

基于作物生长模拟模型的河北省玉米生产潜力研究

曹云者^{1,2}, 刘 宏³, 王中义⁴, 宇振荣¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 北京市气象局气候中心, 北京 100089; 4. 北京市农业技术推广站, 北京 100101)

摘 要:应用作物生长模拟模型方法(PS123), 结合 GIS 工具, 应用 21 个气象站点的连续 30 年逐日气象资料, 分区域对河北省玉米光温生产潜力进行了研究。结果表明, 河北省绝大部分地区站点的 30 年平均光温产量均高于 10 000 kg·hm⁻², 大部分年份的光温产量在 13 000 kg·hm⁻² 左右。不同的气候分区, 光温产量潜力的限制因子不尽相同。冀北高原地区的产量限制因子主要是有效积温, 山前平原和冀东平原区的产量限制因子主要是日照时数的不稳定性, 太行山区和燕山丘陵区有效积温和日照时数对产量的波动均有较大影响。对 30 年来的生产潜力和统计产量的比较结果表明, 尽管实际产量呈现出不断提高的总体趋势, 但近年来平均产量也仅为光温产量潜力的 1/3 左右, 说明河北省的玉米生产尚有较大的潜力, 特别是冀东平原区尚有很大的生产潜力可供发掘。

关键词: 玉米; 生产潜力; 模拟模型; PS123

中图分类号: S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)02-0826-07

Potential Productivity of Maize Based on Model Simulation in Hebei Province

CAO Yun-zhe^{1,2}, LIU Hong³, WANG Zhong-yi⁴, YU Zhen-rong¹

(1. College of Resources & Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Climate Center of Beijing, Beijing 100089, China; 4. Beijing Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100101, China)

Abstract: The main problems in maize production of Hebei province in recent years are great limit of planting area and the annual fluctuating of yield. Thus, to fulfill the yield potential and to keep the constant high yield are key factors for the safety of grain production. In this study, 5 sub-regions were divided in Hebei province and crop growth simulation model-PS123 integrated with GIS was used to simulate photo-temperature potential productivity. 30 years' continuous daily weather data of 21 meteorological stations was adopted to run the model. Yield potential of all the 5 sub-regions in 30 years was identified and spatial-temporal distribution characteristics were investigated. The results showed that average potential productivity of maize in the 30 years for most areas in Hebei Province was over 10 000 kg·hm⁻², and in most years was around 13 000 kg·hm⁻². For different climatic sub-region, the limiting factor for the potential yield also differed. Effective accumulated temperature was the main limiting factor in Jibei Plateau, and the high variability of sunshine hours was the main factors in Shan-qian Plain and Jidong Plain. In Taihang mountain area and Yanshan hill area, both temperature and sunshine influenced the yield potential significantly. Although the actual yield of maize showed a trend of gradual increase year by year, the average yield in recent years still only accounted for 1/3 of the potential yield. It indicated a great potential for maize production in Hebei province, especially in the sub-region of Jidong Plain.

Keywords: maize; potential productivity; modeling; PS123

作物生产潜力是指一个地区的作物在理想的环境下所能达到的最高理论产量。一般把光温生产潜力

作为一个地区的作物产量上限^[1]。自上世纪 60 年代以来, 国内外学者对光温生产潜力开展了大量研究^[2-4]。近年来, 应用作物生长模型与 GIS 耦合研究区域作物生产潜力逐渐成为研究的主要趋势^[5-7]。河北省是我国玉米主产区之一, 其玉米生产能力直接关系到河北省粮食总产和全国的玉米总产。近年来, 河北省耕地面

收稿日期: 2007-05-08

基金项目: 荷兰 SAIL 基金会中荷合作资助项目(SAIL-SPP 299.399)

作者简介: 曹云者(1972—), 女, 河北辛集人, 副研究员, 研究方向为土地可持续利用。E-mail: caoyz@craes.org.cn

通讯联系人: 宇振荣 E-mail: ligulax@vip.sina.com

积平均每年减少 50 万 hm^2 , 玉米的播种面积受到很大威胁。从玉米单产水平来看, 河北省玉米生产的年际波动很大, 有些地区产量高而不稳, 近年来全省平均单产甚至呈现波动下降的趋势。因此, 充分发掘生产潜力, 保证玉米的持续高产和稳产是目前河北省玉米生产面临的主要问题。本文运用作物生长模型对河北省玉米的生产潜力进行研究, 试图探明河北省的玉米生产潜力及其区域分布, 明确其主要的气候影响因素, 为玉米生产的合理布局和潜力发掘提供依据。

