

镇沅县茶叶种植气象灾害风险区划研究

周 楚, 杨李艳, 黄宝锋, 李红梅, 阿 七, 者金成, 李恩云

镇沅县气象台, 云南 镇沅

收稿日期: 2024年9月12日; 录用日期: 2024年10月10日; 发布日期: 2024年10月16日

摘 要

本研究探讨了镇沅县茶叶种植区的关键气象条件, 并为各个种植区提供了多种细致的气象服务, 为未来的研究打下了坚实的基础。通过使用本地气象自动站在2018~2022年期间的数据和地理信息资料, 我们对本地的茶叶气象灾害风险进行了深入评估, 并据此进行了气候风险的区域划分。研究结果揭示, 不同的地形导致了气候条件的显著变化。为了满足茶叶的生长和发育需求, 我们对镇沅县的气候进行了详细的对比分析。结果显示, 尽管恩乐、勐大、振太和按板等乡镇容易遭受气象灾害, 但从气候适应性的综合评估来看, 这些地区是茶叶生长的理想之地。因此, 这项研究将有助于为本地茶叶的风险预测提供科学的理论支持, 并有助于全面优化茶叶的生产布局。

关键词

茶叶, 春季霜冻, 夏季高温, 冬季寒害, 气象灾害, 气象服务

Research on Meteorological Disaster Risk Zoning for Tea Cultivation in Zhenyuan County

Chu Zhou, Liyan Yang, Baofeng Huang, Hongmei Li, Qi A, Jincheng Zhe, Enyun Li

Zhenyuan County Meteorological Observatory, Zhenyuan Yunnan

Received: Sep. 12th, 2024; accepted: Oct. 10th, 2024; published: Oct. 16th, 2024

Abstract

This study investigates the key meteorological conditions affecting tea cultivation in Zhenyuan County and offers a range of tailored meteorological services to each planting area, establishing a strong foundation for future research. Utilizing data from local automatic weather stations collected between 2018 and 2022, along with geographical information, we conducted a comprehensive

文章引用: 周楚, 杨李艳, 黄宝锋, 李红梅, 阿七, 者金成, 李恩云. 镇沅县茶叶种植气象灾害风险区划研究[J]. 农业科学, 2024, 14(10): 1116-1126. DOI: 10.12677/hjas.2024.1410141

assessment of meteorological risks impacting tea cultivation and developed a regional climate risk zoning map. The study reveals that variations in terrain lead to significant differences in climatic conditions. To address the specific growth and developmental requirements of tea plants, we performed a detailed comparative climate analysis across Zhenyuan County. The results show that while areas like Enle, Mengda, Zhentai, and Anban are more susceptible to meteorological disasters, they remain optimal for tea cultivation based on an overall evaluation of climate suitability. Consequently, this research provides valuable scientific insights for forecasting risks to local tea production and aids in optimizing the regional layout for tea growing.

Keywords

Tea, Spring Frost, Summer Heatwaves, Winter Freeze Damage, Meteorological Disasters, Meteorological Services

Copyright © 2024 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：镇沅县茶叶种植概况及运用价值

镇沅位于云南省的哀牢山区，属于亚热带季风气候区，展现出明显的季风气候特征[1]。从11月至次年的4月期间盛行大陆西风，这一时期气候特征表现为干燥、温暖且降雨稀少，通常被人们称为“干季”。从5月至10月，区域受到源自孟加拉湾的海洋性季风的影响，这一时期特征为高温、高湿度以及频繁的降雨，被形象地称为“雨季”[2]。因地貌复杂、海拔的显著变化导致了气候的垂直差异极为明显，由此产生了包括热带、亚热带以及暖温带在内的多种气候带类型，并呈现出“一山四季，十里不同天”的独特立体气候现象。镇沅县气候特征鲜明，冬季温和无严寒，夏季凉爽无酷暑，四季界限不甚清晰，且具有明显的干湿季节交替。长期以来镇沅县政府高度重视茶叶产业发展，将茶产业列为镇沅一县一业的发展目标，镇沅县气象局从气象的角度出发通过对镇沅县降雨量、平均气温、最低气温、日照等气象要素展开分析调研，形成镇沅县茶叶种植气象灾害风险区划调研分析报告。

截至最新数据，镇沅县拥有野生茶树群落，总面积达到23.77万亩。其中，老茶塘、芹菜塘、大湖南、千家寨、河头和马鹿塘等地的野生茶树林，因其独特的生态特征和生物多样性，被认定为具有代表性的野生茶树群落。此外，该县还拥有30,830亩的栽培型古茶园。镇沅县的古茶山共有5座，面积28,930亩，其他零星分布1900亩。涉及9个乡镇，51个村民委员会2684户[1]。

