

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.06.047

孙飞虎, 柳平增, 孟宪勇, 等. 基于模糊聚类的沂水雪茄烟种植生态适应性评价[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(6): 330-336

Sun Feihu, Liu Pingzeng, Meng Xianyong, et al. Ecological suitability evaluation of cigar planting in Yishui based on fuzzy clustering [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(6): 330-336

# 基于模糊聚类的沂水雪茄烟种植生态适应性评价\*

孙飞虎<sup>1, 2, 3</sup>, 柳平增<sup>1, 2, 3</sup>, 孟宪勇<sup>1, 2, 3</sup>, 陈秀斋<sup>4</sup>, 张超<sup>4</sup>, 刘莉<sup>4</sup>

(1. 山东农业大学信息科学与工程学院, 山东泰安, 271018; 2. 农业农村部黄淮海智慧农业技术重点实验室, 山东泰安, 271018; 3. 山东农业大学农业大数据研究中心, 山东泰安, 271018; 4. 山东临沂烟草有限公司, 山东临沂, 276003)

**摘要:** 通过生态适应性评价筛选适合雪茄烟种植生产的区域, 是提升雪茄原料产量与质量、促进雪茄产业发展的前提。以山东沂水雪茄庄园为例, 运用生育期平均气温、昼夜气温差、生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温、生育期相对湿度、生育期降雨量以及生育期日均日照时数等雪茄种植生产的重要气候指标, 对哈瓦那、比那尔得里奥、什那等 11 个国内外优质雪茄烟区进行模糊聚类并通过隶属度函数求得各地区相应的 *CFI* 值。模糊聚类结果表明, 可将 11 个区域划分为 4 类, 其中沂水气候条件与哈瓦那、比那尔得里奥、什那、多米尼加、巴伊亚州等国内外优质雪茄种植地区相似, 它们的气候适宜性指数 *CFI* 值依次为沂水(0.931)、哈瓦那(0.963)、比那尔得里奥(0.956)、什那(0.944)、多米尼加(0.932)、巴伊亚州(0.892), 尤其沂水与多米尼加的 *CFI* 指数最为相近。由此得出, 沂水雪茄庄园具有种植优质雪茄烟的生态气候条件。

**关键词:** 模糊聚类; 雪茄; 气候适宜性; 生态适应性; 隶属度函数

中图分类号: S572 文献标识码: A 文章编号: 2095-5553 (2024) 06-0330-07

## Ecological suitability evaluation of cigar planting in Yishui based on fuzzy clustering

Sun Feihu<sup>1, 2, 3</sup>, Liu Pingzeng<sup>1, 2, 3</sup>, Meng Xianyong<sup>1, 2, 3</sup>, Chen Xiuzhai<sup>4</sup>, Zhang Chao<sup>4</sup>, Liu Li<sup>4</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, 271018, China; 2. Key Laboratory of Intelligent Agriculture Technology of the Yellow and Huaihai Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tai'an, 271018, China; 3. Agricultural Big Data Research Center, Shandong Agricultural University, Tai'an, 271018, China; 4. Shandong Linyi Tobacco Co., Ltd., Linyi, 276003, China)

**Abstract:** Screening suitable areas for cigar planting and production through ecological adaptability evaluation is a prerequisite for improving the yield and quality of cigar raw materials and promoting the development of cigar industry. Taking Yishui Cigar Estate in Shandong Province as an example, using important climate indicators such as average temperature during the growth period, temperature difference between day and night, active accumulated temperature of  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  during the growth period, relative humidity during the growth period, rainfall during the growth period and average daily sunshine hours during the growth period, fuzzy clustering was carried out on 11 high-quality cigar tobacco areas at home and abroad, including Havana, Binard de Rio and Shifang, and the corresponding *CFI* values of each region were obtained through the membership function. The fuzzy clustering results showed that 11 regions could be divided into 4 categories, among which the climatic conditions of Yishui were similar to those of Havana, Pinar de Rio, Dominica, Bahia, Shifang and other high-quality cigar growing areas at home and abroad, and their climate suitability index *CFI* values were 0.931, 0.963, 0.956, 0.944, 0.932 and 0.892, respectively, especially Yishui and Dominica's *CFI* index was the most similar. It is concluded that Yishui Cigar Estate has the ecological and climatic conditions for growing high-quality cigars.

