

GIS 支持下的河南省烟草生态适宜性综合评价

陈海生^{1,2}, 刘国顺¹, 刘大双¹, 陈伟强³

(¹河南农业大学国家烟草栽培与生理生化研究基地, 郑州 450002; ²浙江同济科技职业学院, 杭州 311233;

³河南农业大学资源与环境学院, 郑州 450002)

摘要: 【目的】根据河南省烟草生产的实际情况, 利用 GIS 技术及层次分析法和模糊数学原理, 对河南省各烟草种植区进行烤烟生态适宜性综合评价。【方法】用特尔菲法进行各生态因子评价指标的选择, 从气候、土壤、地形条件 3 个方面确定了 17 个评价指标, 建立了河南省烟草生态适宜性评价指标体系; 根据各生态因子对烤烟生长与品质效应建立各隶属度函数, 并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 MAPGIS 绘制河南省烟草种植区烤烟生态适宜性综合评价状况图。【结果】河南省西部和南部大部分地区为烤烟生产最适宜区, 占研究区总面积的 22.52%; 南部、中部的部分地区为适宜区, 占研究区总面积的 34.99%; 北部和东部的大部分地区为次适宜区, 这部分面积占研究区总面积的 35.54%。【结论】层次分析法和多因素模糊综合评价方法与 GIS 技术有效的整合, 可以快速准确地对河南省烤烟的生态适宜性进行科学的综合评价。河南省大部分地区的烤烟生态适宜性都在中等程度以上, 计算出的适宜性分布区域与实际生产水平完全吻合。

关键词: GIS; 烤烟; 评价因子; 层次分析法; 生态适宜性

Studies on Comprehensive Evaluation of Tobacco Ecological Suitability of Henan Province Supported by GIS

CHEN Hai-sheng¹, LIU Guo-shun¹, LIU Da-shuang¹, CHEN Wei-qiang²

(¹National Tobacco Cultivation and Physiological and Biochemical Center, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

²Zhejiang Tongji Science and Technology Vocational College, Hangzhou 311233; ³Resource and Environment College,

Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Abstract: 【Objective】 The growth of tobacco is sensitive to environment conditions. The tobacco production is strictly restricted by regional cultivated land. Based on the principal of hiberarchy analysis and fuzzy mathematics and the technique of GIS, the comprehensive evaluation of tobacco ecology suitability were studied according to the actual circumstances of the whole Henan tobacco planting regions. 【Method】 The evaluation index system of tobacco ecology suitability of Henan tobacco planting regions was established by choosing 17 evaluation indexes from 3 respects of climate, soil and landform with Delphi method. Furthermore, the membership function was set up according to the effects of each ecology factors on the growth and quality of tobacco suitability. And the AHP was used to determine the weight of indexes by using quantitative analysis. Then the tobacco ecology suitability map of Henan tobacco plantation was drawn with GIS software mapGIS. 【Result】 It is found that the most areas of the western and southern parts of Henan province is the highly suitable regions, accounting for 22.52% of Henan tobacco planting areas. It is because that there are medium air temperature, sunshine and rainfall, medium soil pH value and high contents of soil organic matter in the regions. Moreover, the topography is hill and massif and the height above sea level is between 150-800 m there. Some areas of the southern and middle parts of Henan province is the suitable ones, accounting for 34.99% of Henan tobacco planting areas. It is because that there are enough rainfall, medium air temperature, high contents of available N and available K in the soil in this regions. There are less suitable regions in the northern and eastern parts of the investigated regions because of drought, too high pH value and Cl in the soil and irrigation water, accounting for 35.54% of the whole areas. 【Conclusion】It can be conducted rapidly and correctly

收稿日期: 2008-07-31; 接受日期: 2009-03-23

基金项目: 国家烟草专卖局重点资助项目 (110200401021)

作者简介: 陈海生 (1965—), 男, 浙江临海人, 副教授, 博士, 研究方向为地理信息系统。E-mail: haishch@126.com。通信作者刘国顺 (1954—), 男, 河南叶县人, 教授, 研究方向为烟草栽培生理生化。Tel: 0371-63558121; E-mail: liugsh1851@163.com

by combining AHP and membership function for comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability supported by GIS. For most of tobacco planting fields in Henan province, and practical tobacco productivity can be identified completely.

