

王 栋,李文峰,齐伟恒. 基于 GIS 的云南省马铃薯种植气候适宜性区划[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):185-189.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.050

# 基于 GIS 的云南省马铃薯种植气候适宜性区划

王 栋<sup>1,2</sup>, 李文峰<sup>3</sup>, 齐伟恒<sup>1,2</sup>

(1. 云南农业大学基础与信息工程学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省高校农业信息技术重点实验室, 云南昆明 650201;  
3. 云南农业大学新农村发展研究院, 云南昆明 650201)

**摘要:**气候环境是影响马铃薯生长发育的至关重要因素之一, 为了对云南省的马铃薯种植进行气候适宜性区划, 以云南省境内 125 个气象监测站测得的温度、降水、日照时数等气象数据和云南省地理信息数据为基础, 结合前人对马铃薯生长的生理生态研究成果, 通过专家打分法和层次分析法等技术手段建立了云南省马铃薯种植气候适宜性评价指标体系。该评价体系包括“生育期平均气温”“生育期降雨量”“生育期日照时数”“云南省 7 月平均气温”和“云南省地理海拔高度”5 个评价指标, 将每个指标划分为“最适宜区”“适宜区”和“次适宜区”3 个区域。在该评价体系的基础上构建了综合评价模型, 运用地理信息系统(GIS)技术, 对云南省马铃薯种植的气候适宜性进行了区域划分。结果显示, 马铃薯最适宜种植区占云南省的 24.6%, 适宜区占 56.1%, 次适宜区占 13.9%。研究结果可为云南省马铃薯科学种植规划提供参考依据。

**关键词:**地理信息系统(GIS); 马铃薯; 适宜性; 云南省; 区划

**中图分类号:** S162.2    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0185-05

云南省地处我国的西南边陲, 位于 21°8'32"~29°15'8"N、97°31'39"~106°11'47"E 之间, 是人类文明重要的发祥地之一, 广阔的地域面积造就了生态环境的多种多样。当地的自然气候条件适宜马铃薯的生长发育, 是中国马铃薯五大主产区之一<sup>[1]</sup>。自从马铃薯传入云南之后, 人们对其种植因地制宜,

创造了多种多样的耕作制度, 积累了丰富的马铃薯栽培经验, 形成了各具特色的地方食品。在云南省内, 马铃薯既被当作粮食又被当作菜品, 深受人们的喜爱。由于云南省特殊的立体气候, 几乎周年均可生产, 并且云南的马铃薯生产周期较短, 当出现了粮食危机的时候, 马铃薯便首当其冲地作为备粮备荒的主要粮食作物<sup>[2]</sup>。由此可见, 马铃薯对于云南省乃至全国粮食安全方面起着举足轻重的作用。

据 2013 年的“中国马铃薯大会报告”资料中显示, 云南省所产马铃薯的总产量占全国马铃薯总产量的 8%。经查阅《云南农业年鉴》的统计数据, 2013 年的主要粮食总产量中, 玉米约 734.2 万 t, 稻谷约 667.9 万 t, 豆类约 131.4 万 t, 小麦约 80.5 万 t, 薯类约 207.6 万 t(按折粮计算), 薯类当中马铃薯约 194.5 万 t(按折粮计算)。2014 年, 云南省的马铃薯种

收稿日期: 2017-01-18

基金项目: 国家科技支撑计划(编号: 2014BAD10B03); 公益性行业国土资源科研专项(编号: 201511003-4); 云南农业大学研究生科技创新项目(编号: 2016yk32)。

作者简介: 王 栋(1991—), 男, 山东淄博人, 硕士研究生, 主要研究方向为 GIS 的农业应用。E-mail: leowangdong1021@yahoo.com。

通信作者: 李文峰, 博士, 副教授。主要从事作物生态与模拟研究和 GIS 的农业应用。E-mail: liwf83@126.com。

温室覆盖层温度的预测效果, 温室动态模型对温室内空气温度与温室覆盖层温度预测效果虽然精度稍有欠缺, 但受已知数据的影响较小, 在特定情况下能为温室内温度预测提供一定的指导。

## 参考文献:

- [1] Bot G P A. Greenhouse climate; from physical processes to a dynamic model[D]. The Netherlands: Agriculture of University Wageningen, 1983: 55-58.
- [2] Van Henten E J. Greenhouse climate management: an optimal control approach [D]. The Netherlands: Agriculture of University Wageningen, 1994: 32-33.
- [3] Abdel-Ghany A M, Al-Helal I M. Solar energy utilization by a greenhouse: general relations[J]. Renewable Energy, 2011, 36(1): 189-196.
- [4] Joudi K A, Farhan A A. A dynamic model and an experimental study

for the internal air and soil temperatures in an innovative greenhouse [J]. Energy Conversion and Management, 2015, 91: 76-82.