1 研究方法

1.1 作物生长模拟模型

本研究采用的作物生长模拟模型为 PS123 模型。该模型是首先由荷兰瓦赫宁根大学 P. M. Driessen 等开发的用于量化土地生产力评价的普适模型^[8]。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。从宇振荣等学者 1997 年首次将该模型引入中国以来, 已在黄淮海平原针对小麦、玉米、棉花等多种作物开展了大量的修正和校验工作, 校验后的 PS123 模型能较好地模拟黄淮海平原地区的作物生产潜力^[8,9]。

1.2 数据库建立

1.2.1 图形数据

图形数据是模型区域化应用的必要基础。本文在河北省的省市县行政区划图、土地类型面积图、土壤质地图和耕地分布图等基础图形数据的基础上, 建立空间数据库。

1.2.2 气象数据

河北省 21 个气象台站连续 30 a (1971—2000) 的气象数据, 21 个气象站点包括: 保定、泊头、沧州、承德、丰宁、怀来、黄骅、廊坊、乐亭、南宫、秦皇岛、青龙、饶阳、石家庄、唐山、围场、蔚县、邢台、张北、张家口、遵化。气象要素包括: 平均气压 (0.1 hPa)、最高气温 (0.1 $^{\circ}\text{C}$)、最低气温 (0.1 $^{\circ}\text{C}$)、平均气温 (0.1 $^{\circ}\text{C}$)、降水量 (0.1 mm)、相对湿度 (1%)、平均风速 (0.1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、日照时数 (0.1 h)。

1.2.3 区试实验数据

本文选用了 10 个实验点 5 年的区试试验数据^①, 用以对模型进行参数修正和区域化分析。

1.2.4 大田生产数据

河北省各县市 1980—2001 年间的玉米播种面积、总产量和单产量的统计数据来自相关年鉴资料^[10]。

1.3 研究方法

首先根据农业气候区划原则, 参考其他学者在该地区的研究^[11], 将河北省分成 5 个区: 冀北高原区、冀东平原区、山前平原区、太行山区和燕山丘陵区 (图 1)。应用 21 个气象站点的连续 30 年的气象资料, 分区域对光温产量进行模拟。具体做法是: 将 21 个气象站作为所选样本点, 运行 PS1 模型, 分别模拟 21 个气象站 30 年在 PS1 水平下作物生长发育状况, 共运行模型 630 次, 根据模拟结果分别计算产量。按照分区结果, 将各分区中所选站点的每年模拟产量进行平均, 作为分区产量值, 然后, 检验各分区中模拟结果的一致性。本研究假定栽培管理技术一致, 种植同一个品种 (冀丰 58)。

