量, 发挥常规方法综合、简明的特点。

## 1 PS123 模型计算玉米生产潜力方法的改进

### 1.1 PS123 模型简介

PS123 模型是荷兰 Wageningen 大学土壤地质系 P. M. Driessen 教授等开发的用于定量化土地生产力评价的普适模型, 该模型强调利用有限的数据库建立适于区域土地利用生产力和产量差分析的评价模型。模型的机理与 BACROS、SUCROS 及 MACROS 等作物生长模型一样, 依据 de Wit 的 4 级生产水平理论, 从作物器官生理过程出发, 分别模拟出作物 PS1(光温)、PS2(光温水)和 PS3(养分限制)层次上的生产潜力, 模型的模拟时间步长为 1 日。与其他作物生长模型一样, PS123 模型也仅仅在 PS1 和 PS2 层次上的作物生长动态模拟较完善, 在 PS3 层次上还仅处于静态描述或部分动态模拟阶段。

PS123 模型主要特点表现在<sup>[12]</sup>: 普适性。该模型特别强调作物的共性, 模型中附有 10 多种世界主要作物参数和不同土壤类型参数的数据库, 可直接用于小比例尺土地生产力评价和土地适宜性评价。参数要求较少, 有利于实践应用。多种输出功能为深入研究作物系统提供了可能。

收稿日期: 2004-06-08 修订日期: 2005-07-14

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-333); 国家自然科学基金重点基金(40131010); 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程领域前沿项目(CXDG-A02-03)

作者简介: 吴绍洪(1961-), 男, 广东人, 研究员, 主要从事资源环境和综合地域格局研究。北京安外大屯路甲 11 号 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: wush@igsnrr.ac.cn

PS123 模型更加适合中国实际情况方面已有良好的工作基础, 宇振荣等学者对该模型进行了一定的修正和检验<sup>[12, 13]</sup>, 陈亚恒<sup>[14]</sup>等利用模型中的第一层次模拟河北省雄县地区冬小麦系统运行情况, 模拟了冬小麦的适播期和适宜播种量, 现有品种的光温生产潜力, 存在的产量差, 初步肯定了其模拟效果。利用 PS123 模型对玉米进行研究方面, 毛振强等<sup>[15]</sup>利用该模型分析了河北省曲周县夏玉米的需水量和优化灌溉方案, 张银锁<sup>[16]</sup>基于该模型进行了夏玉米可持续生产管理系统分析。

## 1.2 PS123 模型修正

本研究以反映海伦市粮食生产的总体状况为目的, 忽略农田种植过程中作物品种特性以及土壤性状间的差异, 采用模型数据库中提供的具有普适性的作物、土壤参数进行模拟计算, 并参考已有研究和实测资料, 分别对模型中的叶比表面积 ( $SLA$ )、干物质转移分配量 ( $DW I_{(org)}$ )、参照作物潜在蒸散量 ( $ET_0$ )、土壤实际蒸发量 ( $EA$ ) 的计算过程进行了改进。同时, 输出模型运行过程中的多个关键的中间变量, 考察其合理性适当增加模型中一些变量的边界条件, 使其更加符合试验数据与当地实际。

### 1.2.1 $SLA$ 模拟式的修正

$SLA$  是指叶比表面积 ( $m^2 \cdot kg^{-1}$ ), 模型中所用的  $SLA$  模拟式 (1)<sup>[17]</sup> 是 De Barros (1997) 在西班牙通过对向日葵叶片的观测而得出的, 本文利用实验数据进行修正<sup>[16]</sup>, 其中,  $RDS$  为作物的相对发育阶段。

$$SAL = SLA_{min} - (SLA_{max} - SLA_{min}) \cdot \ln(RDS) \quad (1)$$

$$SAL = SLA_{min} - 0.5 \cdot (SLA_{max} - SLA_{min}) \cdot \ln(RDS) \quad (2)$$

### 1.2.2 干物质分配和转移系数的计算

原 PS123 模型在计算玉米各器官干物重的变化时, 只考虑了光合产物向各器官的分配, 而未考虑器官间干物质的转移。这里对储藏器官的计算结果进行修正, 叶、根、茎和穗的净增重分别按下式计算<sup>[16]</sup>:

$$DW I_{(leaf)} = [GAA_{(leaf)} - MRR_{(leaf)} - LIVS_{leaf} \cdot Tr_{(leaf)}] \cdot EC_{(leaf)} \cdot Dt \quad (3)$$