- [5] de Zwart H F. Analyzing energy saving options in greenhouse cultivation using a simulation model [D]. The Netherlands: Agriculture University Wageningen, 1996: 24-25.
- [6] Patil H J, Srivastava A K, Kumar S, et al. Selective isolation, evaluation and characterization of antagonistic actinomycetes against *Rhizoctonia solani* [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2010, 26(12): 2163-2170.
- [7] 金志凤, 符国槐, 黄海静, 等. 基于 BP 神经网络的杨梅大棚内气温预测模型研究[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 362-367.
- [8] Abdel-Ghany A M, Ishigami Y, Goto E, et al. A method for measuring greenhouse cover temperature using a thermocouple[J]. Biosystems Engineering, 2006, 95(1): 99-109.
- [9] Bot G P A. Physical modelling of greenhouse climate [J]. The Computerized Greenhouse: Automatic Control Application in Plant Production, 1993: 51.

植面积达 56.4 万  $\text{hm}^2$ , 占全省粮食种植总面积的 18.76%。马铃薯已逐渐发展为云南省继玉米、水稻之后的第三大粮食战略作物。马铃薯作为重要的粮食、蔬菜和加工原料, 对云南省农业农村的经济发展以及农民增收致富起着至关重要的作用。按生产周期划分, 在云南省主要有大春马铃薯、小春马铃薯和冬季马铃薯 3 种, 就其播种面积来看, 以上三者分别占 66.1%、18.5% 和 15.4%, 按其产量计算, 分别占云南省马铃薯总产量的 66.3%、9.6% 和 14.1%。本研究将云南省境内的大春一季作马铃薯作为研究对象, 对其在云南省种植的气候适宜性进行研究。

目前, 国内外关于马铃薯的最适生长发育气候条件、马铃薯气候生产潜力等方面的研究比较多, 诸如李亚杰等<sup>[3]</sup>、秦玉芝等<sup>[4]</sup>、黄冲平<sup>[5]</sup>、姚玉璧等<sup>[6]</sup>对马铃薯的整个生长发育状态进行深入研究, 并取得了丰硕的成果。他们普遍认为, 海拔、温度和光照等气象因子是影响马铃薯生长发育的关键因子。林念萍等<sup>[7]</sup>、苗庆林等<sup>[8]</sup>、李瑞等<sup>[9]</sup>通过使用层次分析法针对不同研究对象解决了相关区划问题, 均取得了比较科学完善的成果。在此类研究的基础上, 王连喜等使用 GIS 技术对宁夏回族自治区马铃薯种植气候进行了区划<sup>[10]</sup>; 李丽纯等对福建省的马铃薯气候减产进行了风险分析和区划<sup>[11]</sup>; 白美兰等对内蒙古乌兰察布盟地区的马铃薯优良品种种植进行了区划<sup>[12]</sup>; 高永刚等对黑龙江省马铃薯气候生产力特征进行了区划<sup>[13]</sup>。以上专家学者的研究表明, GIS 技术在农作物种植气候区划方面已经发展得相对比较完善, 但是, 在作为全国马铃薯五大主产区之一的云南省范围内, 将 GIS 技术与马铃薯种植农业气候区划及适应性评价相结合的研究却鲜有报道。云南省马铃薯种植生产的现状仍是以农户分散种植为主, 适宜与不适宜种植、种植效果好坏仅凭经验判断, 缺乏一个科学的区分依据。本研究将通过采集云南省气象监测站点收集到的平均气温、降水量、日照时数等气候要素数据, 结合云南省基础地理信息数据等资料, 建立云南省马铃薯种植的气候区划评价指标体系, 构建基于空间专题数据库的适应性评价模型, 对云南省马铃薯种植的气候适宜性进行区域划分, 以期对云南省马铃薯产业的布局规划提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据采集

