

地理信息系统支持下的中国粮食生产潜力研究*

党安荣 阎守邕 周 艺

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘要 在地理信息系统(GIS)及全国农业空间数据库和属性数据库的支持下,在前人关于农业生产潜力研究的基础上进行了全国粮食生产潜力的研究。作者首先论述了粮食生产潜力研究进展,探讨了基于GIS的粮食生产潜力研究方法;然后,就粮食生产潜力的土壤有效系数、土地生产潜力和社会有效系数、社会生产潜力提出了新型的计算模型,并应用机制法通过光、温、水、土、社逐级衰减,具体计算了全国分县粮食生产潜力;最后,将计算结果与现实粮食生产力进行了对比分析,确定了粮食生产潜力开发优势区。

关键词 地理信息系统, 粮食生产潜力, 土壤有效系数, 社会有效系数, 潜力开发优势

潜力问题是粮食生产研究的重要组成部分。粮食生产潜力对粮食生产规划、粮食储运、人口控制、土地保护等一系列基本国策的制定都具有重要意义,因而关于粮食生产潜力的研究倍受人们的关注。有关粮食生产潜力的研究,可以追溯到本世纪60年代。30多年来,随着研究的逐步深入,各种计算方法相继应用、大量计算公式不断问世,有关计算参数逐步精确^[1-8]。基中,“机制法”是应用最为广泛的粮食生产潜力研究方法,它是依据作物生产力形成的机理,考虑光、温、水、土等自然生态因子及施肥、灌溉、耕作、育种等农业技术因子,从作物截光特征和光合作用入手,依据作物能量转化及粮食生产形成过程,逐步“衰减”来估算粮食生产潜力,可用函数式表达如下^[8]:

$$\begin{aligned} Y_G &= Q \cdot f(Q) \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(S) \cdot f(M) \\ &= Y_Q \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(S) \cdot f(M) \\ &= Y_T \cdot f(W) \cdot f(S) \cdot f(M) \\ &= Y_W \cdot f(S) \cdot f(M) \\ &= Y_S \cdot f(M) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: Y_G 为粮食生产潜力; Q 为太阳总辐射; $f(Q)$ 为光合有效系数; Y_Q 为光合生产潜力; $f(T)$ 为温度有效系数; Y_T 为光温生产潜力; $f(W)$ 为水分有效系数; Y_W 为气候生产潜力; $f(S)$ 为土壤有效系数; Y_S 为土地生产潜力; $f(M)$ 为社会有效系数。

1 粮食生产潜力研究方法

以往关于粮食生产潜力的研究,多是采用传统的工作方法,需要较长的时间。如何应用GIS这一现代科技手段来实时研究粮食生产潜力及其变化,是有待探讨的方法问题。本文根据GIS的特点和机制法计算粮食生产潜力的原理,确定如图1所示的工作流程和研究方法。

1.1 建立数据库

根据粮食生产潜力研究需要,应用GIS和DBMS建立“全国粮食生产数据库”,包括空间数据库(县级行政区划、土壤类型、地形等高线)和属性数据库(气候数据库、土壤数据库、农业统计数据库),并对各类数据进行一致性检验和归一化处理,包括类型一致性、精度一致性、编码一致性等,使众多数据能够较好地匹配。

1.2 数据处理

对上述数据库进行三方面的处理,依次是“空间数据与属性数据匹配连接”,“空间数据叠加”,“属性数据插值”,最终要获得以县级行政区划为单位的“空间·属性一体化数据库”,其中包含光照、辐射、气压、温度、降水、湿度等气候数据库,土壤类型、土层性状、土壤养分、立地条件等土壤数据库,以及粮食生