Key words: GIS; flue-cured tobacco; evaluation factors; AHP; ecology suitability

0 引言

【研究意义】烟草生态适宜性评价是指对烟草在某区域内的气候、土壤和地形等环境条件适宜性程度进行的综合性评价。定性、定量和定位地评价烟草在某区域的生态适宜性,可为进一步合理布局,开辟更多的优质烟基地,实现烟草可持续发展提供依据。【前人研究进展】烤烟可种植的范围很广,但优质烟生产有着严格的地域限制^[1],如美国的烟叶多集中在东部海岸平原,巴西的烟叶主要集中在南部各省,而津巴布韦烤烟则多种植在多山的高原。这是因为烟草的香味特性在很大程度上受制于外界生态条件,烟草叶片与果实和种子不同,它是植物中最活跃的器官,不能缓冲生长环境变化的影响^[2]。李云^[3]的研究表明不同地区种植的烟草,其与香味关系很大的低级脂肪酸成分和含量的差异很大,并认为这是形成不同产地烟叶独特风格的主要因素。张燕等^[4]收集了国内外6个产地不同等级的香料烟样品,结果表明不同产地香料烟的内在化学成分和挥发性致香物质差异均较大。较之于其它作物,烟草对外界环境条件的反应更为敏感。因此,优质烟生产具有很大的地域局限性。地理信息系统(geographic information system, GIS)具有管理空间不均匀分布资源的能力,可以把大区域范围内测定的属性数据同地理数据结合起来^[5]。目前,地理信息系统技术已开始广泛地应用于农作物适宜性评价^[6-7]。Seffin等^[8]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的评价。唐嘉平等^[9]利用ArcView为平台的种植适宜性评价系统完成了澜沧江下游热带特色经济作物的评价。王桂芝^[10]利用测绘数据以Arc/info为工具,建立了海南省三亚市的热带作物土地适宜性评价模型。而将GIS技术应用于烟草的生态适宜性评价和合理布局研究,目前在国内外的报道中并不多见。【本研究切入点】本文用特尔菲法进行各生态因子评价指标的选择,从气候、土壤、地形条件3个方面确定评价指标,建立河南省烟草生态适宜性评价指标体系,根据各生态因子对烤烟生长与品质效应建立各隶属度函数,采用层次分析法确定各评价因子权重,使用mapGIS地理信息系统软件进行空间数据管理,对河

南省烟草种植区进行生态适宜性综合评价。【拟解决的关键问题】以期找出和克服影响烤烟香气质量的主要生态因子,充分利用自然资源进行合理布局,在利用好现有植烟田的基础上进一步扩大优质烟种植范围,促进全省烤烟种植区农村的资源、环境和社会经济的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区域概述

河南省位于黄河中下游,华北大平原的南端,介于东经110°21′~116°39′,北纬31°23′~36°22′之间,地处北亚热带到暖温带过渡地带,地表形态复杂,境内有山地、丘陵、平原、盆地等多种地貌类型。年平均气温13~15℃,日平均气温稳定通过10℃的活动积温为4200~4900℃,年实际日照时数2000~2600h,光合有效辐射总量230~260kJ·cm⁻²,年降雨量600~1200mm。境内大部分烤烟种植区温度适宜,昼夜温差大,水资源比较丰富,光照充足,是中国重要的浓香型烤烟产地。全省耕地总面积793.60×10⁴hm²,常年烤烟种植面积为8.67×10⁴hm²,占常用耕地面积的1.21%。

1.2 数据来源

土壤类型和土壤物理性状资料来自河南省第二次土壤普查,土壤类型具体到土属,每一土属的属性数据包括耕层厚度、耕层质地、障碍层次等。

土壤养分数据通过在河南省烟区布点采样并分析化验得到,共采集了650土壤样品,分析了有机质、全氮、速效磷、速效钾、pH,以及铜、铁、锰、锌、氯等微量元素。

气象数据来自国家气象局,数据包括河南省48个气象站1971—2005年的气温、日照、降水和相对湿度。

其它数据包括河南省1:25万地形图,地貌类型分区图、行政区划图和土地利用现状图等。

1.3 研究方法

(1)气象和养分数据处理方法 利用ARC/INFO的空间插值法,对于服从正态分布,且空间相关性强的指标采用Kriging插值法插值,否则采用反距离法插值,结果采用1km×1km的GRD数据进行表示。

(2) 数字化方法 图件资料采用 ARC/INFO 软件, 经数字化、图形编辑、图幅误差校正、图幅接边处理、拓扑查错、拓扑造区处理。属性数据库采用 Access 对土样测定的数据资料进行录入。

(3) 地形 (DTM) 分析方法 采用 ARC/INFO 软件, 利用数字化好的等高线和高程点, 应用 TIN 模块建立数字高程模型。

(4) 评价单元划分与赋值方法 采用 GIS 的空间叠加法划分评价单元。评价单元赋值采用空间位置赋值法 (针对矢量数据) 和分区统计法 (针对格网数据)。

(5) 指标体系建立方法 评价指标选择采用特尔菲法、指标权重采用层次分析法、指标分值化方法采用隶属函数法。

(6) 评价方法 采用综合评分法, 每个评价单元的综合分值由因素权重与隶属度的乘积, 然后求各评价因素的乘积之和得到。

2 结果与分析

2.1 评价单元的划分

表 1 烟草生态适宜性评价指标

Table 1 Evaluation indexes of ecology suitability of tobacco crops

分类 Classification	指标 Index
气候条件 Climate condition	无霜期、生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温、日均温 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 持续日数、生育期日照时数、生育期降雨量、生育期相对湿度 Frost-free duration, Total active temperature ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) during growth duration, Continuous days of average day temperature ($\geq 20^{\circ}\text{C}$), Sunshine duration during growth duration, Precipitation during growth duration, Relative air humidity during growth duration
土壤条件 Soil condition	耕层厚度、耕层质地、有机质、全氮、速效磷、速效钾、水溶性氯、pH Thickness of plough layer, Soil texture, Organic matter, Total nitrogen, Available P, Available K, Water solution chloride, pH
地形条件 Topographic characteristics	地貌类型、海拔高度、坡度 Landform type, Altitude elevation, Slope grade