本研究中所用到的基础地理信息数据是 1:25 万的云南省基础地理信息数据, 数据主要包括以下 5 个方面: (1) 云南省各地州及县的政府所在地图层; (2) 云南省县级及以上行政区划边界图层; (3) 云南省境内 125 个气象监测站点所在地的经纬度; (4) 云南省数字高程模型 (DEM) 数据; (5) 各栅格数据。

云南省气象局提供的气象数据是本研究所使用的气象资料主要来源。数据主要包括云南省全境 125 个气象监测站测得的 2015 年温度、积温、降水、日照时数等数据资料 (图 1)。

### 1.2 数据处理

借鉴前人对马铃薯生长的生理生态研究成果, 结合云南省实际的马铃薯种植生产状况, 按照各气象因子对马铃薯生长发育的不同影响程度, 将所收集到的温度、积温、降水、日照时数等气象数据分时间段进行整理。通过对所获取数据进行

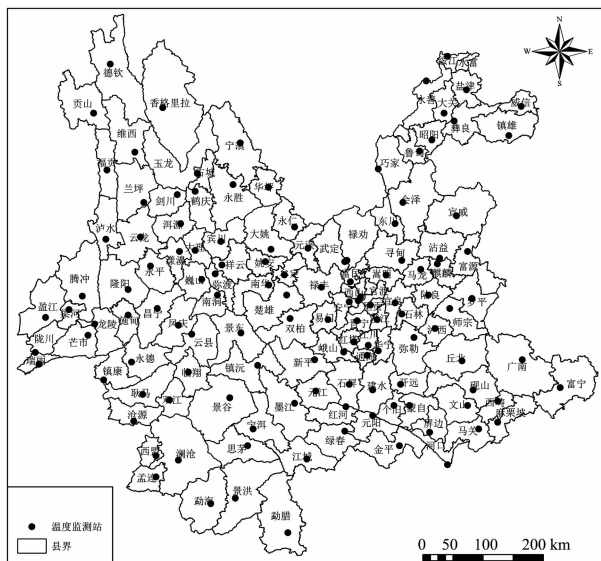


图1 云南省125个气象站点分布

相应的筛选和补充等前期工作后, 得到研究中所用到的各项数据。

为了得到一个完整连续的表面, 从而给区划研究提供必要的空间数据可视化支撑, 研究人员通常使用空间插值的方法来对空间数据进行完善。在 ArcGIS 平台上, 通过插值运算所生成的表面通常可以使用多种方法来实现, 诸如反距离权重插值法、样条函数插值法、克里金插值法、自然邻域插值法, 以及趋势面插值法等<sup>[14]</sup>。克里金插值法是一种基于统计学的插值方法。克里金插值法的基本原理是, 根据相邻的变量的值利用变异函数揭示出的区域化变量, 使用其内在联系来估计空间变量数值。用克里金插值法进行插值的主要步骤如图 2 所示。

