

抚松矿泉水泉阳镇玄武岩针阔混交林 地标生境案例研究

卞建民^{1*}, 王 鼎², 王 凡¹, 李一宁¹, 孙晓庆¹, 李一涵¹, 王 刚², 高建堂³,
杜雨川³, 张加明⁴, 潘旭辉⁵, 刘祥运⁵, 黄晓燕⁵, 刘连坤³, 丁志英⁶,
高 鹤⁷, 陈圣波⁸, 王振波⁹

1. 吉林大学新能源与环境学院, 长春 130021; 2. 抚松县人民政府, 白山 134500; 3. 抚松县市场监督管理局, 白山 134500; 4. 抚松县泉阳镇人民政府, 白山 134500; 5. 吉林森工集团泉阳泉饮品有限公司, 白山 134505;
6. 吉林大学药学院, 长春 130021; 7. 吉林省水文地质调查所, 长春 130042; 8. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130062; 9. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100010

摘 要: 抚松县泉阳镇位于吉林省白山市长白山玄武岩台地与原始森林腹地, 是长白山地区典型的天然矿泉水赋存与开发利用区。全镇面积约 589.84 km², 共辖 10 个行政村和 6 个社区, 2023 年, 总人口 26,372 人, 其中城镇人口 23,332 人。泉阳泉矿泉水以其充沛的补给、优越的赋存条件、优良的水质及且较大的资源规模而著称。生境要素分析表明: 案例区地处北温带大陆性季风气候区, 独特的玄武岩地质背景、较高的森林覆盖、弱酸性高有机质土壤环境及良好的地下水深循环条件, 共同促进了降水入渗、水岩相互作用和矿泉水稳定形成。泉阳泉矿泉水总体呈弱碱性, pH 约为 7.2–7.5, 具有低钠 (4.28 mg/L)、低矿化度和偏硅酸较高 (18.3–28.1 mg/L, 原水为 28.1 mg/L) 等特征, 达到《食品安全国家标准 饮用天然矿泉水》(GB 8537—2018) 标准。泉域水化学类型以 HCO₃⁻-Ca·Mg 型为主, 水源受深循环补给, 水量和水质总体稳定; 周边环境水体整体表现为低盐度、低重金属和较清洁的水化学背景, 水源外围生态环境良好。泉阳泉矿泉水的优良品质是区域气候、地质条件、森林植被与土壤环境共同作用的结果, 而水源保护、空间管控和规范化生产管理则为其绿色品牌建设与发展提供了重要支撑。本案例数据集存储为.shp、.tif、.xlsx 和.docx 格式, 由 89 个数据文件组成, 数据量为 110 MB (压缩为 1 个文件, 10.5 MB)。

关键词: 长白山; 泉阳泉矿泉水; 泉阳镇; 玄武岩台地; 地标生境; 案例 34

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.03.07>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.03.07>

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.2026.03.07.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.03.07.V1>.

收稿日期: 2025-12-19; 修订日期: 2026-05-23; 出版日期: 2026-06-25

基金项目: 吉林省市场监督管理厅 (2025)

*通讯作者: 卞建民, 吉林大学新能源与环境学院, bianjm@jlu.edu.cn

数据引用方式: [1] 卞建民, 王鼎, 王凡等. 抚松矿泉水泉阳镇玄武岩针阔混交林地标生境案例研究[J]. 全球变化数据学报, 2026, 10(3): 316–328. <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.03.07>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.03.07>.

[2] 卞建民, 王鼎, 王凡等. 抚松矿泉水泉阳镇玄武岩针阔混交林地标生境案例数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2026. <https://doi.org/10.3974/geodb.2026.03.07.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.03.07.V1>.

1 前言

随着居民消费结构升级和健康饮水理念不断增强，天然矿泉水已由一般性饮用水产品逐步转向兼具生态属性、品质属性与品牌属性的重要特色资源。近年来，国家持续推进“健康中国”建设、生态文明建设和区域特色资源高质量开发利用，强调从源头生态保护、产品质量控制到品牌培育与产业协同发展的全过程管理。在这一背景下，依托优良生态环境和稳定自然禀赋形成的特色矿泉水资源，不仅是优质饮用水供给体系的重要组成部分，也是推动生态产品价值实现和区域绿色发展的重要载体。

抚松县是中国天然矿泉水资源最为集中、品质最具代表性的地区之一^[1-3]。受火山地质背景、森林生态系统、降水补给条件及较低人为扰动共同作用，区内形成了多处具有开发价值的优质矿泉水源。前期研究表明，泉阳镇水源具有补给条件稳定、资源规模较大、水质优良且长期稳定等特点。然而，已有研究多侧重于长白山矿泉水的成因、水化学特征或资源开发评价，对泉阳泉矿泉水作为优质地理产品所依托的生境条件、环境支撑机制、产品品质基础及其保护管理之间的系统关联认识仍有待加强。

基于此，本文以长白山泉阳镇矿泉水（图 1）为对象，围绕其地质背景、地形地貌、森林植被、土壤环境、水化学特征及保护管理条件，结合项目组实地调查、样品采集与检测分析数据，对该案例的生境特征及其对矿泉水品质形成的支撑作用进行系统研究，以期 为泉阳泉矿泉水的生境保护、品质阐释与可持续发展提供案例依据，也为长白山优质矿泉水资源的保护利用与品牌建设提供参考。