**Keywords:** fuzzy clustering; cigar; climatic suitability; ecological suitability; membership function

收稿日期: 2022 年 11 月 21 日 修回日期: 2023 年 2 月 17 日

\* 基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ019); 2019 年度山东省重点研发计划(公益类专项)项目(2019GNC106103); 山东省科技特派员项目(2020KJTPY078); 山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY010713)

第一作者: 孙飞虎, 男, 1999 年生, 安徽濉溪人, 硕士研究生; 研究方向为大数据与人工智能。E-mail: sunflytiger@163.com

通讯作者: 柳平增, 男, 1968 年生, 山东济南人, 教授, 博导; 研究方向为农业大数据、农业物联网与智慧农业。E-mail: pzhou@sdau.edu.cn

## 0 引言

近年来,我国雪茄产业发展迅速<sup>[1]</sup>,已逐步成为我国烟草行业新的经济增长点<sup>[2]</sup>。目前大部分国产雪茄烟原料依赖于国外进口,雪茄烟叶特别是高质量茄衣短缺一定程度上制约了我国雪茄产业的健康、可持续发展,已成为制约雪茄产业发展的最大瓶颈<sup>[3]</sup>。雪茄烟作为晾烟的一种,对生态和气候条件要求更高<sup>[4]</sup>。生态因素对雪茄烟的产量与品质皆有影响,尤其是对烟叶品质影响最大<sup>[5, 6]</sup>,雪茄烟生长的生态条件主要包括气候条件与土壤条件<sup>[7]</sup>,而气候条件对雪茄烟的影响尤为显著<sup>[8]</sup>,因此筛选出适宜种植优质雪茄烟的产区对解决雪茄原料短缺、推动雪茄产业健康可持续发展具有重要意义。本研究拟在分析沂水气候特点基础上,研究烟草种植生态适宜性评价方法。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

山东省沂水县地处鲁中南地区,沂蒙山区北部,沂山南麓,属鲁中南低山陵区,地势西北高、东南低,西北部为低山区,东部和东北部为丘陵,中南部为平原。地理坐标东经 118°11'~119°03',北纬 35°36'~36°12'。沂水县属暖温带季风气候区,年均气温为 12.5℃~13.5℃,昼夜温差大,无霜期长达 240 d 以上,年均降雨量为 785.1 mm,7—9 月降雨量充沛,约占全年降雨量的 70%,年平均相对湿度为 65%,年均日照率为 55%~59%,年日照总时长为 2420.1 h。雪茄庄园地处沂水县西北部诸葛镇跋山水库北岸,境内为低山区,海拔在 159~524 m 之间,水资源充沛,黄烟为该地区的主要经济作物之一。

### 1.2 研究方法

模糊聚类分析是根据客观事物间的特征、亲疏程度、相似性,通过建立模糊相似关系对客观事物进行聚类分析,其在解决区域划分、气候分类等问题上都有一定的应用<sup>[9]</sup>。本文在文献<sup>[10-13]</sup>等的基础上,提出模糊聚类与隶属函数相结合的气候适宜性评价方法。首先利用模糊聚类对采集的数据样本进行聚类,然后采用隶属度函数对和沂水聚到一类的雪茄烟区进行评分。

#### 1.2.1 模糊聚类分析

1) 数据标准化处理。由于各性状指标的量纲和数量级不同,不能直接计算分析。为消除单位的影响,使数据具有可比性,需采用标准差法对原始数据进行处理。

$$F_{ij} = \frac{F'_{ij} - \overline{F'_j}}{S_j} \quad (1)$$

式中:  $F_{ij}$  —— 初始数据;

$\overline{F'_j}$  —— 某一性状 的均值;

$S_j$  —— 该性状 的标准差。

2) 建立模糊相似矩阵。设  $U$  为被分类对象的全体,  $r_{ij}$  为在  $U$  上建立的相似系数。采用欧式距离法由式(2)计算  $r_{ij}$ ,并建立模糊相似矩阵  $R$ 。

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 1 - \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^m (F_{ik} - F_{jk})^2}}{D} & i \neq j \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{其中 } D = \max \sqrt{\sum_{k=1}^m (F_{ik} - F_{jk})^2}。$$

3) 求模糊等价矩阵  $R^*$ 。模糊等价矩阵:即  $R$  自乘  $R \cdot R = R^2$ ,再自乘  $R^2 \cdot R^2 = R^4$ ,直到  $R^{2k} = R^k = R^*$  为止,则  $R^*$  便是一个模糊等价矩阵。

4) 模糊聚类分析。用  $R_\lambda^* = (\lambda_{ij})$ ,取适宜实数  $\lambda \in [0, 1]$ 。当  $r_{ij} \geq \lambda$  时,  $\lambda_{ij} = 1$ ;当  $r_{ij} < \lambda$  时,  $\lambda_{ij} = 0$ 。对得到的结果矩阵进行排序划分,即得到在  $\lambda$  水平上的分类。

