

基诺攸乐茶热带山地古茶园生境保护与 可持续发展案例研究

康蕾^{1*}, 陆家杰², 刘怀鑫³, 杨逢渤⁴, 田阡⁵, 李嘉欣⁶, 周红杰⁷, 薛晓霆⁸,
玉坎嫩⁹, 孔震¹⁰, 曾松¹¹, 白思琴¹², 杰布鲁¹³, 梁明毓¹⁴

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100010; 2. 河北地质大学, 石家庄 050031; 3. 湖北工业大学, 武汉 430068; 4. 中国科技出版传媒股份有限公司, 北京 100717; 5. 云南民族大学, 昆明 650504; 6. 中央民族大学, 北京 100081; 7. 云南农业大学, 昆明 650000; 8. 周红杰名师工作室, 昆明 650000; 9. 西双版纳傣族自治州民族宗教事务局, 西双版纳 666102; 10. 西双版纳傣族自治州气象局, 西双版纳 666199; 11. 景洪市基诺山基诺族乡人民政府, 西双版纳 666107; 12. 西双版纳攸乐人拉嘎拉收农业专业合作社, 西双版纳 666107; 13. 景洪阿耨咪咪茶叶初制所, 西双版纳 666107; 14. 北京梁明毓琉璃艺术设计有限公司, 北京 100055

摘要: 基诺山位于云南省西双版纳傣族自治州景洪市, 地处横断山脉无量山余脉丘陵地带, 是云南普洱茶古六大茶山之一。基诺攸乐茶采制于云南省西双版纳傣族自治州景洪市基诺乡攸乐村古茶园, 其所在村寨攸乐村是基诺山古茶树资源最丰富, 古树茶产量最高的村寨。攸乐村具有中高海拔、高植被覆盖度、气候条件适宜、生态系统稳定、土质肥沃等特征, 得天独厚的地理环境赋予了基诺攸乐茶独特的香气与口感, 使区域成为高品质普洱茶的理想产地, 真正体现了“绿水青山就是金山银山”的时代价值。本研究从基诺攸乐茶的自然生态环境、品质特性、发展管理、历史文化等方面对案例区攸乐村进行分析, 总结了基诺攸乐茶热带山地古茶园生态环境保护与可持续发展模式。该案例数据集由案例区界线数据、自然地理与生态环境数据、基诺攸乐茶产品特性数据、茶叶产品历史文化、经济社会发展、经营管理特点等4大类数据组成, 数据集存储为.shp、.tif、.xlsx、.docx、.jpg等格式, 由109个数据文件组成, 数据量为163 MB (压缩为1个文件, 88 MB)。

关键词: 基诺攸乐; 古树茶; 优质地理产品生境保护与可持续发展; 案例24

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.02.02>

CSTR: <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2025.02.02>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2025.05.09.V1> 或 <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.05.09.V1>.

收稿日期: 2025-02-23; 修订日期: 2025-05-16; 出版日期: 2025-06-25

基金项目: 西双版纳傣族自治州景洪市基诺山基诺族乡人民政府(2024)

*通讯作者: 康蕾, 中国科学院地理科学与资源研究所, kanglei@igsnr.ac.cn

数据引用方式: [1] 康蕾, 陆家杰, 刘怀鑫等. 基诺攸乐茶热带山地古茶园生境保护与可持续发展案例研究[J]. 全球变化数据学报, 2025, 9(2): 136-154. <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.02.02>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2025.02.02>.

[2] 康蕾, 陆家杰, 刘怀鑫等. 基诺攸乐茶热带山地古茶园生境保护与可持续发展案例数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.05.09.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2025.05.09.V1>.

1 前言

中国是茶叶的故乡，云南是普洱茶的起源中心和原产地，具有悠久的植茶历史。与此同时，云南还是世界上野生茶树群落和古树茶园保存面积最大、古树茶和野生茶树保存数量最多的省份^[1]。古树茶园作为一种特殊且优质的生态系统，具有自我维持的稳定机制，包括病虫害的自我控制和土壤肥力的自我维持，排除了人为的营养物质供给和病虫害的防治，使得古树茶园的茶叶得以保持其优良品质。

茶叶是基诺山乡传统支柱产业之一。基诺山保存最完好、面积最大的攸乐古茶园，隶属基诺山乡攸乐村，茶园总面积 2,745.2 亩（183.01 hm²），其中古茶园面积 120 hm²，茶树基部围粗大多在 50–120 cm 之间，主干胸围在 30–80 cm，树高大多数在 2–3 m，树冠直径在 1.5–3 m，树龄大部分在 200–300 年间^[1]，密度约 100 株/亩。良好的生态衍生出了丰富的资源馈赠给攸乐村民，真正体现了“绿水青山就是金山银山”的时代价值。基诺山乡还是基诺族的主要聚居区，神秘独特的基诺文化、浓郁古朴的雨林文化和高度保护的森林资源，也赋予了基诺攸乐茶浓郁的基诺民族风情和优异的自然生态环境。

基诺攸乐茶树是乔木型和小乔木型，树势高大。品种以攸乐大叶种为主，结合一些自然杂交的群体种，分长叶型、椭圆型及红梗绿芽、绿梗绿芽两类，叶片肥厚，富含丰富的氨基酸和多种营养物质，同时具有醇厚的口感和独特的香气，茶香浓郁而持久，汤色清澈明亮。正是凭借这样的稀缺性、独特性和高品质，深受茶叶爱好者的喜爱。茶园附生植物丰富，生态特征显著。古茶树枝干上常见附生石斛生长，同时林下植被茂盛，为野生蜂群提供了理想的栖息与采蜜环境，盛产优质蜂蜜。这种石斛、蜂蜜等与古茶树的自然伴生，缔造了茶园丰富的生物多样性和优越的生态条件。

综上所述，基诺攸乐茶的种植和产出具有非常显著的地理区域特征。本研究依托“全球变化科学研究数据出版系统”^[2,3]，以攸乐古茶园所属村寨攸乐村为案例研究区，进行基诺攸乐茶种植区生态环境保护与可持续发展案例数据集开发，力图为促进基诺山乡古树茶园实现生态环境保护与可持续发展提供科学支撑。

2 数据集元数据简介

《基诺攸乐茶热带山地古茶园生境保护与可持续发展案例数据集》^[4]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据量、数据格式、数据集组成等信息见表 1。

3 案例数据研发

3.1 案例区概况

基诺山乡位于云南省西南部（图 1），西双版纳傣族自治州景洪市东北部，地处横断山脉无量山余脉丘陵地带，100°25'E–101°25'E，21°59'N–22°59'N，距景洪市中心城区约 27 km。全乡总面积 622.9 km²，林地面积 74.6 万亩，森林覆盖率 94.01%。辖区地处北回归线以南低纬度地带，属热带季风气候，全年阳光充足、雨量充沛、空气纯净；土壤以酸性红壤为主，有机质含量较高，pH 值在 4.3–5.2 之间，土层深厚，土壤肥沃，得天独厚的地理环境造就了茶香四溢的沃土——基诺山。本研究案例区攸乐村，位于基诺山乡西南部，是基诺

表1 《基诺攸乐茶热带山地古茶园生境保护与可持续发展案例数据集》元数据简表

| 条目 | 描述 |
|-----------|--|
| 数据集名称 | 基诺攸乐茶热带山地古茶园生境保护与可持续发展案例数据集 |
| 数据集短名 | JinuoYouleTeaCase24 |
| 作者信息 | 康蕾, 中国科学院地理科学与资源研究所, kanglei@igsnr.ac.cn 陆家杰, 河北地质大学, 1290510151@qq.com 刘怀鑫, 湖北工业大学, 8953640@qq.com 杨逢渤, 中国科技出版传媒股份有限公司, yangfengbo@mail.sciencep.com 田阡, 云南民族大学, tianqian@vip.126.com 李嘉欣, 中央民族大学, lijx.18s@igsnr.ac.cn 周红杰, 云南农业大学, 1051195348@qq.com 薛晓霆, 周红杰名师工作室, 501910679@qq.com 玉坎嫩, 西双版纳傣族自治州民族宗教事务局, 609212648@qq.com 孔震, 西双版纳傣族自治州气象局, 8299246@qq.com 曾松, 景洪市基诺山基诺族乡人民政府, 289597095@qq.com 白思琴, 西双版纳攸乐人拉嚓拉收农业专业合作社, 2865946761@qq.com 杰布鲁, 景洪啊毫咪茶叶初制所, 296344949@qq.com 梁明毓, 北京梁明毓琉璃艺术设计有限公司, 864910827@qq.com |
| 地理区域 | 云南省西双版纳州景洪市基诺山基诺族乡 |
| 数据年代 | 1994–2025 |
| 数据格式 | .shp、.tif、.xlsx、.docx、.jpg |
| 数据量 | 163 MB |
| 数据集组成 | 案例区界线、自然地理与生态环境、品种特性、历史文化、经营管理等数据 |
| 基金项目 | 西双版纳傣族自治州景洪市基诺山基诺族乡人民政府(2024) |
| 出版与共享服务平台 | 全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn |
| 地址 | 北京市朝阳区大屯路甲11号100101, 中国科学院地理科学与资源研究所 |
| 数据共享政策 | (1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播(包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报(中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循10%引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[5] |
| 数据和论文检索系统 | DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC |

山古茶树资源最丰富、古树茶产量最高的村寨, 拥有基诺山乡最大、最核心的古树茶园——攸乐古茶园。该村寨还是基诺族主要聚居地之一, 基诺族人世代种茶, 利用当地丰富的古茶树资源, 依托区域独特的地理气候与肥沃土壤, 传承古老制茶技艺, 所产茶叶品质卓越、风味独特, 深受消费者喜爱, 茶叶产业也因此成为攸乐村民重要的经济来源。

3.2 自然地理与生态环境数据

3.2.1 地形地貌

本研究利用 30-m DEM¹作为基础数据计算基诺山乡海拔高度及其面积百分比

¹ ASTER GDEM. <https://www.gscloud.cn/>.

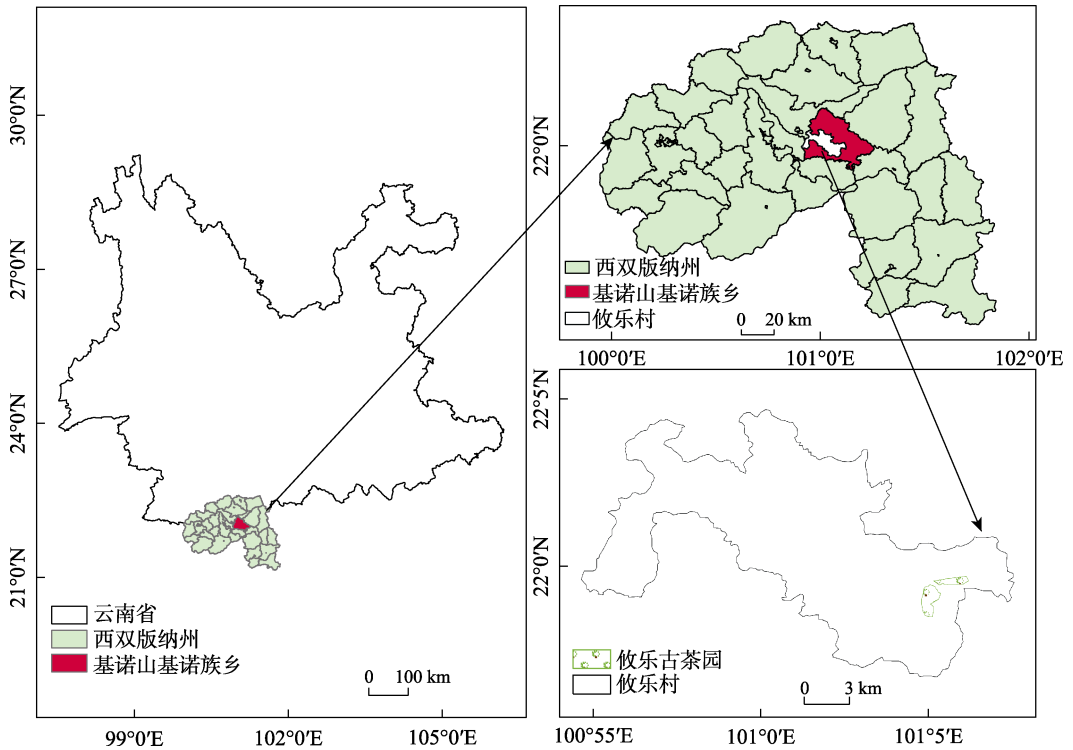


图 1 案例区地理位置图

(本图基于国家自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2023)2763 的标准地图制作，底图无修改)

(图 2, 3), 分析地形坡度以及不同海拔高度的平均坡度(图 4, 5)。同时, 本研究还分析了案例区攸乐村的海拔高度(图 6, 7)和地形坡度情况(图 8, 9), 以此深入探讨基诺乡和攸乐村的地形条件对基诺攸乐茶生产的影响。