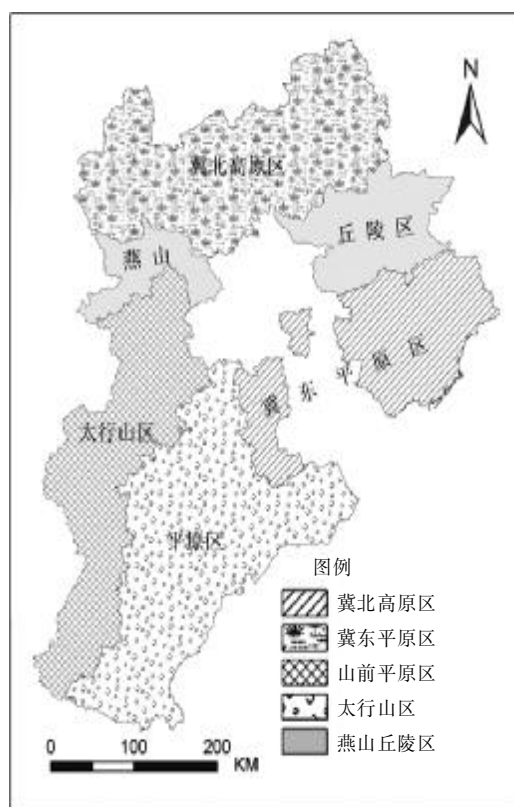


图 1 河北省气候分区

Figure1 Sub-regions of Hebei province

2 结果与分析

2.1 各分区夏玉米生产潜力

由表 1 可以看出, 除了冀北高原区的围场和张

① 内部资料, 来自国家黄淮海夏玉米筛选试验总结 (河北省试点), 由河北省农林科学研究院提供。

北,由于海拔高,积温少,不能满足玉米正常生长需求,产量低于 10 000 kg·hm⁻² 以外,其他站点 30 年平均光温产量均高于 10 000 kg·hm⁻²,燕山丘陵区的怀来和张家口模拟产量最高,分别为:18 156 kg·hm⁻² 和 16 367 kg·hm⁻²。从 5 个分区的平均模拟产量来看,燕山丘陵区的最高,为 16 049 kg·hm⁻²,产量标准差也较大,为 2 282,变异系数同样较大,为 14.2%。冀东平原区、山前平原区和太行山区模拟产量相差不大,在 13 000 kg·hm⁻² 左右浮动,产量标准差也较小,在 480 左右浮动,变异系数也较小,均小于 4%。冀北高原区的模拟光温产量最低,只有 6 302 kg·hm⁻²,而其产量变动也最大,产量标准差为 6 145,变异系数为 97.5%。

从单个分区来看:冀北高原 3 个站点产量与有效积温的相关系数都在 0.70 以上,而产量与日照时数的相关系数均在 0.29 以下,说明此分区的光温产量主要受温度的影响,光照影响较小。虽然该区的变异系数较大,但是该区的围场和张北气象站的模拟数据在所有站点中是最低的,综合地形因子的考虑和分区不宜过细的原则,将此 3 个站点划到冀北高原区中是最合理的。冀东平原区 6 个站点中大部分站点产量与日照时数的相关系数都在 0.50 以上,遵化的最高,达

0.72。而大部分站点的产量与有效积温的相关系数都在 0.1 以下,乐亭跟青龙甚至只有 0.01。说明此分区的光温产量主要受光照的影响,温度的影响很小。

山前平原区 6 个站点中大部分站点产量与日照时数的相关系数都在 0.40 以上,泊头的最高,达到 0.82。大部分站点的产量与有效积温的相关系数都在 0.27 以下,说明此分区的光温产量受光照的影响较大,受温度的影响较小。太行山区 3 个气象站中,蔚县的产量与有效积温相关系数最大,为 0.59;邢台的产量与日照时数相关系数最大,为 0.53,说明此分区中,有效积温和日照时数对产量的波动都有较大影响。燕山丘陵区 3 个气象站中,产量与日照时数的相关系数要大于产量与有效积温的相关系数,说明日照时数对该区的产量影响较大,有效积温对产量的影响次之。因此,对于不同的气候分区,光温产量潜力的限制因子不尽相同。对于冀北高原这样的地区,由于日照充足而积温条件明显不如平原地区,因此有效积温就成为主要的产量限制因子,而对于积温条件较好的平原地区(山前平原和冀东平原区),日照时数的不稳定性(主要来自年际变异)则成为主要的产量限制因子。太行山区和燕山丘陵区有效积温和日照时数对产量的波动都有较大影响。

表 1 河北省各分区的光温生产潜力
Table 1 Comparison on the PS1-lint yield of sub regions in Hebei province

分区名称	站点名称	站点 30 年平均 产量/kg·hm ⁻²	与有效积温 相关系数	与日照时数 相关系数	分区平均产量 /kg·hm ⁻²	产量标准差	站点产量 变异系数/%	产量 排名
冀北高原区	丰宁	12 765	0.725	0.252	6 302	6 145	97.5	5
	围场	5 605	0.707	0.003				
	张北	535	0.895	0.295				
冀东平原区	廊坊	13 218	0.033	0.176	12 993	458	3.5	3
	乐亭	12 888	0.011	0.379				
	秦皇岛	12 644	0.057	0.508				
	青龙	13 649	0.013	0.539				
	唐山	13 193	0.169	0.663				
	遵化	12 363	0.015	0.722				
山前平原区	保定	12 816	0.243	0.668	13 037	508	3.8	2
	泊头	12 123	0.701	0.823				
	沧州	13 494	0.122	0.098				
	黄骅	13 422	0.012	0.045				
	南宫	13 129	0.270	0.402				
	饶阳	13 241	0.074	0.604				
太行山区	石家庄	12 487	0.028	0.472	12 789	464	3.6	4
	蔚县	13 324	0.595	0.038				
	邢台	12 557	0.170	0.535				
燕山丘陵区	承德	13 625	0.029	0.425	16 049	2 282	14.2	1
	怀来	18 156	0.001	0.554				
	张家口	16 367	0.326	0.217				

