

基于 GIS 的县域小麦自然生产潜力评价系统

张浩¹, 席磊¹, 许鑫¹, 高瑞¹, 马新明^{1,2*}, 尹钧³

(1. 河南农业大学信息与管理科学学院, 郑州 450002; 2. 河南农业大学农学院, 郑州 450002;
3. 国家小麦工程技术研究中心, 郑州 450002)

摘 要: 为对县域小麦生产管理和潜力挖掘提供技术支撑和辅助决策, 该文在小麦自然生产潜力评价流程的基础上, 收集和整理了河南省 8 个县域的属性数据(气象、土壤和小麦资源数据)和空间数据, 创建空间-属性一体化数据库, 利用 UML2.0、SQL Server 2000 和 SuperMap GIS 2008 组件技术设计实现了基于 GIS 的小麦自然生产潜力评价系统, 系统应用基于“经验-统计法”的光、温、水、土逐级衰减机制模型, 定量计算了河南省 8 个县域的小麦自然生产潜力, 通过分类统计和分级制图, 分析了县域小麦自然生产潜力的空间分布规律。研究结果表明, 光合、温度、水分和土壤生产潜力空间分布规律依次为: 根据纬度的增加而减少, 豫西>豫南>豫东南>豫北>豫中, 豫南>豫东南>豫西>豫中>豫北, 豫南>豫中>豫北>豫东南>豫西; 小麦自然生产潜力的关键因子影响大小为土壤>温度>水分, 小麦自然生产潜力相对可挖掘空间大小为水分>温度>土壤。该系统具有普适性强、独立性好等特点, 为县域小麦生产管理和潜力挖掘提供技术支撑和辅助决策。

关键词: GIS, 生产力, 作物, UML, 自然生产潜力评价, 小麦, 县域尺度

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.035

中图分类号: S126

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0198-08

张浩, 席磊, 许鑫, 等. 基于 GIS 的县域小麦自然生产潜力评价系统[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 198—205.
Zhang Hao, Xi Lei, Xu Xin, et al. Evaluation system of wheat natural potential productivity at county scale based on GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 198—205. (in Chinese with English abstract)

0 引言

作物生产系统受自然和社会等多种因素影响。研究作物生产潜力的空间分析与评价, 是农业生产区域化和因地制宜发展生产的基础, 也是确定高效农业投资方向和商品粮基地建设的依据^[1-2]。

20 世纪 70 年代至今, 随着“3S”技术的发展, 广大学者借助于 GIS 平台开创性地研究了基于空间分布的作物生产潜力^[3-6], 并开发了基于 GIS 的区域作物生产潜力评价系统^[7-8]。冷疏影^[9]研究了 GIS 支持下的中国农业生产潜力流程。周治国、曹卫星和陈长青等^[10-11]研究了 GIS 在作物生长模型中的应用。随着作物自然生产潜力评价模型的研究、软件开发和 GIS 组件技术的发展, 以 GIS 组件技术为主导的软件开发方法广泛应用到各类农业生产管理软件系统中。基于此, 本文利用 UML、GIS 组件和网络数据库等技术构建接口层次明确、扩展性强的小麦自然生产潜力评价模型系统, 利用 C#、SuperMap

GIS 2008 和 SQL Server 2000 等技术在 Windows 平台上构建“基于 GIS 的县域小麦自然生产潜力评价系统”, 为县域小麦生产管理和潜力挖掘提供技术支撑和辅助决策。

1 研究区概况

河南位于东经 110°21'~116°39'与北纬 31°23'~36°22'之间, 属于黄河中下游地区。地处中国暖温带与北亚热带两个生物气候带的过渡地区, 气温、雨量由北向南呈递增趋势。

根据河南省地理位置及生态气候类型的不同, 研究拟在该省由北向南选择安阳、新乡、郑州、许昌、西平、信阳、洛阳和三门峡 8 个具有代表性的县域作为生态试验区, 研究小麦自然生产潜力规律。

2 材料来源与研究方法

2.1 材料来源

研究资料包括各县域的气象资料、土壤资料和小麦实际产量资料。气象资料包括日平均温度、日最高温度、日最低温度、日降雨量和日照时数, 由河南省气象局提供。土壤资料包括土壤质地类型和土壤养分等, 由各县域提供和《河南土壤地理》^[12]整理所得。小麦实际产量数据来源于 1997—2002 年河南省统计年鉴。

2.2 研究方法

本研究遵循软件工程规范, 根据小麦自然生产潜力评价流程和潜力计算模型, 以县域为单位, 收集整理 1996—

收稿日期: 2009-02-06 修订日期: 2009-11-01

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BAD02A0 7-4)

作者简介: 张浩(1980—), 男, 河南邓州人, 主要从事地理信息系统与数据挖掘技术研究。郑州 河南农业大学信息与管理科学学院, 450002。

Email: zhanghaohnd@126.com

*通信作者: 马新明(1963—), 男, 河南许昌人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事精准农业与信息技术研究。郑州 河南农业大学信息与管理科学学院, 450002。Email: xinmingma@126.com