* 国家重点科技项目(97-759-05-01)资助。本研究得到赵名茶先生、田国良先生的指导,谨致谢忱。

收稿日期: 1998-03-17; 收到修改稿日期: 1999-03-26

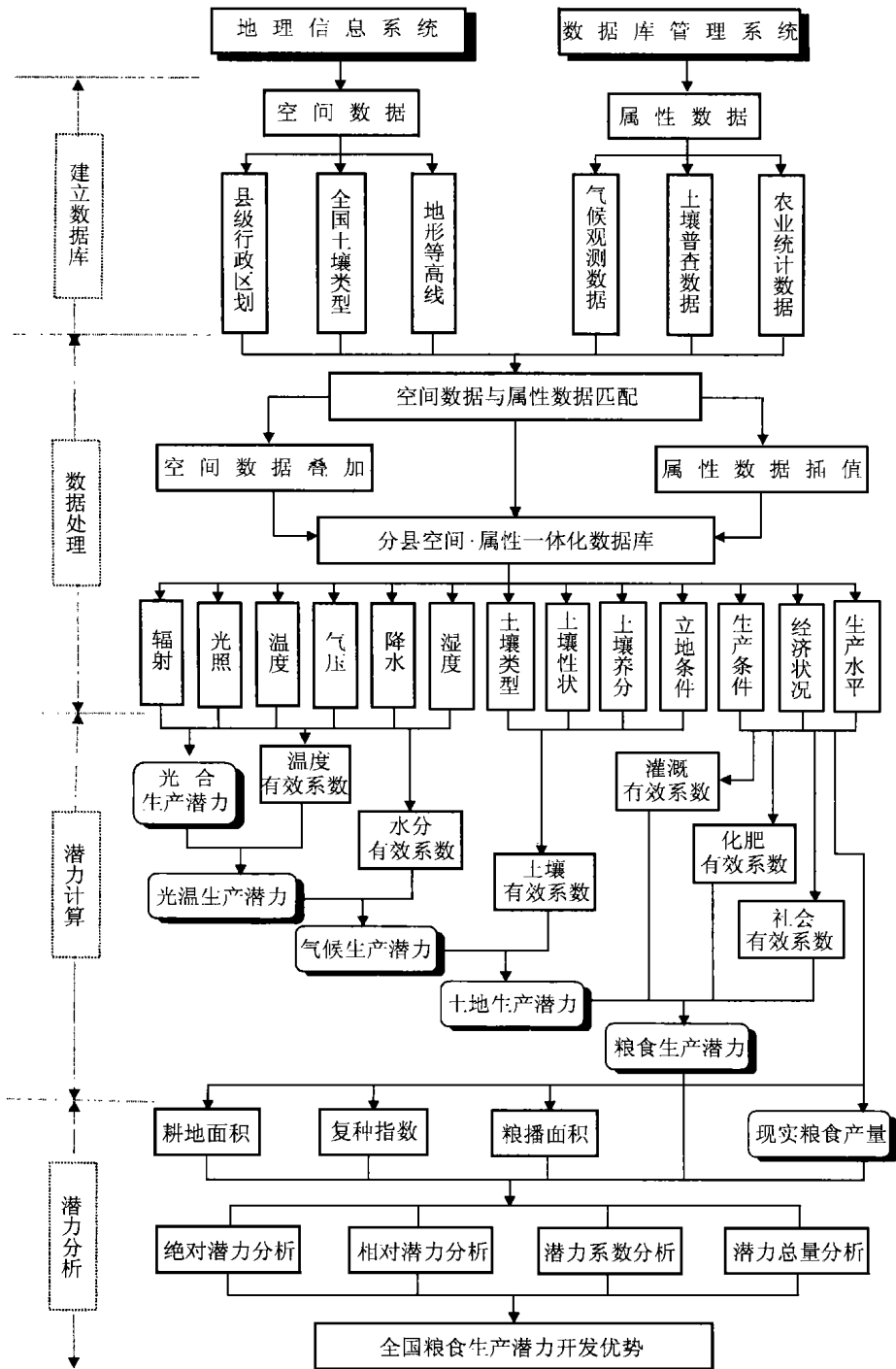


图 1 基于地理信息系统的粮食生产潜力研究方法流程

Fig. 1 Flow chart of potential grain productivity research based on GIS

产条件、生产水平和经济状况等社会经济数据库。

1.3 潜力计算

以“分县空间·属性一体化数据库”为基础,根据传统机制法的原理与模型,按照“光、温、水、土、社”逐级衰减的过程,计算粮食生产潜力。本文主要在

“土壤有效系数 $f(S)$ ”及“社会有效系数 $f(M)$ ”的计算模型方面尝试了科学、适用的建模方法与定量模型。

1.4 潜力分析

应用“机制法”所获得的粮食生产潜力是理论上

的最大生产力,将此与各县现实生产力进行比较,分别计算“相对潜力”(单产潜力-现实单产)、“潜力系数”(1-现实单产/单产潜力)、“潜力总量”(单产潜力×粮播面积),并以此为基础进行全国粮食生产潜力空间分布特征分析,划分粮食生产潜力开发优势等级。

2 粮食生产潜力计算过程

按照机制法计算粮食生产潜力的基本模型,全国分县粮食生产潜力的计算是在分县粮食生产空间与属性一体化数据库的基础上,应用一系列计算模型,通过“气候生产潜力计算、土地生产潜力计算、社会生产潜力计算”逐步完成的。需要说明的是:①根据本研究的宏观性,本文并没有按粮食作物类型计算生产潜力,而是在计算作物第一性生产力的基础上,通过前人研究获得的平均经济系数转化为粮食生产潜力;②由于篇幅所限,本文只列出所应用的计算模型及其来源文献,而不对其参数进行分析、推导和说明。

2.1 气候生产潜力计算

气候生产潜力的计算过程包括:光合生产潜力计算、温度有效系数计算、光温生产潜力计算、水分有效系数计算、光温水生产潜力计算等几个步骤,本文所应用的计算模型如下:

(1) 光合生产潜力^[2]:

$$Y_Q = 0.219Q \quad (2)$$

(2) 温度有效系数^[6]:

$$f(T) = N/365 \quad (3)$$

(3) 水分有效系数^[6]:

$$f(W) = P/E_0 \quad (4)$$

2.2 土地产生潜力计算

土地生产潜力计算的关键是土壤有效系数 $f(s)$ 的确定。由于作物-土壤-大气系统十分复杂,土壤与作物相互协调的机制仍欠明确^[7],因而,至今仍未有理想的关于全国土壤有效系数 $f(s)$ 的计算模型。本文拟采用层次分析法(AHP),首先选择影响土壤有效性的12个因子,然后依次确定各因子的权重系数(W_{ij})及其分级评分(A_{ij})体系,最后在分县土

壤空间·属性一体化数据库的支持下,按下列模型计算分县土壤有效系数^[7]。

$$f(S_i) = \sum_j W_{ij} \cdot A_{ij} \quad (5a)$$

$$f(S) = \left[\sum_i f(S_i) \cdot AS_i \right] / \sum_i AS_i \quad (5b)$$

2.3 社会生产潜力计算

社会生产潜力计算的关键在于社会有效系数 $f(M)$ 的确定,由于社会经济因子作用关系复杂、难以量化,因而关于 $f(M)$ 的研究开展很少。本文借助德尔菲法和层次分析法(AHP),在分析社会有效因子作用机制的基础上,选择与粮食生产密切相关、并有数据支持的15项指标,建立了下列3组计算模型,依次计算社会有效系数 $f(M)$ 和全国分县社会生产潜力。

(1) 灌溉有效系数与灌溉生产潜力计算模型¹⁾:

$$f(I) = \begin{cases} 1/f(w) & (E_0 \leq I_0 + P) \\ 1 + I_0/[E_0 \cdot f(w)] & (E_0 > I_0 + P) \end{cases} \quad (6a)$$

$$I_0 = 549 \cdot S_I / S_i \quad (6b)$$

$$y_I = f(I) y_s \quad (6c)$$

(2) 化肥增产效力与化肥生产潜力计算模型¹⁾:

$$\Delta Y_F = 2.2875 \cdot (6.58e^{-0.047991x} + 1.08)$$

$$\cdot x \cdot \frac{(1-f(s_i))}{(1-f(s))} \quad (7a)$$

$$Y_F = Y_I + \Delta Y_F \quad (7b)$$

(3) 社会有效系数与社会生产潜力计算模型¹⁾:

$$f(M) = \sum_{i=1}^{10} W_i \cdot A_i \quad (8a)$$

$$y_G = f(M) y_F \quad (8b)$$

在上述模型及数据库的支持下计算全国两千多个县的社会生产潜力(粮食单产潜力),并对计算结果进行分级制图(图版I图2)可知,社会生产潜力的空间分布总体上呈现南高北低、东高西低的局势。具体而言,华南沿海、长江中下游平原、云南及广西南部等地在 $15000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 以上,黄淮平原、江南丘陵、四川盆地等为 $12000-15000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,东北平原、华北平原北部、新疆大部、藏南地区在 $6000-12000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 之间,内蒙及长城沿线地区一般为 $3000-6000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,青藏高原区大部分在 $3000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 以下。

3 粮食生产潜力对比分析

3.1 绝对潜力的比较分析

对全国分县粮食单产潜力进行分级统计表明,有 81.96% 的县市粮食生产潜力在 $7500-22500\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 之间;而 1994 年现实生产力的数值则有 85.81% 的县市为 $1500-12000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。反映出全国粮食生产现状与粮食生产潜力之间的差异。

3.2 相对潜力的比较分析

将分县粮食生产潜力与现实生产力(1994)做减法运算,可以获得各县粮食生产相对潜力。就相对潜力进行分级统计、分区统计,可得全国粮食生产相对潜力分布特征:71.36% 的县市相对潜力位于 $3000-12000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,广东南部、广西大部、海南、云南大部相对潜力 $>9000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,青海大部、西藏大部、宁夏、甘肃西部、南疆等地区 $<1500\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,而多数地区则在 $3000-6000\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 之间。

3.3 潜力系数的比较分析

由于各地现实生产力水平与生产潜力水平不同,同量的相对潜力并不具有同等的可开发性,为了消除绝对潜力的影响,可以用“潜力系数”来补充。分析全国分县潜力系数表明,71.12% 的县市潜力系数为 0.3-0.8,潜力系数较大的县市和省份多分布在中西部,而东部则潜力系数较小,特别是长江中下游平原、东北平原、四川盆地等,潜力系数在 0.4 以下;这是因为上述地区的资源利用程度较好,社会有效系数比较高的缘故。

3.4 潜力总量的比较分析

本文以 1994 年全国分县粮食播种面积、复种指数等数据库内容为基准,按作者所计算的分县绝对生产潜力和相对生产潜力,分别计算全国分县粮食生产绝对潜力总量和相对潜力总量,然后进行统计分析。结果表明,在 1994 年全国耕地水平、粮播面积比例及复种指数状况下,78.82% 的县市粮食生产绝对潜力为 $10 \times 10^4-100 \times 10^4\text{t}$,79.49% 的县市粮食生产相对潜力为 $1 \times 10^4-30 \times 10^4\text{t}$ 。从空间分布来看,东北平原、黄淮海平原、广东南部、广西南部、四川盆地等区域。粮食总产绝对潜力和相对潜力都比较高,绝对潜力以 $>50 \times 10^4\text{t}$ 的县市为主,相对潜力则以 $>20 \times 10^4\text{t}$ 的县市较多。

与上述分县粮食总产潜力相对应的全国粮食生产绝对潜力总值为 $88664.3 \times 10^4\text{t}$,若按人均 500kg 的小康标准来计算,中国的最大人口承载量为 17.73×10^8 。由此可见,中国粮食生产的潜力是巨大的,只要确实重视粮食生产,把各项政策落到实处,从保护耕地、开发资源、研制新品种等多种途径挖掘粮食生产潜力,实现“中国人自己养活自己”就不仅仅是一句口号。