2.2 夏玉米光温生产潜力的年际波动

以 1971—2000 年冀东平原区、山前平原区和太行山区中的 7 个观测点为例,说明光温产量的年际变化情况(图 2)。从图中 7 个点模拟产量年际变动情况可以看出,大部分的模拟结果在 $13\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 附近波动,总体趋势基本稳定。从逐年的模拟产量来看,1972 年各点模拟产量普遍高于其他年,1996 年各点的模拟产量普遍低于其他年。乐亭 1972 年的模拟产

量最高,超过 $18\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;秦皇岛 1973 年的模拟产量最低,只有 $8\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,产量值的年际变动幅度较大。

2.3 模拟结果的验证

结合区试产量,可以对模拟产量的精度进行验证,由于区域试验在不同年份采用的品种不同,为了进行有效的比较,本文将对模拟产量距平百分比和区试产量距平百分比进行比较,验证结果如图 3 所示

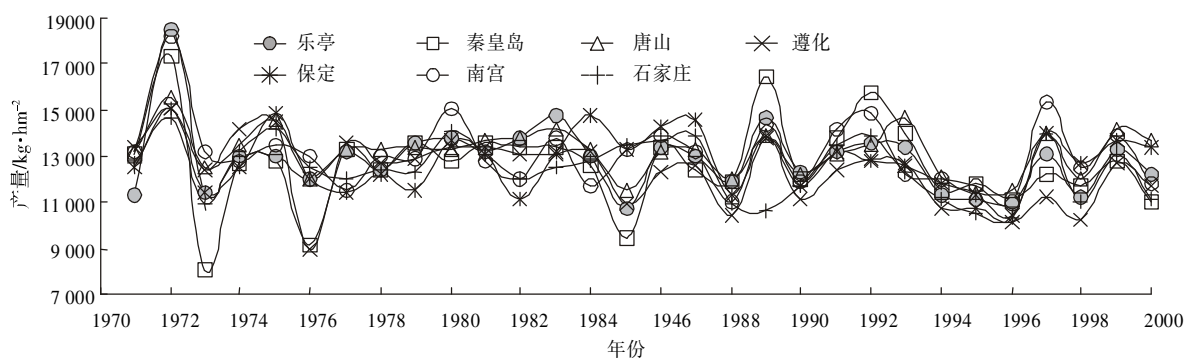


图 2 光温生产潜力年际变化

Figure 2 The annual changes of simulated potential yield

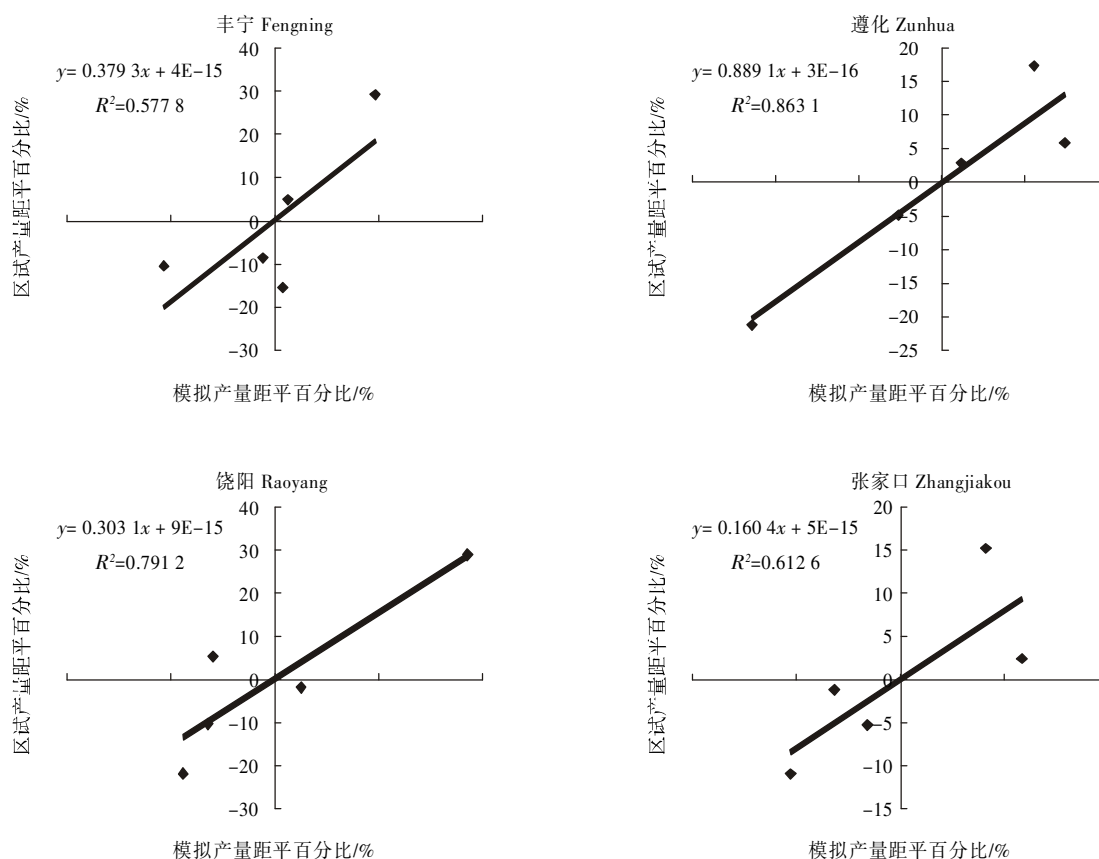
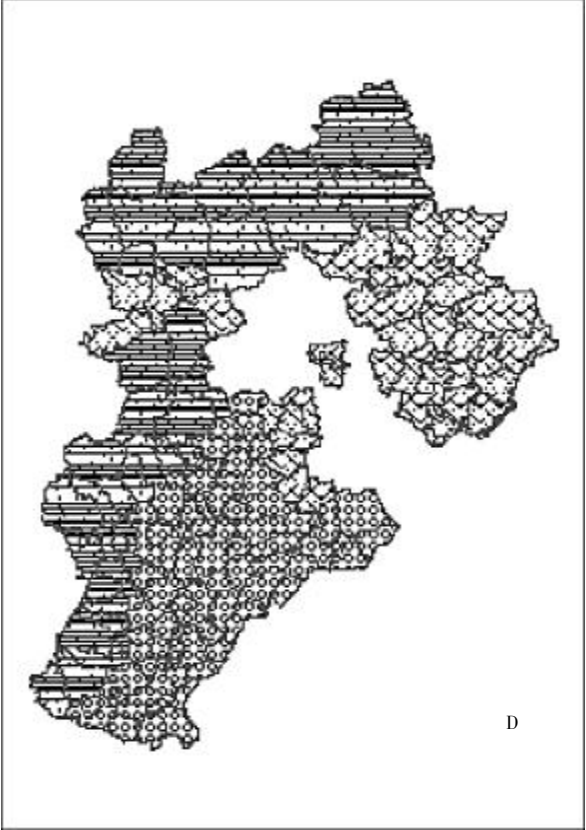