图 1 抚松县泉阳镇矿泉水

2 数据集元数据简介

《抚松矿泉水泉阳镇玄武岩针阔混交林地标生境案例数据集》^[4]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《抚松矿泉水泉阳镇玄武岩针阔混交林地标生境案例数据集》元数据简表

条目	描述
数据集名称	抚松矿泉水泉阳镇玄武岩针阔混交林地标生境案例数据集
数据集短名	QuanyangMineralWaterCase34
作者信息	卞建民, 吉林大学新能源与环境学院, bianjm@jlu.edu.cn 王 鼎, 抚松县人民政府, 236147070@qq.com 王 凡, 吉林大学新能源与环境学院, fanwang24@mails.jlu.edu.cn 李一宁, 吉林大学新能源与环境学院, yining24@mails.jlu.edu.cn 孙晓庆, 吉林大学新能源与环境学院, sunxq13@jlu.edu.cn 李一涵, 吉林大学新能源与环境学院 王 刚, 抚松县人民政府, 364899194@qq.com 高建堂, 抚松县市场监督管理局, 84809029@qq.com 杜雨川, 抚松县市场监督管理局 张加明, 抚松县泉阳镇人民政府 潘旭辉, 吉林森工集团泉阳泉饮品有限公司 刘祥运, 吉林森工集团泉阳泉饮品有限公司 黄晓燕, 吉林森工集团泉阳泉饮品有限公司 刘连坤, 抚松县市场监督管理局 丁志英, 吉林大学药学院 高 鹤, 吉林省水文地质调查所 陈圣波, 吉林大学地球探测科学与技术学院, chensb@jlu.edu.cn 王振波, 中国科学院地理科学与资源研究所, wangzb@igsrr.ac.cn
地理区域	吉林省白山市抚松县泉阳镇
数据年代	2000–2025
数据格式	.shp、tif、.xlsx、.docx
数据量	10.5 MB (压缩后)
数据集组成	案例区位置数据、自然地理环境数据、矿泉水品质相关数据、社会、经济与管理数据等
基金项目	吉林省市场监督管理厅 (2025)
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

3 案例数据研发

3.1 案例区范围

抚松矿泉水泉阳镇案例区为吉林省白山市抚松县泉阳镇(图 2),位于东经 127°32′46″、北纬 42°19′14″。水源地距长白山天池直距约 55 km,距离浑白铁路运距约 2 km,鹤大高速(G11)、国道(G201)从其正北方向约 12 km 处通过,区位条件便利。泉阳镇辖区面积约为 589.84 km²。根据 2023 年统计资料^[6],全镇共辖 10 个行政村和 6 个社区,总户数 14,470 户,总人口 26,372 人,其中城镇人口 23,332 人。泉阳镇所在的抚松县水系发达,属长白山

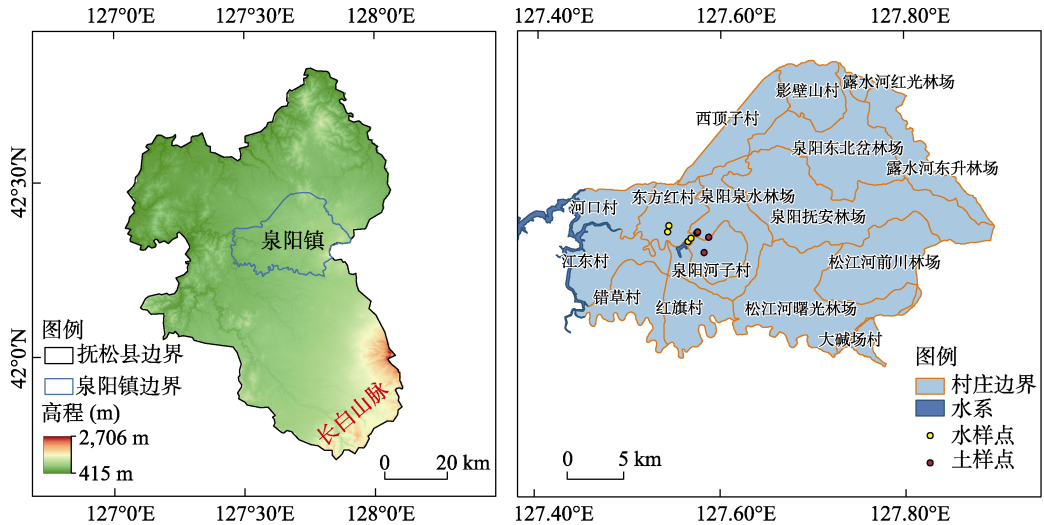


图 2 案例区地理位置及采样点空间分布图

水源涵养与矿泉水资源富集区。镇域森林覆盖率高，生态环境本底优良，砬子河和泉阳河为主要地表水系，均属二道松江河水系，其中泉阳河沿途有多处泉水汇入，泉阳镇已形成以天然矿泉水开发利用为代表的特色产业基础。

