

云霄县蕹菜气候适宜性区划研究

方坤泽, 李文敏, 朱纯林, 陈艺勇, 方文维

云霄县气象局, 福建 漳州

收稿日期: 2026年2月11日; 录用日期: 2026年3月9日; 发布日期: 2026年3月19日

摘要

文章以福建省云霄县蕹菜种植为研究对象, 开展气候适宜性区划研究。首先, 系统梳理了国内外蕹菜气候适宜性和区划方法的研究进展, 阐述了研究背景及意义。通过分析云霄县气候特征和蕹菜生长特性, 构建了包含温度、光照、水分等指标的气候适宜性评价体系, 并采用主客观赋权法确定指标权重。其次, 基于GIS技术, 实现了云霄县蕹菜气候适宜性区划, 将全县划分为高度适宜区、中度适宜区和低度适宜区, 分析了不同区域的气候特征及其与地形地貌的关系。研究结果表明, 云霄县蕹菜种植具有明显的气候适宜性区域差异, 海拔高度是影响适宜性的重要因素。最后, 针对区划结果提出了农业措施调整和气象灾害防御等对策建议, 为云霄县蕹菜产业布局优化和科学种植提供了理论依据。研究不仅丰富了特色蔬菜气候适宜性区划的理论方法, 也为类似地区开展相关研究提供了参考。

关键词

蕹菜种植, 气候适宜性区划, 云霄县, GIS技术, 农业措施

Study on Climatic Suitability Zoning of Water Spinach in Yunxiao County

Kunze Fang, Wenmin Li, Chunlin Zhu, Yiyong Chen, Wenwei Fang

Yunxiao County Meteorological Bureau, Zhangzhou Fujian

Received: February 11, 2026; accepted: March 9, 2026; published: March 19, 2026

Abstract

This study investigates the climatic suitability zoning for water spinach (*Ipomoea aquatica*) cultivation in Yunxiao County, Fujian Province. First, it systematically reviews the research progress on climatic suitability and zoning methodologies for water spinach both domestically and internationally, clarifying the research background and significance. By analyzing the climatic characteristics of Yunxiao County and the growth traits of water spinach, a comprehensive climatic suitability evaluation

system was established, incorporating indicators such as temperature, light, and moisture. Objective and subjective weighting methods were employed to determine the weights of these indicators. Second, utilizing Geographic Information System (GIS) technology, a climatic suitability zoning map for water spinach cultivation in Yunxiao County was generated, categorizing the region into highly suitable, moderately suitable, and poorly suitable zones. The climatic features of these distinct zones and their relationships with topography were analyzed. Results indicate a significant regional variation in climatic suitability for water spinach cultivation, with altitude identified as a critical influencing factor. Finally, countermeasures regarding agricultural practice adjustments and meteorological disaster prevention are proposed based on the zoning outcomes. This research provides a theoretical foundation for optimizing the industrial layout and promoting the scientific cultivation of water spinach in Yunxiao County. Furthermore, it enriches the theoretical methodology for climatic suitability zoning of specialty vegetables and serves as a reference for similar studies in other regions.

Keywords

Water Spinach Cultivation, Climatic Suitability Zoning, Yunxiao County, GIS Technology, Agricultural Measure

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,国内外学者们运用 GIS (Geographic Information System 或 Geo-Information system, 地理信息系统) 技术结合气候要素空间分析,建立了多种作物的气候适宜性评价模型。现有针对蕹菜的气候适宜性研究主要集中在温度、降水和光照等关键指标的阈值确定,以及不同品种对气候条件的适应性差异,为开展区域尺度蕹菜种植气候适宜性区划提供了重要参考依据。