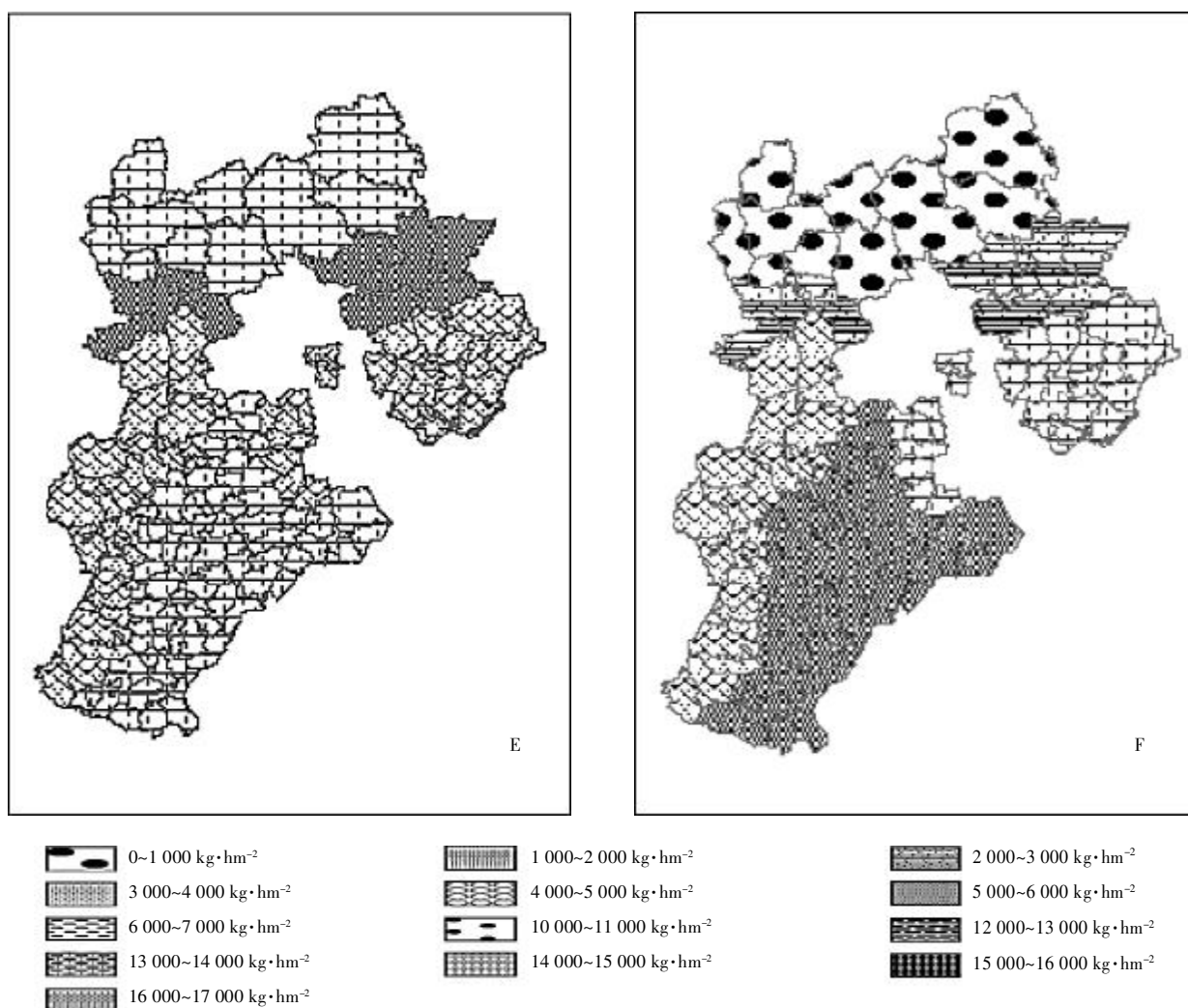
图 3 模拟结果与区试结果的比较

Figure 3 Validation between the lint yields and the observed values

(以丰宁、遵化、饶阳和张家口 4 个点为例)。由图可见,用 PS123 模型预测的玉米光温生产潜力与实际产量有较好的相关性。遵化和饶阳的验证结果较好,相

关系数在 0.8 左右,而丰宁和张家口的验证结果相对差一点,相关系数为 0.6 左右。这是因为模拟产量为仅考虑气象因子条件下的产量,模拟时假设其他条件





A、B、C 分别为 1980、1990、2000 年的光温产量，D、E、F 分别为 1980、1990、2000 年的统计产量。

图 4 河北省玉米光温产量和统计产量对照

Figure 4 PS1-lint yields and statistical lint yields in sub regions of Hebei province

是最优的,而实际生产很大程度上要受到人为管理措施、病虫害、施肥和其他天气灾害等因素的影响。

2.4 生产潜力分析

图 4 列出了 3 个典型年份 (1980、1990 和 2000 年) 下,模型模拟的光温生产潜力与统计产量的比较,其中 A、B、C 为模型模拟的光温生产潜力,D、E、F 为统计产量。

从光温产量的模拟结果来看,产量由高到低依次为:燕山丘陵区>太行山区、山前平原区>冀东平原区>冀北高原区,其中太行山区和山前平原区的光温产量大致相等。5 个分区的统计产量高到低依次为:燕山丘陵区>冀东平原区>山前平原区>太行山区>冀北高原区。

从光温产量与统计产量的比较来看,太行山区和

山前平原区的生产潜力发掘的比冀东平原区要好,因此,冀东平原区有更大的生产潜力可供发掘。由光温产量与雨养产量比较来看,缺水是影响冀东平原区生产力提高的一个重要因素,因此要改善此区域的灌溉条件。从统计产量多年的变化可以看出,玉米生产的整体技术水平一直在不断提高,实际产量向潜在产量逐步靠近,但近年来平均产量也仅为光温产量潜力的 1/3 左右,说明该地区尚有较大的产量潜力可供挖掘。