2001 年 8 个县域的属性数据和地理空间数据, 创建空间-属性一体化数据库, 确定系统功能, 构建系统软件架构, 按照高内聚、低耦合的原则确立系统层次结构, 利用 UML 建模工具分析设计评价模型接口, 在 GIS 平台上实现对各县域小麦自然生产潜力的空间分析与评价。

2.2.1 小麦自然生产潜力评价流程

基于地理信息系统的小麦自然生产潜力评价流程包括数据收集与整理、数据模型建立、潜力计算和潜力分析, 其流程如图 1 所示。

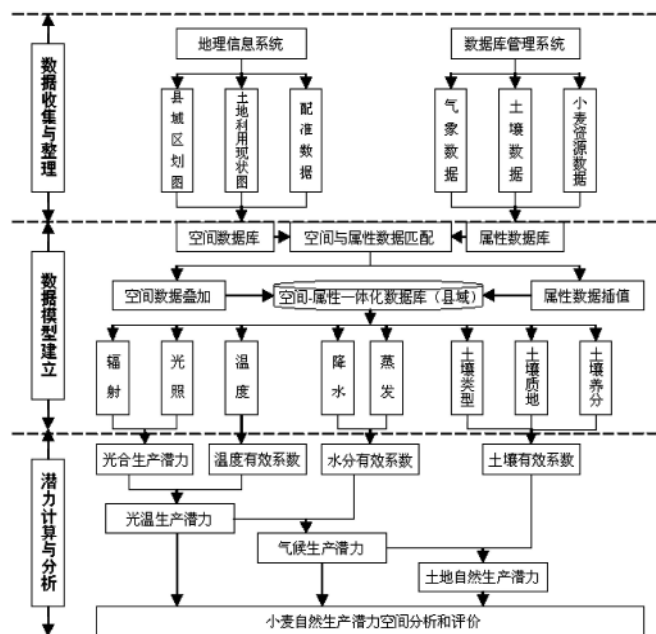


图 1 基于 GIS 的小麦自然生产潜力评价流程

Fig.1 Evaluation flow of wheat natural potential productivity based on GIS

2.2.2 小麦自然生产潜力模型

本文中的作物自然生产潜力计算方法采用目前较为常用的“经验-统计法”^[13-14], 包括光合生产潜力、光温生产潜力、气候生产潜力和土壤生产潜力等 4 级模型。

1) 光合生产潜力模型 根据黄秉维^[15]文献, 在光合生产潜力模型中, 将单位面积可接受的太阳辐射能作为实际收入, 并考虑田间反射、漏射和能量转化等消耗之后, 形成 1 kg 干物质所消耗的能量折合计算得到的可能光合产量 $f(\theta)$ 。其表达式为

$$f(\theta) = \sum \theta \cdot \varepsilon \cdot a \cdot (1-b) \cdot (1-r) \cdot \Phi \cdot (1-c) \cdot (1-x)^{-1} \cdot H^{-1} \quad (1)$$

式中: $\sum \theta$ ——投射到单位面积上的太阳总辐射量, J/m^2 ; ε ——光合有效辐射占总辐射的比率, 一般取 0.49; a ——作物群体对光合有效辐射的吸收率, 取值为 0.65; b ——非光合器官的无效吸收率, 通常取 0.1; r ——光饱和和限制率, 在自然条件下可忽略不计, $r=0$; Φ ——光的量子效率 0.224; c ——呼吸作用的耗损率, 取 0.3; x ——有机物中的含水率, 小麦的含水率取 0.125; H ——形成 1 kg 干物质所需的热量, 取 $1.78 \times 10^7 \text{ J/kg}$ 。

2) 光温生产潜力模型 光温生产潜力是在作物产量

$f(\theta)$ 基础上考虑温度的作用, 其表达式为

$$f(\theta, t) = f(t) \cdot f(\theta) \quad (2)$$

式中: $f(\theta, t)$ ——光温生产潜力; $f(t)$ ——温度订正函数。

对于小麦的温度订正函数, 邓根云^[16]等采用如下经验公式

$$f(t) = e^{p \cdot (t-t_0)/10} \quad (3)$$

式中: t_0 ——最适温度 (20°C); t ——实际温度; p ——参数, 当 $t \leq t_0$ 时, $p=-1$; 当 $t > t_0$ 时, $p=-2$ 。

3) 气候生产潜力模型 气候生产潜力是在光温潜力的基础上考虑水分的作用所得, 其表达式为

$$f(\theta, t, w) = f(w) \cdot f(t, \theta) = f(w) \cdot f(t) \cdot f(\theta) \quad (4)$$

式中 $f(w)$ ——水分订正函数。耕地有水田与旱地之分, 本地区绝大部分耕地为旱地。对于旱地, 本文选择龙斯玉^[17]的水分影响系数公式

$$f(w) = \begin{cases} H_0 / E_0 & (H_0 \leq E_0) \\ (1 - (H_0 - E_0)) / 3E_0 & (E_0 < H_0 < 4E_0) \\ 0 & (H_0 \geq 4E_0) \end{cases} \quad (5)$$