云霄县位于福建省南部沿海,作为福建省重要的蕹菜产区,其产业发展对当地农业经济具有显著贡献。蕹菜在云霄的种植历史逾 200 年,经过不断改良,云霄柳叶白梗蕹菜已成为当地标志性品种:2014 年获评省级品种认定;2016 年取得全国农产品地理标志登记,次年入选《2017 年度全国名特优新农产品目录》。依托品种优势,云霄县现已成为福建省重要的蕹菜种子繁育基地及主要供货区域。该产业在促进农业结构调整、增加农民收入方面发挥着关键作用,同时为乡村振兴战略的实施提供了重要支撑。

蕹菜作为云霄县一种重要的经济作物,目前尚缺乏相应的气候适宜性区划研究。开展此项研究可为蕹菜种植提供科学依据——通过分析温度、降水和光照等关键气候因子,能够确定不同区域种植蕹菜的适宜程度。在云霄县,气候区划结果有助于规避低温冻害、干旱等气象灾害风险,提高蕹菜产量和品质;同时,该区划还能指导农户选择适宜品种和种植时间,降低生产成本,提升经济效益。

2. 资料与方法

2.1. 数据获取

2.1.1. 气象数据获取

本研究采用云霄县气象局提供的 1990~2023 三十三年间云霄县各区域气象站观测资料,数据涵盖全县 18 个气象观测站(站点覆盖主要蕹菜种植区),包括逐日温度、逐日湿度、逐日降水、云霄县基本站月

累计日照等数据。为确保数据质量,对原始数据进行异常值检测和缺失值插补处理,采用空间插值方法将离散站点数据转化为连续栅格数据。

2.1.2. 农业数据获取

本研究通过实地调查和农业部门数据收集相结合的方式获取云霄县蔬菜种植分布数据。采用电话咨询方式对全县种植大户进行调研,记录种植面积、种植密度等关键参数。

2.2. 研究方法

本研究采用主客观组合赋权法构建蔬菜气候适宜性评价模型,其中主观权重由层次分析法(AHP)确定,客观权重由熵值法与变异系数法算术平均得出,并选取生长季(3~10月)积温、生长季降水变率和生长季日照时数作为关键指标。通过专家打分法确定主观权重,其中温度指标权重 0.45,水分 0.3,光照 0.25;采用熵值法计算客观权重,结果显示温度熵值 0.82(权重 0.38)、水分熵值 0.76(权重 0.35)、光照熵值 0.85(权重 0.27)。

采用模糊隶属度函数对各指标进行标准化处理,其中温度指标采用梯形隶属函数,水分和光照指标采用 S 型隶属函数。将标准化后的指标值与权重进行加权叠加,得到气候适宜性综合指数(CSI),其值域为 0~1,划分为高度适宜($CSI \geq 0.8$)、中度适宜($0.6 \leq CSI < 0.8$)和低度适宜($CSI < 0.6$)三个等级,具体如表 1 所示。

Table 1. Evaluation index system and methodology for climate suitability of water spinach

表 1. 蔬菜气候适宜性评价指标体系与方法

评价指标	权重	隶属度函数类型	标准化方法	适宜性等级划分标准
生长季(3~10月)积温	0.42	梯形隶属函数	模糊标准化	$CSI \geq 0.8$: 高度适宜
生长季降水变率	0.32	梯形隶属函数	模糊标准化	$0.6 \leq CSI < 0.8$: 中度适宜
生长季日照时数	0.26	S 型隶属函数	模糊标准化	$CSI < 0.6$: 低度适宜
地形坡度	0.15(限制性因子)	阶梯型隶属函数	阈值判定	$< 5^\circ$ 为适宜

3. 云霄县自然概况与蔬菜生长特性

3.1. 云霄县气候特征

3.1.1. 气温变化特征

云霄县气温变化呈现明显的季节性特征,生长季(3~10月)平均气温为 25.6℃,积温达 6800℃·d~7200℃·d,最冷月平均气温 14.4℃,最热月平均气温 28.9℃。春季(3~5月)气温回升迅速,月际升温幅度达 3℃~4℃;夏季(6~8月)高温多雨,极端最高气温可达 39.7℃;秋季(9~11月)气温下降平缓;冬季(12~2月)气温波动较大,偶有寒潮影响。这种气温变化特征对蔬菜生长周期和品质形成具有重要影响——春季气温回升快有利于蔬菜早发,而夏季高温则可能抑制其生长。