#### 1.2.2 基于模糊数学求气候适宜性指数

1) 评价指标隶属函数的建立。通过模糊统计法确定各评价指标的隶属函数类型、最优值和最差值,然后计算出各评价因子的隶属度。涉及的隶属度函数为抛物线型(式(3))与升梯型(式(4)),其中抛物线型函数适用于雪茄烟生长既有上限又有下限的因子,升梯型函数适用于雪茄烟有下限无上限的因子。本研究涉及隶属函数如式(3)所示,其中  $a$  为下限,  $b$  为最优值下限,  $c$  为最优值上限,  $d$  为上限,  $a < b < c < d$ 。

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & b \leq x < c \\ \frac{x-a}{b-a} \times 0.9 + 0.1 & a < x < b \\ \frac{d-x}{d-c} \times 0.9 + 0.1 & c < x < d \\ 0.1 & x \geq d, x \leq a \end{cases} \quad (3)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} \times 0.9 + 0.1 & a \leq x < b \\ 0.1 & x < a \end{cases} \quad (4)$$

本研究首先通过数据统计分析以及咨询专家筛选出进行适宜性评价的气候因子,然后通过层次分析法构建层次结构模型,将与评价有关的要素分为目标层(雪茄生态适应性)、准则层(气候条件)和指标层(生育期平均气温,生育期  $\geq 10$ ℃活动积温,生育期相对湿度,生育期平均降水量,生育期平均日照时数),结合专家赋值法来进行判断矩阵的构造,最后进行一致性检验并计算各指标权重值。所涉及的各气候因子的权重值、隶属函数类型及拐点如表 1 所示。



将标准化处理过的数据根据式(2)进行模糊相似矩阵和模糊等价矩阵的求解。求得的矩阵为 n 阶对称方阵,其中 n 代表所进行聚类的样本总数。

当 k=8 时, R<sup>8</sup>=R<sup>16</sup>, R<sup>8</sup> 为模糊等价矩阵,模糊等价矩阵见表 5。

3) 聚类分析。用 R<sub>λ</sub><sup>\*</sup>=(λ<sub>ij</sub>), 取适宜实数 λ∈[0, 1]。当 r<sub>ij</sub> ≥ λ 时, λ<sub>ij</sub> = 1; 当 r<sub>ij</sub> ≤ λ 时, λ<sub>ij</sub> = 0。对得到的结果矩阵进行排序划分,即得到在 λ 水平上的分类。

表 5 模糊等价矩阵 R<sup>\*</sup>  
Tab. 5 Fuzzy equivalence matrix R<sup>\*</sup>

Table with 12 columns (r1\* to r11\*) and 12 rows (r1\* to r11\*) showing fuzzy equivalence matrix values.

表 6 截距矩阵  
Tab. 6 Intercept matrix

Table with 11 columns and 11 rows showing intercept matrix values (0 or 1).

表 7 聚类分析结果  
Tab. 7 Cluster analysis results

Table with 2 columns: 类别 (Category) and 同类区域 (Same category region), listing regions like 哈瓦那, 比那尔得里奥, etc.

2.2 气候适宜性评价

将聚类分析得到的和沂水处在同一类的地区,即为 I 类的地区进行气候适宜性评价。

在模糊等价矩阵 R<sup>\*</sup> 中,取 λ = 0.68, 当 r<sup>\*</sup> ≥ 0.68 时, r<sup>\*</sup> = 1; 当 r<sup>\*</sup> ≤ 0.68 时, r<sup>\*</sup> = 0。即得到 λ = 0.68 水平下的截距矩阵 t(R), 如表 6 所示。

从表 6 可得,当 λ = 0.68 时,11 个区域可被划分为 4 类,结果如表 7 所示。模糊聚类结果表明,沂水气候条件与哈瓦那,比那尔得里奥,多米尼加,巴伊亚州,什那等国内外优质雪茄种植地区比较相似,具备生产优质雪茄的气候条件。

2.2.1 气候条件分析

雪茄烟叶是喜温作物,在 6℃~35℃ 均能生长,但优质的雪茄烟对温度的要求非常严格,一般以 20℃~30℃ 为宜;积温反映了雪茄烟生长所需的热量条件,积温不足会导致烟叶内物质的形成和转化效率降低,烟叶生育期气温 ≥ 10℃ 的活动积温 ≥ 2800℃ 为烟叶适宜生长的热量条件,最低积温不低于 2600℃。

图 1 为沂水 5—8 月份平均气温变化,可以看出 5—8 月份沂水平均气温均处在 20℃~30℃ 之间,总积温达到了 2967.5℃。说明沂水具有雪茄烟叶生长的适宜气温条件,且能为烟叶的生长发育提供充足的积温。