3.2 气候条件

案例区地处北温带大陆性季风气候区^[2]。根据东岗气象站 2000–2024 年气象资料¹，案例区多年平均气温约为 3.3 ℃，年内气温季节变化显著，7–8 月为高温期，1 月为低温期；多年平均降水量约为 808.9 mm，最大年降水量可达 1,071.3 mm，降水主要集中在 6–8 月；多年平均蒸发量为 1,291.7 mm，年平均日照时数为 2,315.77 h，年平均风速为 2.17 m/s。由图 3 可见，气温呈现稳定的单峰型年周期，降水主要集中在夏季，蒸发同样在高温季节增强，具有典型的山区季风气候特征。上述气候格局对泉阳泉矿泉水的形成、补给和生产具有重要影响。其一，降水峰值与气温峰值在时间上总体一致，且夏季部分月份降水明显高于同期蒸发，有利于大气降水经森林植被截留、土壤调蓄及玄武岩孔洞裂隙下渗，形成对地下矿泉水系统的有效补给；其二，冬季低温和积雪过程虽抑制当期入渗，但可通过积雪储存和春季融雪释放延长补给过程，增强年内调蓄能力。夏季集中补给、冬季冻结调蓄的气候节律，有助于削弱短期气象波动对泉水流量和水化学组成的直接影响，为泉阳泉矿泉水的稳定出露和持续生产提供较为有利的气候背景。

3.3 地质构造

案例区位于长白山火山岩分布区，区域构造受东西向、北东向等多组断裂共同控制，新生代以来多期火山活动形成了广泛分布的玄武岩地层。主要出露第四系下更新统军舰山组玄武岩，以致密块状和气孔状玄武岩为主，原生孔洞与收缩裂隙较为发育，为地下水储集与运移提供了良好空间；同时，区域断裂构造为地下水深循环和矿泉水出露提供了重要通道。区域地势总体由长白山火山体向西北方向阶梯状降低，玄武岩台地与地形高差共同

¹ 国家气象科学数据中心，东岗站：54284.

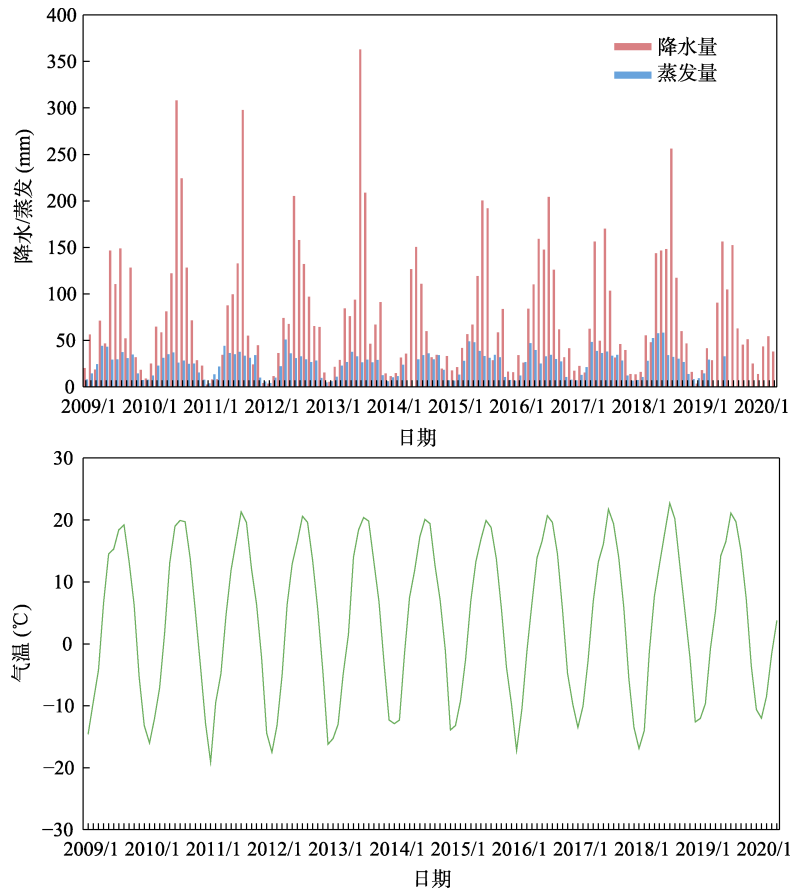


图 3 抚松县多年平均降水、气温、蒸发统计图（2000–2024）

形成了较有利的水动力条件，使地下水在孔隙裂隙和断裂带中径流，并多在地形低洼或阻水部位以泉群形式出露，形成资源丰富的矿泉水源。案例区玄武岩以斜长石和辉石为主要造岩矿物，岩石中 SiO_2 、 Al_2O_3 和 TFe 含量较高^[3]， CaO 、 MgO 、 Na_2O 、 K_2O 等组分亦较为丰富，为土壤和地下水系统提供了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 及 HCO_3^- 等离子来源。

抚松县矿泉水水源补给总体以大气降水为主^[3]，部分地下水经历了较长时间的深循环过程，增强了水岩相互作用。在运移过程中，地下水持续溶滤玄武岩中的硅酸盐矿物，并伴随 CO_2 参与和碳酸盐溶解等反应，逐步形成了以低矿化度、重碳酸钙镁型为主的偏硅酸矿泉水^[7]。泉阳泉作为抚松县重要矿泉水水源之一，具有补给条件较稳定、水化学组成较为稳定和资源规模较大的特点，因而在区域矿泉水资源中具有较强代表性。

3.4 地形地貌

案例区位于长白山火山熔岩高台地区^[3]，整体地势东高西低，地貌类型以玄武岩台地、中山坡地和河谷地形为主。区内台地面相对平缓，局部可见火山锥体分布，河谷呈槽形发育，台地边缘受流水侵蚀切割较强，整体表现出较明显的高台地-坡地-谷地过渡特征。作者依据 ALOS PALSAR 12.5-m 分辨率的 DEM 数据²对案例区海拔、坡度进行分类分析（图 4），

² NASA ASF DAAC. <https://search.asf.alaska.edu/>.