$$DW I_{(root)} = [GAA_{(root)} - MRR_{(root)} - S_{root} \cdot Tr_{(root)}] \cdot EC_{(root)} \cdot Dt \quad (4)$$

$$DW I_{(stem)} = [GAA_{(stem)} - MRR_{(stem)} - S_{stem} \cdot Tr_{(stem)}] \cdot EC_{(stem)} \cdot Dt \quad (5)$$

$$DW I_{(so)} = [GAA_{(so)} - MRR_{(so)} + LIVS_{leaf} \cdot S_{root} \cdot Tr_{(root)} + S_{stem} \cdot Tr_{(stem)}] \cdot EC_{(so)} \cdot Dt \quad (6)$$

式中  $DW I_{(leaf)}$ ,  $DW I_{(root)}$ ,  $DW I_{(stem)}$ ,  $DW I_{(so)}$  —— 分别代表叶、根、茎和穗的净增重,  $kg \cdot hm^{-2} \cdot d^{-1}$ ;  $GAA_{(leaf)}$ ,  $GAA_{(root)}$ ,  $GAA_{(stem)}$ ,  $GAA_{(so)}$  —— 分别代表总同化物分配到叶、根、茎和穗的速率,  $kg \cdot hm^{-2} \cdot d^{-1}$ ;  $MRR_{(leaf)}$ ,  $MRR_{(root)}$ ,  $MRR_{(stem)}$ ,  $MRR_{(so)}$  —— 分别代表实际温度和有效水分条件下叶、根、茎和穗的维持呼吸速率,  $kg \cdot hm^{-2} \cdot d^{-1}$ ;  $Tr_{(leaf)}$ ,  $Tr_{(root)}$ ,  $Tr_{(stem)}$  —— 叶、根、茎干物质向穗部的转移系数;  $LIVS_{leaf}$ ,  $S_{root}$ ,

$S_{stem}$  —— 活叶、根、茎的干物重,  $kg \cdot hm^{-2}$ ;  $EC_{(leaf)}$ ,  $EC_{(root)}$ ,  $EC_{(stem)}$ ,  $EC_{(so)}$  —— 叶、根、茎和穗同化物的转化率,  $kg \cdot kg^{-1}$ ;  $Dt$  —— 日,  $d^{-1}$ 。

### 1.2.3 参照作物潜在蒸散量计算方法的改进

参照作物潜在蒸散量 ( $ET_0$ ) 的计算是 PS2 中估算土壤蒸发和作物实际蒸腾量的重要参数。原模型所使用的计算方法是 FAO Irrigation & Drainage Paper No. 24 推荐的修正的 Penman 公式<sup>[18]</sup>。虽然 Penman 公式计算作物潜在蒸散量过程综合空气动力学的涡动传导与能量平衡, 并考虑温度、日照时数、相对湿度及风速等众多影响因子, 但该方法存在一定的缺陷<sup>[19]</sup>。

本研究采用 1998 年 FAO 提出的 Penman 公式修订版本, 该修订版本的主要计算公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (7)$$

式中  $\Delta$  —— 饱和水汽压与温度关系曲线的斜率,  $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ ;  $G$  —— 土壤热通量,  $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ;  $\gamma$  —— 干湿常数,  $kPa \cdot ^\circ C^{-1}$ ;  $U_2$  —— 2m 高度的风速,  $m \cdot s^{-1}$ ;  $e_s$ ,  $e_a$  —— 分别为饱和水汽压和实际水汽压,  $kPa$ , 可由相对湿度和气温求得;  $R_n$  —— 作物表层接收的净辐射,  $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ,  $R_n = R_{ns} - R_{nl}$ ,  $R_{ns}$  为净短波辐射,  $R_{nl}$  为净长波辐射。净辐射是 Penman-Monteith 模型计算的基础, 净辐射通常都由模型计算而得, 其计算的关键是确定经验系数, 本研究采用左大康等<sup>[20]</sup>计算的经验系数及 FAO 推荐的标准进行计算。