式中: H_0 ——月均降水量, mm ; E_0 ——月均蒸发量, mm 。

4) 土壤生产潜力模型 土地生产潜力是由气候生产潜力与土壤有效系数 $f(s)$ 校正后得到, 如下式

$$f(\theta, t, w, s) = f(s) \cdot f(\theta, t, w) \quad (6)$$

式中 $f(s)$ ——土壤有效系数, 与土壤质地密切相关。根据相关文献^[18-19]计算河南省 8 个县域的土壤质地与土壤有效系数关系, 如表 1 所示。

表 1 河南省 8 个县域主要土壤类型、土壤质地与土壤有效系数

Table 1 Main soil type, texture and effective coefficient at eight counties of Henan Province

县域	主要土壤类型	主要土壤质地	土壤有效系数
安阳	潮土、褐土	砂壤质、黏壤质	0.82
新乡	潮土、褐土	砂壤质、黏壤质	0.87
郑州	褐土、潮土	黏壤质、砂壤质	0.76
许昌	褐土、潮土	黏壤质、砂壤质	0.79
西平	黄褐土、潮土、砂姜黑土	黏壤质、壤砂质、砂黏质	0.65
信阳	水稻土、黄褐土	壤黏质、黏壤质	0.72
洛阳	褐土、红黏土	黏壤质、黏质	0.67
三门峡	褐土、红黏土	黏壤质、黏质	0.67

3 系统设计

3.1 软件体系架构

系统由信息管理子系统、信息分析与评价子系统和信息发布系统构成。系统的实现将采用 Client/GIS Server/DBMS 和 Browser/GIS Server/DBMS 两种模式。在数据库基础平台统一的数据库接口系统控制下, 通过 SuperMap SDX+MS SQL Server 2000 实现数据存储; 利用 C#和 SuperMap Objects 组件完成系统开发。软件体系结构如图 2 所示。

基础地理信息系统平台采用 SuperMap GIS 2008。基于该平台,调用 GIS 组件实现空间数据和属性数据操作,并对小麦自然生产潜力进行空间分析与评价。

分析评价平台中,底层由各类数据库组成,包括空间数据库、属性数据库和模型数据库;业务层由元数据管理组件、GIS 应用组件、数据分析组件、潜力计算组件和专题分析模型组件构成。在评价体系标准与规范的指导下,应用元数据管理组件对各类元数据进行基本操作,应用 GIS 组件实现对空间数据的各类操作,应用数据分析组件实现对小麦资源的分析,应用潜力计算组件计算小麦各类生产潜力,应用专题分析模型组件制作各类资源单值专题图和多值专题图,并进行专题分析与评价。

客户端由省级管理中心和县域管理中心组成,省级管理中心节点负责系统数据管理和数据分析与评价,县域管理中心负责县域数据更新及信息浏览。

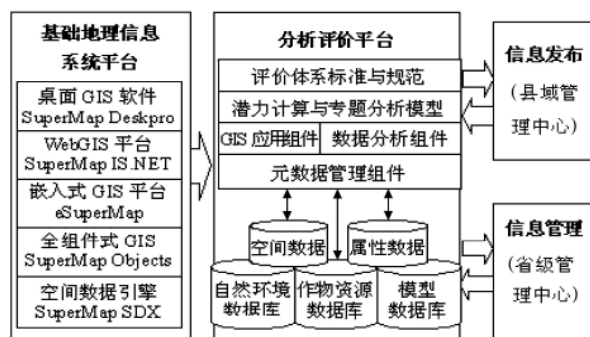


图2 软件体系结构
Fig.2 Software architecture

3.2 系统功能结构

本系统功能包括数据管理、模型汇总、评价模型管理、潜力计算与专题分析、综合分析与评价、优势区域分布评价、地图操作与信息发布和系统管理等 8 个模块。

1) 数据管理 实现对空间和属性数据的管理。

2) 模型汇总 以模型字典为标准,集成各类小麦自然生产潜力评价模型,以便于对各类模型进行管理和对比分析。

3) 评价模型管理 包括评价规则管理和模型参数调整。

4) 潜力计算与专题分析 包括光合、光温、气候和土壤潜力计算与分析评价,实现对光温水土等单值因素的专题分析评价。

5) 综合分析与评价 综合多种因素对小麦自然生产潜力进行评价,包括区域分析与评价和年际分析与评价。通过综合分析评价找出影响小麦自然生产的关键因子,为小麦生产提供理论依据。

6) 优势区域分布评价 包括小麦自然生产的绝对潜力分析、相对潜力分析、潜力系数分析和潜力总量分析,为小麦生产优势区域划分提供决策依据。

7) 地图操作与信息发布 实现工作空间管理、地图浏览(放大、缩小、漫游)和地图查询(图查属性、属

性查图、SQL 查询),并以各类专题图的形式发布各类单值、多值专题分析结果。

8) 系统管理 实现数据备份与恢复、用户权限管理和系统帮助等。

3.3 小麦自然生产潜力模型接口设计

根据逐级衰减模型的特点,利用面向对象技术可将小麦自然生产潜力模型设计为 4 个模型接口,包括光合潜力接口、光温生产潜力接口、气候生产潜力接口和土壤生产潜力接口。小麦自然生产潜力类主要包括光合潜力类、光温潜力类、气候潜力类和土壤潜力类,其中的属性为模型信息和模型参数,可通过类中的 set 和 get 方法对模型参数进行读写操作,以便于根据实际情况调整参数值。光合潜力类实现光温潜力接口,光温潜力类实现光温潜力接口,气候潜力类实现气候潜力接口,土壤潜力类实现土壤潜力接口,土壤潜力类与土壤养分和土壤地质类关联。小麦自然生产潜力模型接口设计如图 3 所示。

