

# 基于 GIS 的四川省油橄榄生态适宜性模糊综合评价<sup>\*</sup>

郭 祥<sup>1,2</sup> 范建容<sup>1,\*</sup> 朱万泽<sup>1</sup> 严 冬<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要** 综合考虑与油橄榄生活习性密切相关的气候、土壤、地形等因素, 利用 GIS 分析方法对空间数据进行组织与计算, 结合 AHP 方法确定各参评因子权重, 并选择适当的隶属函数和模糊算子对四川省油橄榄生态适宜性进行模糊综合评判。结果表明: 基于 GIS 的模糊综合评判方法所得出的评价结果与目前四川省油橄榄引种区的分布大体一致, 较之传统的评价方法有着评价周期短、评价结果更加精细、更有利于小区域范围内生态适宜性的确定等优点。

**关键词** 油橄榄; 地理信息系统; 层次分析; 模糊综合评价; 生态适宜性

中图分类号 X171.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2010)3-0586-06

**Ecological suitability of olive in Sichuan Province: Fuzzy comprehensive evaluation based on GIS.** GUO Xiang<sup>1,2</sup>, FAN Jian-rong<sup>1</sup>, ZHU Wan-ze<sup>1</sup>, YAN Dong<sup>1,2</sup> ( <sup>1</sup>*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China*; <sup>2</sup>*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China* ). *Chinese Journal of Ecology*, 2010 29(3) 586-591.

**Abstract:** In this paper, the ecological suitability of olive in Sichuan Province was evaluated, based on GIS-fuzzy comprehensive evaluation method. A comprehensive consideration was taken on the climatic, soil, and topographic factors related to olive growth. The spatial data of the factors were organized and computed with GIS method; the weights of the factors were derived by using AHP method; and the proper membership function and fuzzy arithmetic operators were selected to conduct the comprehensive ecological suitability evaluation. There was a general consistency between the results yielded by GIS-fuzzy comprehensive evaluation method and the actual distribution of olive plantations. Compared with traditional evaluation methods, the GIS-fuzzy comprehensive evaluation method had the advantages of short-term, more fine and detailed, and more suitable for small spatial scale areas.

**Key words:** olive; geographic information system (GIS); analytic hierarchy process; fuzzy comprehensive evaluation; ecological suitability.

油橄榄是世界上著名的木本油料树种, 其果榨出的橄榄油具有很高的经济价值。从 20 世纪 60 年代开始, 在国家大力倡导和支持下, 中国从国外大量引进各个品种的油橄榄, 四川省是引种油橄榄最早的省份之一。徐纬英(2001)对中国油橄榄引种区分布及油橄榄的适生环境进行了研究, 周立江(2005)、杨冬生等(2007)、范雄(2002)等对四川省油橄榄种植区气候与引种环境做了分析和研究, 中国科学院成都山地灾害与环境研究所、四川省林业

科学院等单位曾对川中丘陵地区的生态适宜性进行评价。四川省气候与地貌特征较为复杂, 从而致使在很多地区地带性气候被地形气候类型所取代, 不同区域尺度的垂直分异作用叠加, 形成气候类型的区域分布错综复杂(杨冬生等, 2007)。这种复杂性导致了在寻找油橄榄适生区时难度加大, 以往的油橄榄适生区评价多是以气候因素为主要依据, 而忽略了地形因子的影响, 并且只是依靠简单的多因子叠加计算, 大多是以行政区划为单元, 评价结果不够精细, 不能体现油橄榄生态适宜性固有的模糊性。因此, 传统的分析方法已经不能快速准确地得出有效的分析结果。

<sup>\*</sup> 中国科学院 2006 年度“西部之光”人才培养计划项目和“国家‘十一五’科技支撑计划资助项目(2006BAC01A11)。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者 E-mail: fjrong@imde.ac.cn