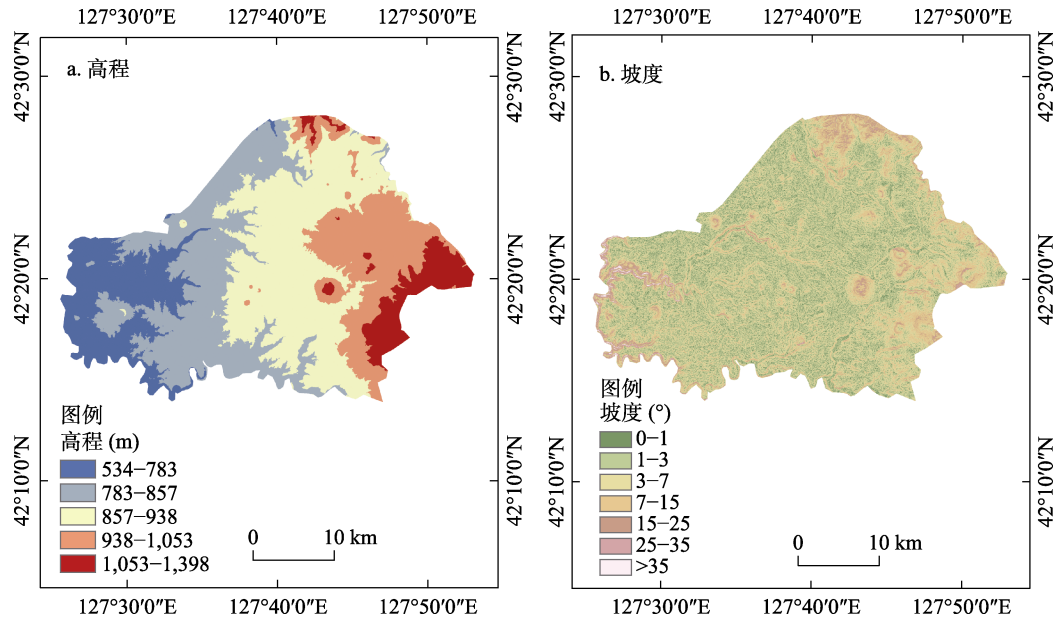


图 4 泉阳镇地形高程、坡度分类图

结果显示案例区高程以 700–1,000 m 为主，占总面积的 87.03%。坡度分级结果显示，整体以缓坡和平缓地形为主，7°以下区域占 80.70%，其中 3°–7°坡度带占比最高，为 35.82%。泉阳泉水源点出露高程约为 750 m，位于区域中低高程带和相对平缓地段，具有承接上部补给、汇集地下径流并稳定出露的有利地形条件。

就矿泉水形成条件而言，案例区以中低山熔岩台地和缓坡地形为主体，有利于大气降水在高覆盖森林和表层土壤调蓄作用下逐步下渗，从而增强地下水补给；另一方面，由高向低过渡的地势差为地下水沿孔隙裂隙和断裂带运移提供了驱动力，使其更易在中低海拔部位集中出露。案例区以中高部位补给、沿缓坡和裂隙径流、在低势区稳定出露的地形地貌格局，为泉阳泉矿泉水的持续补给、稳定流量及较充分的水岩相互作用提供了重要基础。

3.5 植被覆盖

案例区植被发育良好，以林地为主，东侧毗邻长白山自然保护区，森林类型丰富，天然次生中幼龄林占较大比例，针阔混交林为主要天然林类型，针叶林则为人工林的主要类型。基于 NDVI 解译结果（图 5），低值区面积较小，表明案例区植被覆盖具有较好的连续性和稳定性，裸地及强扰动地表占比较低。较高的森林覆盖和连续植被层有利于降水截留、地表径流削减和土壤蓄水保水^[7]，从而增强降水向地下的缓慢入渗和水源涵养能力，为矿泉水形成提供了良好的生态屏障和补给环境。

3.6 土壤环境条件

区内土壤类型主要为白浆土，土壤质地为粘壤土或粘土，土层密实。作者在案例区选取了 3 个典型地段（水源地周边林地、泉阳镇林地、泉阳镇农田）进行土壤调查，每个地段周边采集 3 份土样（图 2），按 0–20 cm 与 20–40 cm 分层采集后逐层等量物理混合，送交吉林省地质科学研究所进行检测。检测结果显示，案例区土壤整体呈弱酸性，pH 为 5.09–5.65（表 2）；林地土壤表层有机质含量显著较高，最高可达 93.523 g/kg，次表层最低