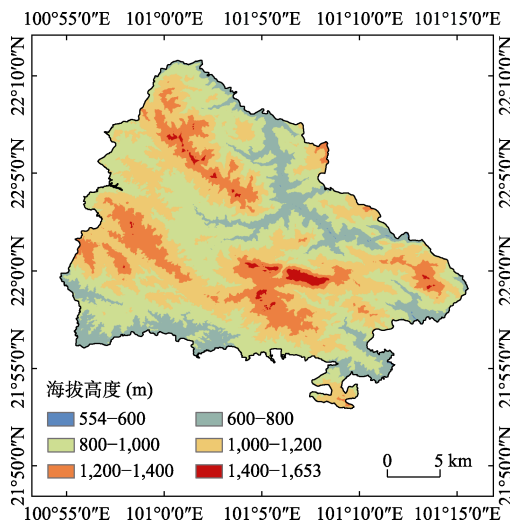


图 2 基诺山乡海拔高度分类图

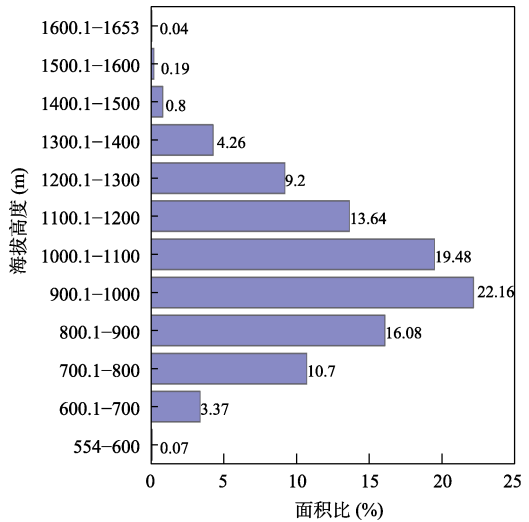


图 3 基诺山乡不同海拔高度所占面积比例图

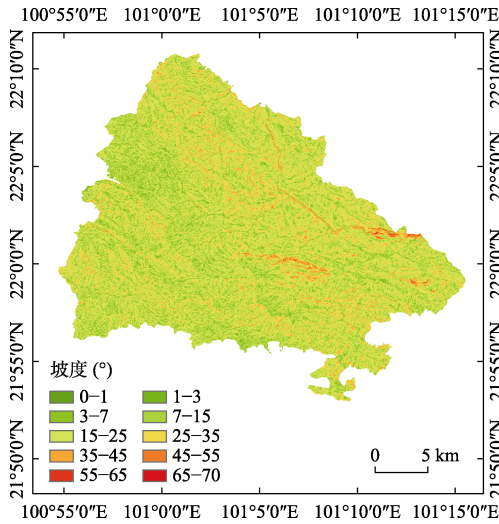


图 4 基诺山乡地形坡度分类图

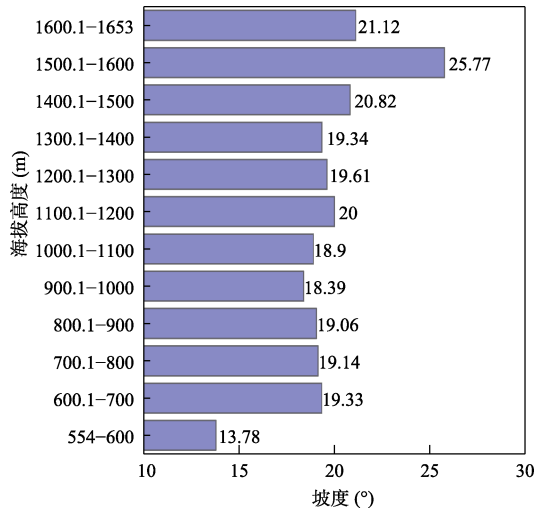


图 5 基诺山乡不同海拔高度的平均坡度图

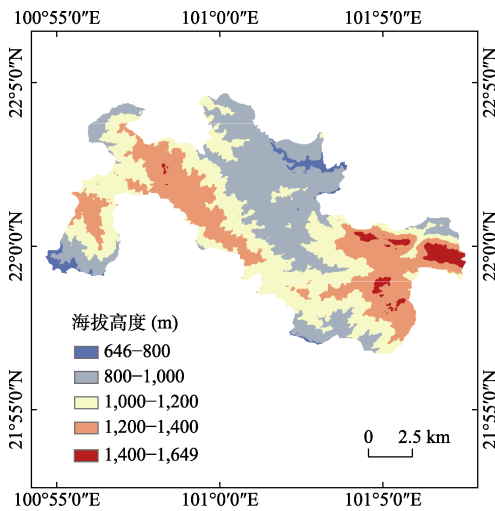


图 6 攸乐村海拔高度分类图

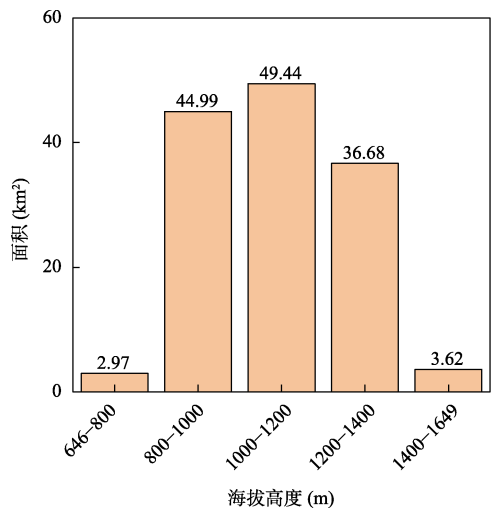


图 7 攸乐村海拔高度分类面积统计图

海拔高度和坡度对茶叶品质具有显著影响。当茶树种植于海拔超过 1,000 m 且坡度小于 25° 的环境中时，能够促进其独特风味与卓越品质的形成。中高海拔山区，以其得天独厚的自然环境、清新的空气、充足的阳光照射以及高浓度的负氧离子，为茶叶生长提供了较好的条件，有助于茶叶积累更丰富的内含物质，从而孕育出更加醇厚、回甘的卓越品质。

基诺山乡海拔高于 1,000 m 的面积占 47.61%，且 75% 以上土地坡度在 25° 以下。在攸乐村区域内，地理环境展现出高度的种植优势，该地区超过 65% 的区域海拔达 1,000 m 以上，属于中高海拔种植区，这种高度条件有利于茶树积累更多风味物质，提升茶叶品质。同时，坡度大多在 25° 以下，既保证了土壤的稳定性，又便于实施科学的茶园管理与采摘作业。中高海拔带来的昼夜温差大，促进了茶树的新陈代谢，使得茶叶内含物更为丰富，口感层次分明。而适宜的坡度则有利于茶园排水，避免了水涝对茶树根系的损害，同时也

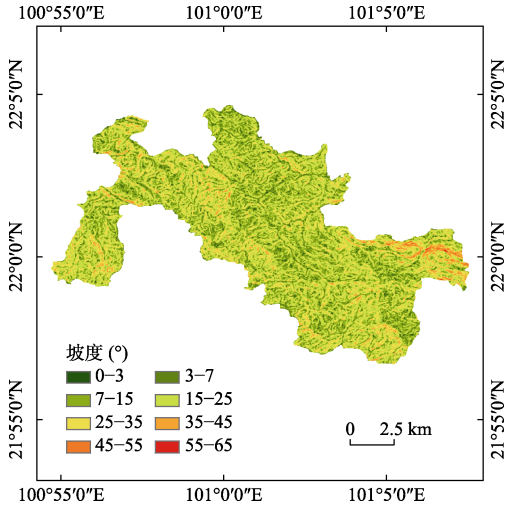


图 8 攸乐村地形坡度分类图

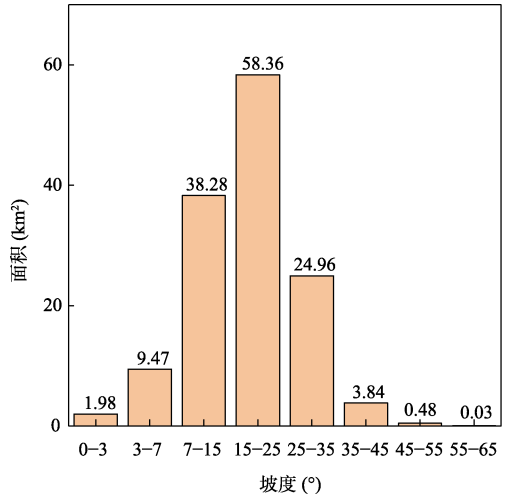


图 9 攸乐村坡度分类面积统计图

便于茶园进行水土保持和生态修复工作。

3.2.2 气候特征

基诺山乡地处北回归线以南低纬度地带，属热带季风气候，具有全年气温适宜、光照充足、降水丰沛且分布均匀、空气湿度高并常伴有云雾缭绕的气候特征（图 10, 11）。基于西双版纳傣族自治州气象局提供的基诺山乡气象数据²，基诺山乡 2023 年平均气温在 15–25 °C，干湿季分明，雨季湿润、旱季温和，为茶叶生长提供了理想的温床。年降雨量约 800 至 1,200 mm，年均约 1,966.2 小时的日照时长促进了茶叶的光合作用^[6]，既满足了茶叶对水分的需求，又避免了积水之害。尤为独特的是，基诺山的云雾环境，不仅调节了光照强度，减少了茶树蒸腾，还赋予了茶叶独特的香气与口感。加之丰富的生物多样性、垂直分布的植被带以及深厚的基诺族文化底蕴，共同孕育了基诺山茶叶的卓越品质。

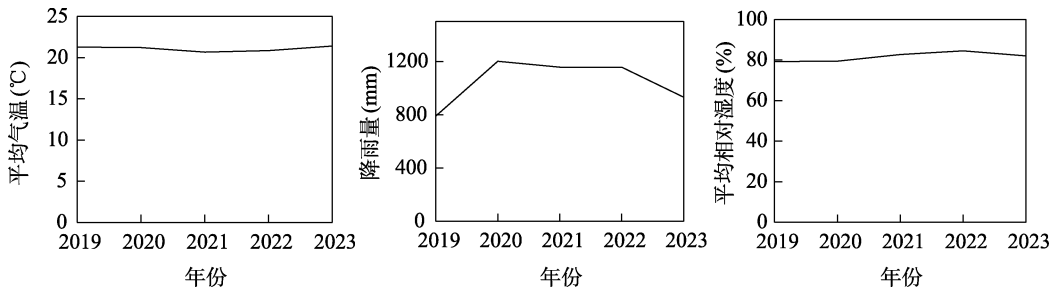


图 10 基诺山乡年均气候变化图（2019–2023）

3.2.3 植被覆盖与土地利用

本数据集使用哨兵 2 号卫星数据（空间分辨率 10 m）³生成植被指数（NDVI）数据，

² 西双版纳傣族自治州气象局. 景洪基诺气象月资料. 2024.8.

³ ESA. Sentinel-2. <https://dataspace.copernicus.eu/>.

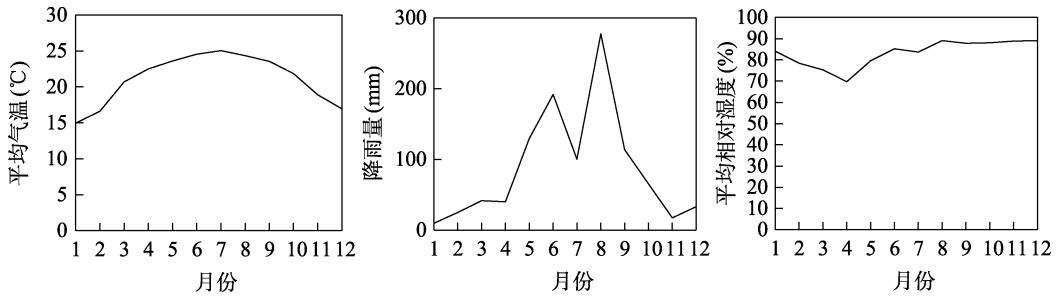


图 11 基诺山乡月均气候变化图 (2023)

来分析基诺山乡植被覆盖情况 (图 12), 并进一步分析构建攸乐村 NDVI 情况 (图 13)。鉴于海拔对普洱茶生产及其品质的关键作用, 采用海拔高度分带对基诺山乡 NDVI 进行了均值统计 (图 14)。