### 1.2.4 土壤实际蒸发 ( $EA$ ) 计算方法的改进

原模型在模拟水分亏缺状态下的土壤实际蒸发时, 引入了表面干土层 (Mulch layer) 的概念, 并给出了干土层厚度、干土层上下边界的水流以及干土层中水汽流动的计算式。这从原理上来说更加符合实际情况, 但在实际应用时, 由于这部分计算太过繁琐, 使得这部分的计算与模型整体的设计精度不太匹配。同时由于引入了大量的中间过程和中间变量, 在土壤参数无法精确定量时, 可导致大量的误差来源, 增加了模型调试的难度。为此, 采用如下方法进行改进<sup>[16]</sup>:

$$EA = EM \times REDU_{co} \quad (8)$$

$$REDU_{co} = \begin{cases} \frac{SMPSI - SMW}{SM0 - SMW} & 0 < REDU_{co} < 1 \\ 0 & REDU_{co} = 0 \\ 1 & REDU_{co} = 1 \end{cases} \quad (9)$$

式中  $EM$  —— 土壤最大蒸发速率,  $cm \cdot d^{-1}$ , 它的计算仍沿用模型中的计算方法;  $REDU_{co}$  —— 土面蒸发的削减系数;  $SMW$  —— 凋萎湿度,  $cm^3 \cdot cm^{-3}$ , 取土壤基质吸力为作物临界叶水势 ( $PSI_{leaf}$ ) 时的水分含量;  $SMPSI$  —— 土壤基质吸力  $PSI$  下的土壤水分含量,  $cm^3 \cdot cm^{-3}$ ;  $SM0$  —— 土壤总孔隙度,  $cm^3 \cdot cm^{-3}$ 。

### 1.2.5 模型中变量边界条件的增加

在模型中, 计算干土层等效深度 ( $DM_{mul}$ ) 时, 由于缺少当土壤蒸发为零时干土层等效深度的界定, 给模型的模拟带来较大的误差, 这里将其进行改进, 即当某时

(天) 的蒸发量为零时, 干土层的等效深度与上一时刻的相等。

模型中计算干土层的含水量( $SM_{mul}$ ) 时, 该值受外界水流输入状况影响, 当外界没有水分输入时, 模型模拟的含水量结果出现负值, 与实际不符合, 因此要考虑到水分输入为零的情况, 此时我们假设干土层的含水量不发生变化。

2 黑龙江海伦市玉米生产潜力计算

2.1 光合生产潜力(PPP)

虽然 PS123 模型不具有计算光合生产潜力的功能, 但是它包含有一个辐射子模块, 可以求得太阳总辐射, 在此基础上, 利用在中国广泛使用的黄秉维关于光合潜力的估算方法来计算作物的光合生产潜力。计算公式为<sup>[21]</sup>

$$Y_p = 0.219 \times Q \tag{10}$$

式中  $Q$ ——太阳总辐射,  $J \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1}$ ;  $Y_p$ ——光合潜力,  $kg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ ; 0.219——系数。

2.2 光温生产潜力(TPP)

输入参数的确定

1) 播种量

根据实地资料确定玉米播种量的范围, 由于在模型的模拟过程中, 没有考虑病虫害等随机因素, 在 95% 的高发芽率假设下, 播种量要比实际的播种量略少。

2) 播种日期

根据当地气候特征及作物生长要求确定适宜播种期的范围, 在光温潜力层次上运行模型, 比较计算结果, 选取获得最高产量的日期作为播种日期。

2.3 气候生产潜力(CPP)

输入参数的确定

1) 初始水土势

海伦市的播种时期属于春季融冻期, 从每年 3 月下

旬土壤融冻开始至 6 月初约 70 d 左右。虽然本期降水较少, 仅占全年降水量的 10% ~ 15%, 多系小雨。但是由于冬季融水, 土壤此时的水分却很丰富, 有些年份反有过湿之患。例如 0~ 50 cm 土层的土壤湿度(质量含水率): 旱年为 18% ~ 24%, 平年为 22% ~ 28%, 涝年为 26% ~ 32%, 其平均土壤湿度变化于 18% ~ 32% 之间, 接近或超过田间持水量<sup>[22]</sup>, 因此设定初始水土势在 400 ~ 1 000 cm 水柱之间变化, 根据具体年份确定取值。

2) 地表最大积水量(SSC)

SSC 为地表蓄水能力, 表示地表能够蓄积等效水层的能力, 它是地面坡度和地表性状的函数<sup>[17]</sup>:

$$SSC = 0.5 \times dr \times \frac{\sin^2(SIG - PHI)}{\sin(SIG)} \times \frac{ctg(SIG + PHI) + ctg(SIG - PHI)}{2 \times \cos(SIG) \times \cos(PHI)} \tag{11}$$