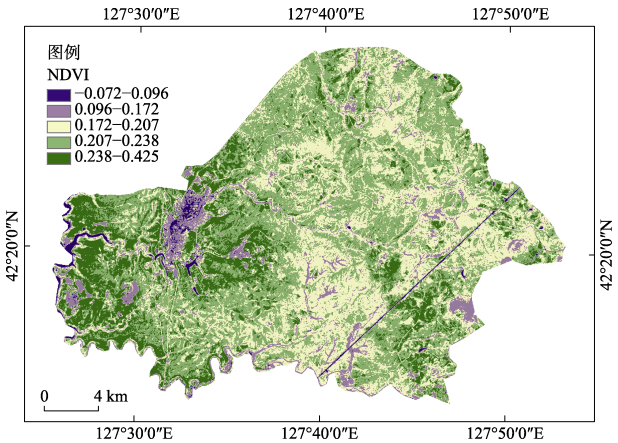


图 5 泉阳镇 NDVI 分类图

表 2 泉阳镇土壤主要指标检测结果统计表

检测指标	单位	林土 S1 (20 cm)	林土 S1 (40 cm)	林土 S2 (20 cm)	林土 S2 (40 cm)	农土 S3 (20 cm)	农土 S3 (40 cm)	限值 ^[8]
pH	—	5.53	5.09	5.65	5.52	5.59	5.60	/
全氮	g/kg	3.32	2.71	5.34	1.52	2.51	2.96	/
有效磷	mg/kg	22.0	12.6	24.4	13.5	32.9	24.6	/
速效钾	mg/kg	129	70.0	155	56.2	167	181	/
有机质	g/kg	54.1	41.8	93.5	20.5	38.1	46.7	/
硅	%	29.10	29.61	29.33	32.02	30.72	30.01	/
镉	mg/kg	0.159	0.127	0.229	0.092	0.192	0.200	0.3
汞	mg/kg	0.061	0.052	0.086	0.040	0.052	0.057	1.8
砷	mg/kg	9.04	9.32	9.94	11.1	12.4	13.0	30
铅	mg/kg	27.8	27.1	27.8	28.5	29.7	33.0	90
铬	mg/kg	75.6	73.1	78.6	74.3	81.3	85.3	200
镍	mg/kg	32.5	33.3	23.5	28.7	28.9	29.2	100
铜	mg/kg	26.8	26.8	20.5	22.0	24.0	24.0	50
锌	mg/kg	112	111	95.4	92.8	102	114	200

注：— 表示没有对应数据；/ 表示没有对应标准限值。

为 20.5 g/kg；农田两层土壤有机质含量分别为 38.13 和 46.74 g/kg。这种高有机质、弱酸性的表层土壤环境有利于提高土壤 CO₂ 分压并促进低分子有机酸释放，增强玄武岩中斜长石和辉石的缓慢风化，促进 Ca、Mg、Na、HCO₃⁻和偏硅酸等组分进入地下水系统，共同构成了泉阳泉矿泉水以低矿化度、重碳酸钙镁型为特征的关键生境基础。此外，Zn、Cu、Pb 等重金属含量均低于国家环境质量标准《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB 15168—2018）^[8]限值，土壤无污染。

3.7 周边水环境条件

作者于 2025 年 5 月在案例区采集了泉阳泉水源地周边泉阳河、二道松江河、泉阳湖、水源地溪流水及当地自来水样品（图 2），送交吉林省地质科学研究所检测，结果见表 3。各样点水中 pH 在 6.77–7.16，整体呈中性至弱碱性；TDS 为 60–145 mg/L，矿化度较低；

阴离子以 HCO_3^- 为主，浓度为 29.3–65.2 mg/L，其中二道松江河相对较高，其余样点较为接近。 Cl^- 含量仅为 0.72–3.84 mg/L，氟化物为 0.10–0.12 mg/L，表明区域水体整体盐分背景较低，受人为污染输入影响较弱。水样中偏硅酸含量为 18.3–26.4 mg/L，其中水源地溪流水和自来水分别达到 25.3 mg/L 和 26.4 mg/L。 HCO_3^- 含量较高而 Cl^- 含量较低。周边环境水在 pH、 HCO_3^- 、偏硅酸和低盐度特征上具有一致性，地表水样关键指标均满足国家一类标准^[9]。水源地所处区域具有较好的天然水化学背景和清洁生态环境，为泉阳泉矿泉水天然品质的形成与保持提供了有利的外围环境条件，也表明水源地保护和区域环境管理总体有效。

案例区水样中微量元素 Mn、Fe、As、Se、Sr 等含量均明显低于国家地表水环境质量标准（GB 3838—2002）^[9]或生活饮用水卫生标准（GB 5749—2022）^[10]限值，Cd、Pb、Cr 等重金属含量均低于检出限。结合泉阳镇农业以自给型雨养为主、区域内无重工业及大型高风险排放企业的实际情况，由此可见案例区周边水环境背景优良。

表 3 泉阳泉周边水环境主要指标检测结果统计表

检测指标	单位	自来水 W1	二道松 江河 W2	泉阳湖 W3	泉阳河 W4	水源地溪 流水 W5	限值 ^[9]	限值 ^[10]
pH	—	7.13	6.77	6.91	7.09	7.16	6–9	6.5–8.5
TDS	mg/L	60	145	62	60	63	/	≤1,000
氯化物	mg/L	1.07000	3.84000	0.99000	0.82000	0.72000	≤250	≤250
重碳酸根	mg/L	32.60000	65.20000	32.60000	32.60000	29.30000	/	/
偏硅酸	mg/L	26.40000	19.60000	18.30000	25.50000	25.30000	/	/
锶	mg/L	0.03880	0.09970	0.03720	0.03840	0.03560	/	/
硒	mg/L	0.00200	0.00300	0.00100	0.00090	0.00200	≤0.01	≤0.01
锰	mg/L	0.00098	0.00108	0.00986	0.00086	0.00115	≤0.1	≤0.1
铁	mg/L	0.03040	0.02170	0.14300	0.00170	0.05810	≤0.3	≤0.3
氟化物	mg/L	0.12000	0.11000	0.10000	0.11000	0.12000	≤1.0	≤1.0
镉	mg/L	<0.00006	<0.00006	<0.00006	<0.00006	<0.00006	≤0.001	≤0.005
铅	mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	≤0.01	≤0.01
汞	mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	≤0.00005	≤0.001
砷	mg/L	0.0003	0.0009	0.001	0.0004	0.0003	≤0.05	≤0.01
铬	mg/L	<0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009	<0.00009	≤0.01	≤0.05