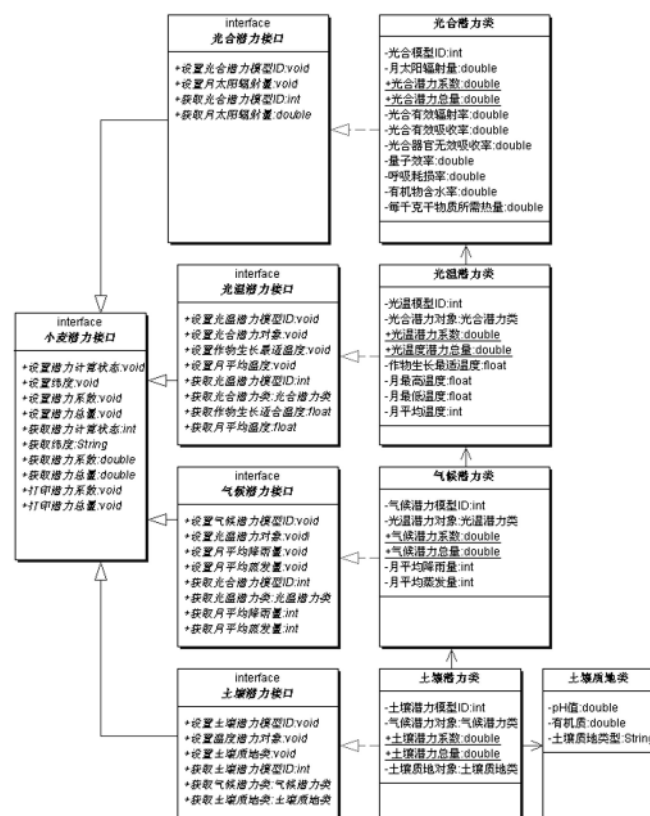


图3 小麦自然生产潜力模型接口与类设计

Fig.3 wheat natural potential model interfaces and classes

3.4 数据库设计

数据库逻辑设计是对数据库表之间关系的设计,是系统实现的关键^[20]。运用 UML 面向对象设计工具,采用 E-R 模型设计系统数据库。系统数据库分为空间数据库、属性数据库和模型数据库。空间数据库包括土地利用现状图、县域区划图以及配准数据;属性数据库包括自然资源数据库和小麦资源数据库,自然资源数据库包括光合潜力数据、光温潜力数据、气候潜力数据等气象潜力

数据库和土壤潜力数据库; 根据评价模型建立模型数据库, 包括光合潜力模型数据、光温潜力模型数据、气候潜力模型数据和土壤潜力模型数据。

4 系统潜力分析评价

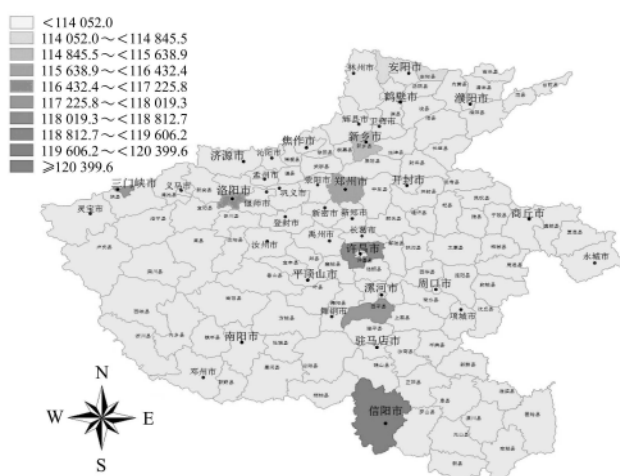
4.1 系统运行

系统可以选择不同地区、不同年份和月份, 通过数据库导入各月份数据, 根据选择不同的评价模型定量计算出相应的光合潜力、光温潜力、气候潜力和土壤潜力后, 将潜力计算结果保存到数据库, 并可以浏览分析结果。如本研究所选县域的小麦潜力计算界面如图 4 所示, 潜力专题分析界面如图 5 所示。

图 4 潜力计算界面

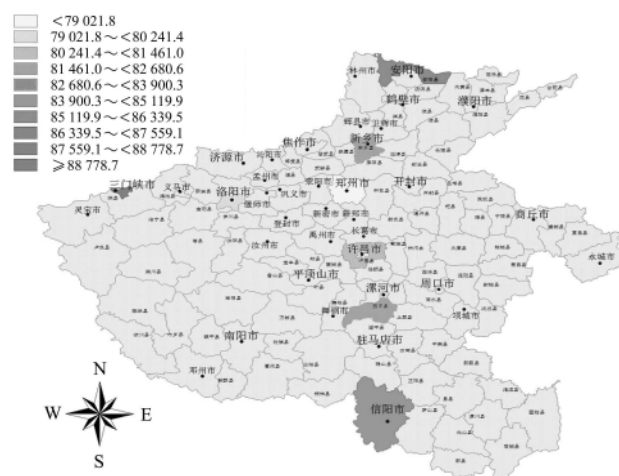
Fig.4 Potentiality calculation interface