镇沅县种植茶叶为喜温、喜湿、喜散热光的品种，而镇沅的茶叶生长发育期内气候具有降水适中、日照丰富、霜期偏晚但气象因子时空分布不均匀的特点。特别是2022年强对流天气的出现频率较近五年平均值提高了近两倍，极端天气的出现频率和危害程度呈现增加的趋势，严重威胁本地茶叶的安全生产。面对气候变化和本地现代农业的不断发展，茶叶的种植区域、栽培种类正经历着持续的调整与优化。这一转型过程中，镇沅县在茶叶气象指标方面存在显著的空白，且现有的指标体系已无法满足当前生产实践的需要，问题日益凸显。当前，关于气象因素如何影响茶叶的生长、产量与品质，以及如何进行适宜气候区划、气象灾害风险评估和灾害易发区域划分的研究已取得显著成果[3]-[6]。也有研究评估了云南地区咖啡和茶叶等经济作物产业面临的农业气象灾害风险[7]。根据众多研究结果，镇沅县部分区域在气象风险综合指标中被划分为高风险地带。特别是春季霜冻对茶叶产量构成了显著威胁，凸显了气象因素对茶叶种植的深远影响。尽管如此，目前专门针对镇沅县茶叶种植区的多灾种农业气象灾害风险评估研究

还相对匮乏，对气象条件如何定量影响茶叶产量的研究亟待深化。

在最近的几年中，镇沅县的站网布局变得更为紧凑，提供的区域站信息也更为齐全，这有助于对当地的茶叶风险进行更为细致的划分，本研究利用镇沅县内乡镇站点在 2018~2022 年期间的观测数据和格点信息进行了深入分析。从灾害原因的角度出发，构建了一个综合风险评估模型，并据此绘制了镇沅县茶叶集聚区的风险划分图，旨在为优化生产布局和减少潜在损失提供科学依据。

2. 资料与方法

2.1. 数据及绘图说明

以统计镇沅县 9 个乡镇观测站近五年降水量、气温、日照等观测数据；通过使用 GIS (地理信息系统) 软件绘制详细的分布地图[8]，并结合自然断点分级法，成功地为镇沅县的茶叶种植区域制定了气象风险等级标准，为茶叶生产提供了科学的风险评估依据。根据不同类型的风险，应设定相应的区域划分标准[9]。因此，将区域划分为三个等级：Ⅰ区代表低风险区域，Ⅱ区代表中等风险区域，而Ⅲ区则被定义为高风险区域。

2.2. 研究方法

2.2.1. 茶叶主要致灾因子指标的确定

茶叶主要农业灾害包括霜冻和高温干旱，相关灾害指标见表 1。

Table 1. Major agricultural meteorological disaster indicators for tea

表 1. 茶叶主要农业气象灾害指标

灾害种类	灾害指标
冬季霜冻灾害	$T_{\min(12-1)} \leq 0^{\circ}\text{C}$
早春霜冻灾害	$T_{\min(2-3)} \leq 4^{\circ}\text{C}$
热害	$T_{\max(3-5)} \geq 35^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{avg}(3-5)} \geq 30^{\circ}\text{C}$

2.2.2. 归一化频次处理

鉴于各项指标的量级存在差异，并且这些差异相当大，它们对评价指标的影响也各不相同，因此决定对这些指标统一进行归一化处理[10]，见公式(1)。

$$A_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

式中， A_i 为第 i 项气象灾害指标的归一化频次($0 \leq A_i \leq 1$)， x_i 为第 i 项气象灾害的频次； $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别为所有站点频次年平均的最大值和最小值。

2.2.3. 综合风险评估模型

为了评估茶叶的灾害风险，使用了加权综合评价法(WCE)作为模型，其中早春的霜冻[10]-[15]、冬季的冻害[16]-[19]以及夏季的高温热害[20]-[22]被视为主要的评估标准，见公式(2)。

$$RI = \sum_{i=1}^n (A_i W_i) \quad (2)$$

式中， RI 为茶叶风险综合指标， n 为评价因子个数， $n = 3$ ； W_i 为第 i 项气象灾害对应的权重系数($W_i > 0$, $\sum_{i=1}^n W_i = 1$)，采用层次分析法来确定，权重系数见表 2。

Table 2. Weight coefficients for types of meteorological disasters
表 2. 气象灾害种类的权重系数

气象灾害种类	冬季霜冻灾害	早春霜冻灾害	高温热害
W_i	0.58	0.11	0.31

3. 气象灾害风险区划分析

3.1. 镇沅县地形分析

从地形上可以看出镇沅县地形地貌复杂(见图 1)，全县山区面积占总面积的 97.7%，河谷小坝地形占 2.3%，云岭山脉的支系哀牢山与无量山自北向南延伸，与河流交织，共同塑造了区域的地貌特征，呈现出从北向南逐渐降低的“五谷五岭”形态。者干河，恩乐河、勐统河、景谷河穿流而过，境内茶园大都依山而建，不利于开展大规模机械化种植作业，也不利于农产品的交通运输。

