

基于 GIS 的中国土地生产潜力研究

党安荣¹, 阎守邕², 吴宏歧³, 刘亚岚²

(1. 清华大学人居环境研究中心, 北京 100084; 2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 3. 陕西师范大学历史地理研究所, 西安 710062)

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,进行了全国土地生产潜力的研究。首先探讨了基于 GIS 的土地生产潜力研究方法;然后,就土地生产潜力的“土壤有效系数”进行重点研究,探讨了其计算方法与模型;并应用机制法,通过光、温、水、土逐级衰减,具体计算了全国分县土地生产潜力;最后,通过分级统计和分级制图,分析了中国土地生产潜力的数值分布和空间分布特征。

关键词:地理信息系统;中国;土地生产潜力;土壤有效系数

A GIS based study on the potential land productivity of China

DANG An-Rong¹, YAN Shou-Yong², WU Hong-Qi³, LIU Ya-Lan² ((1. Center of Human Settlements Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 3. Institute of Historical Geography, Shaanxi Normal School, Xi'an 710062, China)

Abstract: On the basis of a previous research on potential agricultural productivity, the potential land productivity of China was studied with geographic information system (GIS) and national agricultural databases which include spatial databases and attribute databases. The method of GIS based study on the potential land productivity was discussed. A computing method and model were put forward after stressed research on soil effective coefficient. By using the mechanism methodology and relative computing models, China's national potential land productivity was computed according to the factors such as radiation, temperature, precipitation, and soil in county unit. The characteristics of numeric value disperse and spatial distribution of potential land productivity in China were analyzed through classification statistics and classification mapping.

Key words: GIS; China; potential land productivity; soil effective coefficient

文章编号: 1000-0933(2000)06-0910-06 中图分类号: P968 文献标识码: A

随着人口的迅速增长,资源、环境、人口之间的矛盾日益突出,粮食问题已成为全球性重大问题之一;对于拥有世界人口 22% 和全球耕地 7% 的中国,粮食问题尤为重要。因此,必须研究中国的土地生产潜力及其数值分布与空间分布。

土地生产潜力研究,可追溯到 20 世纪 60 年代。三十多年来,世界各国的有关学者从不同学科、不同角度,对土地生产潜力进行了大量深入细致的研究,取得了丰硕的成果。“机制法”是应用最为广泛的土地生产潜力计算方法,它根据作物生产力形成的机理,考虑光、温、水、土等自然生态因子,从作物截光特征和光合作用入手,依据作物能量转化及产量形成过程,进行逐步“衰减”估算土地生产潜力,其函数式为:

$$\begin{aligned} Y_L &= Q \cdot f(Q) \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(S) \\ &= Y_Q \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(S) \end{aligned} \quad (1)$$

基金项目: 国家重点科技资助项目(97-759-05-01)。

收稿日期: 1999-09-08 修回日期: 1998-07-22

作者简介: 党安荣(1964~),男,陕西佳县人,博士,副教授。主要从事 RS 与 GIS 应用研究。

万方数据

$$\begin{aligned}
 &= Y_T \cdot f(W) \cdot f(S) \\
 &= Y_w \cdot f(S)
 \end{aligned}$$

式中, Y_L : 土地生产潜力; Q : 太阳总辐射; $f(Q)$: 光合有效系数; Y_Q : 光合生产潜力; $f(T)$: 温度有效系数; Y_T : 光温生产潜力; $f(W)$: 水分有效系数; Y_w : 气候生产潜力; $f(S)$: 土壤有效系数。

