

## GIS 支持下的广东省水稻种植生态适宜性评价

叶延琼<sup>1,2,3</sup>, 李韵<sup>1,2,3</sup>, 章家恩<sup>1,2,3\*</sup>, 秦钟<sup>1,2,3</sup>, 李逸勉<sup>1,2,3</sup>

(1.华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广东 广州 510642; 2.农业部华南热带农业环境重点实验室, 广东 广州 510642; 3.广东省高等学校农业生态与农村环境重点实验室, 广东 广州 510642)

**摘 要:** 利用 GIS 技术和层次分析法, 对广东省水稻种植进行了生态适宜性评价。用特尔菲法和专家咨询法筛选各生态因子评价指标, 从气候和地形条件两方面确定 9 个评价指标, 建立了广东省水稻生态适宜性评价指标体系; 将层次分析法运用于各指标权重的定量计算, 采用地理信息系统软件 ArcGIS9.3 的叠加分析功能, 得到广东省水稻种植生态适宜性评价图。结果表明, 广东省南部沿海地区为双季稻最适宜种植区, 占全省总面积的 42.07%; 粤中北内陆地区为双季稻次适宜种植区, 占全省总面积的 32.42%; 粤北山区的大部分为双季稻的基本适宜种植区, 占全省总面积的 22.86%; 粤西北边境山区为双季稻不适宜种植区, 占全省总面积的 2.65%。获得的评价结果与早期的广东省水稻区划结果基本吻合。

**关 键 词:** 水稻; 生态适宜性; 层次分析法; 地理信息系统; 广东省

中图分类号: S511.01 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2013)02-0131-06

## GIS-based ecological suitability evaluation for rice planting in Guangdong province

YE Yan-qiong<sup>1,2,3</sup>, LI Yun<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Jia-en<sup>1,2,3\*</sup>, QIN Zhong<sup>1,2,3</sup>, LI Yi-mian<sup>1,2,3</sup>

(1. Institute of Tropical and Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Key Laboratory of Agro-Environment in the Tropics, Ministry of Agriculture P.R.China, Guangzhou 510642, China; 3. Key Laboratory of Agro-ecology and Rural Environment of Guangdong Regular Higher Education Institutions, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** Based on the analytical hierarchy process (AHP) and GIS technology, ecological suitability region for rice planting was evaluated according to the present situation in Guangdong, China. The evaluation index system of ecological suitability for rice planting was established by selecting 9 indices from factors of climate and landform using Delphi and expert scoring method. Furthermore, the AHP method was used to determine the weights of the different indices quantitatively. Then, the map of ecological suitability for rice planting was generated in ArcGIS 9.3. The results showed that the highly suitable regions for double cropping rice planting are in the southern coastal areas, accounting for 42.07% of total rice planting area. The moderate suitable regions distribute in central and northern parts with a percentage of 32.42% from the total rice planting area. The general suitable regions are mostly distributed in northern mountains occupying 22.86% of the total. And unsuitable regions only locate at a small area of in the north with a percentage of 2.65% from the total planting areas. This paper indicated that the combination of AHP and GIS were a good approach for rice ecological suitability evaluation, and the results acquired from the research were basically coincide with the previous zoning fruits of rice planting in Guangdong.

**Key words:** rice; ecological suitability; analytical hierarchy process (AHP); geographic information system(GIS); Guangdong province

收稿日期: 2013-02-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAD6C6B007); 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B16-04); 广东省现代农业产业技术体系建设专项(粤农[2009]380 号); 国家环保部公益性行业科研专项(201009020-04); 广东高校优秀青年创新人才培养计划项目(LYM09035); 广东省农业资源区划研究课题(GD201214); 华南农业大学新学科扶持基金项目(2008X022)

作者简介: 叶延琼(1976—), 女, 重庆市荣昌县人, 博士, 副教授, 主要从事生态规划与农业生态学方面的教学与研究工作, llyeyq@scau.edu.cn; \*通信作者, jeanzh@scau.edu.cn