2.3 指标权重的确定

各评价指标对烟草生态适宜性的影响作用是不同的, 这就需要根据每个评价指标影响作用的重要程度分别赋予不同的权重。本研究采用层次分析法 (AHP) 来确定各参评因素的权重, 其步骤是: (1) 建立层次结构。按照各评价指标之间的相互影响和作用, 将评价指标分为目标层、准则层和指标层。本研究中烟草生态适宜性作为目标层, 准则层只有一个层次, 即影响烟草生长的 3 个生态因素: 气候、地形和土壤条件, 选出的 17 个生态指标作为指标层。层次结构见图 1。

(2) 构造判断矩阵。约请从事烟草栽培、土地评价等方面研究的专家和有实践经验的技术人员, 分别对每

评价单元是进行土壤肥力评价的最基本区域, 即最小单元。它是由对植烟田土壤质量具有关键影响的土壤肥力要素组成的基本空间单位。同一评价单元中土壤的基本属性是一致的, 不同的评价单元之间既有差异性, 又有可比性。评价单元的划分应客观地反映出土壤肥力在一定时间和空间上的差异^[11]。本研究将土壤图、土地利用现状图和行政区划图 3 图叠加, 划分评价单元, 共划 11 449 个评价单元。

2.2 评价指标的选择

影响烟草生态适宜性的因素很多, 根据河南省各烤烟产区区域特点, 遵循显著性、实际性、主导性、区域差异性和可操作性等原则, 采用定量和定性相结合的方法, 筛选参评因子^[12]。邀请 20 名在烟草种植领域和土壤领域有渊博知识、丰富经验的专家参加问卷填写, 将课题研究的背景、目的以及指标选取的原则告诉专家, 让专家根据多年的实践经验填写调查问卷。收集第一轮问卷并汇总统计, 发放第二轮问卷, 同时将第一轮调查的统计结果反馈给专家, 供专家第二轮评判时参考。收回问卷, 进行统计。经过专家两轮打分筛选, 最后确定了 17 个指标 (表 1)。

层中各评价因子两两比较其重要性, 做出定量判断。

(3) 层次单排序和一致性检验。根据判断矩阵计算对上一层次某一元素而言, 本层次与之联系的元素的重要性次序的权重值 (权向量), 然后进行一致性检验。为检验判断矩阵的一致性, 需要计算其一致性指标 CI 和一致比 CR。当 $\text{CR} < 0.10$ 时, 则称判断矩阵具有满意的一致性; 否则就需要调整判断矩阵, 使之具有满意的一致性。经过一致性检验, 本研究各个层次单排序的 CR 值都 < 0.10 , 因此各判断矩阵均具有满意一致性。(4) 层次总排序和一致性检验。得到每一个要素相对于上一层次对应要素的权重值后, 通过层次总排序计算出每一个评价指标相对于总目标的权重值。