光合潜力值/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)



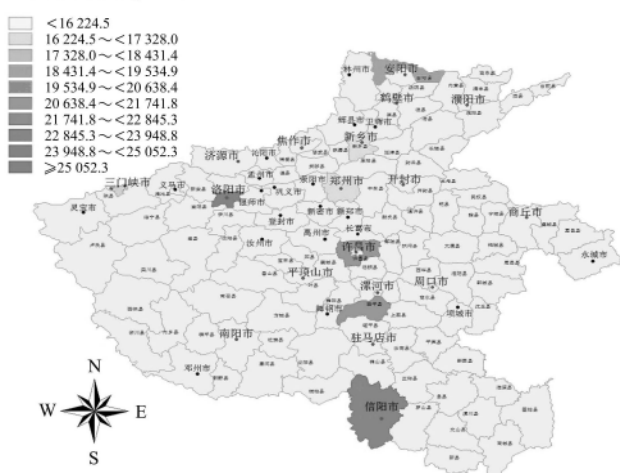
a. 光合潜力专题分析

光温潜力值/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)



b. 光温潜力专题分析

气候潜力值/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)



c. 气候潜力专题分析

土壤潜力值/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)



d. 土壤潜力专题分析

图 5 潜力专题分析界面

Fig.5 Thematic analysis interfaces of potential productivity

4.2 潜力分析评价

本文以豫北、豫中、豫东南、豫南、豫西为范围划分, 计算了 8 个县域生态试验点的小麦自然生产潜力, 表 2~6 列出了 1996—2001 年各区域生态试验点的小麦

光合 (SRC)、光温 (TC)、气候 (WC) 和土壤 (SC) 生产潜力。各生态区域的小麦光合、光温、气候和土壤生产潜力分别在 $110\ 421.990 \sim 122\ 720.490\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $67\ 617.780 \sim 104\ 923.200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $6\ 218.384 \sim 46\ 838.655\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 和

4 509.939~33 723.832 kg/hm²之间; 平均光合 (*ASRC*)、平均光温 (*ATC*)、平均气候 (*AWC*) 和平均土壤生产潜力 (*ASC*) 依次为 117 014.531、83 043.794、19 740.841 和 12 303.666 kg/hm²。据 1996—2001 年河南统计年鉴, 河南省小麦实际产量 (*AO*) 为 3 068~7 454 kg/hm², 因此平均土壤生产潜力 (*ASC*) 是该统计产量的 *ASC/AO* 倍, 即 1.65~4.01 倍, 表明各试验点的小麦生产潜力还有较大的挖掘空间。

光合潜力与太阳辐射和纬度有关, 其空间分布规律为根据纬度的增加而减少。光温潜力空间分布为: 豫西>豫南>豫北>豫东南>豫中。气候潜力空间分布为: 豫南>豫东南>豫西>豫中>豫北。土壤潜力空间分布为: 豫南>豫中>豫北>豫东南>豫西。

表 2 豫北地区小麦自然生产潜力
Table 2 Wheat natural potentiality capacity in north of Henan Province

kg · hm ⁻²					
县域	年份	光合潜力	光温潜力	气候潜力	土壤潜力
安阳	1996	115 116.585	81 931.575	11 767.400	9 649.268
	1997	113 913.180	87 090.525	10 524.719	8 630.270
	1998	114 918.225	90 902.430	39 027.705	32 002.718
	1999	110 421.990	71 894.130	10 807.907	8 862.484
	2000	116 439.000	87 555.765	13 393.025	10 982.281
	2001	113 503.230	98 164.380	26 664.780	21 865.120
新乡	1996	113 556.135	67 617.780	8 734.062	7 598.634
	1997	117 510.165	89 081.025	9 142.655	7 954.110
	1998	114 772.755	90 169.065	34 824.210	30 297.063
	1999	115 354.620	74 980.725	13 760.504	11 971.638
	2000	116 253.870	88 471.305	13 781.726	11 990.102
	2001	113 542.905	85 493.700	17 315.370	15 064.372
最小值		110 421.990	67 617.780	8 734.062	7 598.634
最大值		117 510.165	98 164.380	39 027.705	32 002.718
平均值		114 608.555	84 446.034	17 478.672	14 739.005