收稿日期: 2009-07-01 接受日期: 2009-10-05

近年来 随着地球信息科学的发展 ,特别是 GIS 的快速发展为生态评价提供了更为便捷和精确的数据收集和处理平台 ,使得各种评价与规划的时效性和精细度有了大幅度的提高。通过对空间数据进行采集、组织、分析、模拟和显示 ,创建相关地理模型的方法。GIS 技术为地理空间分析提供多种空间和动态的地理信息 ,并为定量分析、综合评价和决策制定提供支持( 邱炳文等 2004 ,孙伟等 2006 )。Nekhay 等( 2009 )利用 GIS 分析方法对西班牙南部的安大略西亚地区的油橄榄对野生环境恢复的影响做了评价。Delgado 等( 2009 )利用模糊数据挖掘的方法对西班牙南部油橄榄的种植情况进行了评价调查。GIS 支持下的生态适宜性评价有很多的方法 ,本文采用的模糊综合评判法是一种以模糊推理为主的定性 与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评判方法 ,对于处理各种难以用精确数学方法描述的复杂系统问题有一定的优越性( 徐建华 2004 )。

1 材料与方法

1.1 数据来源与处理

气候数据采用四川省 157 个气象观测站 1961—1990 年观测数据的平均值。本文利用普通克里格方法对各参评的气候因素进行空间插值 ,在插值前对样本数据进行校验 ,去掉非真实异常的离群值 ,并对数据进行一定的转换 ,使其服从正态分布 ,在插值过程中设置一定数量的检验数据以验证插值结果的准确性。土壤数据来自中国科学院南京土壤所中国土壤数据库 ,原始数据为矢量数据 ,对其进行栅格化处理。地形数据采用由美国太空总署 ( NASA )和国防部国家测绘局( NIMA )联合测量的 SRTM 数据 ,分辨率为 90 m × 90 m ,以之为基础进行空间分析 ,提取研究区的坡度与坡向信息。本文选用 ArcGIS 9.2 作为数据处理平台 ,利用其较强的空间分析功能对数据进行预处理和分析 ,得到评价因子数据库。

1.2 模糊综合评判技术方法与分析

1.2.1 评价因子及评价单元的确定 评价过程中所涉及的数据必须是经核实可靠 ,并且能够量化和便于进行比较。国内外对油橄榄生物生态学特性研究资料表明( 徐纬英 2001 ) ,影响油橄榄生长发育的主导因素是气候和土壤 ,其中 ,年日照时数、年极端低温、年相对湿度为最关键因子 ,对于油橄榄的生长及产品的质量有着重要的影响 ,可作为生态适宜

性评价的主要依据。1 月平均温度对花芽分期有很大影响 ,年平均温度、年降雨量和地形因素也对油橄榄的生长与发育有一定的影响。由于地形因素对气候和土壤因子有一定的影响 ,所以在评价过程中也把坡度与坡向作为评价因子的一部分。并且把已引进油橄榄品种的生长发育、结实量以及含油量等资料作为佐证和调整指标 ,以提高评价结果的质量和实用性( 杨冬生等 2007 )。

鉴于本次油橄榄生态适宜性评价的目的是产生较为精细的评价结果 ,所以在评价单元的选择上要保证足够小的尺度与精度。本次评价以 1 km × 1 km 栅格为基本单位 ,个别因子如坡度、坡向因为受尺度影响较大 ,所以先用 90 m 分辨率的 DEM 生成单个因子 ,然后再抽样成统一尺度。最终将各参评因子进行相同尺度匹配处理 ,得到有统一空间坐标和相同栅格大小的数据。

1.2.2 评价指标体系的建立 指标体系设置是否合理和准确 ,直接影响评价结果的科学性、可靠性和准确性( 徐建华 2004 )。根据上文讨论结果 ,得到评价指标体系( 图 1 )。