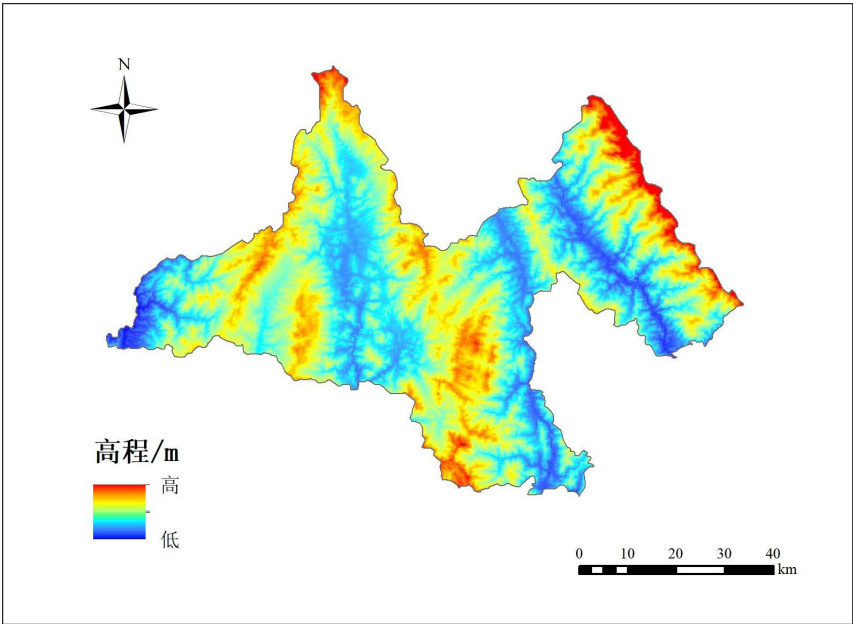


Figure 1. Topographic map of Zhenyuan county
图 1. 镇沅县地形图

3.2. 降雨量分析

从近 5 年降雨分布可看出(见表 3、图 2)，镇沅县年均降雨量在 885.5 (古城)~1402.7 mm (振太)之间，全县平均降雨量为 1189.7 mm，除古城镇外，其余乡镇均满足年均降水量大于 1000 毫米的条件(≥ 1000 mm)，降雨量方面可以满足镇沅县茶叶种植需求。但是根据最新气候预测，明年发生干旱的可能性较大，各茶叶种植区可能面临缺水的风险。

Table 3. Average precipitation in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (Unit: mm)
表 3. 镇沅县各乡镇近 5 年平均降水量(单位：毫米)

九甲	者东	和平	古城	田坝	按板	振太	勐大	恩乐
1214.6	1222.4	1265.2	885.5	1166.0	1033.6	1402.7	1293.1	1223.8

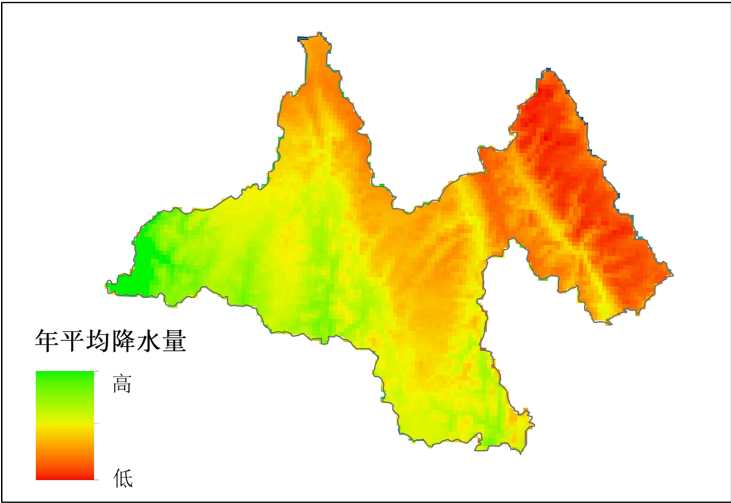


Figure 2. Average precipitation in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (Unit: mm)
图 2. 镇沅县各乡镇近 5 年平均降水量(单位: 毫米)

3.3. 平均气温分析

从各乡镇气温的分布情况来看(见表 4、图 3)，镇沅县气温偏高的地区分布在河谷、低洼地区，例如古城、者东、勐大等乡镇；气温偏低的地区主要集中在高海拔的山脊区域，例如九甲镇到和平镇一线的哀牢山一线。从近 5 年平均气温分布可看出，镇沅县境内气温呈现整体上升的趋势，不仅需要考虑气候变暖对已有茶叶种植区茶叶品质的影响，也要在新建茶叶种植园区时将气温变化纳入考量范围。