水稻种植生态适宜性评价是指对水稻在某区域内的气候、地形、土壤等环境条件适宜性程度进行的综合性评价。地理信息系统(geographic information system, GIS)是一种基于计算机的工具,可以把大区域范围内测定点的属性数据同地理空间数据结合起来。GIS技术自1969年运用于土地适宜性分区研究<sup>[1]</sup>以来,现已成为土地适宜性评价的重要技术手段<sup>[2]</sup>,如 Seffino 等<sup>[3]</sup>利用基于 GIS 的作业流式空间决策支持系统对巴西圣保罗州的甘蔗种植进行了生态适宜性评价;孙自武等<sup>[4]</sup>、任玲等<sup>[5]</sup>采用 ArcGIS 的分析功能建立适宜的土地评价流程,对新疆地区棉花的土地及气候适宜性进行了评价;王飞等<sup>[6]</sup>对福建花生用地的适宜性进行了评价;陈海生等<sup>[7]</sup>基于 MAPGIS 平台,对河南省烟草生态适宜性进行了综合评价。此外,还有学者借助 GIS 对马铃薯<sup>[8]</sup>、蔬菜<sup>[9]</sup>、草莓<sup>[10]</sup>、玉米<sup>[11]</sup>、茶叶<sup>[12]</sup>等的适宜性进行了评价。目前,国内外关于 GIS 技术应用于水稻种植适宜性评价和空间布局的研究尚少<sup>[13]</sup>。笔者采用特尔菲法和专家咨询法,从气候和地形条件两方面对广东省水稻种植的影响因子进行筛选,确定了评价指标,并采用层次分析法,结合专家咨询确定各评价因子的权重,使用 ArcGIS9.3 地理信息软件进行空间和属性数据管理,对广东省水稻种植进行适宜性评价,旨在为该地区水稻种植的合理布局与规划提供参考。

## 1 研究区概况

广东省地处中国大陆最南端(20°13'~25°31' N, 109°39'~117°19' E),属东亚季风区,北回归线从南澳、从化、封开一线横贯,从北向南分别为中亚热带、南亚热带和热带气候,是全国光、热和水资源最丰富的地区之一。全省地貌类型复杂多样,有山地、丘陵、台地和平原,面积分别占全省土地总面积的 33.7%、24.9%、14.2%和 21.7%。地势总体北高南低,北部多为山地和高丘陵,南部则为平原和台地。从北向南,年平均日照时间由不足 1 500 h 增加到 2 300 h 以上,年太阳总辐射量为 4 200~5 400 MJ/m<sup>2</sup>,年平均气温约为 19~24 °C。全省平均日照时间为 1 745.8 h,年均降水量为 1 300~2 500 mm。广东省属华南双季稻区,水稻是该地区的第一大粮

食作物,在全省均可种植。2010年,全省耕地面积 287.85 万 hm<sup>2</sup>,水稻播种面积 195.27 万 hm<sup>2</sup>,其中早稻 98.20 万 hm<sup>2</sup>,晚稻 97.07 万 hm<sup>2</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本研究所使用的气象数据来源于文献<sup>[14]</sup>中关于温度和降水的分布图及文献<sup>[15]</sup>中光照的分布图,地形数据来源于广东省 1:25 万地形图(24 帧);其他数据来自广东省行政区划图和地貌类型分区图等。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 技术路线

广东省水稻种植(双季稻)的生态适宜性评价技术路线如图 1 所示。

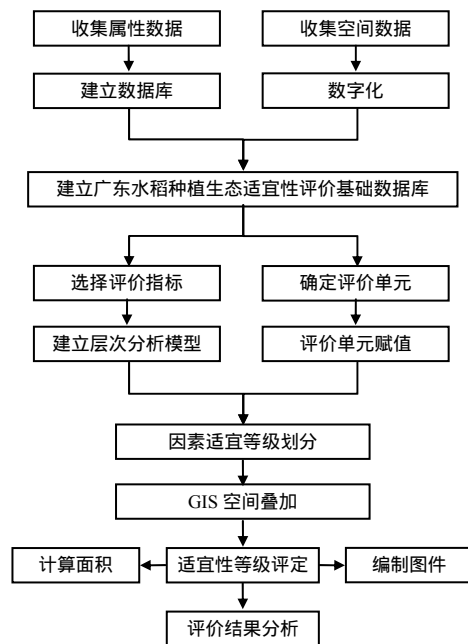


图 1 广东省水稻种植的生态适宜性评价技术路线

Fig. 1 Flow chart to evaluate the ecological suitability for rice planting in Guangdong province