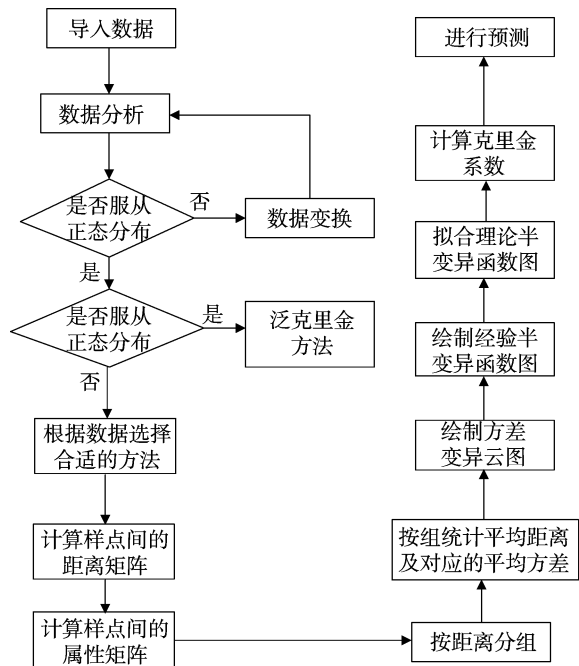


图2 克里金插值法步骤流程

### 1.3 研究方法

为得到更加客观且更加准确的结果, 在本研究中采用层

次分析法对各评价指标进行了分析。层次分析法 (analytic hierarchy process, 简称 AHP) 是 20 世纪 70 年代初美国运筹学家 T. L. Saaty 教授提出的, 通过使用网络系统理论以及多目标综合评价的方法得出一种层次权重决策分析方法。层次分析法的核心是通过决策专家丰富的研究经验针对研究对象进行定量判断。这一方法大大提高了决策依据评判的准确性, 在缺乏大量统计数据且结构较为复杂的情况下具有很好的可行性。这是一种灵活便捷并且具有较高实用价值的多标准决策法。使用层次分析法确定评价指标权重的基础是通过比较同一层次内各个指标之间的相对重要性, 来进行综合指标权重的计算<sup>[15]</sup>。层次分析法广泛应用于生态安全、环境规划、区域承载力、化学品环境性能评价等众多领域<sup>[16]</sup>。

2 结果与分析

2.1 云南省马铃薯种植气候适宜性区划评价指标体系

马铃薯原产于南美洲安第斯山区, 喜冷凉气候。通过我国的生产实践证明, 在海拔 (≥1 000 m) 山区其品质优、产量高。池再香等通过对春薯进行平均气象产量与春薯种植期气候因子的关系进行分析, 得到在贵州西部区域春薯的气候适宜性区划指标主要有生育期的平均气温、≥10 ℃活动积温、昼夜平均温差、日照时数、降水量、7 月平均气温、5—7 月降水量以及其所处的海拔高度<sup>[17]</sup>。苗百岭等通过使用相关分析和回归分析等方法, 分区域对阴山旱作区影响马铃薯生长发育及其产量的关键气象因子进行分析, 确定了马铃薯生长季节平均温差、生长季降水量为该区域影响马铃薯生长发育的气候区划指标。分析结果显示, 通过显著性水平检验的

主要有 5 个气候因子, 分别是 6 月降水量、7 月降水量、8 月降水量、8 月日照时数和 8 月平均气温<sup>[18]</sup>。宋学峰等通过研究发现, 影响马铃薯产量相关程度最高的气候因子分别有结薯期温度、降水量、日照时数和风速。利用以上因子与马铃薯的产量进行单相关分析, 结果表明, 以上气候因子与马铃薯产量一般呈线性关系。其中, 还发现了平均气温与产量呈正相关; 稳产与产量呈负相关等一系列相关关系<sup>[19]</sup>。孙文堂等研究发现, 结薯期平均温度、平均最高温度、降水量等气候因子与马铃薯产量之间具有相当高的相关性<sup>[20]</sup>。研究表明, 马铃薯在环境气温 4 ℃以上便可萌芽, 在萌发期对水分和光照需求较少, 因而此阶段内影响其发芽的主要环境因子是温度, 而且这也是决定马铃薯能否获得高产的先决条件。结薯期温度对马铃薯块茎大小起着决定性的作用, 在 15~19 ℃范围内最适宜马铃薯块茎膨大, 而当温度超过 21 ℃, 马铃薯块茎将退化严重<sup>[21]</sup>。

通过对前人研究工作的分析和借鉴得知, 马铃薯薯块在气温 4 ℃时便开始萌芽, 此间最适宜温度为 5~7 ℃。块茎形成的最适宜温度为 16~20 ℃, 当气温低于 2 ℃或高于 30 ℃的时候, 马铃薯块茎停止膨大。当降水量不低于 500 mm 时才能满足马铃薯生育期生长发育的生理需要, 其最适宜的降水量为 800~1 100 mm。关于光照因素, 当整个生育期日照时数 1 000 h 左右最适宜马铃薯生长。经过从事马铃薯研究的数位专家评议后, 最终决定本研究从“生育期 (3—9 月) 平均气温”“生育期 (3—9 月) 降水量”“生育期 (3—9 月) 日照时数”“云南省 7 月平均气温”和“云南省地理海拔高度”5 个影响马铃薯的主要气候因子对马铃薯的生长发育影响情况进行分析, 并得出“云南省马铃薯种植的气候适宜性区划指标” (表 1)。