Table 4. Average temperature in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (Unit: °C)
表 4. 镇沅县各乡镇近 5 年平均气温(单位: °C)

九甲	者东	和平	古城	田坝	按板	振太	勐大	恩乐
17.2	20.2	17.8	20.6	16.3	18.9	17.4	19.2	20.1

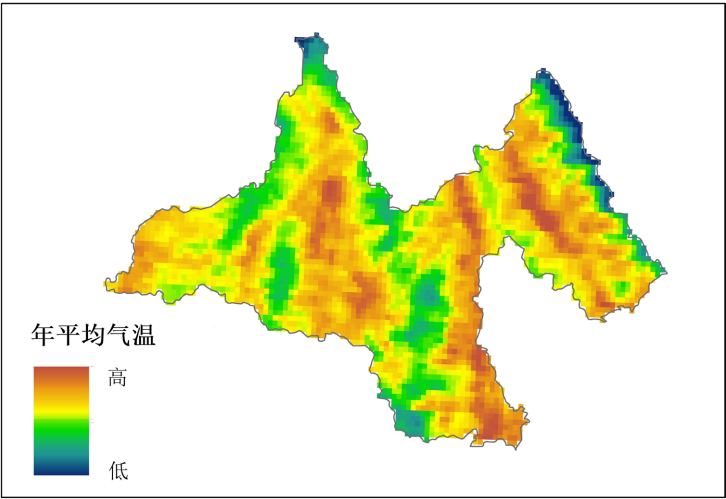


Figure 3. Average temperature in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (Unit: °C)
图 3. 镇沅县各乡镇近 5 年平均气温(单位: °C)

3.4. 最低气温分析

从各乡镇的最低气温分布情况来看(见表 5、图 4)，最低气温分布区域与平均气温的低温分布区域类似，高海拔、山区的最低气温较其他区域偏低，尤其是哀牢山沿线，冬季常见零度以下气温，并伴随有霜冻及积雪，此区域内零散分布有古茶树群，不适合规模化种植茶叶。

Table 5. The lowest temperature in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (Unit: °C)

表 5. 镇沅县各乡镇近 5 年最低气温(单位: °C)

九甲	者东	和平	古城	田坝	按板	振太	勐大	恩乐
-0.3	0	0.1	2.6	-1.4	0.9	0	0.7	2.9

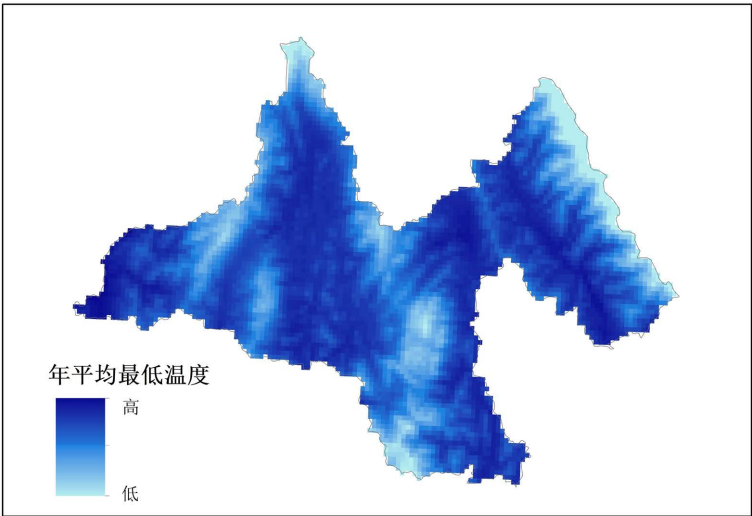


Figure 4. The lowest temperature in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (Unit: °C)

图 4. 镇沅县各乡镇近 5 年最低气温(单位: °C)

3.5. 最高气温分析

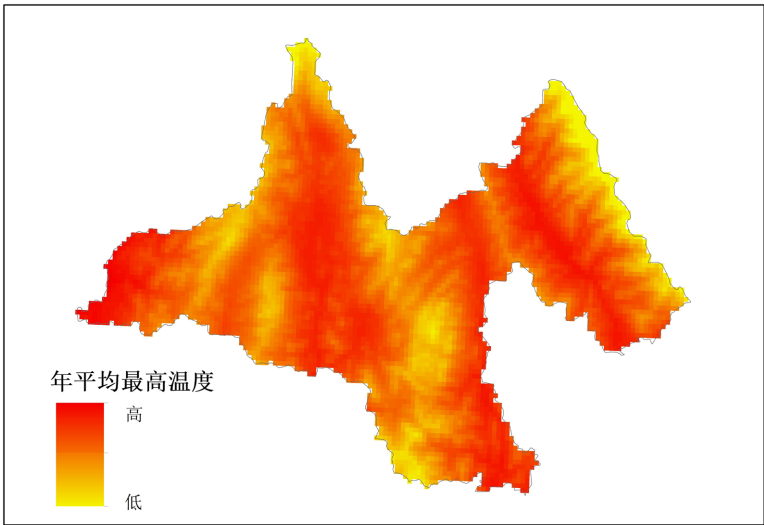


Figure 5. The highest temperature in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (Unit: °C)