根据评价体系的层次结构 ,建立四川省油橄榄生态适宜性评价模型 ,得到评价要素集合 :

$$U = \{U_1, U_2, U_3\}$$

其中 :

$$U_1 = \{u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}, u_{15}, u_{16}\}$$

$$U_2 = \{u_{21}\}$$

$$U_3 = \{u_{31}, u_{32}, u_{33}\}$$

1.2.3 评语集合的确定 根据生态适宜性评价的实际需要 ,将评价等级标准分为适宜、次适宜、边缘适宜、不适宜等 4 个等级( 徐作英等 2006 ) ,具体描述如下 :

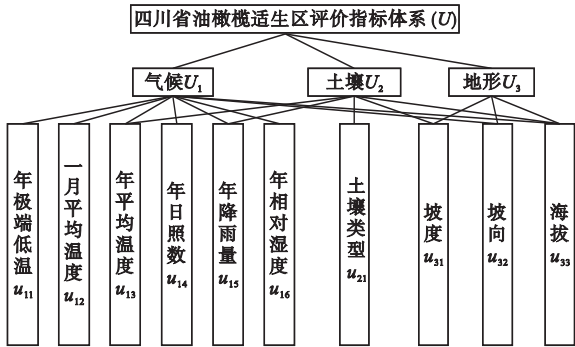


图 1 评价指标体系和 AHP 分析模型  
Fig. 1 Evaluation index system and AHP analysis model

1)适宜。主要气候条件对栽培油橄榄有利,有比较适宜的土壤,在常规的或是中等集约程度的栽培管理条件下,能达到世界油橄榄主生产区的平均植株产量及质量。

2)次适宜。主要气候条件能基本满足油橄榄部分产品的生长发育要求,在品种、土质选择较好的栽培条件下,能接近世界油橄榄种植地区的平均产量和质量。

3)边缘适宜。主要气候条件接近油橄榄生长(产果)的极限状态,如果选育新的油橄榄品种适宜的话,也有发展种植油橄榄的可能性。

4)不适宜。主要气候条件不能达到油橄榄生长和开花结实的基本要求,或存在难以克服的灾害性因素,即使培育新的品种或是在原基础上改造生长环境,也难以达到油橄榄生长发育或所得产品的质量指标。

根据以上分级标准,分别用  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$  来表示适宜、次适宜、边缘适宜、不适宜几个级别,因而评语集合可以表示为:

$$V = \{v_1 \ v_2 \ v_3 \ v_4 \}$$

1.2.4 评价因子权重的确定 对于二级评价模型中各指标的权重分配的确定,本文选用层次分析法(AHP)获得各参评因子的权重,然后运用信息熵对其进行修正(徐建华,2004),首先建立层次结构模型(图1)根据层次结构模型,在询问专家的基础上构造判断矩阵,进行层次单排序,并检验判断矩阵的一致性。如果判断矩阵都符合一致性检验,就进入层次总排序,最后还需要对层次总排序结果进行一致性检验,得到各指标的权重分配表(表1)。

表1 AHP 层次总排序结果

Tab.1 Result of the AHP level of total order

二级因子	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$W_{总}$
	0.5950	0.2385	0.1665	
$u_{11}$	0.0621	-	-	0.0369
$u_{12}$	0.0946	-	-	0.0563
$u_{13}$	0.2540	0.1314	-	0.1825
$u_{14}$	0.1503	-	-	0.0894
$u_{15}$	0.1786	0.1068	-	0.1318
$u_{16}$	0.1161	-	-	0.0691
$u_{21}$	-	0.5415	-	0.1292
$u_{31}$	-	0.1412	0.3439	0.0909
$u_{32}$	0.0482	-	0.2166	0.0647
$u_{33}$	0.0961	0.0791	0.4395	0.1492