早期的研究主要集中在光、温、水三要素上, 探讨气候生产潜力。Loomis 和 Williams^[1]利用量子效率概念进行生产潜力研究, 提出生物生产量(Y)与太阳总辐射(Q)之间的估算模式。竺可桢先生^[2]从光合作用和气候的角度率先在国内进行了研究。黄秉维先生^[3]综合了国内外的研究成果, 全面考虑了作物群体对太阳能的利用、反射、吸收、转化、消耗等多种因素后, 提出了光合潜力的计算公式及相关参数。随后, 田国良^[4]、于沪宁^[5]、赵名茶^[6]、李世奎^[7]等诸多学者, 从不同的角度研究了气候生产潜力, 并对我国气候生产潜力的空间分布进行了较多的探讨。1980 年以来, 随着世界性的“土地人口承载力”研究的开展, 研究重点转向土壤有效系数($f(S)$)的获取和土地生产潜力的估算。石玉林^[8]、聂庆华^[9]、冷疏影^[10]、吴连海^[11]、王宏广^[12]等, 先后对中国的土地生产潜力进行过研究和计算, 所取得的成果被应用于全国土地利用规划、农业发展战略制定等。上述关于土地生产潜力的研究, 无论是基础理论、计算方法、还是应用实践, 都可谓成果卓著, 为当前及今后的研究提供了大量可以直接应用或借鉴的方法与结论。

然而, 在下述 3 个方面还有待进一步探讨: (1) 已有成果对光、温、水等气候因素考虑非常完整, 相比之下, 土壤有效系数 $f(S)$ 的计算还在探索中, 因为土壤对于作物产量的影响更复杂, 很难用一个通用数值或函数式表达。如何根据我国的土壤类型和分布特征, 综合考虑土壤性状、养分和立地条件来计算土壤有效系数 $f(S)$, 是值得探讨的理论问题之一。(2) 以往研究都采用传统工作方法, 在大量收集资料、处理资料的基础上, 手工编制地图, 进行分析总结, 编写文字报告, 发布研究成果; 此过程需要很长时间, 往往是成果问世之日, 就已经过时; 如何应用地理信息系统和数据库管理系统等新技术手段, 实时研究粮食生产潜力及其变化, 是有待探讨的方法问题。(3) 在中国粮食生产潜力研究中, 一般是按省级行政区划或生态区域为计算单位, 而没有以最主要的基层管理单元(县级行政区划)为对象进行计算, 这对于粮食生产规划的落实、及各省土地生产潜力挖掘的实际操作均有一定影响; 如何以县级行政单元和县级农业统计数据为基础, 来计算全国分县土地生产潜力, 是需要探讨的应用问题。

针对上述问题, 本文在地理信息系统(GIS)和数据库管理系统(DBMS)支持下, 依据“全国县级行政区划”、“全国地形数据”、“全国土壤类型”等空间数据库和“气候观测数据库”、“土壤普查数据库”、“农业统计数据”等属性数据库, 就中国的“土壤有效系数”, “土地生产潜力”及其数值分布和空间分布进行研究。

1 土地生产潜力研究方法

根据“机制法”计算土地生产潜力的需要和 GIS 及 DBMS 的特点, 本文确定如图 1 所示的土地生产潜力研究方法流程, 包括数据组织、数据处理、潜力计算和潜力分析 4 个主要步骤。

1.1 数据组织

根据土地生产潜力研究需要和可以获取的数据资料状况, 收集和整理数据, 建立若干数据库, 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、土壤属性数据库、农业统计数据), 并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, 以便下一步进行数据处理。

1.2 数据处理

将前面组织的数据做“空间数据与属性数据匹配”, “空间数据叠加”, “属性数据插值”等处理, 获得以县级行政区划为空间单位的“空间与属性一体化数据库”, 包括光照、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; 这是进行土地生产潜力计算的关键。

1.3 潜力计算

以“分县空间与属性一体化数据库”为基础, 根据“机制法”的原理与模型, 按照“光、温、水、土”逐级衰减的过程, 计算生产潜力。本文主要在“土壤有效系数 $f(S)$ ”的计算方法与模型方面进行了较多的探讨, 尝试了科学适用的计算方法与定量模型。

1.4 潜力分析

对以上所计算得分县土地生产潜力进行分区统计、分级统计,并以县级行政区划为载体,应用 GIS 特有的表现形式进行分级制图,由此来分析全国土地生产潜力的数值分布和空间分布特征,以便为今后的粮食生产规划决策服务。