图 5. 镇沅县各乡镇近 5 年最高气温(单位: °C)

从各乡镇的最低气温分布情况来看(见表 6、图 5)，最高气温分布区域与平均气温的高温分布区域类似，高海拔、河谷的气温比其他区域偏高，尤其是李仙江流域附件，雨季前后季常见 30℃ 以上气温，并伴随有轻旱等气象灾害，此区域内零散分布有茶叶种植区，不适合规模化种植茶叶。

Table 6. The highest temperature in various townships of Zhenyuan county over the past 5 years (unit: °C)

表 6. 镇沅县各乡镇近 5 年最高气温(单位: °C)

九甲	者东	和平	古城	田坝	按板	振太	勐大	恩乐
34.9	39.8	35.1	40.7	33.4	38.6	36.9	38.3	39.4

3.6. 日照分析

从各乡镇的日照分布情况来看(见图 6)，日照与当地海拔呈现正相关关系，海拔越高的地区所获得的日照资源越多。另外由于镇沅县境内山脉走向大多呈南北向，山脉两侧所获得的日照资源大致相等，日照对茶叶种植的影响相比于其他气象因素偏小。

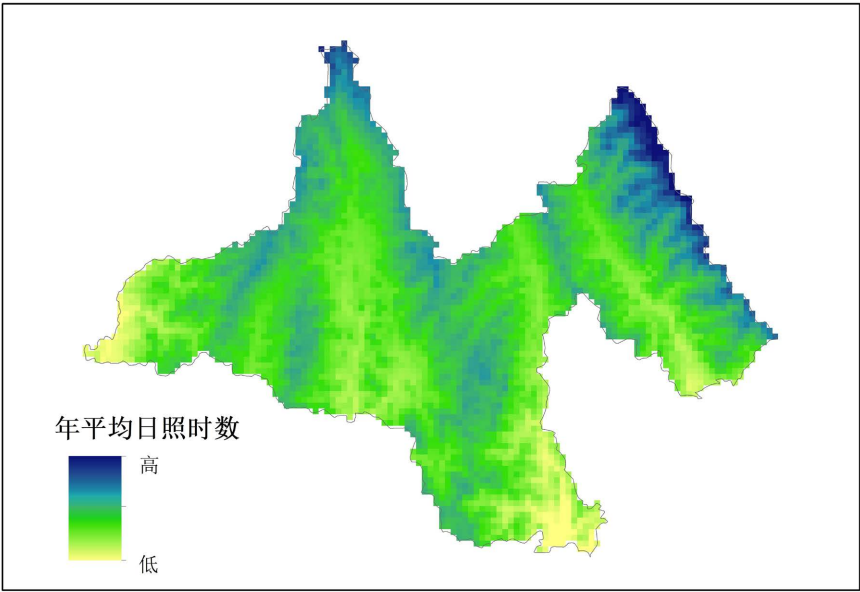


Figure 6. Sunshine distribution in various townships of Zhenyuan county (Unit: h)

图 6. 镇沅县各乡镇日照分布(单位: 小时)

3.7. 空间分布适宜性分析

从茶叶种植分布来看，镇沅县的茶叶种植遍布全县各个乡镇。下文将根据气象因子及致灾因子的计算来分析镇沅县茶叶的综合风险区划。

3.7.1. 早春霜冻

如图 7(a)所示，I区主要分布于恩乐、勐大、按板、振太的低海拔及河谷地区，此处多为地势相对平坦、海拔相对偏低，早春冻害的出现天数相对较少，特别是在振太地区，早春低温现象的年均天数通常不超过 20 天。II区在全县各乡镇均有分布，平均出现低温日数在 30 天以内。而高危险区(III区)主要集中在哀牢山沿线的九甲、者东、和平与其余乡镇部分高海拔地区，平均低温日数在此区域普遍超过 30 天。北高南低的地形特征影响了这种分布情况，山高谷深的地势不谋而合。