#### 2.2.2 数字化方法

将广东省 1:25 万地形图,《广东省气候图集》中的日平均气温 10 °C 期间累计温度分布图、年平均气温分布图、7 月平均气温分布图、1 月平均气温分布图、年平均降水量分布图和《广东水稻区划研究》中的早季日照分区图、晚季日照分区图进行

扫描。将 1:25 万地形图导入 ArcGIS 9.3 中,并采用北京 54 坐标系统对其进行配准,在此基础上对其他所有扫描地图进行几何纠正并数字化,最后进行图形编辑、图幅误差校正、接边处理以及拓扑处理等,采用 Excel 软件录入和存储相关属性数据库。

2.2.3 地形分析方法

基于数字化地形图,运用 ArcGIS9.3 空间分析模块中的 TIN 模块建立广东省数字高程模型(DEM),再运用 ArcGIS9.3 空间分析模块下的表面分析,选择坡度命令,即获得广东省的坡度栅格数据。

2.2.4 指标体系建立方法

评价指标的选择采用特尔菲法,指标权重的确定采用层次分析法与专家咨询法相结合的方法。

2.2.5 评价方法

采用综合评分法,每个评价单元的综合分值是因素权重及其适宜性等级的乘积。

3 结果与分析

3.1 评价指标的选取

水稻适宜性种植的影响因素很多,各因素的影响程度各不相同。本研究中主要根据水稻生长的光、温、水、热条件要求和广东省的农业生产实际、数据的可获得性及等级划分的可能性等来筛选主导评价因子。考虑到水稻对土壤的适应性很大,只要有水灌溉和一定的土层,即使是其他作物不能种植的盐碱地,也可通过水稻栽培进行改良<sup>[16]</sup>,因此,本研究中选取气候与地形两大类共 7 个评价因子对水稻种植进行生态适宜性评价。

3.2 指标权重的确定

指标权重是在评价过程中不同指标对评价结果贡献程度的反映<sup>[17-18]</sup>。由于不同参评因子对水稻生产生态适宜性的影响程度不同,因此,需要根据每个评价指标影响的大小分别赋予不同的权重。本研究中首先采用层次分析法(AHP)构建指标的层次结构(图 2)。