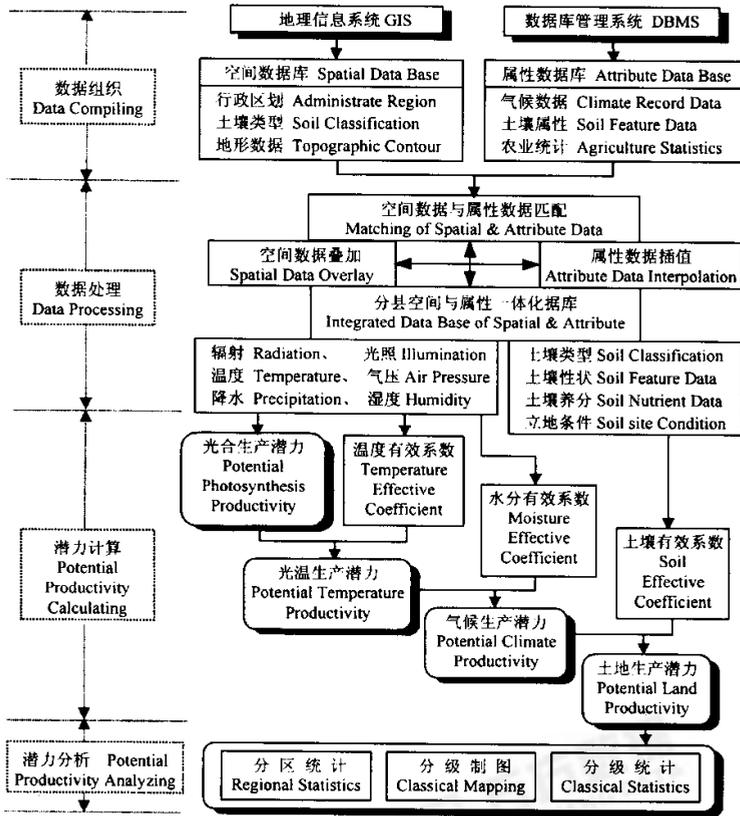


图 1 基于 GIS 的土地生产潜力研究方法流程

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

2 土地生产潜力计算过程

土地生产潜力,是在气候生产潜力(YW)基础上,经土壤有效系数 f(S)“衰减”后形成的,所以,必须首先计算气候生产潜力和土壤有效系数。其中,气候生产潜力的计算方法和模型是比较成熟的,国外常用的有迈阿密模型、蒙特利尔模型、瓦赫宁根模型、生态区域模型等;本文所应用的是国内学者提出、并在我国广泛应用的计算模型。

(1) 光合生产潜力^[3]

$$Y_Q = 0.92Q \tag{2}$$

式中, Y_Q: 年光合生产潜力(kg / hm² · a); Q: 到达地面的太阳年总辐射(×4.186J / cm² · a)。

(2) 温度有效系数^[10]

$$f(T) = N/365 \tag{3}$$

式中, f(T): 温度有效系数; N: 无霜期(d)。

(3) 水分有效系数^[10]

$$f(W) = P/E_0 \tag{4}$$

式中, P :月降水量(mm); E_0 :月蒸发量(mm)。

利用上述模型和分县空间与属性一体化数据库,便可获得全国分县气候生产潜力,随后的工作便是计算土壤有效系数和土地生产潜力。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^[9],因而,至今仍没有理想的关于全国土壤有效系数 $f(s)$ 的计算模型。本文采用层次分析法(AHP)计算全国分县土壤有效系数。