计算各层次所有元素对总目标相对重要性的排序权值, 层次排列总排序的结果见表 2。经过一致性检验,

得出 $CI=0.05$, $RI=1.24$, $CR=CI/RI=0.04 < 0.10$, 层次排序的结果具有满意的一致性。

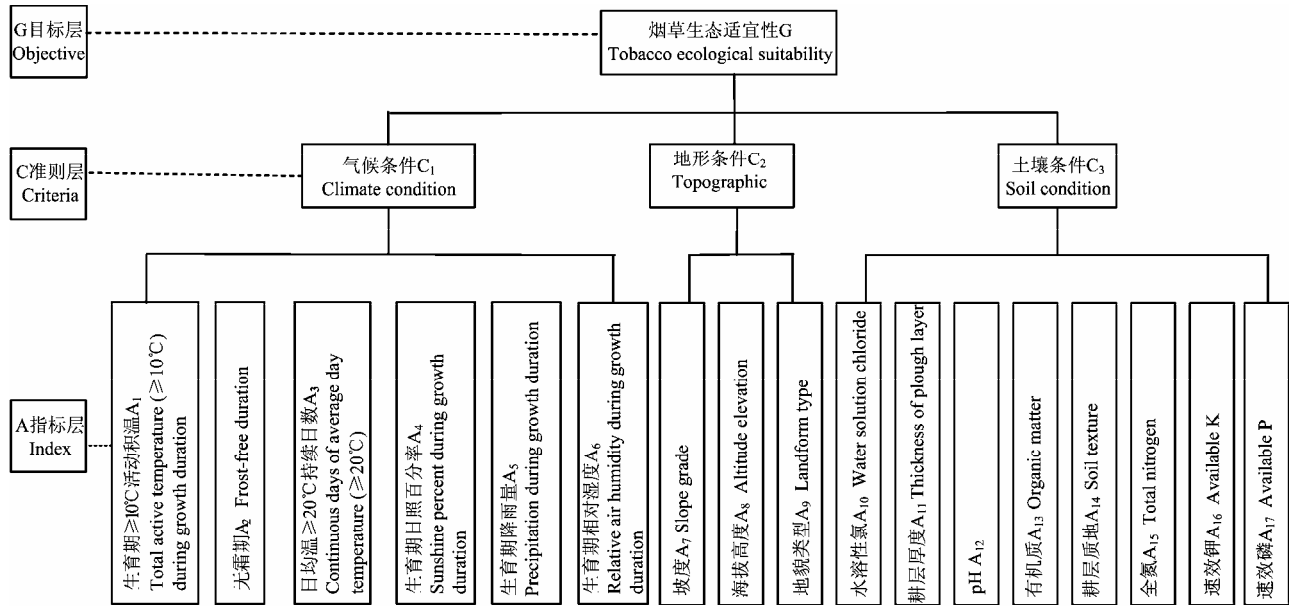


图 1 河南省烟草生态适宜性评价指标层次结构

Fig. 1 Hierarchy structure of suitability evaluation index of tobacco ecology in Henan Province

表 2 层次分析结果

Table 2 The results of analytic hierarchy process

层次 A Hierarchy A	层次 C Hierarchy C			组合权重 Weights
	气候 C ₁	地形 C ₂	土壤 C ₃	
	Climate	Topographic characteristics	Soil	
生育期≥10℃活动积温 A ₁ Total active temperature (≥10℃) during growth duration	0.33	0	0	0.17
无霜期 A ₂ Frost-free duration	0.28	0	0	0.14
日均温≥20℃持续日数 A ₃ Continuous days of average day temperature (≥20℃)	0.17	0	0	0.09
日照百分率 A ₄ Sunshine duration percent	0.11	0	0	0.06
生育期降雨量 A ₅ Precipitation during growth duration	0.07	0	0	0.03
相对湿度 A ₆ Relative air humidity	0.04	0	0	0.02
坡度 A ₇ Slope grade	0	0.67	0	0.07
海拔高度 A ₈ Altitude elevation	0	0.24	0	0.02
地貌类型 A ₉ Landform type	0	0.09	0	0.01
水溶性氯 A ₁₀ Water solution chloride	0	0	0.32	0.12
耕层厚度 A ₁₁ Thickness of plough layer	0	0	0.25	0.10
pH A ₁₂	0	0	0.16	0.06
有机质 A ₁₃ Organic matter	0	0	0.11	0.04
土壤质地 A ₁₄ Soil texture	0	0	0.07	0.03
全氮 A ₁₅ Total nitrogen	0	0	0.04	0.02
速效钾 A ₁₆ Available K	0	0	0.03	0.01
速效磷 A ₁₇ Available P	0	0	0.02	0.01

2.4 各评价因子阈值的确定

烤烟是喜温作物,从烤烟的品质出发,烟草植株对气温条件的要求是前期较低,后期较高,这样有利于烟叶积累较多的同化物质。烟草可生长的温度范围,地上部为 8~38℃,大田生长期最适宜温度为 25~28℃。成熟期最适宜气温为 20~25℃之间,至少要持续 30 d 以上^[2]。河南省各烟区无霜期以大于 150 d 为适宜,最少不能少于 120 d;生育期>10℃活动积温以大于 2 800℃为适宜,最少不能少于 2 600℃;生育期日均温>20℃持续日数以大于 85 d 为适宜,最少不能少于 70 d。

日光充足而不强烈是产生优质烟叶的必要条件,光照过强会导致叶片厚而粗糙,油分不足,过强的持续光照会导致烟草背面表皮细胞枯死,影响烟叶质量。烟草大田生长期日照时数以在 600~800 h 为适宜,最高不能大于 1 000 h,最低不能少于 500 h^[2]。

河南省优质烟生产区大田期降水量以 500~600 mm 适当分布为好。最低不能少于 300 mm,最高不能大于 800 mm。旺长期以前月降水量以 80~100 mm 较为理想;旺长期月降水量 100~200 mm 即可;成熟期月降水量为 100 mm 左右较为理想。生育期相对湿度以 65%~75%为适宜,不能低于 50%或高于 90%^[2]。

地形地貌不仅对光、热、水进行再分配,而且还控制土壤类型的发生及其在空间上的分布规律,从而影响和决定着烟草的生长发育及烟叶质量。从世界烟草生产情况看,优质烟均产自排水良好的山地丘陵地区,如日本、美国种植丘陵地带的烟叶质量最优,津巴布韦烤烟则多种植在多山的高原^[15]。一般来说,丘陵山区自然坡度 15°以下的耕地为宜烟耕地,平地次之,洼地最差。生产优质烤烟的土壤条件以山坡地、山麓和丘陵地的坡脚为好。

海拔高度对烟叶香气物质含量有显著影响,韩锦峰等^[16]研究认为海拔高度的增加有利于清香气类致香物质的增加。此外,随着海拔高度的增加,类胡萝卜素总量、β-胡萝卜素、叶黄素、紫黄质和新黄质的含量均呈明显增加的趋势,多酚总量、绿原酸和芸香苷的含量也相应增加。据统计分析结果表明,海拔高度在 800 m 以内,烟叶总糖含量随海拔升高而升高($\hat{y}=21.64+0.006x$);当海拔高度大于 800 m 以后,烟叶总糖含量又略有下降的趋势。