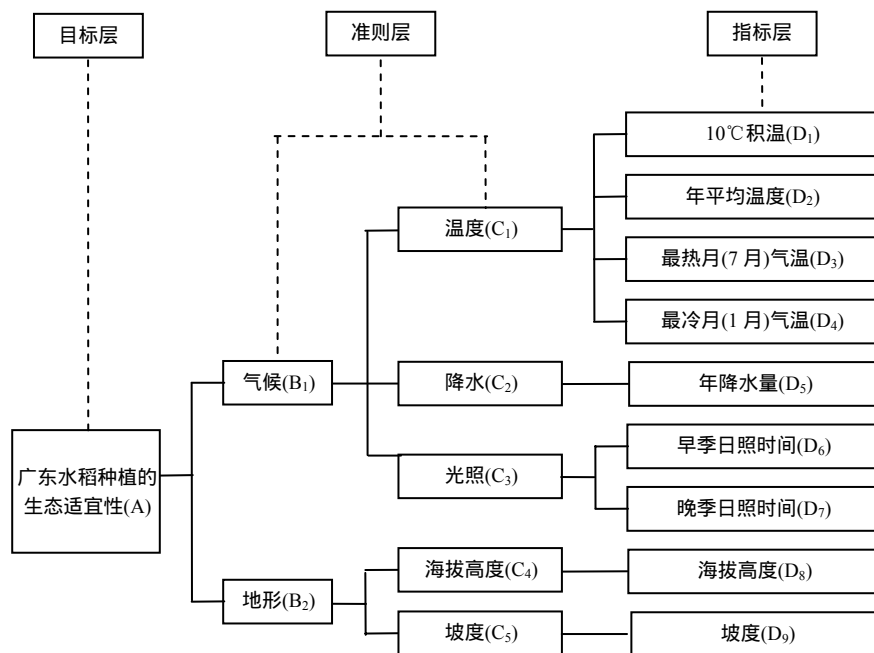


图 2 广东省水稻种植适宜性评价指标层次结构

Fig. 2 Hierarchical structure of ecological suitability evaluation indices for rice planting in Guangdong province

为使权重更加科学合理,还邀请了水稻种植经验丰富的专家对水稻种植影响因素的相对重要性进行评估,即向浙江大学、福建农林大学等单位水稻领域的专家发出调查问卷 44 份,收回有效问卷

17 份。根据回收的问卷进行统计,综合构造判断矩阵,采用层次分析法进行权重计算,并通过一致性检验,获得各层次指标的权重(表 1)。

表1 广东水稻种植适宜性评价因子权重

**Table 1 Weight of the ecological suitability evaluation factors for rice planting in Guangdong province**

目标层(A层)		准则层(B分层)		次准则层(C分层)		评价因子层(D分层)		组合权重
因子	权重	因子	权重	因子	权重	因子	权重	
A	1	B <sub>1</sub>	0.706 2	C <sub>1</sub>	0.364 1	D <sub>1</sub>	0.458 9	0.118 0
						D <sub>2</sub>	0.274 6	0.070 6
						D <sub>3</sub>	0.139 7	0.036 0
						D <sub>4</sub>	0.126 8	0.032 6
				C <sub>2</sub>	0.315 2	D <sub>5</sub>	1	0.222 6
				C <sub>3</sub>	0.320 7	D <sub>6</sub>	0.547 1	0.123 9
						D <sub>7</sub>	0.452 9	0.102 6
		B <sub>2</sub>	0.293 8	C <sub>4</sub>	0.588 2	D <sub>8</sub>	1	0.172 8
				C <sub>5</sub>	0.411 8	D <sub>9</sub>	1	0.120 9

3.3 水稻种植生态因子适宜性的等级划分

目前,土地适宜性评价等级划分大多在《土地评价纲要》理论体系下开展,在广东省科学技术厅百项工程“广东省土壤资源及其作物适宜性图谱研究”中,适宜性等级分为最适宜、次适宜、基本适宜和不适宜4个级别<sup>[19]</sup>。本研究中参照此方案进行划分(表2)。

表2 广东水稻种植的生态适宜性等级含义

**Table 2 Rank definitions of ecological suitability for rice planting in Guangdong province**

适宜级别	代码	含义
最适宜	S1	环境因子处于最佳状态,对水稻的生长发育无限制因素
次适宜	S2	环境因子适宜水稻生长,但在程度上略逊于最适宜级
基本适宜	S3	环境因子对水稻生长有中等限制
不适宜	N	环境因子对水稻生长有严重限制,不适宜栽种双季水稻

3.4 各评价因子阈值的确定

根据文献[15-16, 20-21]和《广东省农业气候资源与规划》(广东省气象农业气候区划组编写,1985年印刷,第2~45页)中对水稻生长和种植条件的描述,归纳总结出各评价因子的阈值(表3)。

3.5 叠加分析

在 ArcGIS9.3 软件中把上述因子专题图转化成栅格单元大小为 50 m×50 m 的栅格图,并利用 GIS 的空间分析功能进行栅格叠加运算。根据因子适宜性等级对栅格属性进行重新划分,对适宜性等级为 S1、S2、S3、N 的栅格分别赋予分值 4、3、2、1(表3),