2.1 建立土壤有效性层次结构

以分县土壤类型区域为计算单元,选择影响土壤有效性的 12 种因子,并按其与土壤有效性的关系建立层次结构(图 2)。

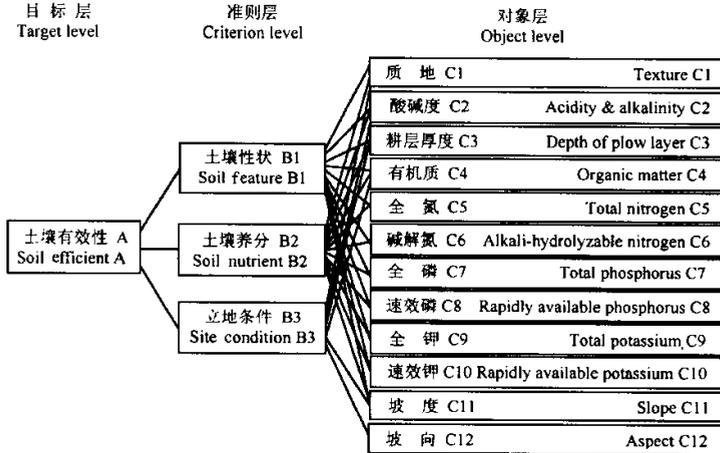


图 2 土壤有效性因子层次结构

Fig. 2 Hierarchical structure of soil efficient factors

2.2 构造因子重要性判断矩阵

判断矩阵表示针对上一层次中的某元素而言,评定该层次中各有关因子相对重要性的状况,如对于土壤有效性(A)、土壤性状(B1)和土壤养分(B2)的相对重要性;对于土壤养分(B2)、有机质(C4)与全氮(C5)的相对重要性等。依据相关原则,可分别构造 A-B 判断矩阵、B1-C 判断矩阵、B2-C 判断矩阵和 B3-C 判断矩阵,同时分别计算 4 个矩阵的特征根和特征向量,得到层次单排序,并分别检验判断矩阵的一致性。

2.3 计算因子重要性权重系数

综合上述 4 个矩阵的层次单排序结果,进行层次总排序和一致性检验,可得表 1 所列的因子权重总排序表,从而确定了 12 个土壤有效性因子的权重系数(W_i)。

2.4 确定各因子分级评分体系

根据各因子对农作物生长发育及产量形成的促进与制约作用,将各因子按其数值划分成一定数量的等级,并分别赋予不同的分数,便可获得土壤有效性因子分级评分体系。我国地域广阔、土壤类型繁多、利用方式各异,用统一的分级评分体系来概括全体是不够精确的,但鉴于本研究的宏观性,更注重总体分布与变化规律,因而,本文依据《中国土壤普查技术》^[18]中规定的、第二次全国土壤普查时使用的土壤要素分级标准进行分级,并参考《中国土壤》^[14]及其它研究成果进行评分,获得全国土壤有效性因子分级评分体系(表 2、表 3、表 4)。

2.5 计算土壤有效系数和土地生产潜力

经过上述工作,获得了确定土壤有效性的 12 个因子、各因子的权重系数 (W_{ij}) 及其分级评分 (A_{ij}) 体系,便可按下列模型计算分县土壤有效系数和土地生产潜力。

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

$$f(s) = (\sum_i f(s_i) \cdot A_{s_i}) / \sum_i A_{s_i} \quad (6)$$

$$Y_L = f(s) \cdot Y_w \quad (7)$$

式中, $f(s_i)$: 第 i 类土壤的有效系数; W_{ij} : 第 i 类土壤的第 j 种属性权重系数; A_{s_i} : 第 i 类土壤的分布面积; A_{ij} : 第 i 类土壤的第 j 种属性分级评分; Y_w : 气候生产潜力; $f(s)$: 某县的综合土壤有效系数; Y_L : 土地生产潜力。

3 土地生产潜力统计分析

将分县土地生产潜力进行分级统计(表 5)和分级制图。从土地生产潜力的数值分布(表 5)来看,我国 84.69% 的县市土地生产潜力在 3000~22500 kg / hm² · a 之间,其中 55.93% 的县市为 6000~18000 kg / hm² · a; 另有 7.07% 的县市土地生产潜力大于 22500 kg / hm² · a, 只有 6.24% 的县市小于 3000 kg / hm² · a。而 1994 年我国的现实粮食生产水平是: 64.93% 的县市为 3000~6000 kg / hm² · a, 只有 10.18% 的县市大于 6000 kg / hm² · a, 23.32% 的县市低于 3000 kg / hm² · a。可见,我国粮食生产的潜力还是巨大的。从土地生产潜力的空间分布(分级制图)来看: 淮河~秦岭~大巴山