式中  $SSC$ ——地表等效蓄水容量, cm;  $dr$ ——地面粗糙度或畦深, cm;  $SIG$ ——犁沟或畦与地面的夹角, (°);  $PHI$ ——地面坡度, (°)。在多数情况下, 犁沟或畦与地面的夹角为 30° ~ 45° (取 30°), 等高耕作的地面粗糙度为 10 cm, 而轻型农机具耕作的土地为 4~ 6 cm, 免耕时为 1~ 2 cm。海伦市的地面坡度在 1° ~ 5° 之间, 本文取平均值 2.5°。由此计算的结果为  $SSC = 4.3$  cm。由于在作物生长季节地表粗糙度会降低, 因此农田中的地表最大积水量取值范围为 0~ 4.3 cm。

2.4 气候- 土壤生产潜力(LPP)

由于影响土地衰减的因子比较复杂, 本文参考相关研究<sup>[23]</sup>, 选取 8 项指标评价土地有效系数, 利用层次分析法构造因子重要性判断矩阵, 得到各因子的重要性权重系数; 然后根据各因子在作物生长发育及产量形成中的作用, 并参考全国土壤因子评价标准, 确定各因子的等级和评分标准(表 1)。据表 1 计算结果可得海伦市土壤有效性系数为 0.84。

表 1 土壤有效系数评价指标标准及其权重

Table 1 Criteria and weighting coefficients of evaluation indexes on land effective coefficient

理化性质	权重系数	指标	指标得分标准					
有机质/%	0.217	含量	$0 < 1$	$1 < 0 < 2$	$2 < 0 < 3$	$3 < 0 < 4$	$4 < 0 < 6$	$0 > 6$
		得分	0.2	0.36	0.52	0.68	0.84	1
速效氮/ $mg \cdot kg^{-1}$	0.133	含量	$30 < N < 60$	$60 < N < 90$	$90 < N < 120$	$120 < N < 150$	$150 < N < 200$	$N > 200$
		得分	0.2	0.36	0.52	0.68	0.84	1
速效磷/ $mg \cdot kg^{-1}$	0.108	含量	$3 < P < 5$	$5 < P < 10$	$10 < P < 20$	$20 < P < 40$	$40 < P < 100$	$P > 100$
		得分	0.2	0.36	0.52	0.68	0.84	1
速效钾/ $mg \cdot kg^{-1}$	0.093	含量	$K < 30$	$30 < K < 50$	$50 < K < 100$	$100 < K < 150$	$150 < K < 200$	$K > 200$
		得分	0.2	0.36	0.52	0.68	0.84	1
pH 值*	0.074	含量	$pH > 8.5$	$7.5 < pH < 8.5$	$7.0 < pH < 7.5$			
		得分	0.2	0.5	0.7	1		
土壤质地	0.125	含量	黏土- 砂土	壤黏- 砂黏	砂壤- 粉砂壤	黏壤- 壤土		
		得分	0.3	0.4	0.8	1		
侵蚀度/%	0.125	侵蚀程度	毁灭型	极险型	危险型	轻险型		无险型
		得分	0.2	0.4	0.6	0.8	1	
地形/(°)	0.125	坡度	$p < 2^\circ$	$2^\circ < p < 6^\circ$	$6^\circ < p < 15^\circ$	$15^\circ < p < 25^\circ$		$p > 25^\circ$
		得分	1	0.9	0.8	0.6		0.4

注: \* 过酸或过碱的土壤都不利于玉米的生长。

## 2.5 黑龙江海伦市玉米生产潜力分析

应用修正后的 PS123 模型计算黑龙江海伦市玉米光合、光温、气候、气候-土壤生产潜力结果见表 2 和图 1。1999~2001 年的实际产量平均为  $5800 \text{ kg/hm}^2$ , 可得光能、光温、气候资源利用率以及农业自然潜力利用率分别为: 10.7%、48.3%、60.9%、72.4%, 海伦市玉米生产仍然有较大的潜力。

表 2 黑龙江海伦市 1999~2001 玉米生产潜力

Table 2 Potential maize productivity in Hailun, Heilongjiang, from 1999 to 2001

年份	1999	2000	2001	平均值
光合生产潜力(PPP)	51130	56296	54598	54008
光温生产潜力(TPP)	11671	11827	12496	11998
气候生产潜力(CPP)	10541	9134	8917	9531
气候-土壤生产潜力(LPP)	8854	7673	7490	8006