注：— 表示没有对应数据；/ 表示没有对应标准限值。

4 矿泉水产品特性数据

4.1 矿泉水品质数据

历年资料显示^[11]，泉阳泉原水 pH 值约为 7.25–7.66，呈弱碱性；溶解性总固体（TDS）约为 54–88 mg/L，总体属于低矿化度矿泉水。主要阴离子以 HCO_3^- 为主，主要阳离子以 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 为主，阴、阳离子组成较为稳定，水化学类型为 HCO_3^- - $\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型。按离子摩尔分数计算， HCO_3^- 约占阴离子总量的 74%， Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 合计约占阳离子总量的 66%。

本次采集的泉阳泉原水由白山市产品质量检验所/国家饮用水产品质量检验检测中心检测。结果表明（表 4），原水中偏硅酸含量为 28.1 mg/L，达到《食品安全国家标准 饮用

天然矿泉水》(GB 8537—2018)^[12]规定的界限指标要求,作为泉阳泉矿泉水的重要特征性组分。与此同时,原水中 Na⁺含量为 4.28 mg/L, Cl⁻和 SO₄²⁻含量分别仅为 0.80 mg/L 和 3.70 mg/L,显示出较低的盐分背景; F⁻为 0.22 mg/L, NO₃⁻为 4.96 mg/L,均处于较低水平。综合来看,泉阳泉矿泉水具有弱碱性、低钠、低矿化度、低氯、低硫酸盐的水化学特征。感官指标方面,样品无异物、无异色、无异味、无异嗅,浑浊度较低,表明泉阳泉原水具有较好的感官品质,完全符合国家饮用天然矿泉水的严格标准。

表 4 泉阳泉矿泉水主要指标检测结果统计表

检测指标	单位	测试值	标准限值 ^[12]
pH	—	7.48000	/
钠	mg/L	4.28000	/
钾	mg/L	1.55000	/
钙	mg/L	5.06000	/
镁	mg/L	2.28000	/
总铁	mg/L	0.04000	/
重碳酸根	mg/L	33.00000	/
碳酸根	mg/L	<3	/
氯离子	mg/L	0.80000	/
硫酸根	mg/L	3.70000	/
硝酸根	mg/L	4.96000	/
偏硅酸	mg/L	28.10000	≥25.0
钴	mg/L	<0.00003	/
钒	mg/L	0.00200	/
铝	mg/L	0.08000	/
氟化物	mg/L	0.22000	≤1.5
硒	mg/L	0.00100	0.05
溴化物	mg/L	<0.005	0.01
硼酸盐	mg/L	0.03000	5
锑	mg/L	<0.00007	0.005
锰	mg/L	0.00040	0.4
镍	mg/L	<0.00007	0.02
钡	mg/L	0.00200	0.7
总铬	mg/L	0.00020	0.05
铜	mg/L	<0.00009	1
银	mg/L	<0.00003	0.05
挥发酚	mg/L	<0.0020	0.002
氰化物	mg/L	<0.0020	0.01
砷	mg/L	0.00020	0.01
汞	mg/L	<0.0001	0.001
镉	mg/L	<0.00006	0.003
铅	mg/L	<0.00007	0.01
亚硝酸盐	mg/L	<0.0033	0.1
溴酸盐	mg/L	<0.005	/

注: / 表示没有对应标准限值。

重金属和污染物指标方面，As、Hg、Cd、Pb、Cr、Sb、Ni、Ba、溴化物、硼酸盐、挥发酚、氰化物、亚硝酸盐等指标均远低于相应限值，满足饮用天然矿泉水标准^[12]要求。

4.2 产品特性对比

经与国际知名矿泉水水质对比^[13-16]，产于泉阳镇的矿泉水品质优越（表 5）。长白山地区玄武岩孔洞裂隙水遍布抚松全区，其中泉阳镇的富水性较好^[17,18]。泉阳泉矿泉水与产于阿尔卑斯山的世界著名品牌 Volvic（伏维克）的矿泉水水源品质最为相近，偏硅酸组分含量则明显优于其它著名矿泉^[13]，而整体上矿化度处于低矿化度水平，尤其硫酸根含量极低，减少了矿泉水中因硫酸根引起的苦涩感。

表 5 泉阳泉矿泉水与世界著名矿泉水品质对比

单位：mg/L

矿泉名称	产地	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ SiO ₃
泉阳泉	中国抚松	1.55	3.31	3.13	7.13	33.41	3.13	26.79
伏维克（Volvic）	法国奥弗涅地区	6.2	11.6	8	11.5	371	8.1	41.2
依云（Evian）	法国阿尔卑斯山	1.1	7	27.6	82	375	12	18
维特（Vittel）	法国	4.9	7.5	20.6	95.9	267	122	10.9
佩里埃（Perrier）	法国南部	0.4	10.6	3.6	159	430	32	13.1
非碳酸矿泉水（Gerol）	德国埃菲尔火山	2.8	11.1	49.5	137	427	45	17.1