坡度较大的土壤的保水保肥性能差,难以满足烟草正常生长发育的需要,加之国务院《退耕还林条例》中规定坡度大于 25°的耕地要退耕还林,因此烟草适

宜种植在坡度平缓的地区。

植烟土壤以砂壤土为最好,其土体结构多为疏松的大团粒结构,所产烟叶身份适中,叶片组织疏松,烟叶香气量足,香气质好,烟气吸味较为协调。砂土含砂粒较多,粒间孔隙较大,所产烟叶一般身份轻,油分差,烟气吸味淡。黏土一般含有机质较高,保水保肥力强。烟苗前期一般生长较慢,而在烟株生长中后期由于供氮能力较强,造成烟叶贪青晚熟,所产烟叶一般身份重,烟叶抽吸劲头大、吸味辛辣。

土壤耕层厚度对烟叶的产量和品质也有显著影响。土壤耕层过薄,烟株根系欠发达,严重影响烟叶产量品质的形成。一般来说,在一定范围内,耕层厚度大有利于烟株的正常生长发育和产量品质的形成。耕层厚度与根系生长关系非常密切,在一定程度上甚至超过了土壤质地的影响。本烟区土壤耕层厚度以 25 cm 的为最适宜,最少不能低于 15 cm。

土壤 pH 对土壤的物理性质、微生物活动、养分转化、存在形态和有效性都有重大影响,是影响烟草的生长发育和烟叶产量、品质的因素之一。烤烟品质都是在一定的 pH 范围内最好,pH 过高或过低都会对烤烟品质产生不利影响。世界各国推荐的烤烟生长最适 pH 范围为 5.50~7.00^[17],本研究也采用这一指标范围。

有机质是土壤肥力的主要指标。对烤烟而言,土壤有机质含量过高,后期贪青晚熟,不容易正常落黄,甚至黑暴,烘烤后烟叶烟碱及蛋白质含量过高,刺激性大,品质低劣^[1,17]。对于本区域而言,土壤有机质含量不能大于 25 g·kg⁻¹;土壤有机质含量过低,会导致所产烟叶油分不足,香气质和香气量都受到不良影响。最适宜的土壤有机质含量为 14~18 g·kg⁻¹。

在烤烟生育前期,只有供给充足的氮素才能保证烟株生长良好烟叶成熟期,氮素供应则需降低到适当水平,以保证烟株的代谢能适时由蛋白质的旺盛合成转化为糖类物质的积累,这有利于形成优质烟叶^[2]。河南省烟区主要存在着土壤全氮量不足的问题。因此,土壤全氮量以>1.5 g·kg⁻¹为适宜,最低不得<0.8 g·kg⁻¹。磷素能够促进烟株生长发育,增强烟株抗旱抗寒能力。改善烤烟的颜色,增加香气,烟叶中的含糖量往往与磷呈正相关。研究表明,在土壤速效磷为 13~15 mg·kg⁻¹的条件下,施用磷肥能促进烟株早发,增加株高,提前成熟,叶面积增大,提高产量;土壤速效磷在 10 mg·kg⁻¹以下的情况时,烤烟的产质量都因施磷肥而有显著提高。本烟区土壤中速效磷含量以

>15 mg·kg⁻¹ 为适宜, 最低不得 <5 mg·kg⁻¹。同其它作物相比, 烤烟的营养特点是对钾的需求量大。钾素能有效地提高烟叶的香气质和香气量以及可燃率和阴燃持火力, 降低烟叶燃烧时的温度, 减少烟气中的有害物质和焦油含量, 提高烟叶制品吸食的安全性^[17,18]。国外优质烟含钾量一般都大于 2.5%。与优质产烟国相比, 河南烟叶的钾含量相对偏低^[14-15]。本烟区土壤中速效钾含量若 >150 mg·kg⁻¹, 则赋值为 1, 最低不能 <80 mg·kg⁻¹。

烟草被视为忌氯作物, 过量吸收 Cl⁻¹ 会严重影响烟叶产量和质量, 烟叶中含氯量超过 1%, 便对烟叶燃烧性产生不良影响, 含氯量超过 1.5%, 即产生不同程度的熄火现象^[19]。植烟田土壤含氯量不能超过 45

mg·kg⁻¹, 最适宜区的土壤含氯量必须在 30 mg·kg⁻¹ 以下^[20]。但氯是烤烟生长的必需营养元素之一, 对烟草的生长和产质量也有不可低估的影响, 缺乏该元素时, 植株生长发育将会受到影响^[17]。河南省植烟区最主要的问题还是氯过量而影响烟草品质。

2.5 评价因子隶属函数的建立

利用专家打分法 (DELPHI 法) 根据一组分布均匀的实测值评估出对应的一组隶属度, 通过绘制两组数据的散点图, 依据散点图进行曲线模拟, 寻求参评因子实际值与隶属度之间的关系方程, 从而建立隶属度函数 (表 3)。