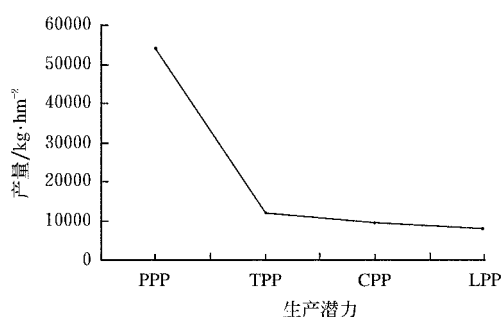


图 1 海伦市玉米不同层次生产潜力递减趋势图

Fig. 1 Degression of potential maize productivity from PPP to LPP in Hailun

利用不同层次潜力的平均递减量和递减率也可以看出(表 3), 海伦市的农业资源状况主要表现为以下 2 个方面: 1) 自然资源。海伦市的热量远不如江南和华北地区充足, 对海伦市玉米生长的影响最大, 产量递减量和递减率最大, 成为影响玉米生产潜力实现的最主要因素, 其次是降水与土壤资源, 而后两者的限制是可以通过社会经济资源的补充而改善和消除的。2) 社会经济资源。其总体上处于较低水平, 产量在该层面上的递减率次于热量的递减率, 对作物生长的满足率较低, 不能满足作物高产的要求, 由此也可以看出, 通过改善社会经济资源状况来提高玉米产量的空间很大。

表 3 海伦市玉米不同层次生产潜力递减分析

Fig. 3 Analysis of potential maize productivity degression from different factors in Hailun

项 目	递减量	递减率
光合生产潜力(PPP)	42010	0.78
光温生产潜力(TPP)	2467	0.21
气候生产潜力(CPP)	1525	0.16
气候-土壤生产潜力(LPP)	2206	0.28

注: 递减量表达式  $\Delta P_i = P_{i-1} - P_i$ ; 递减率表达式  $R_i = \Delta P_i / P_{i-1}$ ;  $P_i$  [PPP, TPP, CPP, LPP, RP]; RP 代表现实生产力, 即海伦市 1999~2001 年的实际产量平均值。

## 3 结论与讨论

1) 利用外来作物生长模型计算作物生产潜力, 模型的本土化是一个重要方面, 一种方法可以根据本地区详尽的气象资料、土壤资料和作物属性参数和实验数据进行参数的调整及适用性研究, 达到精确模拟的目的, 这种方法投资大, 期间长, 有的实验目前尚无法实现, 在一定程度上限制了外来模型在中国的广泛应用; 另一种方法, 在实验条件限制的情况下, 如果对于模拟结果的精度要求不高, 可以在模型原有框架与思路的基础上, 参考已有研究对其中某些模块的计算方法进行一定简化、改进或者根据已有资料对某些参数进行固化, 进而提高模型的普适性。

2) 由于实验条件的限制, 本研究在第二种方法上作了初步的尝试, 对于模型的修正大多是基于对模拟方法的简化或改进, 适当降低模型模拟精度以减少未知参数的数量, 保证模型的模拟效果, 并根据已有的生产潜力研究<sup>[24-26]</sup>, 确定当地玉米生产潜力值的范围, 模拟值落在这个范围内, 认为结果是可以接受的。目前这种模拟方法仍然要继续应用一段时间。

3) 今后随着 PS123 模型的进一步应用, 可以基于田间实验对与模型相关的土壤水分参数、作物生长参数等进行进一步的修正, 提高模拟精度。一方面可以获取与土壤质地、作物品种相关的静态参数, 例如土壤水分特征曲线、饱和导水率、标准吸着率, 作物的最大、最小比叶面积, 最大根深, 消光系数等, 对 PS123 模型自带的基础参数进行修正, 进一步提高模型模拟的精确性; 另一方面可以通过田间实验获取动态数据, 对模型中重要参数、主要过程的计算与模拟进行实验研究与修正, 例如光温潜力层次上的作物同化速率 ( $AMAX$ )、比叶面积 ( $SLA$ )、各器官干物重等参数, 气候潜力层次上的土壤含水量 ( $SMPSI$ )、渗漏量 ( $D$ ) 等与土壤水分变化过程有关的参数。