3.1.2. 降水分布特征

云霄县降水呈现明显的季节性和区域性特征,生长季(3~10月)降水量在 900~1300 mm 之间,降水变率为 18%~25%,降水主要集中在 5~9 月,占全年降水量的 70%以上。降水空间分布受地形影响显著,沿海地区降水量多于内陆山区,其中东南部沿海地区年降水量可达 1800 mm 以上,而西北部山区则相对较

少,地形高程如图 1 所示。降水日数分布显示,沿海地区年降水日数在 120~150 天,山区则在 100~120 天。降水强度分析表明,短时强降水事件多发生在夏季,最大小时雨强普遍在 50 mm 以上。降水变率分析显示,年际降水波动较大,变异系数达 15%~20%,易出现旱涝交替现象。这种降水时空分布特征直接影响蔬菜的水分供应和生长周期。

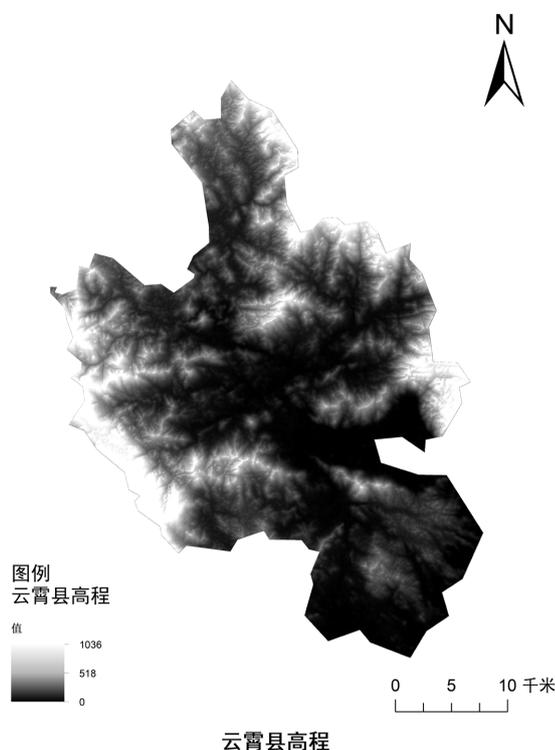


Figure 1. Elevation map of Yunxiao county

图 1. 云霄县高程

3.2. 蔬菜生长特性

3.2.1. 对气候条件的需求

蔬菜是一种喜温湿的叶菜类作物,对气候条件有着特定的需求。其最适生长温度范围为 25℃~30℃,当气温低于 15℃时生长明显受阻,10℃以下则停止生长[1]。在水分需求方面,蔬菜最适宜的生长季(3~10月)降水量为 900~1300 mm,且要求降水分布均匀,特别是在生长旺盛期需保持土壤湿润。光照条件方面,蔬菜属于短日照植物,但不同品种对光周期的敏感性存在差异。此外,蔬菜对空气湿度要求较高,相对湿度以 70%~80%为宜,过高易引发病害。蔬菜对极端天气较为敏感,持续高温干旱会导致纤维增多、品质下降,而强降雨则可能造成机械损伤和病害蔓延。

3.2.2. 生长周期与气候的关系

蔬菜的生长周期与气候条件密切相关,其生长发育过程可分为发芽期、幼苗期、快速生长期和采收期四个阶段。在发芽期,种子萌发需要 20℃~25℃的适宜温度,温度低于 15℃或高于 30℃都会显著降低发芽率。幼苗期对温度要求相对较低,18℃~22℃最为适宜,此时适当降低温度可促进根系发育。快速生长期是产量形成的关键时期,25℃~28℃的日平均气温配合充足的光照条件(日照时数 ≥ 6 小时/天)能显著提高生物量积累。采收期对水分需求较大,70%~80%的田间持水量配合 25℃左右的温度最有利于保持茎