通过对数据特征的统计分析, 并征询专家意见, 确定评价因子的隶属函数类型及其拐点, 这是建立隶

表 3 评价因子的隶属函数类型及拐点

Table 3 The type and inflexion of membership function of evaluation factors

因素 Factors	评价指标 Evaluation index	隶属函数类型 Type of membership function	最优值 (隶属度为 1) Optimum value	最差值 (隶属度为 0 或 0.1) Limit value
气候 Climate	无霜期 Frost-free duration	升梯形 S type	150 d	120 d
	生育期 ≥10℃ 活动积温 Total active temperature (≥10℃) during growth duration	升梯形 S type	2800℃	2600℃
	生育期日均温 ≥20℃ 持续日数 Total active continuous days of average day temperature (≥20℃)	升梯形 S type	85 d	70 d
	生育期日照时数 Sunshine duration during growth duration	抛物线型 Parable type	600~800 h	500 h, 1 000 h
	生育期降雨量 Precipitation during growth duration	抛物线型 Parable type	500~600 mm	300 mm, 800 mm
	生育期相对湿度 Relative air humidity during growth duration	抛物线型 Parable type	65%~75%	50%, 90%
地形 Topographic characteristics	坡度 Slope grade	降梯形 Inverted S type	0°	25°
	海拔高度 Altitude elevation	抛物线型 Parable type	150~800 m	60 m, 1600 m
	地貌类型 Landform type	直线型 Linear type	丘陵 Hill(1); 山地 Mountain(0.9); 平原 Plain(0.8)	
土壤 Soil	水溶性氯 Water solution chloride	抛物线型 Parable type	10~30 mg·kg ⁻¹	10 mg·kg ⁻¹ , 45 mg·kg ⁻¹
	耕层厚度 Thickness of plough layer	升梯形 S type	25 cm	15 cm
	pH	抛物线型 Parable type	5.50~7.00	5.00, 8.00
	有机质 Organic matter	抛物线型 Parable type	14~18 g·kg ⁻¹	8 g·kg ⁻¹ , 25 g·kg ⁻¹
	耕层质地 Thickness of texture	直线型 Linear type	平原 Plain: 砂壤土 Sandy loam、粉砂壤土 Power sandy loam(1.00); 壤土 Lome loam、砂土 Sand (0.90); 黏壤土 Clay loam、壤黏土 Loam clay(0.80); 黏土 Clay、重黏土 Heavy clay(0.70) 山地丘陵 Hill: 黏壤土 Clay loam、壤黏土 Loam clay(1.00); 壤土 Loam、黏土 Clay(0.90); 重黏土 Heavy clay、粉砂壤土 Power sandy loam(0.80); 砂壤土 Sandy loam、砂土 Sand(0.70)	
	全氮 Total nitrogen	降梯形 Inverted S type	1.5 g·kg ⁻¹	0.8 g·kg ⁻¹
	速效钾 Available K	升梯形 S type	150 mg·kg ⁻¹	80 mg·kg ⁻¹
	速效磷 Available P	升梯形 S type	15 mg·kg ⁻¹	5 mg·kg ⁻¹

属函数的依据。隶属函数的类型主要有抛物线型、升梯形、降梯形和直线型 4 种, 抛物线型隶属函数主要用于对烟草生长的影响既有下限、又有上限的定量因子; 升梯形隶属函数主要用于对烟草的影响只有下限、没有上限的定量因子, 降梯形隶属函数主要用于对烟草的影响只有上限、没有下限的定量因子, 直线型隶属函数主要用于定性因子。

通过以上隶属函数公式, 将每个样本的原始统计资料代入各个隶属函数公式, 计算数学运算, 把不规则分布的、有单位的、定量或定性描述的原始数值转化为从 0 到 1 分布的、无量纲差异的隶属度。

2.6 综合评价指标值的计算

综合评分法通过使用隶属函数标准化后的指标分值与层次分析法求出的各因子指标权重值, 利用如下模型对河南省烟草种植区生态适宜性进行综合评分。

$$IFI = \sum_{i=1}^n P_j X_{ij} (i=1,2,3,\dots,n, j=1,2,3,\dots,m)$$

式中, IFI (integrated fertility index) 是评价单元的生态适宜性综合评分值, n 为评价因子的总数, P_j 为第 j 个评价指标的权重, X_{ij} 为评价单元在第 j 个评价指标上的隶属度。 IFI 取值范围为 0.10~1.00。其值越高, 表明各生态因子对烟草生长和品质的贡献率也越高。对应于每个评价单元的综合评分值, 通过编程计算后直接写入图斑对应的属性数据表中, 本研究区烟草种植综合生态适宜性评价结果如图 2 所示。

根据计算得到的各评价单元的 IFI 值, 可将河南省植烟区烤烟生态适宜性划分为 4 个等级, IFI 为 0.79 $< IFI < 1$ 的为最适宜, $0.57 < IFI < 0.79$ 的为适宜, 0.36