3.5 潜力开发优势分析

在粮食单产潜力(绝对、相对)、潜力系数、总产潜力(绝对、相对)对比分析的基础上,综合上述 5 个潜力因素,用模型(9)式计算各县粮食生产潜力开发优势值 P_i ,再对开发优势值 P_i 进行分级制图(图版 I 图 3)分析。从而得出:东北平原、黄淮海平原、渭河谷地、江苏大部、两广南部等地区,粮食生产潜力开发优势较高,属于一、二级潜力优势开发区;青藏高原、南疆南部、内蒙东北部、贵州大部等地区,潜力开发优势多为五、六级;其它地区位居期间。

$$P_i = \sum_{j=1}^6 C_j \cdot W_j \quad (9)$$

4 结 论

本文通过地理信息系统支持下的中国粮食生产潜力研究,可以得出以下结论:

(1) 借助地理信息系统(GIS)来研究粮食生产潜力,可以综合全面地考虑影响粮食生产潜力的各种自然资源和社会经济因素,并能够非常快速有效地进行计算和分析。

(2) 计算表明:全国粮食生产绝对潜力总值为 $88664.3 \times 10^4\text{t}$,若按人均 500kg 的小康标准来计算,最大人口承载量为 17.73×10^8 ，“中国人自己养活自己”是毋庸置疑的。

(3) 东北平原、黄淮海平原、渭河谷地、江苏大部、两广南部等地区,属于一、二级潜力开发优势区,是未来我国主要的粮食生产潜力开发区域。

参 考 文 献 (References)

- Huang. Environmental factors and the potential agricultural productivity of China: An analysis of sunlight, temperature, and soil moisture. in: L. J. C. Ma and Allen G. Noble. The Environment: Chinese and American Views. New York: Methuen and Company Ltd., 1981.
- Huang Bingwei, Potential Agriculture Productivity of China-Potential Photosynthesis Productivity. In: Geographic Selections (No. 17). Sci-