数据显示, 600 m 以下, NDVI 均值较低, 这与低海拔较少的降水、较多的建筑区有关。在 600 m 以上的山区, NDVI 均值集中在 0.83, 0.84, 0.86。攸乐村较高的 NDVI, 形成了一个高浓度的负氧离子环境, 负氧离子的作用在于降低普洱茶中酯型儿茶素 EGCG 和 ECG 的含量, 同时提升简单儿茶素 EGC 与 EC 的含量。它还能增加总糖含量, 降低咖啡碱的含量, 从而使得普洱茶的口感更加醇厚, 苦涩味减少, 收敛性减弱, 甜度和顺滑度得到提升^[7]。此外, 经过高浓度负氧离子环境养育的普洱茶, 其酯类化合物含量较高, 展现出带有陈香的果香香气特征。

本数据集依托哨兵 2 号数据数据, 经影像校正、提取各土地利用类型样本、监督分类、分层抽样精度检测等步骤, 分析构建得到基诺山乡土地利用 (图 15)、攸乐村土地利用 (图 16)。普洱茶种植区所属基诺山乡土地利用涵盖了水体、建筑区、林地、耕地、疏林地等用地类型, 形成了多样的生态系统, 为普洱茶的种植创造了良好的生态环境。其中, 林地占据了最大的面积, 是主要的用地类型。攸乐村土地利用类型以林地为主, 这进

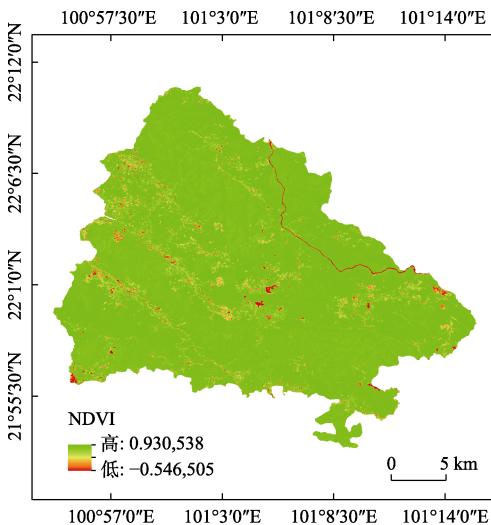


图 12 基诺山乡 NDVI 分析图

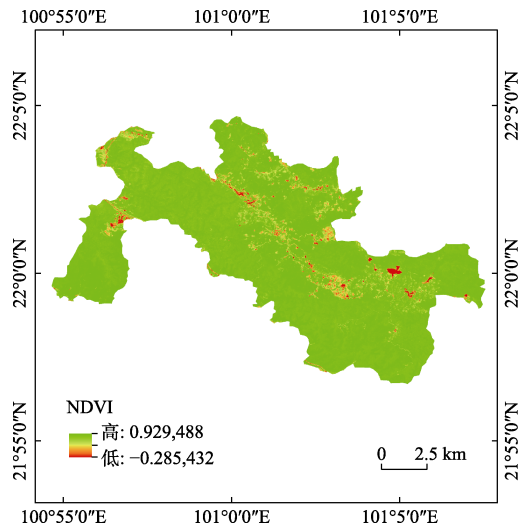


图 13 攸乐村 NDVI 分析图

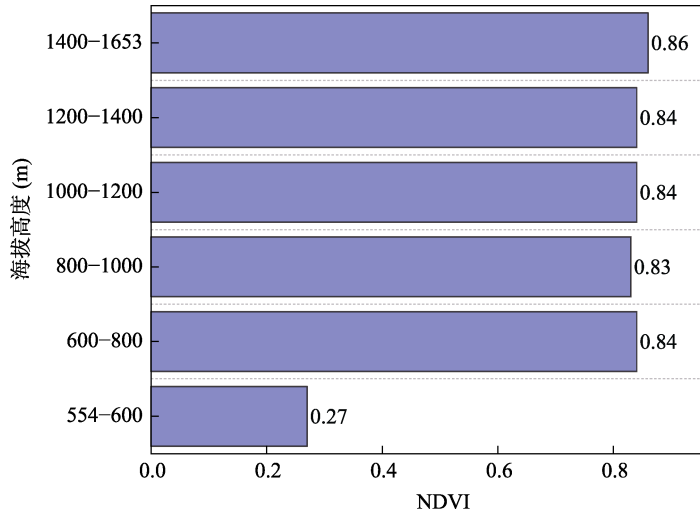


图 14 基诺山乡不同海拔高度 NDVI 均值统计图

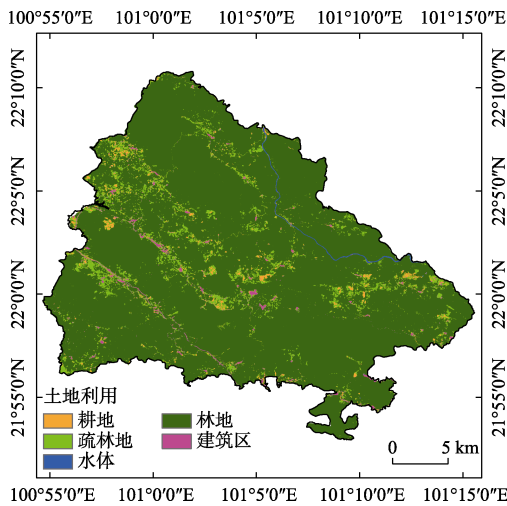


图 15 基诺山乡土地利用现状图

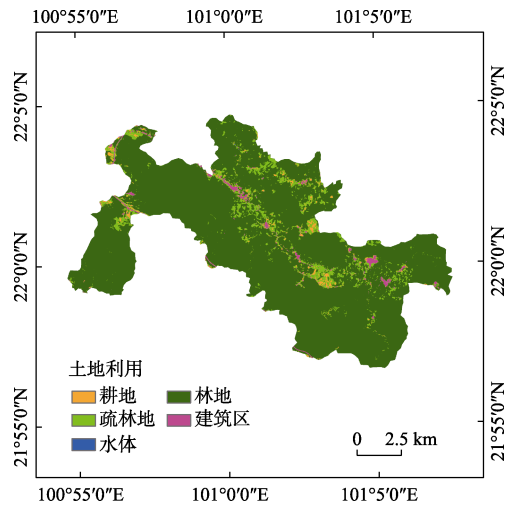


图 16 攸乐村土地利用现状图

进一步强化了该地区的种植专业性。林地覆盖率高，不仅为茶树提供了丰富的遮荫和适宜的微气候环境，还通过生物多样性的维护，促进了茶园生态系统的平衡与稳定。此外，林地土壤富含有机质和矿物质，为茶树生长提供了充足的营养，使得茶叶品质得以持续提升。

3.2.4 水环境

基诺山全乡河流属澜沧江流域，境内河网密布，沟壑纵横，共有市、乡级江河 24 条，其中市级河流有罗梭江、龙帕河、南线河等 7 条，乡级河流有野猫河、诺优河、扩争河等 17 条^[6]，水资源丰富。基诺攸乐茶的生长主要依靠雾气滋养和天然降水，故水质检测未作过多采样。本研究在攸乐古茶园范围内设置 1 个采样点（图 17）。采样前先用待采水样冲洗采样瓶 2-3 次；然后将采样瓶口置于水面下 20-30 cm，让水进入瓶中；在采样瓶完全装满水后，迅速将其从水面提起，确保不搅动水底沉积物，并且避免任何水面漂浮物进入采样瓶。

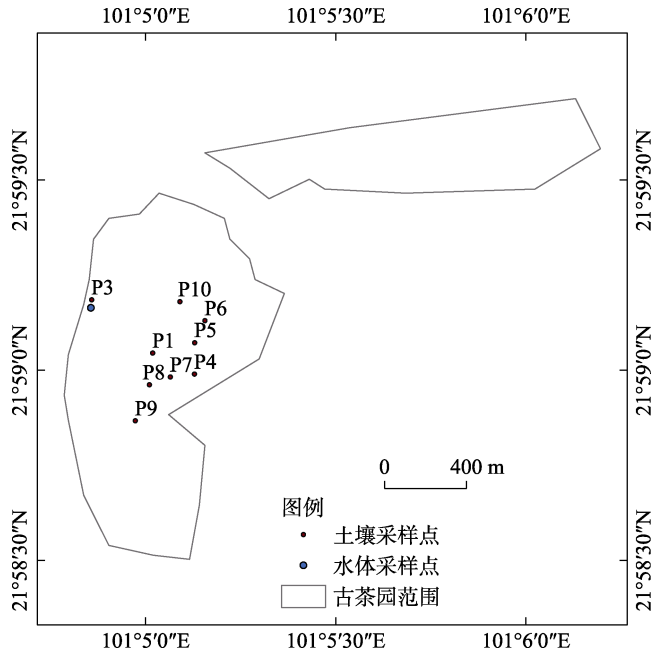


图 17 案例区水采样点及土壤采样点地理位置图

参照生态环境部和国家市场监督管理总局 2021 年 1 月发布的《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2021)^[8]中规定的基本控制项目,检测项目包括 pH、水温、全盐量、氯化物、悬浮物、六价铬、化学需氧量、总汞、总砷、铅、镉、五日生化需氧量、粪大肠菌群数、蛔虫卵数、硫化物、阴离子表面活性剂,共计 16 项,交由蚯蚓测土实验室(山东)有限公司完成检测。检测结果显示,案例区域的水环境中各项指标均符合国家标准,达到了古树茶生长所需的环境水质标准(表 2)。