表3 广东水稻种植生态因子的阈值

**Table 3 Threshold value of ecological factors for rice planting in Guangdong province**

因子	S1	S2	S3	N
	4	3	2	1
D <sub>1</sub>	[7 500, 9 000)	[7 000, 7 500)	[6 500, 7 000)	[0, 6 500)
D <sub>2</sub>	[20, 32)	[15, 20)	[10, 15)	(-∞, 10)
D <sub>3</sub>	[25, 32)	[20, 25)	[18, 20)	(-∞, 18)
D <sub>4</sub>	[14, 30)	[13, 14)	[12, 13)	(-∞, 12)
D <sub>5</sub>	[1 800, 2 600]	[1 600, 1 800)	[1 400, 1 600)	[0, 1 400)
D <sub>6</sub>	[800, 1 450)	[700, 800)	[600, 700)	[0, 600)
D <sub>7</sub>	[1 050, 1 110)	[900, 1 050)	[800, 900)	[0, 800)
D <sub>8</sub>	[0, 500)	[500, 750)	[750, 1 000)	[1 000, +∞)
D <sub>9</sub>	[0, 5)	[5, 10)	[10, 25)	[25, 90]

并与同一层次的因子权重相乘,再求和得到分层分值。获得单层的综合分值后,利用同样方法依次向上层次计算,得到每个评价单元的综合指数。综合指数由公式(1)计算。最后将综合指数重新划分为4个级别 S1、S2、S3、N,获得适宜性级别分布图(图3,图片彩版见封三)。

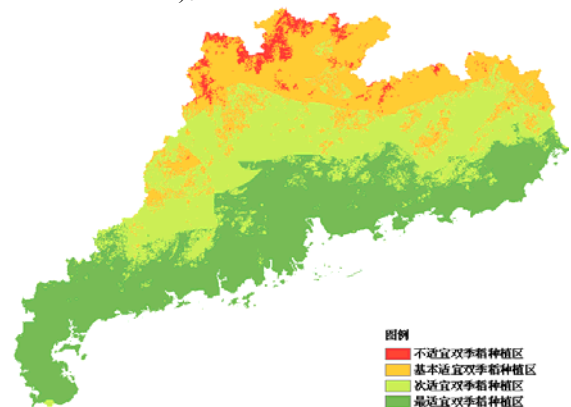


图3 广东省水稻种植生态适宜性等级的空间分布  
Fig. 3 Spatial distribution map of ecological suitability rank for rice planting in Guangdong province

$$\begin{aligned}
 P_A &= P_{B_1} W_{B_1} + P_{B_2} W_{B_2} \\
 P_{B_1} &= P_{C_1} W_{C_1} + P_{C_2} W_{C_2} + P_{C_3} W_{C_3} \\
 P_{C_1} &= S_{D_1} W_{D_1} + S_{D_2} W_{D_2} + S_{D_3} W_{D_3} + S_{D_4} W_{D_4} \\
 P_{C_2} &= S_{D_5} W_{D_5} \\
 P_{C_3} &= S_{D_6} W_{D_6} + S_{D_7} W_{D_7} \\
 P_{B_2} &= P_{C_4} W_{C_4} + P_{C_5} W_{C_5} + S_{D_8} W_{D_8} + S_{D_9} W_{D_9}
 \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $P$  表示得分分值即综合指数,  $S$  表示因子级别化后得到的分值(表 3),  $W$  表示因子分层权重(表 1), 下标 A~D 分别表示目标层、准则层、次准则层和指标层的因子(图 2)。

### 3.6 分区概述

通过 GIS 属性数据统计, 得到各适宜性等级的面积分布情况(表 4)。

表 4 广东省水稻种植的生态适宜性等级划分及其分布面积与比例

Table 4 Division, area and its proportion of ecological suitability rank for rice planting in Guangdong province

综合分值	适宜性等级	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
[1.40, 2.05]	不适宜	29 357.75	2.65
(2.05, 2.70]	基本适宜	253 153.50	22.86
(2.70, 3.35]	次适宜	358 981.00	32.42
(3.35, 4.00]	最适宜	465 900.80	42.07