### [参 考 文 献]

- [1] 崔读昌. 中国粮食作物气候资源利用效率及其提高的途径[J]. 中国农业气象, 2001, 22(2): 25-32.
- [2] 李 军, 王立祥, 邵明安, 等. 黄土高原地区玉米生产潜力模拟研究[J]. 作物学报, 2002, 28(4): 555-560.
- [3] 徐春达, 高晓飞. 作物生产潜力模型在中国的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(6): 108-112.
- [4] 王宗明, 梁银丽. 应用 EPIC 模型计算黄土塬区作物生产潜力的初步尝试[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 481-487.
- [5] 李 军. 作物生长模型 ALMANAC 的验证与应用探讨[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(4): 99-104.
- [6] 尚宗波, 杨继武, 殷 红, 等. 玉米生长生理生态学模型[J]. 植物学报, 2000, 42(2): 184-194.
- [7] 郑海雷, 米谷俊颜, 黄子琛. 考虑土壤水分限制的春小麦生长简化模型[J]. 植物学报, 2000, 42(5): 512-517.
- [8] 张建华. 作物估产的遥感—数值模拟方法[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(2): 82-86.
- [9] 张 宇, 王石立, 王馥棠. 气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 264.

- 270
- [10] 石春林, 金之庆, 葛道阔, 等. 气候变化对长江中下游平原粮食生产的阶段性影响和适应性对策[J]. 江苏农业学报, 2001, 17(1): 1- 6
- [11] 谢云, James Kiniry, 刘宝元. 不同空间尺度下的 ALMANAC 模型验证[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1291- 1295
- [12] 毛振强. 基于田间试验和作物生长模型的冬小麦持续管理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003: 96- 147.
- [13] 乔玉辉, 宇振荣. 灌溉对土壤盐分的影响及微咸水利用的模拟研究[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2050- 2056
- [14] 陈亚恒, 刘会玲, 薛宝民, 等. 荷兰 PS1 模型在雄县地区土地利用系统分析中的应用——以冬小麦种植为例[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(1): 17- 20
- [15] 毛振强, 张银锁, 宇振荣. 基于作物生长模型的夏玉米灌溉需求分析[J]. 作物学报, 2003, 29(3): 419- 426
- [16] 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的分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2001: 54- 90
- [17] 宇振荣, 王建武, 邱建军. 土地利用系统分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 105- 152
- [18] Doorenbos J, Pruitt W O. Crop water requirements [M]. FAO irrigation & drainage paper 24 Rome 1977: 76- 81.
- [19] 刘钰, L. S. Pereira, J. L. Teixeira, 等. 参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997(6): 27- 33
- [20] 左大康, 王懿贤, 陈建绥. 中国地区太阳总辐射的空间分布特征[A]. 左大康地理研究论文选[C]. 北京: 科学出版社, 1993: 168- 185
- [21] 封志明, 李飞, 刘爱民. 农业资源高效利用优化模式与技术集成[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 2- 5
- [22] 孟凯, 张兴义, 随跃宇, 等. 黑龙江海伦农田黑土水分特征[J]. 土壤通报, 2003, 34(1): 11- 14
- [23] 郑海霞, 封志明, 游松财. 基于 GIS 的甘肃省农业生产潜力研究[J]. 地理科学进展, 2003, 22(4): 400- 410
- [24] 张志学. 海伦县主要粮食作物生产潜力的分析[A]. 赵明茶. 主编. 生产潜力与土地承载力网络试验研究[C]. 北京: 北京工业大学出版社, 1991: 174- 176
- [25] 马树庆, 袁福香, 郭春明. 东北区主要粮豆作物气候生产潜力实现率及其提高途径[J]. 农业系统科学与综合研究, 1999, 15(3): 203- 208
- [26] 陈百明. 中国农业资源综合生产能力与人口承载能力[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 289- 292

## PS123 crop growth model based method to calculate potential maize productivity in Hailun, Heilongjiang

Wu Shaohong<sup>1</sup>, Jin Jing<sup>1,2</sup>, Dai Erfu<sup>1</sup>

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** This paper analyses potential maize productivity in Hailun, Heilongjiang by combining PS123 crop growth model with ordinary methods. Data from 1999 to 2001 were adopted to calculate the potential maize productivity and get the average as the final result. The estimates of photosynthesis potential productivity (PPP), the temperature potential productivity (TPP), climate potential productivity (CPP) and land potential productivity (LPP) of maize are 54008, 11998, 9531, 8006 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. Compared with the reality on maize productivity in Hailun, the use efficiencies of PPP, TPP, CPP and LPP are 10.7%, 48.3%, 60.9%, 72.4%, respectively, which means that there is still great potential in Hailun.

**Key words:** PS123 crop growth model; potential maize productivity; Hailun