表 3 豫中地区小麦自然生产潜力
Table 3 Wheat natural potentiality capacity in center of Henan Province

kg · hm ⁻²					
县域	年份	光合潜力	光温潜力	气候潜力	土壤潜力
郑州	1996	115 989.375	68 232.675	9 630.782	7 319.394
	1997	117 272.130	74 673.180	15 876.300	12 065.988
	1998	117 734.970	79 136.655	33 851.685	25 727.281
	1999	113 741.265	76 077.975	13 048.461	9 916.830
	2000	111 942.780	86 156.475	16 683.945	12 679.798
	2001	117 470.490	89 853.675	8 959.250	6 809.030
许昌	1996	119 784.720	71 091.720	19 211.520	15 177.101
	1997	119 176.410	74 306.595	25 962.045	20 510.016
	1998	117 655.620	77 578.650	22 204.575	17 541.614
	1999	119 480.565	79 557.405	28 634.115	22 620.951
	2000	116 134.845	89 823.795	28 166.745	22 251.729
	2001	119 493.795	90 028.245	6 218.384	4 912.523
最小值		111 942.780	68 232.675	6 218.384	4 912.523
最大值		119 784.720	90 028.245	33 851.685	25 727.281
平均值		117 156.414	79 709.754	19 037.317	14 794.355

表 4 豫东南地区小麦自然生产潜力
Table 4 Wheat natural potentiality capacity in southeast of Henan Province

kg · hm ⁻²					
县域	年份	光合潜力	光温潜力	气候潜力	土壤潜力
西平	1996	116 558.025	69 857.130	23 181.315	15 067.855
	1997	119 586.360	76 658.190	15 396.075	10 007.449
	1998	114 402.480	77 193.345	30 858.000	20 057.700
	1999	117 483.720	80 190.105	35 145.285	22 844.435
	2000	120 763.320	95 729.280	6 938.367	4 509.939
	2001	117 338.250	90 662.040	16 188.345	10 522.424
最小值		114 402.480	69 857.130	6 938.367	4 509.939
最大值		120 763.320	95 729.280	35 145.285	22 844.435
平均值		117 688.693	81 715.015	21 284.565	13 834.967

表 5 豫南地区小麦自然生产潜力
Table 5 Wheat natural potentiality capacity in south of Henan Province

kg · hm ⁻²					
县域	年份	光合潜力	光温潜力	气候潜力	土壤潜力
信阳	1996	121 755.120	77 425.665	23 875.305	17 190.220
	1997	122 720.490	83 003.010	23 630.880	17 014.234
	1998	118 806.135	84 965.955	23 233.125	16 727.850
	1999	117 959.790	84 593.565	46 838.655	33 723.832
	2000	120 459.150	96 161.190	13 493.838	9 715.563
	2001	120 697.185	81 485.475	11 436.072	8 233.972
最小值		117 959.790	77 425.665	11 436.072	8 233.972
最大值		122 720.490	96 161.190	46 838.655	33 723.832
平均值		120 399.645	84 605.810	23 751.313	17 100.945

表 6 豫西地区小麦自然生产潜力
Table 6 Wheat natural potentiality capacity in west of Henan Province

kg · hm ⁻²					
县域	年份	光合潜力	光温潜力	气候潜力	土壤潜力
洛阳	1996	118 065.585	68 567.175	17 505.630	11 728.772
	1997	112 564.320	68 855.295	14 233.970	9 536.760
	1998	115 473.645	92 196.555	25 398.045	17 016.690
	1999	118 700.340	79 591.305	33 037.065	22 134.834
	2000	117 457.260	90 287.775	35 086.590	23 508.015
	2001	117 867.210	86 137.230	16 544.940	11 085.110
三门峡	1996	118 541.640	84 099.060	17 869.875	11 972.816
	1997	119 454.120	89 656.500	12 647.384	8 473.747
	1998	117 920.115	93 033.750	20 547.000	13 766.490
	1999	115 724.895	75 372.195	18 870.120	12 642.980
	2000	114 904.995	85 587.690	13 068.248	8 755.726
	2001	120 313.695	104 923.200	14 344.358	9 610.720
最小值		112 564.320	68 567.175	12 647.384	8 473.747
最大值		120 313.695	104 923.200	35 086.590	23 508.015
平均值		117 248.985	84 858.978	19 929.435	13 352.722

从光温水土等单因子影响角度分析, 温度对光合潜力的绝对影响系数和相对影响系数为 *TC/SRC* 和 $(SRC-TC)/TC$, 水分对光温潜力的绝对影响系数和相对影响系数为 *WC/TC* 和 $(TC-WC)/WC$, 土壤对气候潜力的绝对影响系数和相对影响系数为 *SC/WC* 和 $(WC-SC)/SC$ 。影

响小麦生产潜力关键因子的高低与各因子绝对影响系数大小正相关；各因子可挖掘的相对空间大小与各因子绝对影响系数负相关，与各因子相对影响系数的大小正相关。表 7 列出了温度、水分和土壤对小麦自然生产潜力的绝对影响系数和相对影响系数。绝对影响系数排序为：土壤(0.734) > 温度(0.708) > 水分(0.247)，相对影响系数排序为：水分(3.110) > 温度(0.414) > 土壤(0.376)。因此，影响各县域小麦自然生产潜力的关键因素依次为土壤、温度、水分；影响各县域小麦自然生产潜力相对可挖掘空间大小的因素依次为水分、温度、土壤。

表 7 温度、水分和土壤对小麦自然生产潜力的影响系数

Table 7 Coefficient of temperature, moisture and soil on wheat natural potentiality capacity