叶鲜嫩。研究表明, 薹菜全生育期积温需达到 $1800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 2200^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 生长季(3~10月)降水量在 800~1200 mm 范围内分布均匀最为理想。

4. 云霄县薹菜气候适宜性评价指标体系构建

4.1. 指标选取原则

4.1.1. 科学性与合理性原则

基于薹菜生长的生理生态特性, 充分考虑温度、光照、水分等关键气候因子及地形坡度(限制性因子)对薹菜生长发育的影响机制。温度指标需包括日平均气温、生长季积温和极端高温阈值, 其中薹菜最适生长温度范围为 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。光照指标应涵盖生长季日照时数和光合有效辐射, 薹菜作为喜光作物, 日均光照需达 6 小时以上。水分指标需综合考量生长季降水变率。地形坡度作为限制性因子, 需满足坡度 $< 5^{\circ}$, 以避免水土流失和机械操作困难。各指标阈值确定需参考已有研究成果和田间试验数据, 确保评价结果能准确反映薹菜实际生长需求, 具体如表 2 所示。

Table 2. Table of selection basis for climate suitability evaluation indicators of water spinach

表 2. 薹菜气候适宜性评价指标选取依据表

指标类型	具体指标	单位	阈值范围	确定依据
温度指标	生长季平均气温	$^{\circ}\text{C}$	25~30	薹菜最适生长温度范围
温度指标	生长季积温	$^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$	6800~7200	薹菜完成生长周期所需热量
温度指标	极端高温阈值	$^{\circ}\text{C}$	≤ 35	避免热害的临界温度
光照指标	生长季日照时数	h/d	≥ 6	满足光合作用基本需求
光照指标	光合有效辐射	MJ/m^2	≥ 8	光合作用能量供给指标
水分指标	生长季降水量	mm	900~1300	薹菜生长季水分需求
水分指标	生长季降水变率	%	≤ 25	水分供应稳定性控制指标
限制性因子	地形坡度	$^{\circ}$	< 5	避免水土流失和机械操作困难

由表 2 可知, 温度指标包含生长季平均气温($25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$)、生长季积温($6800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 7200^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)和极端高温阈值($\leq 35^{\circ}\text{C}$)。这些阈值是根据薹菜生理特性确定的, 其中 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 为最适生长温度范围, 生长季积温保证完成生长周期, 极端高温阈值可避免热害发生。光照指标中生长季日照时数要求日均 ≥ 6 小时, 光合有效辐射 $\geq 8 \text{ MJ}/\text{m}^2$, 这是基于薹菜作为喜光作物的光合需求。水分指标综合考虑生长季降水量(900~1300 mm)和生长季降水变率($\leq 25\%$), 确保水分供需平衡。地形坡度要求 $< 5^{\circ}$ 以防水土流失和机械操作困难。所有指标阈值均参考了田间试验数据和已有研究成果, 保证了指标体系的科学性和合理性。

4.1.2. 代表性与独立性原则

在构建薹菜气候适宜性评价指标体系时, 代表性与独立性原则要求所选指标能够全面反映薹菜生长所需的关键气候要素, 同时各指标间应保持相对独立以避免信息重叠。代表性指标需涵盖温度、光照和水分等气候因子。独立性原则要求通过相关系数分析剔除高度相关指标($r > 0.8$), 确保各指标对评价结果的贡献具有区分度。研究采用主成分分析法验证指标独立性, 当 KMO 值 > 0.6 且 Bartlett 检验显著时, 表明指标间既存在必要关联又保持适当独立性, 如表 3 所示。

Table 3. Table of representativeness and independence analysis for climate suitability evaluation indicators of water spinach in Yunxiao county**表 3.** 云霄县蔬菜气候适宜性评价指标代表性与独立性分析表