表 2 案例区地表水源水质检测结果统计表

| 检测指标 | 单位 | 国家农田灌溉水质标准限制 | 检测结果 |
|----------|-------|-----------------|-------|
| pH | 无量纲 | 5.5-8.5 | 7.3 |
| 水温 | ℃ | 35 | 20 |
| 全盐量 | mg/L | ≤1,000 (非盐碱土地区) | 113 |
| 氯化物 | mg/L | ≤350 | 16.58 |
| 悬浮物 | mg/L | ≤100 | 未检出 |
| 六价铬 | mg/L | ≤0.1 | 未检出 |
| 化学需氧量 | mg/L | ≤200 | 9 |
| 总汞 | mg/L | ≤0.001 | 未检出 |
| 总砷 | mg/L | ≤0.1 | 0.001 |
| 镉 | mg/L | ≤0.01 | 未检出 |
| 铅 | mg/L | ≤0.2 | 未检出 |
| 五日生化需氧量 | mg/L | ≤100 | 3 |
| 粪大肠菌群数 | MPN/L | ≤40,000 | 20 |
| 蛔虫卵数 | 个/10L | ≤20 | 未检出 |
| 硫化物 | mg/L | ≤1 | 0.013 |
| 阴离子表面活性剂 | mg/L | ≤8 | 0.07 |

3.2.5 土壤环境

案例区土壤类型系紫色沉积沙岩和季雨林条件下发育的赤红壤。本研究采集了案例区9处古茶树种植区的土壤样本(图17)。土壤剖面的规格约为长1.0 m、宽0.8 m、深1.0 m,每个剖面间隔20 cm 分层采集土壤样品,分别采集0–20 cm、20–40 cm、40–60 cm、60–80 cm、80–100 cm 土层样品,每层样品采集1.5 kg 左右(图18)。通过分层采集土壤样品,检测古茶树种植区域土壤的肥力状况和环境状况,检测项目包括pH,全氮、有效磷、速效钾、有机质、镉(Cd)、铬(Cr)、镍(Ni)、铅(Pb)、锌(Zn)、铜(Cu)、汞(Hg)、农残及酸碱度、阳离子交换量。

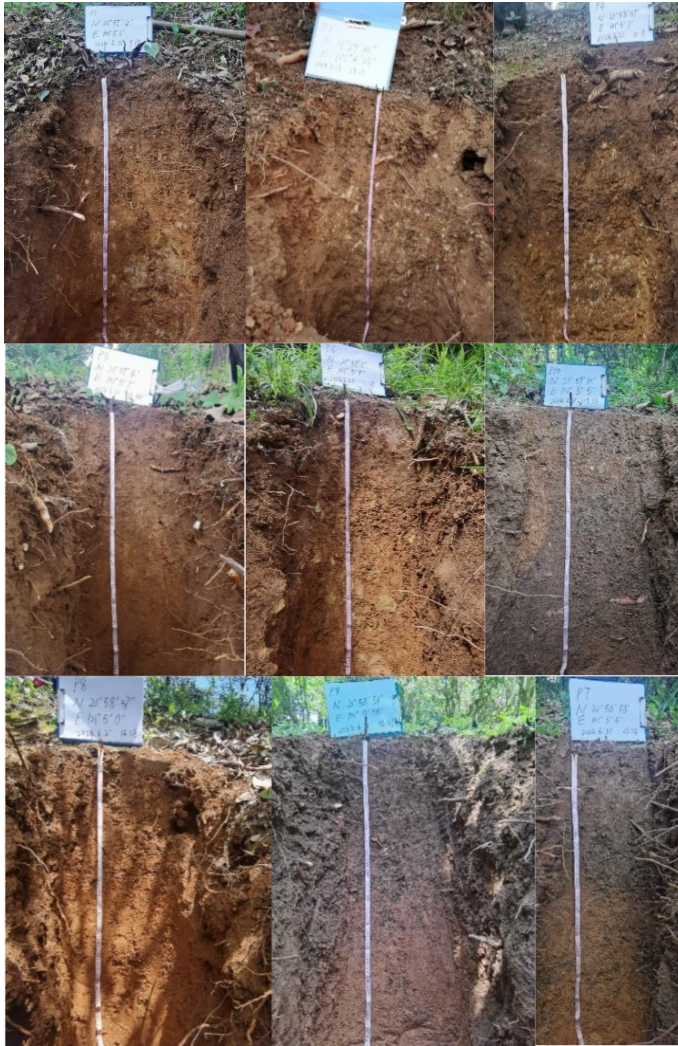


图18 案例区土壤采样点位剖面图

土壤剖面样品的检测结果显示(表3),案例区域的土壤pH值介于4.3至5.2之间,呈现出典型的酸性土壤特征。

表3 案例区土壤 pH 及肥力指标检测结果统计表

| 采样点 | 土层深度 (cm) | pH | 全氮(%) | 有效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) | 有机质 (g/kg) | 阳离子交换量 (cmol/kg) |
|-----|--------------|-----|-------|----------------|----------------|---------------|---------------------|
| P1 | 0-20 | 5.2 | 0.071 | 3.1 | 52 | 8.92 | 12.37 |
| | 20-40 | 4.8 | 0.067 | 0.8 | 35 | 8.08 | 9.60 |
| | 40-60 | 4.9 | 0.080 | 0.4 | 35 | 8.87 | 8.84 |
| | 60-80 | 4.7 | 0.084 | 0.2 | 44 | 13.2 | 12.50 |
| | 80-100 | 4.4 | 0.146 | 0.1 | 72 | 23.3 | 12.42 |
| P3 | 0-20 | 4.9 | 0.016 | 0.1 | 22 | 1.80 | 4.80 |
| | 20-40 | 4.9 | 0.027 | 1.3 | 18 | 3.23 | 4.55 |
| | 40-60 | 4.8 | 0.033 | 0.2 | 15 | 4.18 | 6.31 |
| | 60-80 | 4.8 | 0.042 | 0.1 | 19 | 6.16 | 7.07 |
| | 80-100 | 4.6 | 0.099 | 0.2 | 43 | 19.8 | 10.35 |
| P4 | 0-20 | 4.3 | 0.125 | 0.9 | 46 | 23.5 | 10.48 |
| | 20-40 | 4.7 | 0.080 | 0.8 | 22 | 12.9 | 7.83 |
| | 40-60 | 4.7 | 0.060 | 0.01 | 24 | 11.1 | 7.83 |
| | 60-80 | 5.0 | 0.018 | 0.01 | 19 | 3.54 | 4.04 |
| | 80-100 | 4.9 | 0.029 | 0.8 | 19 | 3.35 | 6.44 |
| P5 | 0-20 | 4.3 | 0.222 | 0.6 | 82 | 36.6 | 12.88 |
| | 20-40 | 4.6 | 0.155 | 0.9 | 54 | 27.2 | 13.16 |
| | 40-60 | 4.7 | 0.090 | 1.3 | 31 | 15.6 | 12.12 |
| | 60-80 | 4.9 | 0.076 | 0.7 | 26 | 12.8 | 14.42 |
| | 80-100 | 4.9 | 0.062 | 0.8 | 23 | 7.56 | 8.61 |
| P6 | 0-20 | 4.6 | 0.144 | 1.3 | 60 | 24.9 | 15.43 |
| | 20-40 | 4.6 | 0.088 | 0.1 | 43 | 12.6 | 17.70 |
| | 40-60 | 4.9 | 0.066 | 0.2 | 42 | 8.55 | 19.70 |
| | 60-80 | 4.8 | 0.066 | 0.1 | 40 | 7.65 | 16.92 |
| | 80-100 | 5.0 | 0.058 | 1.1 | 40 | 4.11 | 9.54 |
| P7 | 0-20 | 4.3 | 0.165 | 1.4 | 60 | 33.8 | 14.37 |
| | 20-40 | 4.6 | 0.129 | 1.8 | 34 | 24.8 | 11.21 |
| | 40-60 | 4.7 | 0.103 | 0.2 | 30 | 18.8 | 11.62 |
| | 60-80 | 4.8 | 0.077 | 0.0 | 29 | 11.9 | 12.88 |
| | 80-100 | 4.8 | 0.067 | 0.1 | 26 | 8.06 | 11.41 |
| P8 | 0-20 | 4.6 | 0.111 | 1.1 | 30 | 17.9 | 12.75 |
| | 20-40 | 4.6 | 0.082 | 1.1 | 28 | 12.0 | 11.06 |
| | 40-60 | 4.7 | 0.066 | 0.6 | 23 | 11.1 | 11.87 |
| | 60-80 | 4.8 | 0.070 | 0.2 | 24 | 7.09 | 11.92 |
| | 80-100 | 4.8 | 0.063 | 0.1 | 29 | 9.17 | 16.19 |
| P9 | 0-20 | 4.4 | 0.125 | 1.2 | 40 | 28.8 | 13.43 |
| | 20-40 | 4.5 | 0.106 | 0.2 | 32 | 24.2 | 16.61 |
| | 40-60 | 4.6 | 0.099 | 0.2 | 31 | 17.8 | 19.44 |
| | 60-80 | 4.6 | 0.094 | 0.2 | 31 | 14.9 | 24.37 |
| | 80-100 | 4.8 | 0.079 | 0.2 | 29 | 11.0 | 14.17 |