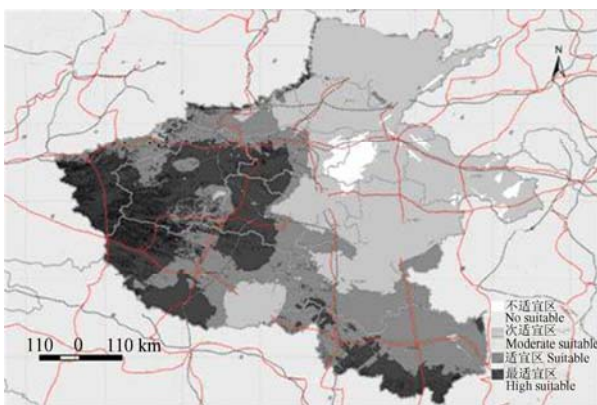


图 2 河南省烤烟种植区生态适宜性综合价值分布

Fig. 2 Ecology suitability distribution of Henan tobacco planting regions

$< IFI < 0.57$ 的为次适宜, $0.14 < IFI < 0.36$ 的为不适宜。从图 2 可以看出, 河南省的西部和南部的大部分地区如三门峡市、洛阳市、平顶山市、许昌市、南阳市的西部和信阳市的南部为最适宜区, 这部分面积占研究区总面积的 22.52%; 南部、中部的一些地区如漯河市、周口市、驻马店市及信阳市的北部一带为适宜区, 这部分面积占研究区总面积的 34.99%; 北部和东部的大部分地区如郑州市、安阳市、开封市、焦作市一带为次适宜区, 其面积占研究区总面积的 35.54%。

3 讨论

3.1 以往所进行的河南省烟草生态区划都是在划分区域指标的基础上, 以行政单元为划分单元 (如以县为单位) 而进行的, 而忽视了行政单元内生态环境的差异。本研究针对河南省烟草生长的现状, 用特尔菲法进行指标选择, 从气候条件、土壤条件、地形条件 3 个方面选择 17 个评价指标建立了河南省烟草生态适宜性评价指标体系, 采用生态指标叠加法来进行区域划分, 得出的结果可以代表河南省各烟草种植区潜在的生产能力, 生产决策者和农户可据此明确并改善导致现实生产力与潜在生产力之间产生差距的主要因子, 采取相应的措施来提高河南省各烟草种植区内烟叶的品质和产量。

3.2 适宜性分析的理论基础是根据研究对象与各变量之间的统计关系或启发式关系建立合适的分析模型, 技术支持是将数学模型结构与 GIS 技术有效地整合起来, 利用 GIS 基于准则的多因素分析功能, 通过 GIS 软件作用于原始数据和派生数据的一组有顺序的、交互的空间分析操作命令, 来对某个空间决策过程进行模拟, 以达到对某个研究对象进行分析和评价^[21]。本文的研究和实地调查验证表明, GIS 和数学模型的有机结合, 可以快速有效地对河南省烤烟的生态适宜性进行科学的综合评价, 与传统的评价方法相比, 可以节约大量的人力、财力和物力。

3.3 评价结果的科学性和可靠性取决于基础数据的完整性, 以及评价方法选择上的合理性。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分析方法, 这种方法可将人们的经验思维数量化, 用以检验决策者判断的一致性, 有利于实现定量化评价^[13,22]。本研究利用层次分析法和多因素模糊综合评价方法而获得的评价结果, 可以克服凭经验确定分级而容易产生主观偏差的弊端, 能够准确地反映烟草种植区的生态适宜性等级差异。本研究的

评价结果与生产实际情况基本符合。

4 结 论

根据河南省植烟区烤烟生态适宜性的等级划分,河南省的西部和南部的大部分地区为最适宜区,其面积占研究区总面积的 22.52%;南部、中部的一些地区为适宜区,其面积占研究区总面积的 34.99%;北部和东部的大部分地区为次适宜区,其面积占研究区总面积的 35.54%。