气候因子类别	代表性指标	单位	相关系数阈值	独立性检验方法	KMO 值要求
温度指标	生长季积温	°C·d	$r < 0.8$	主成分分析	>0.6
光照指标	生长季日照时数	h	$r < 0.8$	主成分分析	>0.6
水分指标	生长季降水变率	%	$r < 0.8$	主成分分析	>0.6
限制性因子	地形坡度	°	-	阈值判定法	-

由表 3 可知,在代表性方面,选取的温度($\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温)、光照(年日照时数)和水分(年降水量)三类指标能够全面覆盖蔬菜生长发育的关键气候需求。独立性原则通过设定相关系数阈值($r < 0.8$)确保指标间信息不重叠,并采用主成分分析法进行验证,KMO 值大于 0.6 且 Bartlett 检验显著($p < 0.05$)则指标体系既具备必要的关联性又保持适当的独立性。该标准为后续指标权重分配和区划模型构建提供了方法论基础,明确了云霄县蔬菜气候适宜性区划结果的代表性和独立性。

4.2. 气候适宜性评价指标确定

4.2.1. 温度指标

温度指标是蔬菜气候适宜性评价的关键要素之一,主要包括年平均气温、生长季积温和极端高温等具体参数。蔬菜作为喜温作物,其生长适宜温度范围为 $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$,当气温低于 15°C 时生长明显受阻。而云霄县蔬菜主产区的年平均气温为 22.2°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温达 $7500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,完全满足蔬菜生长需求。在评价指标体系中,温度指标权重占比达 0.35,采用 5°C 为间隔的隶属度函数进行量化评估[2]。

4.2.2. 光照指标

光照是影响蔬菜生长发育的关键气候因子之一,其光合作用效率与光照强度、日照时数密切相关。日照时数指标通常采用日平均 6~8 小时作为适宜标准,低于 4 小时会导致植株徒长,超过 10 小时则可能引发光抑制现象。在云霄县,年日照时数在 1800~2600 小时之间,其中 3~10 月生长季的月均日照时数需保持在 150 小时以上才能满足蔬菜正常生长需求。此外,光质对蔬菜品质形成具有重要影响,蓝紫光可促进维生素 C 积累,红光则有利于可溶性糖合成[3]。

4.2.3. 水分指标

水分指标是蔬菜气候适宜性评价体系中的关键要素,主要包括年降水量、生长季降水分布和空气相对湿度三个核心参数。研究表明,蔬菜生长最适宜的年降水量范围为 1200~1800 mm,且要求降水在生长季内均匀分布,月降水量不低于 80 mm。空气相对湿度指标控制在 70%~85% 范围内最为理想,过高易导致病害发生,过低则会影响叶片光合作用效率。在云霄县的具体应用中,还需考虑降水日数、连续无降水日数等辅助指标,以全面评估水分条件对蔬菜生长的影响。这些指标通过建立隶属度函数进行量化评价,为后续 GIS 空间分析提供数据基础。

4.3. 指标权重确定方法

4.3.1. 主观赋权法

主观赋权法是一种基于专家经验和知识确定指标权重的方法,主要包括德尔菲法和层次分析法。德

尔菲法通过多轮匿名问卷调查,收集专家对蔬菜气候适宜性指标重要性的判断,经过反复征询和反馈,最终达成一致意见。层次分析法将复杂问题分解为层次结构,通过构建判断矩阵计算各层指标的相对权重,并进行一致性检验。在云霄县蔬菜气候适宜性评价中,温度指标权重通常设为 0.4~0.5,光照指标 0.2~0.3,水分指标 0.2~0.3,具体数值根据当地气候特征和专家意见调整整理得出。该方法能充分体现专家对蔬菜生长关键气候因素的认识,但受主观因素影响较大,需与客观赋权法结合使用以提高评价结果的科学性。