3.7.2. 冬季寒害

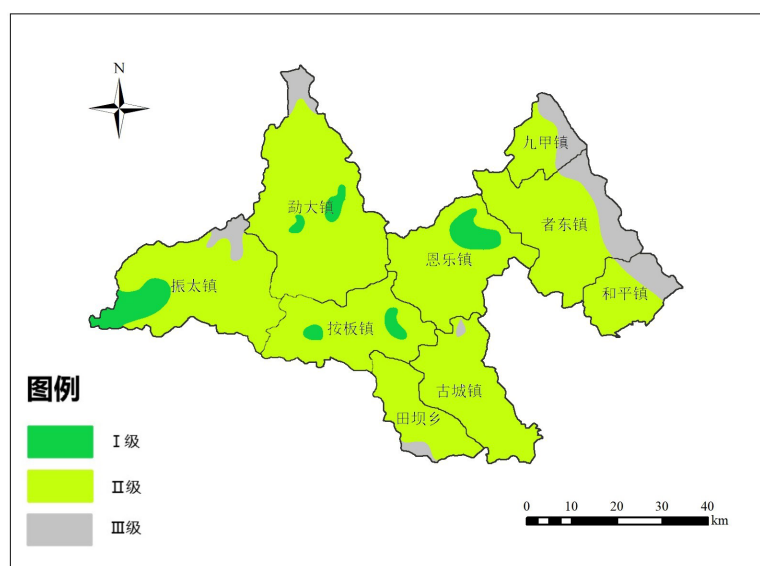
随着冬季气温的下降,茶叶面临着冻害的风险,如图 7(b)所示,观察到寒害的发生频率与海拔和温度之间存在正相关性。在这些条件的影响下,高风险区域主要集中在哀牢山脉一带,具体包括勐大、振太、按板、恩乐以及田坝等地的高海拔地区。这些地区的地理特征使得它们更容易遭受长时间的低温影响,导致至少 5 天以上的寒害天气。特别值得注意的是,哀牢山一线的海拔普遍超过 1800 米,且在过去的五年中,这些地区均记录有霜冻事件的发生。中风险区主要位于上述高海拔区域外围,该区域主要由丘陵和山脉构成,其地势特征显著,大部分地区的海拔高度超过 1200 米。低风险区域主要分布于海拔 1200 米以下的河谷、小坝等地势较低的地带,如振太以西及古城以南。

3.7.3. 高温干旱

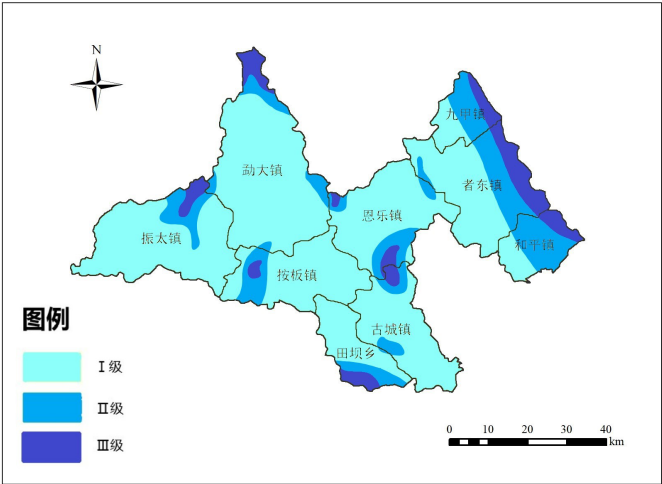
鉴于河谷地带与低海拔区域的温度上升速度较快,并且具有较高的最高温度,根据图 7(c)的数据显示,镇沅县全域大体位于中风险及以上等级。哀牢山沿线、恩乐田坝区域以及振太等地,由于所处山脉海拔较高,因而受到热害的影响相对较小,整体处于较为理想的适宜区(I区)。而恩乐者东交界区、恩乐古城一线、勐大按板一线等低洼河谷地区升温快,需要及时做好高温气象服务,减少茶树因高温造成的损失。