表 1 云南省马铃薯种植的气候适宜性区划指标体系<sup>[17-21]</sup>

适宜性	$H$ (m)	$T_{ave}$ (℃)	$R_a$ (mm)	$S_a$ (h)	$T_7$ (℃)
最适宜区	1 600~2 300	14~17	800~1 100	900~1 200	17~20
适宜区	800~1 599; 2 301~2 700	18~20; 10~13	1 101~1 300; 600~799	700~899; 1 201~1 500	21~26; 15~16
次适宜区	<800; >2700	<10; >20	<600; >1 300	<700; >1 500	<15; >26

注:  $H$  为“云南省地理海拔高度”;  $T_{ave}$  为“生育期 (3—9 月) 平均气温”;  $R_a$  为“生育期 (3—9 月) 降水量”;  $S_a$  为“生育期 (3—9 月) 日照时数”;  $T_7$  为“云南省 7 月平均气温”。

将采集到的云南省基础地理信息数据和云南省气象局提供的气象数据通过 GIS 平台, 运用克里金插值的方法作出各因子的栅格图, 再对栅格图进行重分类作出影响马铃薯生长发育各要素的分布图 (图 3)。

2.2 云南省马铃薯种植气候适宜性区划评价模型

2.2.1 求取各评价指标权重 将选取的 5 个区划指标运用两两对比的方法构建区划因子权重判断矩阵。其中, 用 1~9 的标度来表示各个因子之间的重要性。本研究运用专家打分的方法, 通过聘请 10 位云南省从事马铃薯研究的专家, 依托专家对马铃薯多年研究的经验积累, 经逐项判断后对矩阵进行填充。对专家的评判结果进行一系列整理, 经过反复比对剔除部分离群值, 将最终得到的判断矩阵设为矩阵  $A$ 。对矩阵  $A$  的各行向量进行几何平均和归一化, 得到的行向量就是权重向量。设矩阵  $A$  的最大特征根为  $\lambda_{max}$ , 则其相对应的特征向量为  $W$ , 于是, 有  $AW = \lambda_{max} W$ 。

对判断矩阵每一层元素权重进行运算, 求乘积  $M_i$  值:

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

求权重乘积  $M_i$  开  $n$  次方根  $\overline{W_i}$  的值:

$$\overline{W_i} = \sqrt[n]{M_i} \quad (2)$$

对向量  $\overline{W} = [(\overline{W_1}, \overline{W_2}, \dots, \overline{W_n})]^T$  进行归一化:

$$W_i = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{W_i}} \quad (3)$$

$W_i$  即指标权重。

对该矩阵进行一致性检验, 求出最大特征根:

$$\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad (4)$$

求出一致性指标值:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

进行随机一致性比率检验 (查表可知  $RI = 1.12$ ):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