4.3.2. 客观赋权法

客观赋权法主要包括熵值法和变异系数法,通过数据本身的离散程度计算指标权重,避免主观因素影响。

1) 熵值法计算公式:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij})$$

其中 $k = \frac{1}{\ln(n)}$, $p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$, $\omega_j = \frac{1-H_j}{\sum_{j=1}^m (1-H_j)}$ 。 H_j 为指标熵值, ω_j 为指标权重, x_{ij} 为第 i 个样本第 j 项指标的标准化值, n 为样本数, m 为指标数。具体结果如表 4 所示。

Table 4. Entropy method calculation results for objective weights

表 4. 客观权重熵值法计算结果

评价指标	熵值(H_j)	权重(ω_j)
生长季积温	0.82	0.38
生长季降水变率	0.76	0.35
生长季日照时数	0.85	0.27
合计	-	1.00

2) 变异系数法计算公式:

$$V_j = \frac{\sigma_j}{\mu_j}, \quad \omega_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}$$

式中, V_j 为变异系数, σ_j 为指标标准差, μ_j 为指标平均值。具体结果如表 5 所示。

Table 5. Variation coefficient method calculation results for objective weights

表 5. 客观权重变异系数法计算结果

评价指标	变异系数(V_j)	权重(ω_j)
生长季积温	0.18	0.40
生长季降水变率	0.15	0.33
生长季日照时数	0.14	0.27
合计	-	1.00

4.3.3. 组合权重计算

采用主客观组合赋权法,公式为:

$$\omega_i = 0.5 \times \omega_{\text{主观}i} + 0.5 \times \omega_{\text{客观}i}$$

式中 ω_i 为最终组合权重, $\omega_{\text{主观}i}$ 为主观权重, $\omega_{\text{客观}i}$ 为客观权重, 其中客观权重取熵值法与变异系数法的算术平均值。具体结果如表 6 所示。

Table 6. Combined weight calculation results

表 6. 组合权重计算结果

评价指标	主观权重(层次分析法)	客观权重(平均)	组合权重
生长季积温	0.45	0.39	0.42
生长季降水变率	0.30	0.34	0.32
生长季日照时数	0.25	0.27	0.26
合计	1.00	1.00	1.00

客观赋权法通过数学方法确定指标权重, 避免了主观判断的偏差。本研究采用熵权法和变异系数法两种客观赋权方法。熵权法基于信息熵理论, 通过计算各指标的信息熵值来反映其离散程度, 熵值越小表明指标提供的信息量越大, 权重越高。具体计算步骤包括数据标准化、计算指标比重、熵值测算和权重确定。变异系数法则通过计算各指标的变异系数来衡量其离散程度, 变异系数越大表明该指标对评价结果的影响越大, 权重越高。两种方法计算结果经一致性检验后, 采用加权平均法确定最终权重。客观赋权法能有效反映数据本身的统计特性, 但可能忽略专家经验, 因此需与主观赋权法结合使用。

5. 云霄县蔬菜气候适宜性区划

本研究采用 ArcGIS 10.8 软件进行气候适宜性区划图的制作。首先将云霄县气象站点的温度、降水和光照等气候要素数据导入 GIS 系统, 运用克里金插值法[4]生成各气候要素的空间分布栅格图层。根据蔬菜生长需求, 设置生长季积温($6800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 7200^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)、生长季降水变率($\leq 25\%$)、生长季日照时数($\geq 6\text{ h/d}$)和地形坡度($< 5^{\circ}$)的阈值范围, 通过栅格计算器对各指标图层进行叠加分析。采用主客观组合赋权法确定的权重系数(生长季积温 0.42、生长季降水变率 0.32、生长季日照时数 0.26)进行加权叠加运算, 最终生成云霄县蔬菜气候适宜性区划图, 如图 2 所示。区划结果划分为高度适宜、中度适宜和低度适宜三个等级, 并经过实地调查数据验证, 确保区划结果的准确性[5]。