3 结论

(1) 应用 PS123 模型模拟的玉米光温生产潜力基本能反映区域的实际生产情况。

(2) 除了极个别站点之外,其他所有站点的 30 年平均光温产量均高于 10 000 kg·hm⁻²。大部分年份

的模拟结果在 $13\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 附近波动,总体趋势基本稳定。

(3)冀北高原区的光温产量主要受温度的影响,冀东平原区和山前平原区主要受光照的影响。太行山区和燕山丘陵区有效积温和日照时数对产量的波动都有较大影响。

(4)从光温产量与统计产量的比较可以看出,由于玉米生产的整体技术水平一直在不断提高,实际产量向潜在产量逐步靠近,但近年来平均产量也仅为光温产量潜力的 $1/3$ 左右,说明河北省的玉米生产尚有较大的潜力,特别是冀东平原区尚有很大的生产潜力可供发掘。

参考文献:

- [1] 袁爱民.邹城市主要农作物的光温生产潜力[J].气象科技,2004,32(增):61-63.
YUAN Ai-min. Photo-temperature productivity of main crops in Zhoucheng[J]. *Meteorological Science And Technology*, 2004, 32 (Suppl.): 61 - 63. (in Chinese)
- [2] 李忠辉,殷剑敏,林瑞坤.内蒙古阴山北麓缓坡丘陵坡耕地的农业自然生产潜力及其限制因子分析[J].农业环境科学学报,2005,24(6):1119-1122.
LI Zhong-hui, YIN Jian-min, LIN Rui-kun. Productive potential for agriculture and its constraint factor at gentle slope hills in north foothill of Yinshan, Inner Mongolian, China[J]. *Journal of Agro-Environment Sciences*, 2005, 24(6):1119-1122. (in Chinese)
- [3] 刘金铜,由桩正.河北沧州黑龙港地区粮食作物生产潜力估算[J].自然资源学报,1991,6(4):318-325.
LIU Jin-tong, YOU Zhuang-zheng. Estimation of crop potential productivity in Heilonggang area, Cangzhou, Hebei Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 1991, 6(4): 318-325. (in Chinese)
- [4] 李三爱,居辉,池宝亮.作物生产潜力研究进展[J].中国农业气象,2005,26(2):106-111.
LI San-ai, JU Hui, CHI Bao-liang. Reviews on crop potential productivity researches[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2005, 26(2):106-111. (in Chinese)
- [5] Alves H M R, Nortcliff S. Assessing potential production of maize using simulation models for land evaluation in Brazil [J]. *Soil Use and Management*, 2000, 16(1):49-55.
- [6] 熊伟.用GIS和作物模型对作物生产进行区域模拟方法[J].中国农业气象,2004,25(2):28-32.
XIONG Wei. Spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2004, 25(2):28-32. (in Chinese)
- [7] 高亮之.数字化农业气象学[J].中国农业气象,2003,24(2):1-4.
GAO Liang-zhi. Digital agrometeorology[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2003, 24(2): 1-4. (in Chinese)
- [8] 宇振荣,邱建军,王建武(译).土地利用系统分析[M].北京:中国农业科技出版社,1997.
YU Zhen-rong, QIU Jian-jun, WANG Jian-wu (Translate). Land-Use Systems Analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science & Technology Press, 1997. (in Chinese)
- [9] 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.
MAO Zhen-qiang, ZHANG Yin-suo, YU Zhen-rong. Water requirement and irrigation scenarios of summer maize production aided by crop growth simulation model[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2003, 29(3): 419-426. (in Chinese)
- [10] 河北省人民政府办公厅,河北省统计局.河北农村统计年鉴.石家庄:经济科学出版社,1980-2001.
Office of Hebei Municipal People's Provincial Government, Bureau of Statistic of Hebei. Rural Statistical Yearbook of Hebei. Shijiazhuang: Economic Science Press, 1981-2001. (in Chinese)
- [11] 安月改,李元华.河北省近50年蒸发量气候变化特征[J].干旱区资源与环境,2005,19(4):159-162.
AN Yue-gai, LI Yuan-hua. Change of evaporation in recent 50 years in Hebei region[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(4): 159-162. (in Chinese)