当  $CR < 0.10$  时, 具有满意的一致性。

本研究中,  $CR = 0.038$ , 这表明所得矩阵具有比较满意的

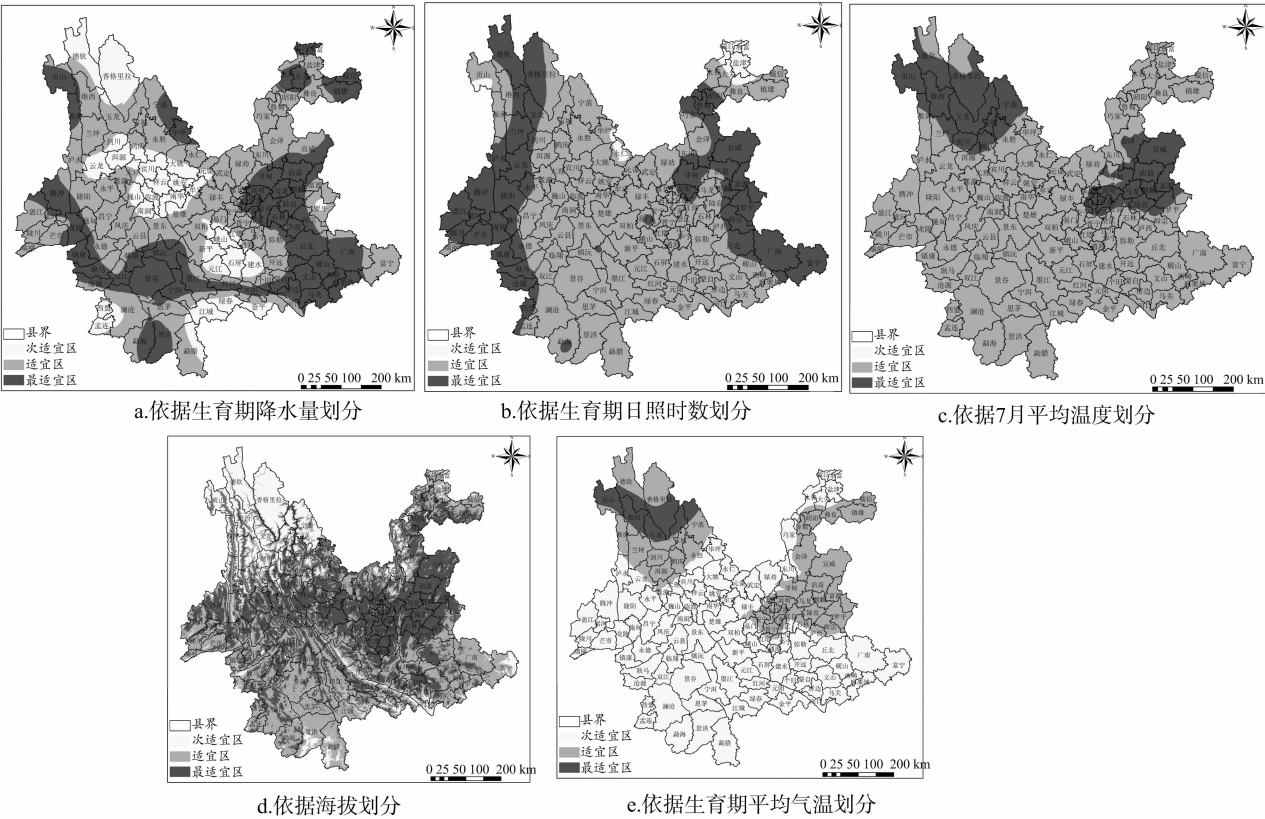


图3 云南省马铃薯种植各气象要素适宜性分布

一致性。因而,确定权重:海拔因素占 0.401 9,日照时数因素占 0.207 9,降水量因素占 0.197 8,7 月平均温度因素占 0.133 9,生育期平均温度因素占 0.058 5。

2.2.2 指标的无量纲化 作物生态适宜性评价的一个相当重要的步骤就是数据的无量纲化。由于专家打分法具有一定的主观性,因而,通过无量纲化计算,改变量纲对因子的影响,使得所有评价因子都处于同一水平线,从而再进行比较就会使结果更加科学、更加规范。这一步骤为整个评价结果的精确度及正确性提供了保障。

对各指标进行无量纲化处理,利用公式计算出栅格数据的无量纲值  $F_{ij}$ :

$$F_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min j}}{X_{\max j} - X_{\min j}} \quad (7)$$

式中: $X_{ij}$ 表示所研究栅格数据的实际指标值; $X_{\min j}$ 表示所有栅格数据中第  $j$  个因子的最小值; $X_{\max j}$ 表示所有栅格数据中第  $j$  个因子的最大值。

2.2.3 综合评价模型 本研究的区划依据是构建云南省马铃薯种植气候适宜性区划综合评价模型,通过使用层次分析法计算各区划指标的权重值,利用前面所做工作得到的数据进行加权求和:

$$S = \sum_{i=1}^n f_i W_i \quad (8)$$

式中: $S$ 表示云南省马铃薯种植气候适宜性评价的综合得分; $f_i$ 表示的是无量纲处理后的因子量化值, $W_i$ 表示各因子所占的权重。

2.3 云南省马铃薯种植气候适宜性区划

利用 ArcGIS 中栅格计算器进行图层的叠加计算分析,根

据影响马铃薯生长发育的各气候因子权重,通过求加权和和评价模型对其适应性得分计算,最终生成各相关因子的云南省马铃薯种植气候适宜性区划专题图(图 4)。

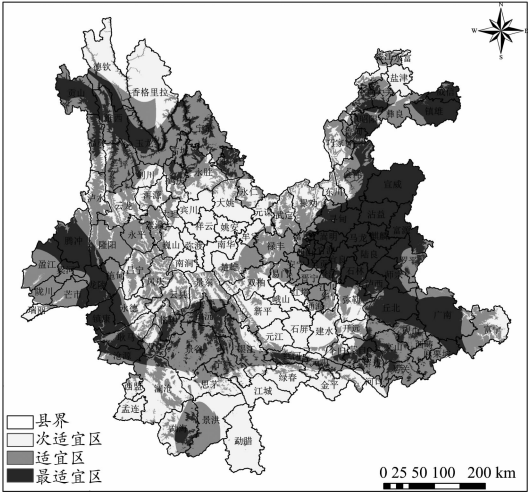


图4 云南省马铃薯种植气候适宜性区划专题图

由图 4 及相关数据可以看出,云南省种植马铃薯的最适宜气候区域主要分布在滇东北区域和滇西北高海拔生态区域以及滇西的部分区域,主要有宣威县、寻甸县、马龙县、富源县、陆良县、沾益县、腾冲县、石林县、会泽县等 36 个县域,根据区划的统计结果,此区域合计 10.43 万  $\text{km}^2$ ,占据云南省总面积的 24.6%;云南省种植马铃薯的气候适宜区域主要分布在滇东区域和滇西区域范围内,主要有禄劝县、禄丰县、昌宁县、凤庆县、云县、武定县、开远县等 55 个县域,根据区划的统

计结果,此区域合计 23.81 万  $\text{km}^2$ , 占据云南省总面积的 56.1%; 除以上的最适宜区和适宜区之外,剩下的区域大都在次适宜区范围内,其分布大都在滇中地区。主要有德钦县、香格里拉、维西县、盐津县、元谋县、洱源县等 29 个县域,统计结果显示,此区域合计 8.17 万  $\text{km}^2$ , 占云南省总面积的 19.3%。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

为了研究马铃薯在云南省适宜生长的气候区域,本研究以 GIS 技术和数理统计方法为技术支撑,以云南省马铃薯生长生理状态、云南省基础地理信息数据和云南省气象数据为研究分析的对象,对影响云南省马铃薯种植的气候条件进行分析,对马铃薯种植的适宜性进行了区域划分。通过一系列的数理计算及空间数据分析得到云南省马铃薯种植气候适宜性区划专题图。经查阅云南省农业统计年鉴,整理相关数据发现:曲靖马铃薯播种面积 7.053 万  $\text{hm}^2$ , 占当地粮食种植面积的 14.48%, 占全省马铃薯种植面积的 31.15%, 单产 19.043  $\text{t}/\text{hm}^2$ ; 大理马铃薯播种面积 0.613 万  $\text{hm}^2$ , 占当地粮食种植面积的 2.15%, 占全省马铃薯种植面积的 2.70%, 单产 13.118  $\text{t}/\text{hm}^2$ ; 迪庆马铃薯播种面积 0.317 万  $\text{hm}^2$ , 占当地粮食种植面积的 6.09%, 占全省马铃薯种植面积的 1.40%, 单产 12.953  $\text{t}/\text{hm}^2$ 。将以上数据与本研究专题图进行比对,可以发现本研究中对区域的划分与实际生产数据吻合,这些地区的实际生产种植状况与本研究的最适宜区和次适宜区都基本成正比,气候最适宜区播种面积和产量都较大,适宜区的种植面积和产量均处于一般水平,而次适宜区的播种面积产量相对较少,进一步验证了本研究的实用性。

但是,通过数据和图像的对比也发现了一些问题,如昭通市马铃薯播种面积 9.325 万  $\text{hm}^2$ , 占当地粮食种植面积的 21.84%, 占全省马铃薯种植面积的 41.20%, 单产 11.408  $\text{t}/\text{hm}^2$ 。从本研究的专题图上看到,昭阳、彝良、镇雄等县约占昭通一小半地域,处于气候最适宜种植区,但还有大半土地是适宜区和次适宜区。实际的生产状况与本研究有一定的出入。由此可以认为,土壤类型、种植技术和人文环境等非气候因素对马铃薯的种植也有一定的影响。