续表 3

| 采样点 | 土层深度 (cm) | pH | 全氮 (%) | 有效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) | 有机质 (g/kg) | 阳离子交换量 (cmol/kg) |
|-----|--------------|-----|--------|----------------|----------------|---------------|---------------------|
| P10 | 0-20 | 4.6 | 0.148 | 2.5 | 41 | 24.6 | 11.49 |
| | 20-40 | 4.6 | 0.117 | 1.2 | 34 | 20.8 | 15.66 |
| | 40-60 | 4.6 | 0.092 | 0.2 | 56 | 19.1 | 17.62 |
| | 60-80 | 4.6 | 0.083 | 0.2 | 31 | 17.3 | 12.32 |
| | 80-100 | 4.6 | 0.078 | 0.2 | 27 | 22.8 | 13.94 |

注：本案例分两批次进行土壤采样，两个批次中 P2、P3 处重复采样，故检测时去掉了一份重复样本 P2，下同。

有机质含量变化范围为 1.8–36.6 g/kg，平均值为 14.79 g/kg，速效钾含量变化范围为 15–82 mg/kg，平均值为 35.36 mg/kg，有效磷变化范围为 0.01–3.1 mg/kg，平均值为 0.64 mg/kg，全氮含量变化范围为 0.016%–0.165%，平均值为 0.088%。作为评估土壤保肥能力的核心指标，土壤阳离子交换量（CEC）数值直接反映了土壤潜在的养分保持数量。CEC 含量越高，表明土壤对养分的保持能力越强，能为植物生长提供更稳定的养分供应。壤土通常具有较高的 CEC 含量，一般在 10–30 cmol/kg 之间。在本案例研究区域，土壤 CEC 平均含量为 12.23 cmol/kg，这一数据表明该区域土壤保肥能力较好。这种良好的保肥性能为茶树深层根系的养分吸收创造了有利条件，有助于茶树根系更有效地摄取土壤中的养分，从而促进茶树的正常生长与发育，为茶叶的优质高产奠定坚实基础（图 19）。

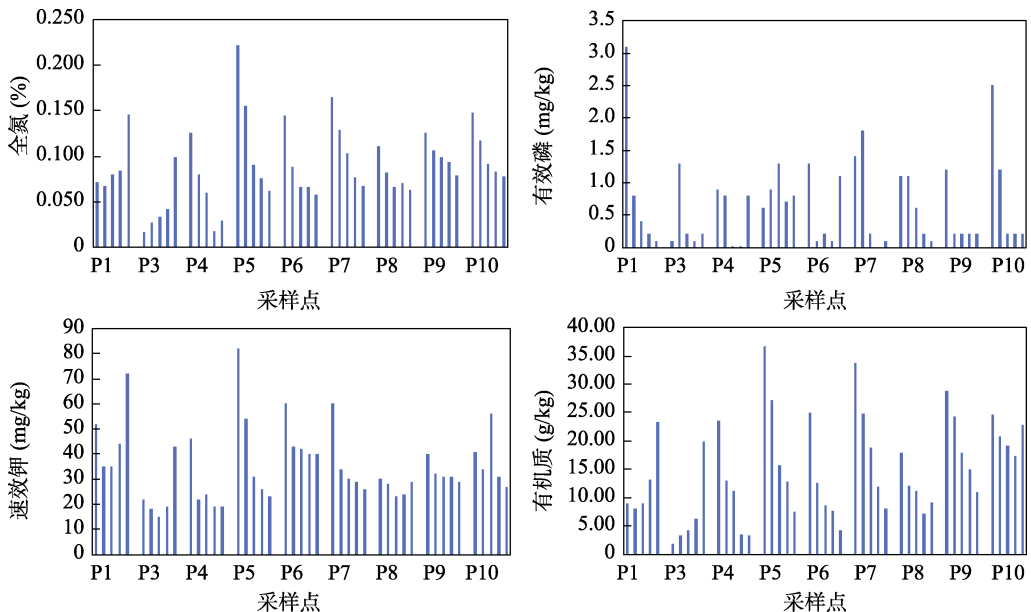


图 19 不同土层土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量统计图

土壤环境指标检测结果遵循国家标准《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB15618—2018)^[9]，所有检测指标均低于土壤污染风险筛选值（表 4），且各项农残指标均未检出。案例区域的土壤环境质量优良，满足茶叶生产对产地土壤环境的标准要求。

表4 案例区土壤环境指标检测结果统计表

| 检测指标 | 风险筛选值 | 检测结果 | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | P1 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | |
| 铅 (mg/kg) | 70 | 29 | 22 | 22 | 29 | 25 | 24 | 25 | 17 | 16 | |
| 镉 (mg/kg) | 0.3 | 0.27 | 未检出 | 0.02 | 未检出 | 0.10 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| 铬 (mg/kg) | 150 | 80 | 23 | 24 | 40 | 66 | 42 | 55 | 51 | 51 | |
| 砷 (mg/kg) | 40 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| 汞 (mg/kg) | 1.3 | 0.12 | 0.04 | 0.16 | 0.21 | 0.13 | 0.18 | 0.15 | 0.16 | 0.15 | |
| 铜 (mg/kg) | 50 | 35 | 4 | 3 | 6 | 11 | 4 | 8 | 11 | 8 | |
| 锌 (mg/kg) | 200 | 65 | 22 | 17 | 28 | 33 | 19 | 26 | 39 | 34 | |
| 镍 (mg/kg) | 60 | 20 | 5 | 6 | 10 | 8 | 6 | 8 | 9 | 8 | |
| α -六六六 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| 六氯苯 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| γ -六六六 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| β -六六六 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| δ -六六六 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| o,p'-滴滴涕 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |
| p,p'-滴滴涕 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) | | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | 未检出 | |

3.3 基诺攸乐茶品质检测分析

本研究委托国贸食品科学研究院有限公司（国家副食品质量检验检测中心）对基诺攸乐茶质量进行检测分析。本研究选取的指标包括理化指标、安全性指标两个方面^[10-13]，相应检测项目结果均符合 GB 2763—2021^[14]，GB/T 22111—2008^[15]，GB 2760—2024^[16]标准要求。

(1) 理化指标

茶叶水分含量是影响茶叶品质变化的重要因素之一。当茶叶中水分超过标准限量时，茶叶陈化劣变、微生物滋生的速度会加快，易发生变质或霉变^[10]。基诺攸乐茶水分含量为 7.55%（表 5），符合 GB/T 22111—2008 中的规定。

茶叶灰分是茶叶经过高温灰化后残留的无机物质，对茶叶的品质判定和卫生检验均有重要意义。总灰分含量高低与茶叶原料老嫩、品质好坏以及泥沙杂质多少有关^[12]。基诺攸乐茶总灰分含量为 5.6%，符合标准要求。

茶叶中水浸出物是指茶叶中能溶于热水的物质，是茶汤中的主要呈味物质，水浸出物主要包括水溶性茶多酚及其衍生物、咖啡碱、有机酸、游离氨基酸、糖类化合物等，茶叶中的水浸出物的高低直接决定茶叶的汤色、滋味和浓度^[17]。基诺攸乐茶的水浸出物含量为 46.3%，显著高于 GB/T 22111—2008 中对普洱生茶水浸出物含量应大于 35.0%的规定。

茶多酚是茶叶中多酚类衍生物的总称，包括儿茶素、黄酮类、黄酮醇类和酚酸类等化

合物。茶多酚具有较强的涩味，收敛性强，是构成苦涩味和回甘生津的主要物质。它不仅是形成茶叶色香味的主要成份之一，也是茶叶保健功效的重要成份^[18]。基诺攸乐茶的茶多酚含量为29.8%，符合标准要求。