表 4 结果表明, 广东省水稻种植生态适宜性等级区域面积表现为最适宜区、次适宜区、基本适宜区、不适宜区依次减小, 区域界线呈带状, 与广东农业科学院水稻研究所划分的水稻区划<sup>[15]</sup>非常吻合, 适宜性大致由南往北递减。不同等级适宜性区的特征表现为:

1) 最适宜的双季稻种植区。位于南部沿海地区, 其水稻安全生育期较长(252~270 d), 早稻安全播种始于 2 月 27 日至 3 月 8 日, 晚稻安全齐穗期终于 10 月 11 至 19 日。区域内台风多发, 应避免台风和暴雨的影响。

2) 次适宜的双季稻种植区。分布在粤中北内陆地区及湛江徐闻南部的小部分地区, 区内北部山地丘陵交错, 南部以平原为主, 其中, 湛江徐闻的南部地区由于易发生春旱, 3—4 月合计雨量 < 170 mm, 年降水量指标处在基本适宜双季稻种植的范围内, 从而降低了该区的水稻生态适宜性分值。粤中北地区春暖迟, 秋寒早, 水稻安全生育期较短

(231~251 d), 早稻安全播种始于 3 月 9—18 日, 晚稻安全齐穗期终于 10 月 1—10 日; 湛江徐闻的南部地区水稻安全生育期长(269~278 d), 早稻安全播种始于 2 月 22—27 日, 晚稻安全齐穗期终于 10 月 19—20 日。

3) 基本适宜的双季稻种植区。分布在粤北山区, 区域内山地多, 平地少, 冬冷夏热, 春秋温度不稳定, 水稻安全生育期短(191~230 d), 早稻安全播种始于 3 月 19 日至 4 月 10 日, 晚稻安全齐穗期终于 9 月 11—30 日, 双季稻季节紧张, 可轮种其他作物。

4) 不适宜的双季稻种植区。分布在粤北与湖南交界的山区, 包括乐昌、乳源的大部分, 南雄、仁化、连县、阳山、连山、连南的北部, 区域内山地面积大, 坡度大, 不利于稻田水土保持。水稻生育期短(168~188 d), 水稻露地安全播种期始于 4 月 11—20 日, 安全齐穗期终于 8 月 30 日至 9 月 10 日。主要以单季中稻种植为主。

## 4 结论与讨论

根据广东省水稻种植生态适宜性的等级划分可知, 广东省南部沿海地区为双季稻的最适宜种植区, 面积约  $46.59 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 占全省总面积的 42.07%; 粤中北内陆地区及湛江南部为双季稻的次适宜种植区, 面积约  $35.90 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 占全省总面积的 32.42%; 粤北山区的大部分地区为双季稻的基本适宜种植区, 面积约  $25.32 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 占全省总面积的 22.86%; 粤西北边境山区的小部分为双季稻的不适宜种植区, 面积约  $2.94 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 占全省总面积的 2.65%。总体而言, 全省大约有 97% 的地区适宜双季稻生产。

层次分析法是在定性方法基础上发展起来的定量确定参评因子权重的一种系统方法。这种方法可将人们的经验思维数量化, 用以检验决策者的一致性, 有利于实现定量化评价<sup>[7,22]</sup>。本研究中采用层次分析法与专家咨询法相结合的手段来确定参评因子的权重, 并以 GIS 为空间分析和计算平台, 结合因子评价模型计算综合评价分值, 并对结果进行分类定级, 能快速、准确地实现各种可视化显示和空间分析。与传统的评价方法相比, 一方面可节约大量的人力、财力和物力, 另一方面可克服单凭