指标等级的划分对于最后评价结果的准确性有很大的影响。所以,指标等级的划分与因子权重的确定不仅要参考油橄榄原产区的生长条件,还要密切的结合油橄榄在四川省 40 多年的种植经验和品种选育与改造的实际情况。油橄榄本属于亚热带树种,典型的地中海气候植物,喜光、耐高温、耐烟尘、不耐水湿。在原产地雨热不同季,夏季干旱少雨,冬季温暖多雨,年均气温 13.6℃~19.0℃,1月均温 3.8℃~9.2℃,极端最低气温不低于-7.0℃,年降水量 600~800 mm,年日照时数在 2200 h 以上,对日照时数有一定的要求(杨冬生等 2007)。四川省的气候特征与之有一定的差别,主要表现在以下几个方面:首先,四川省属于夏季多雨,夏季降雨量占到全年的 80% 左右。其次,四川年总日照的幅度是 975~2680 h,大多地区 <1500 h,单从日照时间上看,只有攀枝花和西昌地区的日照时间与原产地相当。温度与原产地的差异并不是很大,但四川省的相对湿度较高。另外,四川省境内地形较为复杂,地形的变化对水热的分布产生一定的影响,从而间接影响油橄榄的生长,而这种由地形因素引起的水热分布的变化,也使得油橄榄生态适宜性区域分布变得复杂。对油橄榄的引种试验情况进行分析可知,适宜油橄榄栽培的土壤为中性、钙质的土壤,这与原产地栽培的土壤条件较为相似。这些适宜的土壤类型中,以钙质紫色土、紫色冲积土最为适宜,而粘黄壤、姜石黄壤、沙黄壤为不适宜土壤(徐纬英,2001)。综合以上讨论,得出四川省油橄榄生态适宜性评价的指标等级划分表(表2)。

1.2.5 建立隶属函数 模糊综合评价的主要思想,是建立参评因子针对事先划分的不同适宜性等级的隶属函数,利用每个参评因子针对不同等级的隶属度来评价每个单元的适宜程度,因而隶属函数的确定尤为重要(Bragato 2004)。一个评价因素指标的值属于评语集合中某一级别的程度称为隶属度,是一个介于 0~1 之间的值,由隶属函数确定。隶属函数反映了参评因子取值对应于各适宜性等级的模糊界限(徐建华 2004)。

由于本次生态适宜性评价涉及到整个四川省,因子较多,数据量较大,为了便于计算本文采用简化的线性隶属函数来计算隶属度(陈建飞和刘卫民,1999)。第  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 10$ ) 个因子针对不同适宜级别的隶属函数表示如下:

表 2 参评因子等级指标划分表  
Tab.2 Grading division indicators of participation factor

一级评价因子	二级评价因子	指标等级划分			
		$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$
气候 $U_1$	年极端低温(℃) $u_{11}$	-6 ~ -4.2	-9.1 ~ -6 -4.2 ~ -3.3	-3.3 ~ -0.6 -12.0 ~ -9.1	< -12 > -0.6
	1 月平均温度(℃) $u_{12}$	6 ~ 7	4.9 ~ 6 7 ~ 9.5	2.5 ~ 4.9 9.5 ~ 12.2	< 2.5 > 12.2
	年平均温度(℃) $u_{13}$	16.1 ~ 17	15 ~ 16.1 17 ~ 19	14 ~ 15 19 ~ 23.9	< 14 > 23.9
	年日照数(h) $u_{14}$	> 1600	1246 ~ 1600	1000 ~ 1246	< 1000
	年降雨量(mm) $u_{15}$	726 ~ 1049	1049 ~ 1230 600 ~ 726	1230 ~ 1454 400 ~ 600	> 1454 < 400
	年相对湿度(%) $u_{16}$	60 ~ 70	70 ~ 76 53 ~ 60	76 ~ 83 40 ~ 53	> 83 < 40
	土壤类型 $u_{21}$	钙质紫色土、紫色冲积土等	红黄壤、红黄冲积土、潮沙土、夹石沙土等	冷沙黄壤、矿子黄壤、黄沙土等	粘黄壤、姜石黄壤、沙黄壤等
	地形 $U_3$				
地形 $U_3$	坡度(°) $u_{31}$	< 7	7 ~ 20	20 ~ 45	> 45
	坡向(°) $u_{32}$	135 ~ 225	90 ~ 135 225 ~ 270	45 ~ 90 270 ~ 315	0 ~ 45 315 ~ 360
	海拔(m) $u_{33}$	< 800	800 ~ 1500	1500 ~ 3000	> 3000

