

抚松松籽露水河镇红松林地标生境案例研究

戚伟^{1,2*}, 朱建华³, 王刚⁴, 高建堂⁵, 杜雨川⁵, 赵文旭⁶, 王秀琴⁷,
刘会强⁷, 金鑫⁷, 许延国⁸, 张增贵⁹, 陈永婷³, 刘燕³, 刘宇博³,
牛子明³, 朱文浩^{1,2}, 李宇^{1,2}, 樊开^{1,2}, 唐昕瑞^{1,2}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 东北师范大学, 长春 130024; 4. 吉林省白山市抚松县人民政府, 抚松县 134500;
5. 吉林省白山市抚松县市场监督管理局, 抚松县 134500; 6. 吉林省白山市抚松县露水河镇砬子河村,
抚松县 134500; 7. 吉林长白山明珠森林食品有限公司, 抚松县 134500; 8. 露水河林业有限公司红光林场,
抚松县 134500; 9. 抚松县露水河华龙中药材种植专业合作社, 抚松县 134500

摘要: 抚松松籽露水河镇红松林地标生境案例区位于吉林省抚松县露水河镇。该镇地处长白山山脉核心区域, 辖6个社区, 5个行政村。2025年, 全镇行政区面积855.58 km², 户籍总人口2.8万人。露水河镇凭借其中高海拔、高植被覆盖度、中温带山地湿润气候带及肥沃的火山灰土质等独特的自然环境, 赋予其百年红松林集中连片, 松籽仁粒饱满、果仁乳白、香气浓郁的品质特性, 成为高营养价值的天然食材。本研究从露水河松籽的红松林生态环境、产品特性、经营管理特点和社会经济发展等方面对案例区露水河镇进行分析, 总结了露水河松籽产区的生境保护与可持续发展模式。该案例数据集主要由案例区空间范围、自然地理条件、露水河松籽仁产品特性、社会经济发展与管理文化等数据组成, 数据集存储为.shp、.tif、.xlsx、.docx、.jpg等格式, 由82个数据文件组成, 数据量为264 MB (压缩为1个文件, 77.3 MB)。

关键词: 长白山; 抚松; 露水河; 松籽; 红松林; 地标生境; 案例 36

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.03.09>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.03.09>

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.2026.04.01.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.04.01.V1>.

1 前言

红松 (*Pinus koraiensis*) 又名果松, 是裸子植物门、松科、松属、单维管束亚属的高大乔木, 是东北温带地带性植被之一的针阔混交林的建群种, 主要分布于中国东北地区的长白山、完达山、张广才岭和小兴安岭。吉林省抚松县露水河镇天然红松母树林是我国保

收稿日期: 2025-11-21; 修订日期: 2026-05-17; 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: 戚伟, 中国科学院地理科学与资源研究所, qiwei@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 戚伟, 朱建华, 王刚等. 抚松松籽露水河镇红松林地标生境案例研究[J]. 全球变化数据学报, 2026, 10(3): 344–361. <https://doi.org/10.3974/geodp.2026.03.09>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.03.09>.
[2] 戚伟, 朱建华, 王刚等. 抚松露水河松籽红松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.2026.04.01.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.04.01.V1>.

存面积最大、最为完整、种质资源最为丰富的红松天然母树林^[1]。在露水河镇的红松母树林中，百年以上古树十分常见，甚至存有树龄约 550 年的“红松王”。作为高大乔木，成龄红松高度通常为 20–30 m，最高可达 50 m，其树冠幼时为圆锥形，成年后逐渐变为开阔的伞形或塔形。红松生长缓慢，天然更新周期较长。中国林业部门实施天然林资源保护工程，野生红松资源得到休养养护^[2]。野生红松生长缓慢，需 50 年左右才开始结实，一株丰产期的红松每年最多可结 600–800 个松塔，产出 40–60 kg 松子。

抚松松籽露水河镇红松林案例区位于长白山腹地^[3]，抚松露水河松籽（图 1）是亚洲优质松籽的代表^[4]，其籽仁粒大饱满，色泽呈天然乳白，出仁率高，远超普通松籽仁品质，是长白山地区国家地理标志产品的重要代表。籽仁中的 Omega-3 与 Omega-6 脂肪酸协同调节胆固醇，预防动脉硬化；维生素 E+花青素双重抗氧化，抑制自由基损伤；高蛋白与缓释碳水化合物，提供持久饱腹感，适合用脑人群；中医用于润燥止咳、改善便秘及产后虚弱调理。抚松露水河松籽不仅是长白山地区传统饮食文化的重要组成部分，更契合现代“天然、营养、功能性”的健康饮食理念，成为高端健康食品市场中的标杆食材^[5]。



图 1 抚松县露水河镇红松林松籽

抚松露水河松籽依托独特地域特色与专属生态环境生长，不仅是当地自然资源禀赋与历史文化传统的集中体现，更是支撑区域经济发展、保障居民收入的核心产业来源。保护松籽红松林生境，对于维护生态平衡、促进地方经济发展、传承文化传统等方面都具有重要意义^[6]。本研究将围绕该区域的自然地理特征、生态环境现状、松籽产品特性、产业发展与管理模式、社会经济发展数据及历史传统脉络等多元信息，开展系统梳理与深度分析，探讨抚松露水河松籽生境保护与可持续发展的协调路径，为红松林保护实践与松籽产业高质量发展提供科学支撑。