#### 3.2 结论

本研究通过对影响云南省马铃薯种植生产的气候因子以及云南省的经纬度、海拔等基础地理信息数据进行分析,结合当地农民的生产实际,运用专家打分和层次分析法对所分析的数据进行处理,确定了研究中的区划指标,使得整个区划结果更加客观,更加合理。通过定量划分对马铃薯种植的气候适宜性进行精细化的区域划分,其中最适宜种植区有 10.43 万  $\text{km}^2$ , 占据云南省总面积的 24.6%; 适宜种植区有 23.81 万  $\text{km}^2$ , 占据云南省总面积的 56.1%; 次适宜区约有 8.17 万  $\text{km}^2$ , 占云南省总面积的 19.3%。通过采用 GIS 技术和数理统计方法,结合云南省特殊的地理条件、丰富的气候类型以及马铃薯生长发育对环境的要求,科学合理地对云南省马铃薯种植业进行气候区划,充分利用云南省的气候资源,降

低选址的盲目性,可提高马铃薯的质量和产量,为马铃薯在云南省种植的进一步扩大化和资源的可持续利用提供了一定的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 杨艳丽. 云南马铃薯产业技术与经济研究[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 1.
- [2] 孙茂林, 李云海, 李先平. 云南马铃薯栽培历史, 耕作制度和民族特色的地方品种资源[J]. 中国农史, 2004(4): 14-18.
- [3] 李亚杰, 石强, 何建强, 等. 马铃薯生长模型研究进展及其应用[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 126-136.
- [4] 秦玉芝, 邢铮, 邹剑锋, 等. 持续弱光胁迫对马铃薯苗期生长和光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(3): 537-545.
- [5] 黄冲平. 马铃薯生长发育的动态模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [6] 姚玉璧, 王润元, 邓振镛, 等. 黄土高原半干旱区气候变化及其对马铃薯生长发育的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 379-385.
- [7] 林念萍, 吴荣军, 王小英, 等. 基于层次-灰色关联分析法的闪电灾害风险区划[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2014, 6(2): 169-174.
- [8] 苗庆林, 田晓瑞, 陈立光. 基于层次分析法的森林火险区划——以徂徕山林场为例[J]. 火灾科学, 2013(3): 113-119.
- [9] 李瑞, 李勇. 层次聚类分析法在贵州省水土保持四级区划中的应用[J]. 中国水土保持, 2013(2): 21-22.
- [10] 王连喜, 朱贇贇, 李剑萍, 等. 宁夏马铃薯种植的气候分区和风险评估[J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 100-105.
- [11] 李丽纯, 陈家金, 陈惠, 等. 福建省马铃薯气候减产的风险分析和区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(2): 186-190.
- [12] 白美兰, 侯琼, 郝润全. 乌兰察布盟地区马铃薯优良品种气候区划[J]. 中国农业气象, 2005, 26(1): 20-23.
- [13] 高永刚, 那济海, 顾红, 等. 黑龙江省马铃薯气候生产力特征及区划[J]. 中国农业气象, 2007, 28(3): 275-280.
- [14] 汤国安. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 289-295.
- [15] 张巍巍. 王朗自然保护区大熊猫生境质量评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [16] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算[J]. 江苏科技信息, 2012(2): 39-40.
- [17] 池再香, 莫建国, 康学良, 等. 基于 GIS 的贵州西部春薯种植气候适宜性精细化区划[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 93-97.
- [18] 苗百岭, 侯琼, 梁存柱. 基于 GIS 的阴山旱作区马铃薯种植农业气候区划[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 278-282.
- [19] 宋学锋, 侯琼. 气候条件对马铃薯产量的影响[J]. 中国农业气象, 2003, 24(2): 36-39.
- [20] 孙文堂, 苗春生, 沈建国, 等. 基于 GIS 的马铃薯种植气候区划及风险区划的研究[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(5): 650-659.
- [21] 桑月秋, 杨琼芬, 刘彦和, 等. 云南省马铃薯种植区域分布和周年生产[J]. 西南农业学报, 2014, 27(3): 1003-1008.