3.8. 综合风险区划

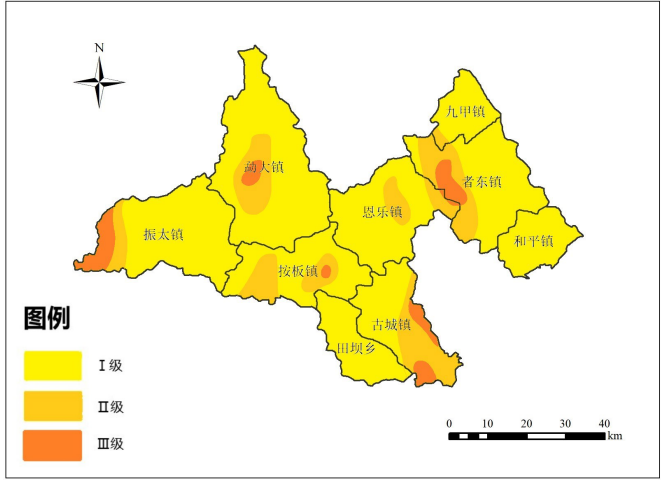
早春霜冻、夏季热害与冬季冻害构成的农业气象灾害综合体,共同构成了茶叶农业领域的综合风险。在茶叶产业中,茶叶霜冻构成了最大的威胁与最常见的灾害类型。相比之下,冬季的寒冷伤害虽为次级灾害,但其影响依然不容忽视。夏季高温干旱则主要对新生茶苗构成严重威胁,而对于成熟茶树的影响相对较小,因此,从整体风险评估的角度来看,夏季高温干旱对茶叶生产的危害程度最低。通过量化不同灾害的影响程度,构建了综合气象灾害风险评估模型,并对其结果进行标准化转换,进而明确了茶叶农业生产中涉及的各类气象灾害的综合风险等级,如图 7(d)所示,高风险区(>120)最大面积主要位于哀牢山一线的九甲、者东、和平东部,即镇沅县与新平县的交界区,其次位于勐大北部与景东交界区,最后是古城与墨江县的交界区。中风险(60~120)分布于全县的大部分地区,绝大部分的茶叶种植区均处于该区域内。低风险区(<60)主要是各乡镇内地势较为平缓的地区,在振太、勐大、按板、恩乐等乡镇均有分布。



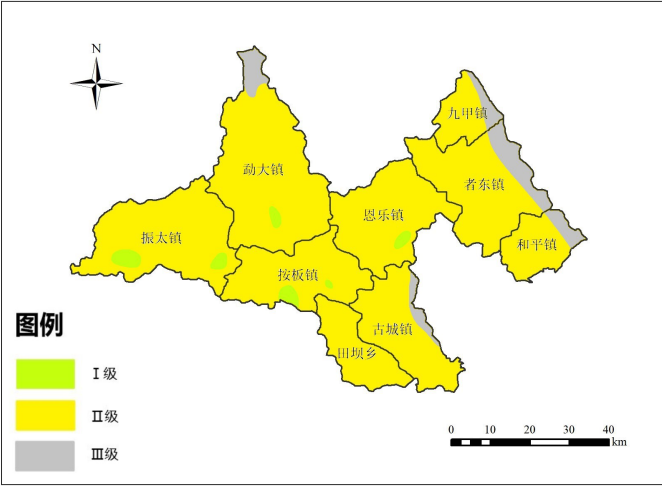
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 7. (a) Early spring frost; (b) Winter frost damage; (c) High temperature and drought; (d) Comprehensive meteorological risk zoning
图 7. (a) 早春霜冻; (b) 冬季冻害; (c) 高温干旱; (d) 综合气象风险区划

4. 结论与建议

4.1. 结论

镇沅县拥有悠久的茶叶种植历史，在历年茶叶生产布局规划、栽培品种改良、种植技术发展等诸多因素的影响下，镇沅县逐渐形成了目前的茶叶种植区域分布。茶叶产业发展为镇沅县的特色经济产业之一，年均茶叶产量在 5000 吨以上，综合产值约 12 亿元。本研究将镇沅县单独提出作为个例分析，主要研究茶叶气象风险区划。研究发现：镇沅县的早春的冻害和冬季的寒害风险区域划分高度重叠，这表明低温导致的灾害主要集中在哀牢山附近和各个乡镇的高海拔地带。这种情况主要是由于山区的特殊地形，导致气温上升和下降的速度相对较快，由于茶叶生长对气温的敏感度较高，因此山区等高海拔区域更容易致灾。在镇沅县辖的各个乡镇中，夏季高温与干旱现象普遍发生，尤其在低海拔及河谷区域。南北乡镇之间，并未观察到明显的差异。在高海拔区域，高温事件相对较少发生。鉴于高海拔地区茶园相较于其他区域受到的高温影响较小，应特别聚焦于为古城镇与按板镇茶园提供精准的高温气象预测服务。在研究中还发现，每当高温天气出现时，全县范围内的气温均呈现上升趋势，这表明高温的预测具有较高的可预见性和准确性。与此相反，对于低温预测而言，其有效性往往依赖于预报员对特定乡镇地形影响的经验总结。因此，针对不同气候条件下的预测方法优化与提升，将是未来研究工作的重要方向和关键领域。开展镇沅县的茶叶风险区域划分对于提升当地茶叶生产的气象服务保障水平以及科学规划茶叶种植区域具有重大价值和意义。本文仅聚焦于气温因素在茶叶生产中的作用，然而，种植地区的环境条件等其他因素对于评估茶叶灾害风险同样至关重要。未来的研究方向应包括深入探讨承灾体的脆弱性以及孕育灾害的环境因素，通过持续调整和优化评价指标体系，旨在实现茶叶风险区域划分的全面性和精确度的提升。