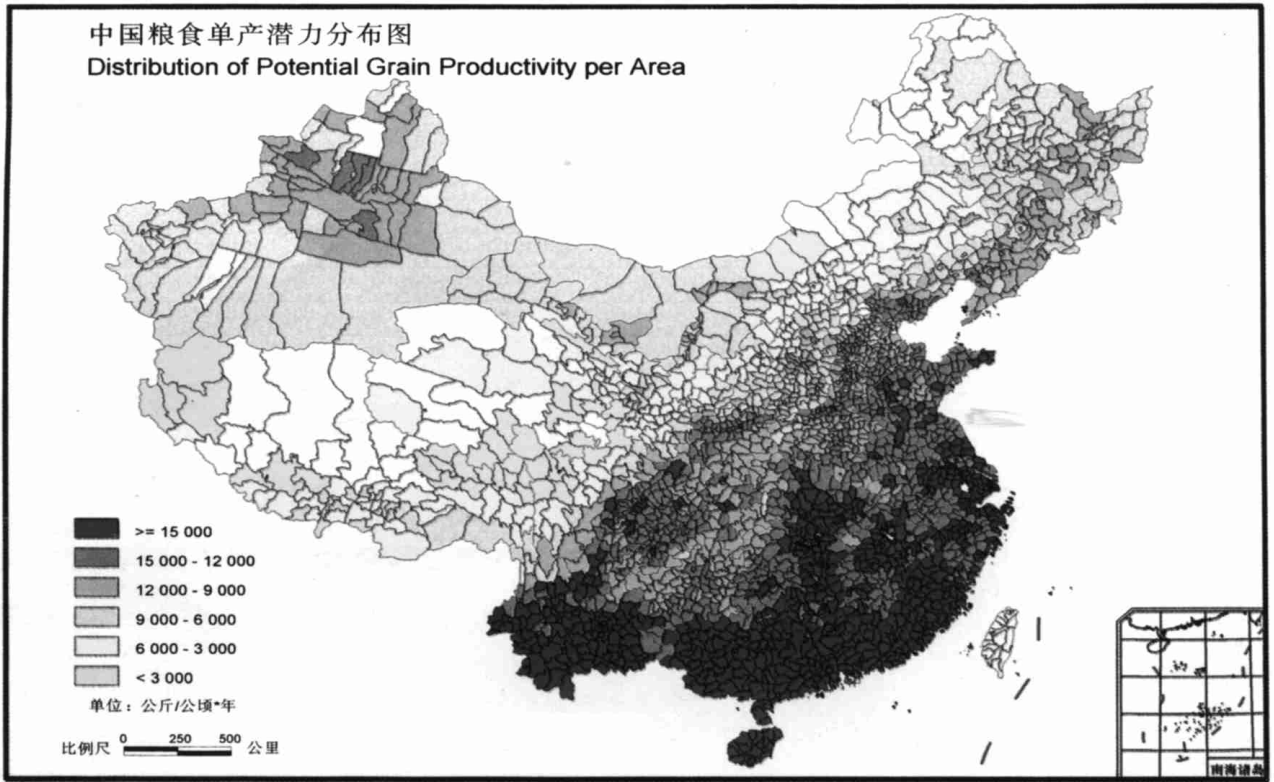


图2 中国粮食单产潜力分布图

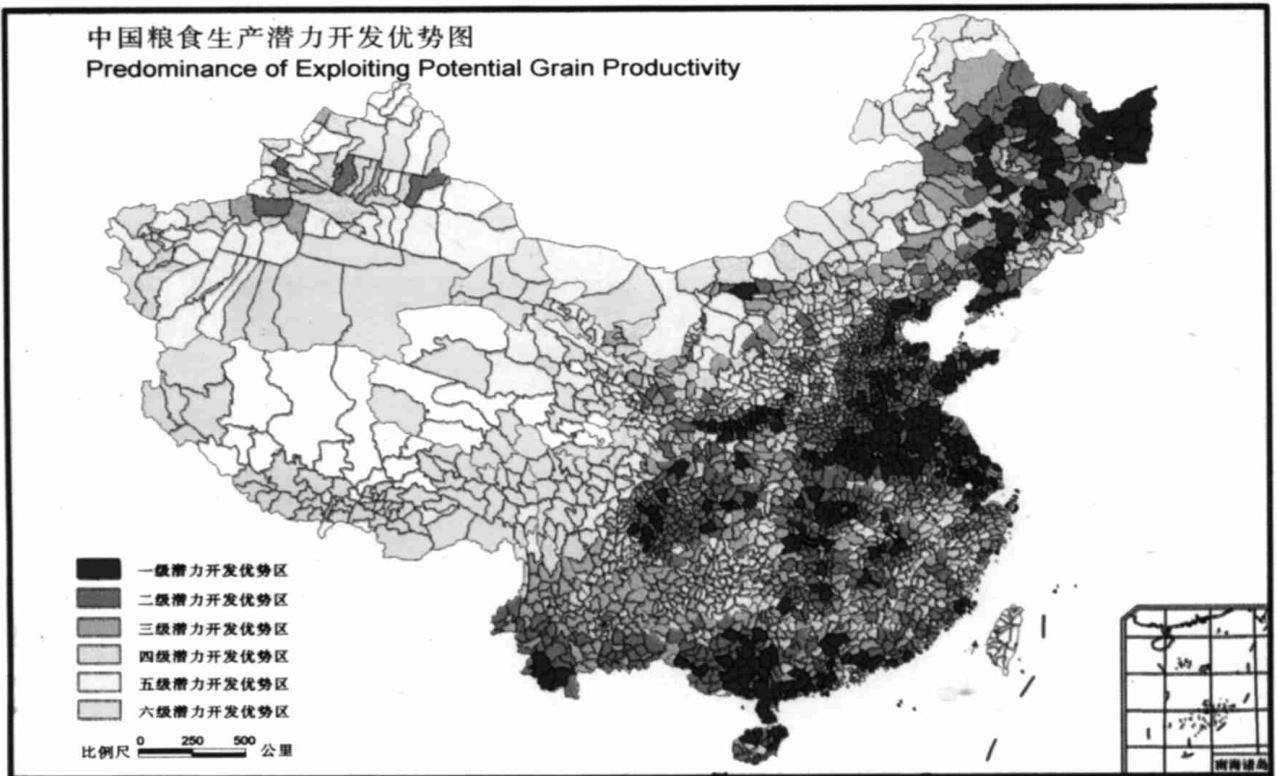


图3 中国粮食生产潜力开发优势图

- ence Press, 1985. [黄秉维. 中国农业生产潜力-光合潜力. 地理集刊(第17号). 北京:科学出版社, 1985, 15-22.]
- 3 Huang Bingwei. About Potential Agriculture Productivity. In: Network Test Study on Potential Productivity and Carrying Capacity of Land. Beijing Industry University Press, 1991. [黄秉维. 关于农业生产潜力, 生产潜力与土地承载力网络试验研究. 北京:北京工业大学出版社, 1991, 1-3.]
- 4 Tian Guoliang. Potential Photosynthesis Productivity and Sun Spectro-radiation of Hulun Buir Prairie. *Acta Geographica Sinica*, 1980, **35**(1). [田国良. 呼伦贝尔草原的太阳分光辐射能和光合潜力. 地理学报, 1980, **35**(1): 76-82.]
- 5 Wang Yixian, Zhao Mingcha. Potential Photosynthesis Productivity and Spatial Distribution Characteristics of Ten Days Total Sun Radiation in China. *Natural Resources*, 1981(3). [王懿贤, 赵名茶. 中国旬总辐射的空间分布特征与光合潜力. 自然资源, 1981(3): 32-41.]
- 6 Leng Shuying. Research on the Potential Agricultural Productivity of China With the Help of GIS. *Journal of Natural Resources*, 1992, 7(1). [冷疏影. 地理信息系统支持下的中国农业生产潜力研究. 自然资源学报, 1992, 7(1): 71-79.]
- 7 Nie Qinghua. The Evaluation of Soil Effective Coefficient in Calculation of the Potential Productivity of Cultivated Land. In: Memoir of NISWC, Academia Sinica (16), 1992. [聂庆华. 耕地生产潜力计算中土壤效应系数的评估. 见:中国科学院西北水土保持研究所集刊(16), 1992, 55-60.]
- 8 Wang Hongguang. The Problem, Potencial Productivity, Way, and Benefit of China's Grain Production. China Agriculture Press, 1993. [王宏广. 中国粮食问题、潜力、道路、效益. 农业出版社, 1993.]

作者简介