优质的矿泉水需要同时满足健康要求^[19]及良好的口感。作者根据 Hashimoto 提出的饮用水美味度量化感官指数（O Index）^[20,21]对泉阳泉矿泉水进行评价。结果显示，泉阳泉矿泉水的可口指数为 5.8，大于 2（O Index ≥ 2.0，为美味水），代表水团簇结构的 ¹⁷O-NMR 半高幅宽为 78 Hz，与著名品牌 Eivan（依云）矿泉水的团簇结构相似，处于天然优质饮水团簇结构范围内（70–90 Hz），饮用口感评价为极优。

5 历史文化与产业发展

5.1 社会经济发展情况

2023 年抚松县实现地区生产总值 115.19 亿元^[6]，按可比价格计算同比增长 5.5%；其中第一产业增加值 26.16 亿元，第二产业增加值 17.55 亿元，第三产业增加值 71.48 亿元，三次产业结构为 22.7 : 15.2 : 62.1，县域经济已形成以第三产业为主导、生态资源开发和服务业协同发展的产业格局。2023 年全镇总户数为 14,470 户，总人口 26,372 人，其中城镇人口 23,332 人。

泉阳镇依托长白山腹地良好的森林生态本底和资源条件，已形成以森林食品、矿泉水开发和生态服务为特色的镇域产业发展方向。吉林省发展改革部门已将“抚松县泉阳森林食品小镇”纳入省级特色产业小镇序列，泉阳镇在区域特色资源开发和绿色产业培育方面具有较好的产业基础与政策支撑。

5.2 水源地历史与文化

抚松矿泉水泉阳镇水源地坐落于长白山火山熔岩高台地的核心地带，其地名的兴起源于对自然生境的深度观察，古称泉眼河的泉阳河由 8 个巨大的矿泉群汇聚而成。由于泉水流量与水温常年保持恒定，即便在寒冬腊月，河道依然不结冰，形成了白山黑水的独特景

观。1959年泉阳林业局成立时,因局址位于泉眼河之北,遵循山南水北谓之阳的传统命名原则,正式定名为泉阳。在长白山林区长期流传着“寒冬满山一片白,泉眼河道一条黑”的生动民谚。这句谚语深刻记录了水源地独特的生境特质:在万物封冻的严冬,河道因不结冰而呈现出深邃的墨色,宛如一条穿梭在林海雪原中的黑色丝带,这不仅是长白山的一大自然奇观,也是当地群众对水源地高稳定性、高质量禀赋的最早科学观察与文化沉淀。此外,由于泉阳泉水源地与长白山人参产业区高度重叠,为人参等珍稀药材的生长提供了零污染的本底环境。

5.3 矿泉水资源开发利用

2024年,抚松矿泉水泉阳镇天然矿泉水年径流量为 1.93×10^6 t(按365天计)。目前,吉林森工集团泉阳泉饮品有限公司基本实现全年生产,品牌为泉阳泉矿泉水,其采矿证批准的开采规模为 8×10^6 t/年,为长白山地区矿泉水允许开采量最大的企业。实际年开采量约 7×10^6 t,最近一年(2023年6月至2024年5月)生产用水总量为 7.89×10^6 t。综上,泉阳泉允许开采量仅占年径流量的41.42%,当前开采量和产量仍具备较大提升空间。就抚松县整体矿泉水资源开发格局,泉阳镇矿泉水源地在产能规模上具有明显优势,其允许开采量分别为峡谷泉的12倍、仙人泉的6倍,产能占泉阳泉饮品有限公司抚松县域的78.4%。较大的资源规模为企业稳定供给、产能提升和市场拓展提供了坚实支撑,也进一步体现核心样区的代表性。

5.4 抚松矿泉水泉阳镇绿色可持续发展

根据泉阳镇国土空间与城镇规划,镇区建设用地主要集中于既有城镇和道路走廊,矿泉水水源地周边则保持了较高比例的林地和生态空间连续性,整体上形成了开发建设与水源地保护相对错避的空间格局。与此同时,镇域产业以林业、服务业和矿泉水开发等低污染产业为主,农业以雨养型为主,整体人为扰动强度较低。以生态空间为主体、开发活动相对集中的格局,为地下水补给稳定和水质安全提供了较有利的环境条件。

泉阳镇污水处理厂稳定运行,出水达到一级A标准,污泥实现无害化处置(2023年处理水量 2.384×10^6 m³,出水COD 10.3 mg/L, NH₃-N 0.95 mg/L)。污泥全部实现无害化处置(2023年处置量80.89 t,处置率100%),避免了沿河堆放可能引发的渗滤风险。

5.5 抚松矿泉水泉阳镇产业发展与品牌建设

依托长白山优质矿泉水资源优势,抚松县近年来持续将矿泉水产业作为绿色食品产业和特色资源型经济的重要发展方向,通过加强资源勘查评价、水源地保护、项目引育和园区化布局,逐步形成了以龙头企业带动、上下游协同推进的产业发展格局。截至2021年10月,全县矿泉饮品产量、产值和上缴税收分别达到94.7万t、8.3亿元和1.5亿元,2023年,全县矿泉饮品企业实现产量142万t,实现产值15亿元,利税2.67亿元^[6]。泉阳泉作为吉林省龙头企业,先后获评“中国名牌”和“中国驰名商标”,并被认定为首个“长白山生态食品”品牌,持续通过市场拓展、渠道建设和品牌传播方面增强影响力,已从区域性饮用水品牌成长为立足东北、辐射全国的优质天然矿泉水品牌。