表 1 土壤有效性因子权重总排序

Table 1 Final result of weighting coefficient about soil efficient factors

A~C	W_{B1}	W_{B2}	W_{B3}	W_i
C1	0.299	0.019	0.108	0.1027
C2	0.226	0.024	0.047	0.0779
C3	0.238	0.000	0.065	0.0685
C4	0.085	0.370	0.032	0.2460
C5	0.042	0.081	0.000	0.0586
C6	0.000	0.127	0.000	0.0754
C7	0.034	0.060	0.000	0.0441
C8	0.000	0.130	0.000	0.0772
C9	0.028	0.049	0.000	0.0361
C10	0.000	0.120	0.000	0.0713
C11	0.048	0.019	0.451	0.0940
C12	0.000	0.000	0.297	0.0466
参数	$CI=0.1103$	$RI=1.4249$	$CR=0.0774$	

表 2 土壤性状分级评分体系

Table 2 Classification and evaluation system of soil features

分级 Grade	土壤质地(国际) Soil texture (International)	pH 值 pH value	耕层厚度(cm) Depth of plow layer	评分 Score
1	L	6.5~7.5	≥20	1.0
2	LS,SL	5.5~6.5	16~20	0.9
3	LC,CL	7.5~8.5	12~16	0.7
4	SLC,SCL	4.5~5.5	8~12	0.6
5	SC,C	8.5~9.0	4~8	0.5
6	S	<4.5, ≥9.0	<4	0.4

* S 表示砂质 Sandy, L 表示壤质 Loamy, C 表示粘质 Clay

表 3 土壤养分分级评分体系

Table 3 Classification and evaluation system of soil nutrition

分级 Grade	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total nitrogen (g/kg)	全磷 Total phosphorus (g/kg)	全钾 Total potassium (g/kg)	碱解氮 Alkali- hydrolyzable nitrogen(mg/kg)	速效磷 Rapidly available phosphorus (mg/kg)	速效钾 Rapidly available potassium (mg/kg)	评分 Score
1	≥40	≥2.0	≥2.0	≥30	≥150	≥40	≥200	1.0
2	30~40	1.5~2.0	1.5~2.0	20~30	120~150	20~40	150~200	0.9
3	20~30	1.0~1.5	1.0~1.5	15~20	90~120	10~20	100~150	0.8
4	10~20	0.75~1.0	0.7~1.0	10~15	60~90	5~10	50~100	0.7
5	6~10	0.5~0.75	0.4~0.7	5~10	30~60	3~5	30~50	0.6
6	<6	<0.5	<0.4	<5	<30	<3	<30	0.4

~横断山脉一线,基本上是 12000 kg / hm² · a 的潜力线;该线以南、以东的广大地区,土地生产潜力在 12000 kg / hm² · a 以上,其中南岭以南的多数县市在 22500 kg / hm² · a 以上;而该线以北、以西的地区,土地生产潜力在 12000 kg / hm² · a 以下,其中大兴安岭及长城沿线以东的黄淮海地区和东北地区在 6000~12000 kg / hm² · a 之间,内蒙及长城沿线区、北疆地区和青藏高原东南边缘在 2250~6000 kg / hm² · a 之间,而青藏高原大部、南疆地区、甘西及蒙西地区则在 2250 kg / hm² · a 以下。

4 结论与讨论

本文通过基于 GIS 的中国土地生产潜力研究,可以得出以下结论:(1)借助地理信息系统(GIS)来研究土地生产潜力,可以综合全面地考虑影响土地生产潜力的各种自然资源因素,并能够非常快速有效地进行计算和分析。(2)在前人研究的基础上,本文探讨了计算土壤有效系数与土地生产潜力的途径与模型,并具体计算了全国分县土地生产潜力。(3)计算表明:我国 84.69% 的县市土地生产潜力在 $3000 \sim 22500 \text{ kg} / \text{hm}^2 \cdot \text{a}$ 之间,其中 55.93% 的县市为 $6000 \sim 18000 \text{ kg} / \text{hm}^2 \cdot \text{a}$;较现实生产水平有巨大潜力。