2 数据集元数据简介

《抚松露水河松籽红松林地标生境案例数据集》^[7]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据量、数据格式、数据集组成等元数据信息见表 1。

表 1 《抚松露水河松籽红松林地标生境案例数据集》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	抚松露水河松籽红松林地标生境案例数据集
数据集短名	LushuiheKoreanPineSeedsCase36
作者信息	戚 伟，中国科学院地理科学与资源研究所，qiwei@igsnr.ac.cn 朱建华，东北师范大学，zjh198827@163.com 王 刚，吉林省白山市抚松县人民政府，sjbgs2024@163.com 高建堂，吉林省白山市抚松县市场监督管理局，sjbgs2024@163.com 杜雨川，吉林省白山市抚松县市场监督管理局，84809029@qq.com 王秀琴，吉林长白山明珠森林食品有限公司，bssonglin@163.com 刘会强，吉林长白山明珠森林食品有限公司，bssonglin@163.com 金 鑫，吉林长白山明珠森林食品有限公司，bssonglin@163.com 陈永婷，东北师范大学，3118078674@qq.com 刘 燕，东北师范大学，liuyan0227@foxmail.com 刘宇博，东北师范大学，2276359635@qq.com 牛子明，东北师范大学，13293223632@163.com 朱文浩，中国科学院地理科学与资源研究所，zhuwenhao18@mails.ucas.ac.cn 李 宇，中国科学院地理科学与资源研究所，liyu6917@igsnr.ac.cn 樊 开，中国科学院地理科学与资源研究所，fankai0308@gmail.com 唐昕瑞，中国科学院地理科学与资源研究所，tangxinrui20@mails.ucas.ac.cn
地理区域	吉林省白山市抚松县露水河镇
数据年代	2025 年
数据格式	.xlsx、.shp、.tif、.jpg、.docx
数据量	246 MB（压缩为 1 个文件，77.3 MB）
数据集组成	案例区空间范围、自然地理条件、松籽产品特性、社会经济发展与管理文化等
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发，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 ^[8]
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

露水河镇位于吉林省东南部、白山市抚松县北部，地处长白山腹地，松花江上游的广袤林区，介于东经 127°25′–128°05′，北纬 42°20′–42°45′之间（图 2）。露水河镇与安图县两江镇、二道白河镇接壤，南连泉阳镇，西毗北岗镇，北邻沿江乡。露水河镇辖站西、河北、



图 2 露水河镇地理位置图

东山、北山、宏伟、西山 6 个社区，以及砬子河、长胜、新兴、东胜、清水河等 5 个行政村。2025 年，全镇行政区面积 855.58 km²，户籍总人口 2.8 万人。

3.2 生态环境数据

3.2.1 地形地貌

露水河镇整体呈现南高北低的格局。作者基于 SRTM 的 30-m DEM 数据¹，对露水河镇的地形特征进行分析，得出镇域海拔主要分布于 500–1,000 m（图 3）。其中，海拔低于 500 m 的河谷低地集中于北部及西北部，500–700 m 的丘陵地带为镇域最主要的地形类型，700–900 m 及局部超过 900 m 的低山丘陵区主要分布于中南部；坡度<3°的平坦区沿河谷呈带状展开，3–15°的丘陵缓坡区广泛覆盖镇域中部与东部，>15°的低中山区集中于西部边缘。露水河镇适中的海拔符合红松偏好，大量的缓坡为其生长、排水和光照选择提供了适宜条件。

3.2.2 气候条件

露水河镇属中温带湿润季风气候，受长白山地形调控作用显著，高温区主要分布于河谷地带及海拔较低区域，南部山区由于海拔较高、植被覆盖良好，地表温度相对较低。降水量与相对湿度格局基本一致，表现出西北高、东南低的特征（图 4）。露水河镇年平均气温 0.9℃–1.5℃，最高气温 29.5℃–32.2℃，最低气温–39℃––44℃，年平均无霜期 105 d 左右^[4]。整体来看，露水河镇具有冷凉湿润、积温充足、昼夜温差大的气候特征，是红松生长和营养物质积累的理想环境。

¹ NASA. <https://www.earthdata.nasa.gov/data/instruments/srtm>.