隶属于第一级( $j = 1$ )的隶属函数表示为：

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & C_i \geq S_{i2} \\ \frac{C_i - S_{i2}}{S_{i1} - S_{i2}} & S_{i1} < C_i < S_{i2} \\ 1 & C_i \leq S_{i1} \end{cases} \quad (1)$$

隶属于第二、三级( $j = 2, 3$ )的隶属函数表示为：

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & C_i \leq S_{ij-1}, C \geq S_{ij+1} \\ \frac{C_i - S_{ij-1}}{S_{ij} - S_{ij-1}} & S_{ij-1} < C_i < S_{ij} \\ \frac{C_i - S_{ij+1}}{S_{ij} - S_{ij+1}} & S_{ij} \leq C_i < S_{ij+1} \end{cases} \quad (2)$$

隶属于第四级( $j = 4$ )的隶属函数表示为：

$$r_{ij} = \begin{cases} 0 & C_i \leq S_{ij-1} \\ \frac{C_i - S_{ij-1}}{S_{ij} - S_{ij-1}} & S_{ij-1} < C_i < S_{ij} \\ 1 & C_i = S_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

在式(1)–(3)中： $r_{ij}$ 表示第*i*个参评因子相对于第*j*等级的隶属度； $C_i$ 为第*i*个参评因子的实际值； $S_{ij}$ 为第*i*种参评因子第*j*适宜级别的标准值。土壤类型数据不具备连续性和模糊性，即无法用确定的隶属函数来计算它针对某一级别的隶属度，可按照不同土壤类型所对应的适宜级别将定性的描述转化为[0，1]之间的数值，以便参与计算(吴克宁等 2007)。

1.2.6 建立综合评价模型并进行综合评价 根据

AHP 法得到层次总排序后的权重结果，得到参评因子的权重系数向量  $A$ ：

$A = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_{10}]$   
根据式(1)–(3)计算各个因子分别属于 4 个适宜级别的隶属度，得到各因子的评价决策矩阵  $R$ ：

$$R = \begin{bmatrix} L_{1,1} & L_{1,2} & L_{1,3} & L_{1,4} \\ L_{2,1} & L_{2,2} & L_{2,3} & L_{2,4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{10,1} & L_{10,2} & L_{10,3} & L_{10,4} \end{bmatrix}$$

其中  $L_{ij}$  表示第*i*个参评因子属于第*j*评价级别的隶属度。需要说明的是，此处的  $L_{ij}$  是以栅格图层为载体，从而可以对整个参评因子图层内的评价单元做批量运算。

之后，再由权重系数向量  $A$  和综合评价决策矩阵  $R$  进行合成运算，得到四川省油橄榄生态适宜性模糊综合评价的结果：

$$B = A \circ R = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_{10}]^{\circ} \begin{bmatrix} L_{1,1} & L_{1,2} & L_{1,3} & L_{1,4} \\ L_{2,1} & L_{2,2} & L_{2,3} & L_{2,4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ L_{10,1} & L_{10,2} & L_{10,3} & L_{10,4} \end{bmatrix} = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4]$$

其中“ $\circ$ ”为模糊关系的合成算子，根据不同的需要对应多种不同的算子(谢季坚和刘承平 2005)。本

文采用  $M(\cdot, \oplus)$  算子进行合成计算,与扎德算子模型  $M(\wedge, \vee)$  相比,  $M(\cdot, \oplus)$  模型能较好的均衡兼顾各个指标的重要性,使所有指标对综合评判的作用都体现出来(刘运通和胡江碧 2001),由于  $A$  满足  $\sum a_i = 1$  的要求,而  $r_{ij} \leq 1$ ,所以运算“ $\oplus$ ”蜕化为一般的实数加法,因而此模型可以改写为  $M(\cdot, +)$ ,即普通矩阵乘法(孙芳蒂等 2006)。