6. 云霄县蔬菜气候适宜性区划结果分析

6.1. 不同区域气候适宜性特征

6.1.1. 高度适宜区的气候特点

高度适宜区生长季平均气温稳定在 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间, 生长季积温达 $6800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 7200^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 完全满足蔬菜适宜生长特性。该区域生长季降水量 $900\sim 1300\text{ mm}$, 降水变率 $\leq 20\%$, 降水分布与蔬菜需水规律高度吻合。生长季日照时数 $\geq 6\text{ h/d}$, 光合有效辐射充足, 有利于蔬菜光合作用。地形坡度 $< 5^{\circ}$, 土壤侵蚀风险低, 且年平均无霜期长达 340 天, 极端低温出现概率低于 5%, 显著降低冻害风险。气象灾害发生频率低于 10%, 为蔬菜生长提供了稳定的气候环境。

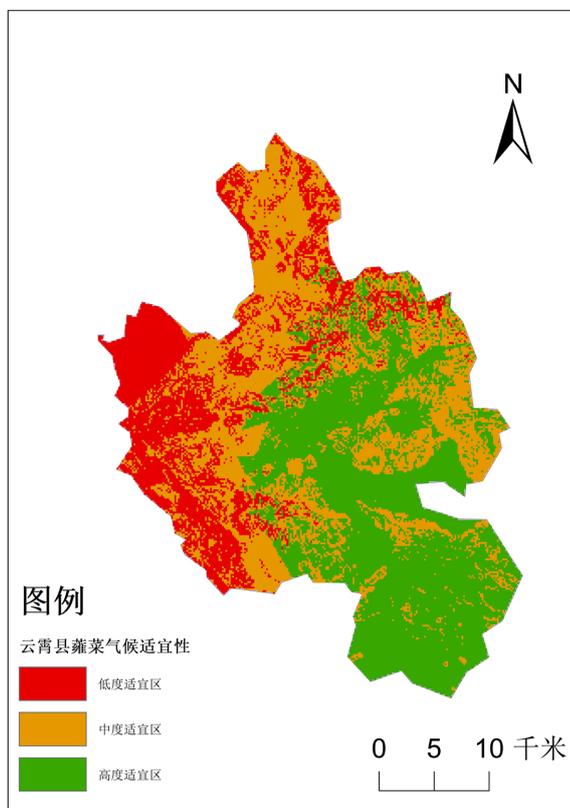


Figure 2. Climate suitability zoning map of water spinach in Yunxiao county
图 2. 云霄县蕹菜气候适宜性区划图

6.1.2. 中度适宜区的气候状况

中度适宜区的气候条件基本满足蕹菜生长需求,但存在一定限制因素。该区域生长季平均气温维持在 23℃~25℃之间,略低于蕹菜最适生长温度范围;生长季降水量为 900~1300 mm,但季节分配不均,7~9 月降水占生长季 60%以上,降水变率 20%~25%。生长季日照时数在 5~6 小时/天,较高度适宜区减少 10%~15%。冬季极端低温出现频率较高,近 5 年有 2~3 次低于 5℃的寒潮天气。地形坡度 5°~10°,土壤持水能力中等,在旱季容易出现轻度干旱胁迫。这些气候特征导致蕹菜生长周期延长 7~10 天,产量较高度适宜区降低 15%~20%。

6.1.3. 低度适宜区的气候劣势

低度适宜区在蕹菜种植中面临显著的气候劣势,主要表现为温度波动大、降水分布不均和光照不足。该区域生长季平均气温低于蕹菜最适生长温度(25℃~30℃),且冬季极端低温频发,易导致蕹菜生长停滞或冻害。生长季降水变率 > 25%,降水集中在夏季,常引发洪涝灾害,而春秋季节则出现干旱现象,水分供需矛盾突出。生长季日照时数较高度适宜区减少 20%~30%,光合作用受限,影响蕹菜生物量积累。此外,该区域地形坡度 > 10°,土壤侵蚀风险高,气象灾害发生频率较高,台风、寒潮等极端天气事件对蕹菜生产造成破坏。土壤温度日较差达 10℃以上,不利于根系发育和养分吸收。