5.6 泉阳泉矿泉水生态环境溯源

为实现对矿泉水生境的近实时监测,2025年5月,在抚松矿泉水泉阳镇水源地建成了

抚松泉阳泉矿泉水地标生境地面站（图6）。该系统是一款低功耗物联网感知系统，对气温、降水、风速、风向、相对湿度、气压等区域气象要素，以及土壤温度、土壤含水率和土壤电导率等生境要素进行动态监测和记录并实时回传。



图6 案例区地标生境地面站及二维码

6 讨论与总结

抚松矿泉水泉阳镇形成于长白山玄武岩台地，受多环境要素协同控制，降水、地形、地质构造与植被条件保障了地下水深循环与泉水稳定溢出，富有机质土壤环境促进了离子释放与特征组分富集。矿泉水呈 HCO_3^- -Ca·Mg 型，具弱碱性、低矿化度、低钠和偏硅特征，水质优良稳定。水源地保护、空间管控和规范化生产管理是其可持续发展的重要支撑。

尽管本研究已明确降水、植被、土壤和岩石在矿泉水成因中的协同支撑作用，但在全球气候变化与极端天气频发的背景下，仍需建立长期动态监测网络，为精细化的水资源评估提供科学依据。抚松矿泉水泉阳镇水源地在产能规模上具有绝对优势，允许开采量远超周边其他水源。企业在未来扩大产能时，应持续关注案例区及周边人类活动，坚持绿色生产，将生态环境保护与企业发展协同推进。将产品价值持续反哺于水源地的生态保护、低碳减排技术升级与公众科普教育。通过深化水源地历史文化挖掘与健康饮水理念的传播，进一步将自然环境禀赋转化为具有高附加值的绿色品牌资产，打造生态产品的样板案例。

作者分工：卞建民、王凡、李一宁、李一涵、孙晓庆、陈圣波对数据集进行了总体的设计，撰写了论文初稿；卞建民、王凡、李一宁采集了土壤、水体等样品并进行了测试；王鼎、王刚、高建堂、杜雨川、张加明、潘旭辉、刘祥运、黄晓燕、刘连坤、高鹤提供并处理了关键的泉阳泉调查、开发、生产相关的监测数据和泉阳镇社会经济发展及人口统计数据，丁志英对数据论文水质及健康部分提出了修改意见。王振波负责研究设计、团队协作与质量把控。

致谢：感谢抚松县各级领导的支持与配合，以及在水样、土样采集及相关资料搜集过程中协助的工作人员，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

对案例项目立项、数据集和文章审核、修改过程中给予的指导!

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] 高月. 抚松县矿泉水补给条件与形成机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [2] 李红艳, 孙亚红, 卢黎黎等. 抚松饮用水水源保护区水资源特征分析[J]. 吉林地质, 2013, 32(3): 80–85.
- [3] 林琳. 长白山区矿泉水资源成因与开发调控的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [4] 卞建民, 王鼎, 王凡等. 抚松矿泉水泉阳镇玄武岩针阔混交林地标生境案例数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2026. <https://doi.org/10.3974/geodb.2026.03.07.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2026.03.07.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\(2017年更新\)](https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05(2017年更新)).
- [6] 白山市地方志编纂委员会办公室. 白山年鉴(2024)[M]. 长春: 吉林文史出版社, 2024.
- [7] 代策. 长白山矿泉水集中区水资源开发利用水平评价和优化配置研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [8] 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.
- [9] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准(GB 3838—2002)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准(GB 5749—2022)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [11] 李栋. 长白山玄武岩区偏硅酸型矿泉水成因: 水岩反应动力学实验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [12] 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 饮用天然矿泉水(GB 8537—2018)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [13] 德国 Fresenius 研究所. 中国吉林省长白山天然矿泉水检测评价报告[R]. 2005.
- [14] Ma, Q., Han, L. N., Zhang, J. Q., *et al.* Environmental risk assessment of metals in the volcanic soil of Changbai Mountain [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(11): 2047.
- [15] 张慧荣, 梁秀娟, 董毅等. 抚松县天然矿泉水水化学特征及形成机理[J]. 水电能源科学, 2020, 38(4): 55–59.
- [16] Li, Y. H., Bian, J. M., Li, J. L., *et al.* Hydrochemistry and stable isotope indication of natural mineral water in Changbai Mountain, China [J]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2022, 40: 101047.
- [17] Pinzaru, S. C., Ardeleanu, M., Brezestean, I., *et al.* Biogeochemical specificity of adjacent natural carbonated spring waters from Swiss Alps promptly revealed by SERS and Raman technology [J]. *Analytical Methods*, 2019, 11(6): 801–812.
- [18] 赖乔枫. 长白山玄武岩区生态基流量与矿泉水研究[D]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [19] 王源. 长白山西北部温泉和矿泉水的特征及成因研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [20] 尹军, 张小雨, 王建辉等. 长白山地区天然矿泉水水质特征分析[J]. 净水技术, 2008, 27(6): 58–61.
- [21] Yan, B. Z., Xiao, C. L., Liang, X. J., *et al.* Influences of pH and CO₂ on the formation of metasilicate mineral water in Changbai Mountain, Northeast China [J]. *Applied Water Science*, 2017, 7(4): 1657–1667.