4.2. 建议

由上文分析可知，气候变化将在未来继续茶叶种植区的变迁产生影响，加强气象部门与地方企业合作，提供优质气象服务十分必要。同时需要注意的是近年各类气象灾害的发生频率呈现逐年上升趋势，针对性的开展防范工作迫在眉睫，茶叶生产防灾减灾的重点应集中于防范干旱、地质灾害两个方面，具体措施有如下建议。

1) 为可能发生的高温干旱灾害做准备。加强水利设施建设，兴修水源工程、引水工程，茶园配套修建水池、水塘等集雨水利设施。对有水源保障的地区，要抓住河道、沟渠和地表流水，采取蓄、引、提等举措，将小坝塘、蓄水池等蓄满水；今年汛期结束后要及时检修水利机电设备，清淤渠道，防渗补漏，提高蓄水供水能力，保障在可能遇到的高温干旱灾害中用水能解决。

2) 改善茶园周边农业生态环境。增强生态环境保护意识，严禁乱砍滥伐，制止毁林毁草种粮，防止破坏水土流失的情况，避免茶园在强降雨天气过程中受到泥石流滑坡等地质灾害的影响。

3) 应适时开展人工增雨，并把握良机实施增雨作业，增加有效降水，缓解雨季前旱情。同时加强监测与预报预警，为茶产业发展提供保障。

参考文献

- [1] 台文, 李林. 镇沅年鉴 2022 [M]. 昆明: 云南美术出版社, 2022.
- [2] 许美玲, 段旭, 杞明辉. 云南省天气预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2011: 90-95.
- [3] 唐俊贤, 王培娟, 俄有浩, 马玉平, 郭定荣, 霍治国. 中国大陆茶树种植气候适宜性区划[J]. 应用气象学报, 2021, 32(4): 397-407.
- [4] 龙振熙, 姚正兰. 茶叶生长期气象条件分析[J]. 农技服务, 2010, 27(11): 1498-1500.

-
- [5] 陆一磊, 孔维财, 时冬头. 影响南京市高淳区茶叶生产主要气象灾害分析[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(3): 608-610, 616.
 - [6] 王彩, 徐阳, 余湘君. 君山银针茶叶品质与气候关系研究[J]. 农业科技与信息, 2016(27): 43, 46.
 - [7] 王宇. 云南省农业气候资源及区划[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
 - [8] 冯晓云, 王建源. 基于 GIS 的山东农业气候资源及区划研究[J]. 中国农业资源与区划, 2005, 26(2): 60-62.
 - [9] 章国才. 气象灾害风险评估与区划方法[M]. 北京: 气象出版社, 2010.
 - [10] 黄寿波. 茶树生长的农业气象指标[J]. 农业气象, 1981(3): 54-58.
 - [11] 姜敏燕, 金志凤, 李松平, 等. 浙南春茶开采前后气象条件分析及开采期预报[J]. 中国农业气象, 2015, 36(2): 212-219.
 - [12] 王培娟, 唐俊贤, 金志凤, 马玉平, 陈惠. 中国茶树春霜冻害研究进展[J]. 应用气象学报, 2021, 32(2): 129-145.
 - [13] 刘瑞娜, 陈鹏. 安徽省茶叶春霜冻发生规律及风险分布[J]. 气象科技, 2016, 44(6): 1060-1065.
 - [14] 娄伟平. 浙江省大佛龙井产区春季茶叶霜冻灾害研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2013.
 - [15] 许映莲, 李旭群. 苏南茶区早春茶树冻害的分级和防御对策探讨[J]. 中国茶叶, 2012(1): 8-10.
 - [16] 吴国林. 春茶及中高档茶产量与气象因子的关系[J]. 茶业通报, 2003, 25(4): 170-171.
 - [17] 陈家金, 黄川容, 孙朝锋, 等. 福建省茶叶气象灾害致灾危险性区划与评估[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(1): 198-207.
 - [18] 李伯贞, 谢佳杏, 孔萍, 殷剑敏. 江南茶叶农业气象灾害风险区划[J]. 干旱气象, 2015, 33(6): 1017-1023.
 - [19] 黄寿波. 我国主要高山名茶产地生态气候的研究[J]. 地理科学, 1986(2): 125-132.
 - [20] 杨菲, 李蓓蓓, 何辰宇. 高温干旱对茶树生长和品质影响机理的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(3): 10-13, 40.
 - [21] 杨菲, 王学林, 杨再强, 等. 江南地区茶树高温热害时空分布特征及风险区划[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(3): 216-224.
 - [22] 卢健, 朱全武, 骆耀平. 茶园旱热害及其防治与补救措施[J]. 茶叶, 2013, 39(3): 153-155.