6.2. 海拔高度与气候适宜性的关联

海拔高度对蕹菜气候适宜性产生显著影响,主要表现为温度、降水和光照条件的垂直分异。在云霄县,随着海拔每升高 100 米,生长季平均气温下降 0.5℃~0.6℃,导致蕹菜生长季缩短。海拔 500 米以下

区域, 生长季积温达 $6800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 7200^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 满足蔬菜全年生长需求; 而海拔 500~800 米区域, 生长季积温降至 $5500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\sim 6800^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 冬季可能出现 5~10 天的低温胁迫。降水分布呈现海拔 300~600 米为最大降水带, 生长季降水量达 1300~1500 mm 以上, 超过蔬菜需水量; 而低海拔区域易受台风影响出现强降水。光照条件随海拔升高而增强, 海拔每升高 100 米, 生长季日照时数增加约 20 小时, 但高海拔区域云雾天气增多可能抵消这一优势。

7. 结论

本研究通过构建包含温度、光照和水分三大类指标的气候适宜性评价体系, 采用主客观赋权法确定指标权重, 并运用 GIS 技术对云霄县蔬菜种植区进行空间区划分析。结果表明:

1) 云霄县蔬菜种植区可划分为高度适宜区、中度适宜区和低度适宜区三个等级, 其中高度适宜区主要分布在海拔 0~150 米、生长季平均气温 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 、生长季降水量 900~1300 mm、地形坡度 $< 5^{\circ}$ 的地带, 涉及陈岱、列屿、东厦、莆美、常山大部分地区及下河东部、和平东南部、火田西部。研究发现海拔高度对气候适宜性具有显著影响, 海拔每升高 100 米, 蔬菜生长季积温减少约 $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 适宜性等级相应降低。

2) 调查发现云霄县气象灾害出现分布较为不均的情况, 主要集中在火田镇、马铺镇及下河乡的高海拔区域。由于气候变化加剧, 近几年来暴雨红色预警信号发布次数增加, 2021~2023 年影响台风个数较 2010~2020 年平均增加 0.5~1 个。受此影响, 云霄县蔬菜种植面临的气象灾害风险总体上升。建议采取多层次的防御措施: 在低温冻害防御方面, 可推广地膜覆盖、小拱棚等保温技术, 并建立低温预警机制。针对暴雨洪涝灾害, 需完善田间排水系统, 采用高畦栽培方式, 同时加强气象监测预警。高温干旱防御应结合滴灌技术应用和遮阳网覆盖, 选择耐热抗旱品种。在台风防御上, 需加固设施大棚结构, 建立台风应急响应机制。此外, 应加强气象服务体系建设, 建立农业气象灾害监测预警平台, 为种植户提供精准的气象信息服务和防御建议。通过综合运用工程措施、生物措施和管理措施, 构建完善的蔬菜气象灾害防御体系。

参考文献

- [1] 陈宇冲, 刘康妮, 卢文龙, 等. 北京地区冬季 6 种水培叶菜栽培可行性技术探究[J]. 设施农业, 2024, 44(24): 60-62, 66.
- [2] 赫园园, 舒黄英, 杨壮, 等. 茎秆的第一节间离体再生空心菜[J]. 植物科学学报, 2019, 37(1): 47-54.
- [3] 宋华伟, 黄科, 吴秋云, 等. LED 光质调控蔬菜作物几类生物活性物质合成代谢的研究进展[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(4): 19-25.
- [4] Ziese, M., Schneider, U., Meyer-Christoffer, A., Finger, P., Schamm, K., Becker, A. and Rudolf, B. (2013) Gridded Analysis Products Provided by the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), and New Products Getting Operational 2013. Deutscher Wetterdienst. https://presentations.copernicus.org/EMS2013/EMS2013-339_presentation.pdf
- [5] 尹蓉, 李雨欣, 周明薇, 贺秋艳. 基于 GIS 的湖南柑橘种植气候适宜性区划研究[J]. 农业科学, 2025, 15(12): 1456-1462.