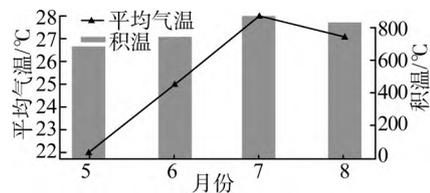


图 1 沂水 5—8 月份月均气温以及 ≥ 10℃ 积温变化  
Fig. 1 Monthly average temperature and accumulated temperature change of ≥ 10℃ from May to August in Yishui

烟叶生长大田期的水分供应,对烟叶生长发育及烟叶质量、产量影响很大。降水对烤烟的影响,主要决定于雨量的分布:移栽至旺长前,烟株的耗水量少,这段时间的月降雨量在 70~100 mm,土壤相对湿度为





- ecological conditions on the yield and quality of different flue-cured cultivars [J]. Tobacco Science & Technology, 2002(10): 40-45.
- [7] 倪明, 濮永瑜, 何翔, 等. 保山市植烟土壤养分时空变异特征及土壤肥力适宜性评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(10): 2303-2309.
- Ni Ming, Pu Yongyu, He Xiang, et al. Soil nutrients spatial-temporal variability and soil fertility suitability in baoshan tobacco-planting area [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(10): 2303-2309.
- [8] 薛剑波, 符云鹏, 尹永强. 影响烟草中烟碱含量的因素及调控措施[J]. 安徽农业科学, 2005(6): 1053-1055.
- Xue Jianbo, Fu Yunpeng, Yin Yongqiang. Factor and controlling measures influencing the nicotine content in tobacco leaf [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005(6): 1053-1055.
- [9] Moharana P C, Jena R K, Pradhan U K, et al. Geostatistical and fuzzy clustering approach for delineation of site-specific management zones and yield-limiting factors in irrigated hot arid environment of India [J]. Precision Agriculture, 2020, 21(2): 426-448.
- [10] 张谊寒, 张晨东, 焦芳婵, 等. 雪茄外包皮烟在云南种植的适宜气候区初步筛选研究[J]. 西南农业学报, 2012, 25(6): 2005-2009.
- Zhang Yihan, Zhang Chendong, Jiao Fangchan, et al. Preliminary study on suitable planting regions of cigar wrapper tobacco in Yunnan Province [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(6): 2005-2009.
- [11] 冯晓利, 何伟, 蒋贵国, 等. 基于模糊综合评价法的双流县农用地适宜性评价[J]. 西南农业学报, 2012, 25(3): 982-988.
- Feng Xiaoli, He Wei, Jiang Guiguo, et al. Fuzzy comprehensive assessment analysis of agricultural land suitability evaluation in Shuangliu County [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(3): 982-988.
- [12] 李滢芳, 周桂园, 李辉, 等. 基于 GIS 技术和灰关联度法的文山植烟生态适宜性评价[J]. 西南农业学报, 2012, 25(2): 408-411.
- Li Yanfang, Zhou Guiyuan, Li Hui, et al. Ecological suitability evaluation of flue-cured tobacco planted in Wenshan prefecture based on GIS techniques and grey correlative analysis [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2012, 25(2): 408-411.
- [13] 胡颖梅, 徐磊, 袁帅, 等. 陕西烤烟气候适宜性时空变化特征及风险分析[J]. 烟草科技, 2021, 54(7): 41-50.
- Hu Yingmei, Xu Lei, Yuan Shuai, et al. Spatiotemporal variation characteristics of climatic suitability for flue-cured tobacco in Shaanxi and corresponding risk analysis [J]. Tobacco Science & Technology, 2021, 54(7): 41-50.
- [14] 许彦平, 姚晓红, 王润元, 等. 天水烤烟适生适产的气候区划[J]. 中国农业气象, 2008(2): 188-190.
- Xu Yanping, Yao Xiaohong, Wang Runyuan, et al. The climatic demarcation for flue-cured tobacco suitably lives in Tianshui [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008(2): 188-190.
- [15] 张久权, 梁洪波, 董建新, 等. 基于 GIS 和模糊集理论的四川烤烟生态适应性评价[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(3): 8-14.
- [16] 陈伟, 王三根, 唐远驹, 等. 不同烟区烤烟化学成分的主导气候影响因子分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2008(1): 144-150.
- Chen Wei, Wang Sangen, Tang Yuanju, et al. Analysis of the dominant climatic factors influencing the chemical compositions of flue-cured tobacco in different tobacco-growing areas [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2008(1): 144-150.
- [17] 孙延国, 马兴华, 黄择祥, 等. 烟草温光特性研究与利用: I. 气象因素对山东烟区主栽品种生育期的影响[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(1): 30-37.
- Sun Yanguo, Ma Xinghua, Huang Zexiang, et al. Investigation and utilization of temperature and light characteristics of tobacco: I. Effects of meteorological factors on growth period of main varieties in Shandong tobacco-growing areas [J]. Chinese Tobacco Science, 2020, 41(1): 30-37.