模糊评价结果  $B$  对应评语集合规定的 4 个级别  $b_k(k = 1, 2, 3, 4)$  之间进行比较,取较大的  $b_k$  对应的级别  $k$  作为单个评价单元的归属。

2 结果与分析

对四川省油橄榄生态适宜性模糊综合评价结果进一步的分类,从而得到四川省油橄榄生态适宜性评价图(图 2)。

1)适宜区。主要分布在川西南山地的河谷地区。这些地区年平均气温、1 月份平均气温都比较适合油橄榄的发育和生长,年极端温度大多在  $-4^{\circ}\text{C}$  左右,对油橄榄的花芽顺利分化很有利。年相对湿度在 60% 和 70% 之间,大多地区的年日照时数  $> 1600\text{ h}$ ,并且土壤主要为红壤,较适于油橄榄的生长。其中几个较大的油橄榄试种区大多分布在这些区域,如西昌等地区,可以在这些区域大力推广油橄榄的种植。

2)次适宜区。主要分布在西南山地低海拔区、川北低山丘陵、川中川南低山丘陵区。这些地区的生态适宜性条件基本上符合油橄榄的生长,一般表

现为多数因子符合油橄榄的生长条件,有个别因子适宜性欠缺。以南充为例,土壤类型主要为紫色土,年均温  $16^{\circ}\text{C}$ ,年日照时数  $1400\text{ h}$  左右,年极端低温约为  $-7^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 75%,从气候上来看与适宜区有一定的偏差,但总体上还是可以通过改良品种和改善种植条件,理论上能够达到适宜区的生长状态。具有代表性的地区有巴中、三台县等。四川盆地大多地区日照时间较短,相对湿度较大,对油橄榄的生长有一定的影响。建议这些区域应在专家和技术人员的指导下,培育适当的品种或改良种植条件,有选择的种植油橄榄。

3)边缘适宜区。主要分布在西南山地高海拔地区、四川盆地平原及部分丘陵区。西南山地海拔较高区域由于年平均气温和一月平均温度等因素制约了油橄榄的生长。四川盆地平原及部分丘陵区气候温和、降雨丰沛,但光照不足,从多年的种植经验来看,此区域内油橄榄树能存活,但不能开花结果。在这些区域不推荐种植油橄榄。

4)不适宜区。广主要分布在四川西部和北部的甘孜、阿坝等地区,这些地区虽光照充足,但海拔较高,气候寒冷、干燥,土壤类型也不适合油橄榄的生长。四川北部的若尔盖草原地区多为沼泽地,气候因素也严重制约了油橄榄的生长发育。在以上区域油橄榄无法正常生长,因而在做油橄榄种植规划时可不考虑这些区域。

3 讨论

在对四川省油橄榄生态适宜性进行评价的过程中,起关键作用的有 3 个方面:一是要选择合理的评价单元;二是参评因子要包括与油橄榄生活习性密切相关的各个因素并合理的确定各因子的权重;三是要充分考虑到油橄榄生态适宜的模糊性这一特点。本文采用  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  栅格为评价单元,可以得到空间上较为精细的评价结果。评价因子不仅包含了与油橄榄生长发育密切相关的气候、土壤因素,还引入了地形因素。利用 GIS 较强的空间分析和数据处理功能,对数据进行处理和分析,运用 AHP 与模糊综合评判相结合的评价模型,对多个因子进行快速的空间运算。本评价所得出的油橄榄生态适宜性分布与目前四川省油橄榄引种区的分布基本吻合,与杨冬生等(2007)根据传统单因子叠加方法得出