References

- [1] 韩湘玲. 作物生态学. 北京: 气象出版社, 1991.
Han X L. *Crop Ecology*. Beijing: Meteorology Press, 1991. (in Chinese)
- [2] 刘国顺. 烟草栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2003.
Liu G S. *Tobacco Cultivation*. Beijing: China Agriculture Press, 2003. (in Chinese)
- [3] 李 云. 一些中国烟草低级脂肪酸的研究. 烟草学刊, 1990, (1): 21-28.
Li Y. Research on China tobacco low fatty acid. *Tobacco Journal*, 1990, (1): 21-28. (in Chinese)
- [4] 张 燕, 李天飞, 宗 会. 不同产地香料烟内在化学成份及致香物质分析. 中国烟草科学, 2003, (4): 12-16.
Zhang Y, Li T F, Zong H. Analysis on chemical components and flavor substance in oriental tobacco of different producing areas. *China Tobacco Science*, 2003, (4): 12-16. (in Chinese)
- [5] 倪绍祥, 黄杏元. 地理信息系统在土地适宜性评价中的应用. 科学通报, 1992, (15): 1403-1404.
Ni S X, Huang X Y. The applied of geography information system to land suitability evaluation. *Chinese Science Bullin*, 1992, (15): 1403-1404. (in Chinese)
- [6] 黄 河. GIS 支持下的区域蔬菜地适宜性评价. 福建农业学报, 2004, 19(2): 108-112.
Huang H. Suitability evaluation of regional vegetable field by GIS, *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2004, 19(2): 108-112. (in Chinese)
- [7] 史 舟, 管彦良, 王援高, 黄明祥, 龚洁强, 王立宏. 遥感与 GIS 技术支持下的黄岩区柑橘结构调整. 经济地理, 2002, 22(6): 727-730.
Shi Z, Guan Y L, Wang Y G, Huang M X, Gong J Q, Wang L H. Adjustment of citrus planting structure supported by the integrated remote sensing and GIS. *Economic Geography*, 2002, 22(6): 727-730. (in Chinese)
- [8] Seffino L A, Medeiros C B, Rocha J. Woods-A spatial decision support system based on workflows. *The Establishment of Decision Support System*, 1999, (27): 105-123.
- [9] 唐嘉平, 刘 钊. 基于 GIS 的特色经济作物种植适宜性评价系统. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(1): 9-12.
Tang J P, Liu Z. Suitability assessment system for cash crops production based on GIS. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2002, 18(1): 9-12. (in Chinese)
- [10] 王桂芝. 基于 GIS 的三亚市热作土地适宜性评价模型的建立. 测绘与工程, 1997, (2): 23-28.
Wang G Z. The foundation of tropical crops land suitability evaluation model of three Asia city based on GIS. *Mapping and Engineering*, 1997, (2): 23-28. (in Chinese)
- [11] 邢世和, 黄 吉, 黄 河, 毛艳铃. GIS 支持下的区域耕地质量评价. 福建农林大学学报(自然科学版), 2002, (3): 378-382.
Xing S H, Huang J, Huang H, Mao Y L. Quality evaluation of regional cultivated land based on GIS. *Journal of Fujian Agricultural University (Natural science)*, 2002, (3): 378-382. (in Chinese)
- [12] 沈 汉, 邹国元. 菜地土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分. 土壤通报, 2004, 35(5): 553-557.
Shen H, Zou G Y. Parameters selection for evaluation of vegetable soil quality and its graduation. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(5): 553-557. (in Chinese)
- [13] 孙 霞, 文启凯, 尹林克, 孟 林, 白根本, 王雷涛. 层次分析法在塔里木河中下游退耕适宜性评价中的应用. 干旱区资源与环境, 2004, 18(6): 72-75.
Sun X, Wen Q K, Yin L K, Men L, Bai G B, Wang L T. Application of Analytic Hierarchy Process in assessment of suitability of returning farmland to grassland in middle and lower reaches of tarim river. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2004, 18(6): 72-75. (in Chinese)
- [14] 邬 伦. 地理信息系统——原理、方法和应用. 北京: 科学出版社, 2001.
Wu L. *Geographic Information System—Principal, Method and Application*. Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese)
- [15] 赵敬红, 侯海燕, 任爱琴, 张 洪, 韩有强. 河南许昌烤烟生态地球化学环境研究. 地球化学, 2005, 34(6): 657-662.
Zhao J H, Hou H Y, Ren A Q, Zhang H, Han Y Q. Eco-geochemical environment of Xuchang tobacco, Henan Province, *Geochimica*, 2005, 34(6): 657-662. (in Chinese)
- [16] 韩锦峰, 刘卫群, 杨素勤. 海拔高度对烤烟香气物质的影响. 中国烟草, 1993, (3): 1-3.
Han J F, Liu W Q, Yang S Q. The effects of heights of sea level on

- aromatic component. *China Tobacco*, 1993, (3): 1-3. (in Chinese)
- [17] 胡国松, 郑伟, 王震东, 李智勇, 招启柏. 烤烟营养原理. 科学出版社, 2000.
- Hu G S, Zheng W, Wang Z D, Li Z Y, Zhao Q B. *Tobacco Nutrient Principle*. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)
- [18] 奚振邦. 不同烟区烤烟含钾量差异初步研究. *中国烟草科学*, 2002, (4): 13-16.
- Xi Z B. Potassium content of flue-cured tobacco from different tobacco production areas. *Chinese Tobacco Science*, 2002, (4): 13-16. (in Chinese)
- [19] 张振平. 洛南县烟叶氯含量问题商榷. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2002, 30(4): 33-36.
- Zhang Z P. Discussions on chlorine contents of tobacco leaves in Luonan county. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition)*, 2002, 30(4): 33-36. (in Chinese)
- [20] 张翔, 范艺宽, 黄元炯, 郭香芬, 孙春河. 河南省烟区灌溉水全盐量和氯含量状况. *灌溉排水学报*, 2003, 22(4): 71-72.
- Zhang X, Fan Y K, Huang Y J, Guo X F, Sun C H. Present situation of salinity and chlorine content in irrigation water in tobacco growing areas in Henan. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2003, 22(4): 71-72. (in Chinese)
- [21] 王瑞燕, 赵庚星, 李涛, 岳玉德. GIS 支持下的耕地地力等级评价. *农业工程学报*, 2004, 20(1), 1: 307-310.
- Wang R Y, Zhao G X, Li T, Yue Y D. GIS supported quantitative evaluation of cultivated land fertility. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(1), 1: 307-310. (in Chinese)
- [22] Saaty T L. *The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.

(责任编辑 李云霞)