茶叶中的咖啡碱作为茶汤另一主要生理活性成分，表现为苦味^[19]。苦不是一种愉悦的味觉体验，但具有调和滋味与调节生理的重要作用。苦味可以和其他滋味搭配增强风味^[20]。

茶叶中的氨基酸含量占茶叶干物质中有机化合物的2%至4%。氨基酸是构成茶叶滋味和香味的组成部分，具有甜味和鲜爽味，还能缓解茶的苦涩味，不仅对茶叶良好滋味和香味的形成具有重要意义，也是茶叶品质的重要评价因子之一^[18]。同时氨基酸代谢物可以调节机体生长，提高机体免疫力，这对保持机体的正常生长发育至关重要^[21]。

茶叶中氨基酸主要包括L-茶氨酸、谷氨酸、赖氨酸、天门冬氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸、丝氨酸等^[15]。基诺攸乐茶中氨基酸种类丰富，共检出16种含量较高的氨基酸。

表5 基诺攸乐茶理化成分检测结果统计表

| 序号 | 检验项目 | 判定依据 | 标准指标 | 检测结果 | 检验依据 | 单项判定 |
|----|----------------|-----------------|-------|-------|-----------------------|------|
| 1 | pH值 | — | — | 5.46 | GB 5009.237—2016 | — |
| 2 | 粉末 (%) | — | — | 0.5 | GB/T 8311—2013 | — |
| 3 | 水浸出物 (%) | GB/T 22111—2008 | ≥35.0 | 46.3 | GB/T 8305—2013 | 合格 |
| 4 | 氟(以F计)(mg/kg) | — | — | 70 | GB/T 5009.18—2003 第三法 | — |
| 5 | 总灰分 (%) | GB/T 22111—2008 | ≤7.5 | 5.6 | GB 5009.4—2016 第一法 | 合格 |
| 6 | 咖啡碱 (%) | — | — | 3.0 | GB/T 8312—2013 第一法 | — |
| 7 | 水分 (%) | GB/T 22111—2008 | ≤13.0 | 7.55 | GB 5009.3—2016 第一法 | 合格 |
| 8 | 茶多酚 (%) | GB/T 22111—2008 | ≥28.0 | 29.8 | GB/T 8313—2018 4 | 合格 |
| 9 | 苯丙氨酸 (g/100g) | — | — | 0.83 | GB 5009.124—2016 | — |
| 10 | 丙氨酸 (g/100g) | — | — | 1.08 | GB 5009.124—2016 | — |
| 11 | 蛋氨酸 (g/100g) | — | — | 0.078 | GB 5009.124—2016 | — |
| 12 | 甘氨酸 (g/100g) | — | — | 0.99 | GB 5009.124—2016 | — |
| 13 | 谷氨酸 (g/100g) | — | — | 3.98 | GB 5009.124—2016 | — |
| 14 | 精氨酸 (g/100g) | — | — | 0.85 | GB 5009.124—2016 | — |
| 15 | 赖氨酸 (g/100g) | — | — | 1.53 | GB 5009.124—2016 | — |
| 16 | 酪氨酸 (g/100g) | — | — | 0.61 | GB 5009.124—2016 | — |
| 17 | 亮氨酸 (g/100g) | — | — | 1.37 | GB 5009.124—2016 | — |
| 18 | 脯氨酸 (g/100g) | — | — | 0.69 | GB 5009.124—2016 | — |
| 19 | 丝氨酸 (g/100g) | — | — | 0.84 | GB 5009.124—2016 | — |
| 20 | 苏氨酸 (g/100g) | — | — | 0.79 | GB 5009.124—2016 | — |
| 21 | 天门冬氨酸 (g/100g) | — | — | 1.76 | GB 5009.124—2016 | — |
| 22 | 缬氨酸 (g/100g) | — | — | 1.14 | GB 5009.124—2016 | — |
| 23 | 异亮氨酸 (g/100g) | — | — | 0.80 | GB 5009.124—2016 | — |
| 24 | 组氨酸 (g/100g) | — | — | 0.72 | GB 5009.124—2016 | — |

(2) 安全性指标

本研究所提供的基诺攸乐茶根据欧盟标准，共检测茶叶安全性指标232项，检测结果

里植茶历史悠久，宋朝时古六大茶山已闻名，清雍正七年设“攸乐同知”，普洱茶成为贡茶。民国时茶叶被垄断，后因战乱和开荒，茶园受损严重，直到80年代基诺乡才开始重振茶产业^[24]。以攸乐茶山为起点的茶马古道是重要贸易路线，攸乐山茶叶曾远销印度和欧洲，基诺山借其与外界紧密相连，成为茶文化重要部分以及世界了解中国茶文化的窗口^[24]。

神农时期的用茶方式，主要以茶叶的药用和简单食用为主。基诺族种茶、制茶超1,700年，逐渐形成了凉拌茶、包烧茶、茶酒等特色茶饮，以及祭祀茶神、茶虫和以茶祭鼓等多种茶文化，茶融入生活各处。流传至今的基诺族非物质文化遗产大鼓舞正是基诺族人以茶祭鼓的最好见证。

基诺族“凉拌茶”是将茶鲜叶捣碎后加入辣椒、盐等调料食用；这一古老的用茶方式，是茶发乎神农以及人类最早茶叶利用形式的最好见证。它不仅保留了人类远古时期的用茶方式，还融入了基诺当地的文化特色，成为独特的茶文化^[25]。

4.2 基诺攸乐茶采制主要工艺

据统计，包括古树茶，小树茶，有机茶在内，基诺山乡全乡茶叶种植面积共2.8375万亩（1891.67 hm²），年产量1,602吨，有38个村民小组种植茶叶^[6]。其中，攸乐古茶园总面积为1,800多亩（120 hm²），年产量约70吨。此外，在么卓、司土老寨、司土小寨、小普希、洛科大寨、洛科新寨、洛特老寨等地散落生长着古茶树。

基诺攸乐茶树多为古茶树，为兼顾茶叶品质持续性和茶树的生长，采取“采养结合、保护优先”的原则。基诺族传统的晒青茶制作过程分为采摘、摊晾、杀青、揉捻、日光干燥（图21）。



图21 茶叶制作工艺流程图

采摘选择春茶、秋茶甚至只采春茶。这与现代茶园管理追求产量和效益采3季（春茶2-4月采收；夏茶5-7月采收；秋茶8-10月采收；冬茶少采）不同，极大地保障了基诺攸乐村茶园的可持续发展。古茶树高大，需人工爬树采摘（图22），采摘标准为一芽二三叶。熟练采茶工每天可采5-6 kg鲜叶，采摘后要尽快运下山，以免茶叶产生红变。

摊晾是将采摘回来的鲜叶摊匀，促使水分挥发叶质变软利于杀青；杀青是利用高温破坏鲜叶中酶的活性，消除和降低鲜叶的青臭、苦涩味，促进芳香物质的形成，同时使叶质柔软便于揉捻成条；杀青时要根据鲜叶采摘的季节、老嫩、投叶量等灵活掌握杀青的温度和时间；手工杀青投叶量5-10 kg，不宜过多，杀青温度220-250℃，要求杀匀杀透。杀青后摊晾后揉捻；茶农多在簸箕中采用手工揉捻的方式，手工揉捻可以更好的控制揉捻过程

中用力的轻重,所以条索相对完整,松紧适度;将揉捻解块后的茶叶在日光下晒干成毛茶。约4–5 kg鲜叶制成1 kg干茶;干茶经过人工挑拣,去除杂质和黄片后装箱储藏,也可在压制工坊加工为不同形状的紧压茶。

4.3 经营管理与产业发展

基诺山乡构建“茶农主体+政府引导+社会参与”治理机制,多维度推动茶产业高质量发展。在规范管理方面,其核心抓手之一是将古茶园保护与管理的具体要求纳入各村寨的乡规民约。这些由村民共同商议制定的规约,明确了茶叶生产、资源保护与社区成员权利义务的核心准则:一是严格保护古茶树资源,禁止砍伐、过度采摘及使用有害药剂,确保古茶树的健康与代际传承;二是规范采摘行为,遵循“采养结合”原则,明确采摘季节、标准和方法,保障茶叶品质的持续稳定;三是建立外来茶叶流入监管机制,严防非本地茶冒充“攸乐茶”,维护区域品牌纯正性与市场信誉;四是强化集体行动,通过村民议事会常态化协商管护措施,并组建民兵巡逻队进行产茶季巡查,确保规约有效执行(如2019年以来成功查处并严惩外来茶流入事件)。这些规约不仅有效守护了攸乐古茶园的生态根基和品牌价值,更直接关系到当地茶农的生计命脉。