需要说明的是:(1)本文的土地生产潜力是依据光、温、水、土等自然因素计算的,并没有涉及农业生产条件与措施;如果在土地生产潜力的基础上,进一步考虑灌溉、化肥、农业机械等社会经济要素,则可获得更具体的粮食生产潜力,这将在另一篇文章中进行深入探讨。(2)本文在计算土壤有效系数过程中,全国使用统一的有效性因子和分级评分体系,忽略了土壤的地域差异和类型差异;这对于全国性的宏观研究是可以的,如果是进行区域性研究,则需要更详尽、更精确地进行计算。(3)虽然存在上述两方面的问题,但是本文土地生产潜力的计算结果,基本上反映了我国粮食生产潜力的总体状况,可以为我国制定粮食生产发展战略提供科学依据。

参考文献

- [1] Loomis R S and Williams W A. Maximum crop productivity: An estimate. *Crop Science*, 1963, 3(1): 67~72.
- [2] 竺可桢. 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系. 见: 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979. 455~465.
- [3] 黄秉维. 中国农业生产潜力——光合潜力. 见: 地理集刊(17). 北京: 科学出版社, 1985. 15~22.
- [4] 田国良. 呼伦贝尔草原的太阳光辐射能和光合潜力. 地理学报, 1980, 35(1): 76~82.
- [5] 于沪宁. 光热资源和农作物的光热生产潜力. 气象学报, 1982, 40(3): 321~327.
- [6] 赵名茶. 作物可利用的光能——对光合潜力公式的检验和探讨. 见: 地理集刊(17). 北京: 科学出版社, 1985. 35~48.
- [7] 李世奎. 中国农业气候资源和农业气候区划. 北京: 科学出版社, 1988. 124~144.
- [8] 石玉林, 陈百明. 中国土地资源生产能力及人口承载量研究. 北京: 中国人民大学出版社, 1991.
- [9] 聂庆华. 耕地生产潜力计算中土壤效应系数的评估. 中国科学院西北水土保持研究所集刊(16), 1992. 55~60.
- [10] 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.
- [11] 吴连海. 土地的人口承载潜力研究中作物生产力估算方法评价. 中国农业气象, 1992, (1): 26~27.
- [12] 王宏广. 中国粮食问题、潜力、道路、效益. 北京: 农业出版社, 1993.
- [13] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术. 北京: 农业出版社, 1992.
- [14] 熊毅, 李庆远. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1987.
- [15] 全国土壤普查办公室. 中国土种志. 北京: 农业出版社, 1993~1995.

万方数据

表 4 立地条件分级评分体系

Table 4 Classification and evaluation system of soil site conditions

分级 Grade	坡度 Slope	评分 Score	坡向 Aspect	评分 Score
1	≤ 3	1.0	缓坡 Flat	1.0
2	3 ~ 7	0.9	南坡 South	0.9
3	7 ~ 15	0.8	东南 ^① 、西南坡 ^②	0.8
4	15 ~ 25	0.6	东北 ^③ 、西北坡 ^④	0.7
5	25 ~ 35	0.4	北坡 North	0.6
6	> 35	0.1		

①Southeast; ②Southwest; ③Northeast; ④Northwest.

表 5 中国土地生产潜力分级统计($\text{kg} / \text{hm}^2 \cdot \text{a}$)

Table 5 Classification statistics of potential land productivity in China

潜力分级 Classification of potential productivity	县市个数 Number of county	百分比 (%) Percentage	累积百分比 (%) Accumulative percentage	累积 百分比 (%)
≥ 22500	171	7.07	100.00	7.07
22500~18000	456	18.85	92.93	25.92
18000~12000	613	25.34	74.08	51.26
12000~6000	740	30.59	48.74	81.85
6000~3000	288	11.91	18.15	93.76
< 3000	151	6.24	6.24	100.00