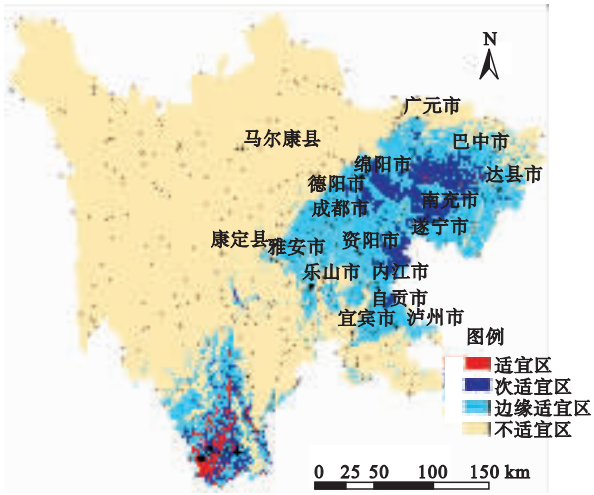


图 2 四川省油橄榄生态适宜性区域分布示意图  
Fig. 2 Regional distribution of evaluation on olive eco-suitability in Sichuan Province

的四川省油橄榄适生区分布相比较,适宜性分布的趋势相近,个别小区域有所不同,这就体现出模糊评判所得结果更加细致、综合性强等优点。本评价可以为四川省油橄榄种植产业的规划提供指导,以产生更大的生态和经济效益。此外,四川省是地质灾害多发的地区,一些区域滑坡、泥石流等灾害频发,这对油橄榄的种植也有一定的影响,因而在种植规划中还要根据实际情况进行相应的调整。

#### 参考文献

- 陈建飞,刘卫民. 1999. Fuzzy 综合评判在土地适宜性评价中的应用. 资源科学, **21**(4):71-74.
- 范 雄. 2002. 四川油橄榄气候适应性分析. 四川气象, (3):25-27.
- 刘运通,胡江碧. 2001. 模糊评判的数学模型及其参数估计. 北京工业大学学报, **27**(1):112-115.
- 邱炳文,池天河,王钦敏,等. 2004. GIS 在土地适宜性评价中的应用与展望. 地理与地理信息科学, **20**(5):20-23.
- 孙 伟,陈 雯,段学军. 2006. GIS 技术在区域土地开发适宜性分区中的应用——以江苏省为例. 计算机应用研究, **36**(12):220-224.
- 孙芳蒂,庞小平,牛继强. 2006. 基于模糊综合评判的土地持续利用研究——以湖北省为例. 长江流域资源与环境, **15**(增1):32-35.
- 吴克宁,杨 扬,吕巧灵. 2007. 模糊综合评判在烟草生态

- 适宜性评价中的应用. 土壤通报, **38**(4):631-634.
- 谢季坚,刘承平. 2005. 模糊数学方法及其应用. 武汉:华中科技大学出版社.
- 徐建华. 2004. 现代地理学中的数学方法. 北京:高等教育出版社.
- 徐纬英. 2001. 中国油橄榄. 长春:长春出版社.
- 徐作英,严 伟,杜忠容,等. 2006. 木本油料经济植物油橄榄的研究——油橄榄在四川的开发现状及对策. 安徽农业科学, **34**(4):650-652.
- 杨冬生,郭亨孝,王金锡. 2007. 四川油橄榄——种植与发展. 成都:四川科技出版社.
- 周立江. 2005. 四川油橄榄引种栽培的环境分析与评价. 四川林勘设计, (3):1-8.
- Bragato G. 2004. Fuzzy continuous classification and spatial interpolation in conventional soil survey for soil mapping of the lower Piave plain. *Geoderma*, **118**:1-16.
- Delgado G, Aranda V, Calero J, et al. 2009. Using fuzzy data mining to evaluate survey data from olive grove cultivation. *Computers and Electronics in Agriculture*, **65**:99-113.
- Nekhay O, Arriaza M, Guzman-alvarez JR. 2009. Spatial analysis of the suitability of olive plantations for wildlife habitat restoration. *Computers and Electronics in Agriculture*, **65**:49-64.

---

作者简介 郭 祥 男,1982 年生,硕士研究生。主要从事 GIS 与遥感在生态环境中的应用研究。E-mail:gxian82@163.com  
责任编辑 李凤芹

---