图22 基诺族人爬树采茶图

通过保障茶叶品质和品牌声誉,乡规民约确保了茶农(尤其是拥有古茶树的农户)能从优质优价的市场中获得稳定且显著提升的收入。此外,当地茶产业发展还注重技术提升,组织乡村干部赴茶产业先进地区考察学习,依托农技站和茶叶协会开展技术培训,年均举办茶山行等交流活动20余场次。基诺山乡茶产业的可持续发展,深刻贯彻着“以人为本”的管理理念,通过制度约束、技术赋能与项目驱动,实现古茶园生态保护与茶产业效益双提升。

基诺山乡构建“企业+合作社+农户”全链协作体系,整合3家茶厂、14个合作社及545个初制所(点),联动1,820户茶农,通过“基诺攸乐”品牌化运营及溯源管理,推动有机茶叶均价从20–30元/千克提升至200–300元/千克,古树茶达1,200–4,000元/千克。

随着消费市场升级,以及多茶类交融发展趋势影响,当地茶叶从业者也开发出古树白茶、红茶、普洱熟茶等,从而满足不同消费者个性需求,极大丰富了当地茶叶资源。同步建立三级人才库,培育非遗传承人、创业带头人等300余名,开展茶树管理、茶艺等技能培训31期,以“斗茶”赛事强化产业竞争力。深化三产融合,升级加工工艺,打造古茶山文旅项目,依托“老博啦”茶文化节激活历史品牌。近两年开发雨林徒步、基诺美食等特色旅游,建设非遗文化村、茶旅示范村,建设“健步攸乐古茶山”观光步道等基础设施,打造标准化茶叶初制所,文旅结合,连续举办五届攸乐贡茶文化节并设立专项奖项,培育形成“古树茶+文旅+康养”多产融合示范体系,带动户均增收1.2万元,综合产值突破3亿元。为强化品质管理,各级政府和部门建立标准化管理,成立西双版纳攸乐人拉嚓拉收农业专业合作社,注册专业商标“基诺攸乐”(图23),从个户茶农经营的模式转化成集体经营管理的模式并建立自主溯源系统,全力做好品质监管。

5 讨论与总结

基诺攸乐茶依托独特生态环境、历史文化和传统工艺，以稀缺性、高品质成为普洱茶珍品，但面临3大制约：一是古树茶认知混乱，市场滥用“百年古树”标签，消费者误将普通茶等同古树茶；二是旅游市场以次充好频发，台地茶冒充古树茶虚假宣传，损害品牌信誉；三是茶园规模有限、手工制作成本高，叠加收购商压价，导致茶农收益偏低。建议从如下方面促进本案例区基诺攸乐茶的可持续发展：强化科学普及与认证体系，通过媒体宣传、茶事活动厘清古树茶（树龄超百年、特定环境生长）与台地茶差异，提升消费者鉴别力；健全市场监管，打击假冒伪劣，推动行业协会制定标准；深化“企业+农户”合作，依托非遗传承人打造明星产品，以品牌溢价提升茶青价值，通过产销合同稳定价格，同步发展生态旅游延伸产业链，实现茶农增收与茶产业可持续发展。



图23 “基诺攸乐”注册商标及包装图

健全市场监管，打击假冒伪劣，推动行业协会制定标准；深化“企业+农户”合作，依托非遗传承人打造明星产品，以品牌溢价提升茶青价值，通过产销合同稳定价格，同步发展生态旅游延伸产业链，实现茶农增收与茶产业可持续发展。

作者分工：康蕾对本案例做了总体规划，包括数据集总体设计、案例研究论文内容框架搭建、技术路线及撰写思路设计，并协同田阡召开案例实地研讨会。康蕾、李嘉欣、刘怀鑫参加了案例研究的实地考察；李嘉欣、刘怀鑫、白思琴、杰布鲁进行了土样和水样采集工作；陆家杰负责采集、分析、处理数据及制作图件；玉坎嫩负责协调各级单位帮助与本地文化数据采集；孔震负责气象数据采集；曾松与杰布鲁负责茶叶与基诺族相关文化采集；曾松负责经营管理和经济发展数据采集；白思琴、杰布鲁负责茶叶产品特性数据采集。康蕾、李嘉欣、陆家杰、刘怀鑫、薛晓霆、杨逢渤、田阡、梁明毓参与论文的撰写工作；周红杰、薛晓霆、杨逢渤参与论文的修改工作。

致谢：感谢中国科学院地理科学与资源研究所刘闯研究员、宋献方研究员、王振波研究员在本案例数据和论文完成过程中给予的指导和帮助；感谢西双版纳州、景洪市、基诺山乡各位领导的支持与配合！感谢在土壤、水样品采集和分析过程中提供帮助的宋伟副研究员、于灏博士等老师和工作人员！

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 尧寺. 攸乐山与普洱贡茶[J]. 中国地名, 2016(1): 65–67.
- [2] 刘闯, 于小晗, 孙永武等. “优质地理产品生态地理环境保护与可持续发展案例”首次研讨会在盐池召开[J]. 全球变化数据学报, 2021, 5(1): 108.
- [3] 王正兴. “优质地理产品生态地理环境保护与可持续发展案例”第二次研讨会网上会议成功举行[J]. 全球变化数据学报, 2021, 5(1): 109.
- [4] 康蕾, 陆家杰, 刘怀鑫等. 基诺攸乐茶热带山地古茶园生境保护与可持续发展案例数据集[J/OB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2025. <https://doi.org/10.3974/geodb.2025.05.09.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2025.05.09.V1>.

- [5] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017年更新).
- [6] 景洪市人民政府. 2023年景洪市基本概况[EB/OL]. (2024-02-22) [2024-02-22]. https://www.jhs.gov.cn/226.news.detail.dhtml?news_id=123948.
- [7] Venter, Z. S., Barton, D. N., Chakraborty, T., *et al.* Global 10 m land use land cover datasets: a comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover [J]. *Remote Sensing*, 2022, 14, 4101.
- [8] 中华人民共和国生态环境部, 国家市场监督管理总局. 农田灌溉水质标准(GB 5084—2021) [S]. 北京: 中国环境出版集团, 2021.
- [9] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618—2018) [S]. 北京: 中国环境出版集团, 2018.
- [10] 姜东华, 罗悦萌, 杨喆涵等. 云南省景迈山古茶林普洱茶产品质量分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(6): 128–134.
- [11] 杨鸿波, 谭红, 谢锋等. 茶叶检测项目及限量标准的研究[J]. 贵州科学, 2008, 26(2): 94–96.
- [12] 何美霞, 杨婕, 朱雨田等. 我国茶叶的质量和安指标现状及建议[J]. 食品安全导刊, 2024, 39(6): 128–134.
- [13] 伊万娟, 李小雁, 李岳坦. 云南普洱茶产地土壤理化性状分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2011, 47(1): 80–84.
- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量(GB 2763—2021) [S]. 北京: 中国农业出版社, 2021.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 地理标志产品 普洱茶(GB/T 22111—2008)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [16] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准(GB 2760—2024) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [17] 宛晓春. 茶叶生物化学(第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [18] 杨毅坚, 尚卫琼, 李友勇等. 云南景洪市普洱古树茶茶叶生化指标分析与特异资源筛选[J]. 西北农业学报, 2017, 26(3): 448–454.
- [19] Yu, P., Yeo, A., Low, M., *et al.* Identifying key non-volatile compounds in ready-to-drink green tea and their impact on taste profile [J]. *Food Chemistry*, 2014, 155: 9–16.
- [20] Kim, M., Son, H., Kim, Y., *et al.* Umami–bitter interactions: the suppression of bitterness by umami peptides via human bitter taste receptor [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2015, 456(2): 586–590.
- [21] Zhang, R. J., Lu, W. H., Yao, Y., *et al.* Metabolomics analysis of the 3D L-02 cell cultures revealing the key role of metabolism of amino acids in ameliorating hepatotoxicity of perfluorooctanoic acid [J]. *The Science of the Total Environment*, 2022, 806: 150438.
- [22] 中国质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会. 茶叶感官审评方法(GB/T23776—2018)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [23] 中华人民共和国国家民族事务委员会. 基诺族概况 [EB/OL]. <https://www.neac.gov.cn/seac/ztzl/jnz/gk.shtml>.
- [24] 西双版纳傣族自治州人民政府发展生物产业办公室. 西双版纳州茶志[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2018.
- [25] 周红杰, 李亚莉. 民族茶艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.