经验确定而产生主观偏差的弊端,进而准确反映水稻种植的生态适宜性等级。

相对而言,水稻对土壤有较好的适应性,即大多数土壤,只要有水及一定土层均可种植或经改良后可种植水稻<sup>[16]</sup>,因此,本研究中仅选择了气候和地形两大影响水稻种植的评价因子进行评价。实际上,土壤 pH 和土壤全氮、全磷、速效磷、土壤有机质含量及土壤质地等指标<sup>[23]</sup>对水稻的优质高产栽培(如水稻产量形成)也存在较大影响,因此,更为精确、综合的生态适宜性评价尚需考虑土壤肥力因素。

#### 参考文献:

- [1] McHarg, Ian L. Design with Nature[M]. New York: The Nature History Press, 1969.
- [2] 方海宝,张水香.基于 GIS 的太湖县油菜种植适宜性评价[J].现代农业科技,2009(13):358-360.
- [3] Seffino L A, Medeiros C B, Rocha J. Woods-A spatial decision support system based on workflows[J]. The Establishment of Decision Support System, 1999, 27: 105-123.
- [4] 孙自武,任岗,周君,等.1956—2006 年玛纳斯河流域棉花生长季节气候变化分析[J].石河子大学学报:自然科学版,2008,26(5):552-555.
- [5] 任玲,马蓉,芦帅,等.基于 GIS 的棉花土地适宜性评价——以新疆兵团农八师 148 团 8 连为例[J].石河子大学学报:自然科学版,2012,30(2):193-197.
- [6] 王飞,邢世和.GIS 支持下的福建省春花生用地适宜性评价[J].中国生态农业学报,2008,16(2):475-781.
- [7] 陈海生,刘国顺,刘大双,等.GIS 支持下的河南省烟草生态适宜性综合评价[J].中国农业科学,2009,42(7):2425-2433.
- [8] 付彩菊.基于 GIS 的定西市安定区耕地马铃薯的适宜性评价[J].甘肃科技纵横,2011,40(5):61-63.
- [9] 罗志军,张俊,权丽君.基于 GIS 的区域蔬菜地适宜性评价——以江西省安义县为例[J].湖北农业科学,2012,51(10):2114-2117.
- [10] 李英杰,马友华,钱国平,等.基于 GIS 的安徽省长丰县耕地上草莓适宜性评价研究[J].农业网络信息,2010(6):11-14.
- [11] 刘丹,杜春英,于成龙.黑龙江省玉米的生态适宜性评价及种植区划[J].玉米科学,2009,17(5):160-163.
- [12] Ye Yin, He Fang, Zhang Xue-ying, et al. A GIS-based study on suitability estimation of tea cultivation in Qimen county[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(1): 149-152.
- [13] 聂文芳.基于 GIS 的广德县耕地水稻种植适宜性定量评价[J].安徽农学通报,2010,16(21):148-150.
- [14] 《广东省地图集》编辑部.广东省地图集[M].广州:广东省地图出版社,2003.
- [15] 广东水稻区划研究协作组.广东省水稻区划研究[M].广州:广东科技出版社,1985:1-89.
- [16] 浙江农业大学,华中农学院,江苏农学院,等.实用水稻栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,1981:165-252,276-286.
- [17] 黄宇,罗智勇,杨武年.基于 GIS 的城市居住适宜性评价研究[J].测绘科学,2008,33(1):126-129.
- [18] 李德仁,王树良,李德毅.空间数据挖掘理论与应用[M].北京:科学出版社,2006:78-144.
- [19] 李新东.基于 GIS 和 Fuzzy AHP 的水稻的土地适宜性评价[D].广州:中国科学院研究生院(广州地球化学研究所),2007.
- [20] 梁光商.水稻生态学[M].北京:农业出版社,1983:134-323.
- [21] 周英.关于《中华人民共和国水土保持法(修订草案)》的说明[EB/OL].(2010-8-23)[2012-9-22].http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/2011-02/24/content\_1630053.htm.
- [22] 张秋玲,李保莲,李东敏,等.基于层次分析法的矿区待复垦土地适宜性评价[J].贵州农业科学,2009,37(5):102-104.
- [23] 胡茂泳.影响水稻适宜性的因素浅析[J].吉林农业,2011(5):197.

责任编辑:王赛群  
英文编辑:王 库