县域范围	温度绝对影响系数	温度相对影响系数	水分绝对影响系数	水分相对影响系数	土壤绝对影响系数	土壤相对影响系数
豫北	0.737	0.357	0.202	3.950	0.850	0.176
豫中	0.681	0.468	0.241	3.149	0.780	0.282
豫东南	0.694	0.441	0.270	2.704	0.650	0.538
豫南	0.703	0.422	0.283	2.534	0.720	0.389
豫西	0.723	0.383	0.237	3.219	0.670	0.493
平均	0.708	0.414	0.247	3.110	0.734	0.376

5 结论与讨论

本系统采用了目前流行的 SuperMap Objects 2008 组件技术，实现了潜力计算评价模型与 GIS 平台的松散耦合，预留了评价模型接口，具有普适性和扩展性强等特点，已初步应用于河南省 8 个县域小麦生产管理。本系统可以扩展到各类农作物潜力的定量计算和定性评价，也可与测土配方施肥系统^[21]、粮食生产预警系统^[22]相结合，形成服务于农业生产、管理、销售等产前、产中和产后环节的综合农业软件体系。

系统利用小麦自然生产潜力模型，定量计算和分析了河南省 8 个县域小麦各级各类潜力及其空间分布规律。光合潜力空间分布规律为根据纬度的增加而减少；光温潜力空间分布规律为由豫西、豫南和豫北向豫东南、豫中地区递减；气候潜力空间分布规律为由豫南、豫东南和豫西向豫中、豫北递减；土壤潜力有较大挖掘空间，空间分布规律为由豫南、豫中、豫北向豫东南、豫西递减，但各级潜力递减梯度不明显。影响河南省 8 各县域生态试验点小麦自然生产可挖掘潜力的关键因素依次为土壤、温度和水分，影响相对可挖掘空间大小的因素依次为水分、温度和土壤，建议各县域大力加强农业灌溉基础设施建设和积极推进科学测土配方施肥工作，从水分利用和土壤改良上提高小麦产量。

本系统基于“经验-统计”法模型研究了河南省小麦自然生产潜力，由于没有涉及社会生产因素，因此小麦潜力定量计算结果和实际产量会有一定误差，今后将引入社会经济因素，使定量计算和定性分析的结果更加符合于实际情况。另外，本系统仅实现了从县域级到省域

级的小麦生产管理和潜力评价，为了实现村级、乡镇级、县市级和省级统一管理作物生产和潜力挖掘，科学系统规划作物生产优势区域，需要构建从乡村级到省级的分布式、一体化管理系统，为挖掘作物生产潜力和确定作物生产优势区域提供更好的技术平台和辅助决策。

[参 考 文 献]

- [1] 郑福贵, 刘晓冰. 作物产量潜力的 5P 理论及其研究范畴[J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, 17(3): 175—176, 179.
Zheng Fugui, Liu Xiaobing. 5P theory of crop yield potential and it's research domain[J]. System Sciences and Comprehensive Studies In Agriculture, 2001, 17(3): 175—176, 179. (in Chinese with English abstract)
- [2] 尹钧, 苗果园. 山西省小麦气候生产潜力的评价[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 1992, 12(3): 189—193.
Yin Jun, Miao Guoyuan. Evaluation of the meteorological potentiality of wheat production in Shanxi[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 1992, 12(3): 189—193. (in Chinese with English abstract)
- [3] 党安荣, 阎守邕, 吴宏歧, 等. 基于 GIS 的中国土地生产潜力研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 910—915.
Dang Anrong, Yan Shouyong, Wu Hongqi, et al. A GIS based study on the potential land productivity of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 910—915. (in Chinese with English abstract)
- [4] 白莉萍, 陈阜. 国内外作物生产潜力研究现状与评价[J]. 作物杂志, 2002, (1): 7—9.
Bai Liping, Chen Fu. Research status and evaluation of crop production potential at home and abroad[J]. Crops, 2002, (1): 7—9. (in Chinese with English abstract)
- [5] 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): 107.
Li Sanai, Ju Hui, Chi Baoliang. Reviews on crop potential productivity researches[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(2): 107. (in Chinese with English abstract)
- [6] 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.
Xu Chunda, Gao Xiaofei. Crop productivity potential model applied in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003, 17(6): 108—112. (in Chinese with English abstract)
- [7] 赵齐阳, 邓良基, 杨成建. 基于 GIS 的雅安市土地生产潜力研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2005, 42(4): 811—817.
Zhao Qiyang, Deng Liangji, Yang Chengjian. Study on the potential productivity of Yaan city in GIS environment[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2005, 42(4): 811—817. (in Chinese with English abstract)
- [8] 周治国, 孟亚利, 曹卫星. 基于知识模型和 GIS 的作物生产潜力评价[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1142—1147.
Zhou Zhiguo, Meng Yali, Cao Weixing. Knowledge model and GIS-based crop potential productivity evaluation[J].

- Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(6): 1142—1147. (in Chinese with English abstract)
- [9] 冷疏影. 地理信息系统支持下的中国农业生产潜力研究[J]. 自然资源学报, 1992, 7(1): 71—79.
Leng Shuying. GIS-based agriculture productivity potential research in China[J]. Journal of Natural Resources, 1992, 7(1): 71—79. (in Chinese with English abstract)
- [10] 周治国, 曹卫星, 王绍华, 等. 基于 GIS 的区域作物生产系统潜力分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 124—128.
Zhou Zhiguo, Cao Weixing, Wang Shaohua, et al. GIS-based potential productivity analysis of regional crop production system[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(1): 124—128. (in Chinese with English abstract)
- [11] 陈长青, 周治国, 卞新民. 基于 GIS 和专家系统的作物气候适应性评价系统分析和设计[J]. 农业系统科学与综合研究, 2006, 22(4): 315—318.
Chen Changqing, Zhou Zhiguo, Bian Xinmin. Analysis and design on crop climate adaptability evaluation system based on GIS and expert system[J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2006, 22(4): 315—318. (in Chinese with English abstract)
- [12] 魏克循. 河南土壤地理[M]. 河南: 河南科学技术出版社, 1995.
- [13] 马新明, 刘木森, 陈伟强, 等. 基于 GIS 的河南省小麦自然生产优势区域评价研究[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6): 104—107.
Ma Xinming, Liu Musen, Chen Weiqiang, et al. Estimation of dominant regions in wheat natural production using GIS[J]. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(6): 104—107. (in Chinese with English abstract)
- [14] 马新明, 熊淑萍, 赵鹏, 等. 河南省小麦、玉米自然生产潜力分析[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008: 33—38.
- [15] 黄秉维. 自然条件与作物生产—光合潜力[M]. 北京: 中国农业科学院情报所, 1978.
- [16] 华中农业大学气象教研室. 中国农业气候资源[EB/OL]. (2003-11-10)[2006-10-07]. <http://sky.hzau.edu.cn/BookPath/index.htm>.
- [17] 毛艳玲. 福建省沿海地区主要农作物生产潜力的估算[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2002, 31(2): 255—258.
Mao Yanling. Estimation of Potential Productivities of Main Crops in the Coastal Area of Fujian Province[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2002, 31(2): 255—258. (in Chinese with English abstract)
- [18] 邵晓梅, 刘春玲. 鲁西北地区农业土地资源生产潜力估算[J]. 中国农业气象, 2004, 25(4): 5—10.
Shao Xiaomei, Liu Chunling. A Study on the Agricultural Potential Land Productivity in the Northwestern Shandong[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2004, 25(4): 5—10. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王洪波, 许皞, 霍习良, 等. 农用土地分等定级中土壤有效系数的求算方法及应用[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(4): 53—56.
Wang Hongbo, Xu Hao, Huo Xiliang, et al. A study on the calculating method of the soil effective coefficient in the alluvial plain[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2002, 25(4): 53—56. (in Chinese with English abstract)
- [20] 萨师煊, 王珊. 数据库系统概论(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [21] 张浩, 李福超, 马新明, 等. 基于 GIS 的县域小麦测土配方施肥系统设计与实现[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(5): 566—569.
Zhang Hao, Li Fuchao, Ma Xinming, et al. Design and realization of GIS-based county testing soil for wheat formulated fertilization system[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2008, 42(5): 566—569. (in Chinese with English abstract)
- [22] 虎晓红, 马新明, 席磊. 粮食本底安全预警系统的设计及实现[J]. 曲阜师范大学学报: 自然科学版, 2006, 32(4): 118—120.
Hu XiaoHong, Ma Xinming, Xi Lei. The design and implement of early warning system on grain surrounding[J]. Journal of Qufu Normal University: Natural Science, 2006, 32(4): 118—120. (in Chinese with English abstract)

Evaluation system of wheat natural potential productivity at county scale based on GIS

Zhang Hao¹, Xi Lei¹, Xu Xin¹, Gao Rui¹, Ma Xinming^{1,2*}, Yin Jun³

(1. College of Information and Management Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 3. National Engineering Research Center of Wheat, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To provide technical support and ADM (aid in decision making) for wheat production management and

potentiality mining, attribute data (meteorological data, soil data, wheat data) and spatial data were sorted out at eight counties of Henan Province based on the evaluation process about crop natural potential productivity, and space-attribute database was created. The evaluation system of GIS-based wheat natural potential productivity was designed and developed by using UML 2.0, SQL Server 2000 and SuperMap GIS 2008 components, which realized loose coupling between the potential productivity evaluation model interfaces and GIS. The system calculated quantificationally wheat natural potential productivity at county scale by using mechanism models of light, temperature, water, soil based on 'experience-statistics', and made the spatial distribution thematic maps of wheat natural potential productivity through classification statistics and grading cartography. The results showed that photosynthesis potential productivity reduced along with latitude increasing, the order of temperature potential productivity was west>south>southeast>north>center, the order of moisture potential productivity was south>southeast>west>center>north, and the order of soil potential productivity was south>center>north>southeast>west of Henan Province. The key factors affecting wheat natural potential productivity were soil, followed by temperature and moisture, and the factors affecting wheat relative production mining magnitude were moisture, followed by temperature and soil. The system has characteristics about wide applicability and good independence, which provides technical support and ADM for wheat production management and potential mining.

Key words: geographic information systems, productivity, crops, UML, natural potential productivity, wheat, county scale