党安荣,男,1964年生于陕西佳县。1985年获陕西师范大学“地理学”学士学位,1988年获西北大学“地图学与遥感”专业硕士学位,1997年获中国科学院遥感应用研究所“地图学与地理信息系统”专业博士学位。专长于RS与GIS在资源环境、农业工程、城市规划等领域的应用研究。已发表论文近40篇。

A GIS Based Study on the Potential Grain Productivity of China

DANG An-Rong YAN Shou-Yong ZHOU Yi

(*Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101*)

Abstract On the basis of previous research results on potential agricultural productivity, the potential grain productivity of China is studied in this paper with the support of geographic information system (GIS) and national agricultural database including spatial databases and attribute databases. At first, the concept and development of potential grain productivity are expounded, and the method of GIS based study on the potential grain productivity is discussed. Then, after stressed research on such factors of potential grain productivity as soil effective coefficient, potential land productivity, social effective coefficient, and potential social productivity, the authors put forward some new computing models. Furthermore, using the mechanism methodology and computing models mentioned above, they calculated computed China's national potential grain productivity by county unit. Finally, the predominance of exploiting potential grain productivity regions of China is determined through comparing the computing results with current grain productivity.

Key words GIS, Potential Grain Productivity, Soil Effective Coefficient, Social Effective Coefficient, Predominance of Exploiting Potential Grain Productivity