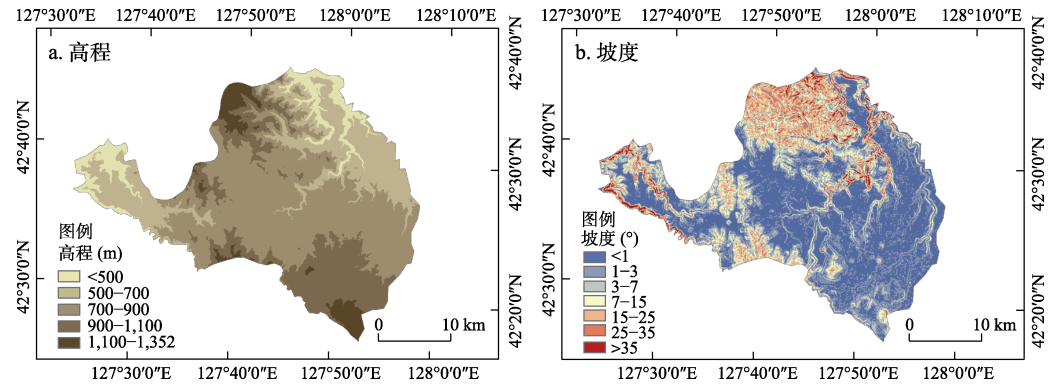


图3 露水河镇高程和地形坡度分类图

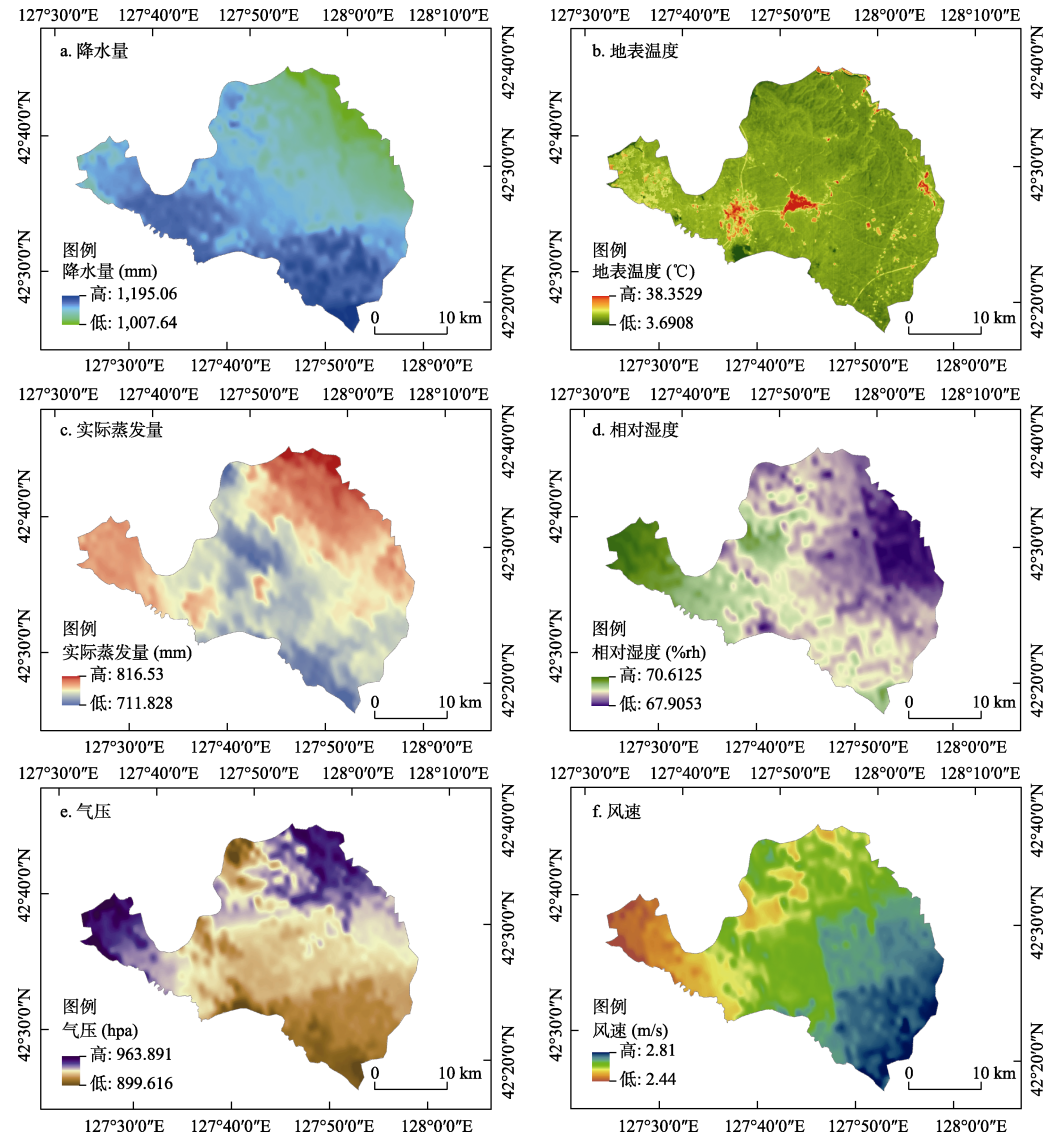


图4 露水河镇气候条件分析图（2025）

3.2.3 水环境条件

露水河镇水资源丰富，属松花江水系上游流域，是松花江重要支流的发源与涵养区之一^[9]。红松生长主要依靠天然降水，故而本研究仅在红松分布相对密集的东升林场布设一个采样点（图 5），采集河流水，水样交由蚯蚓测土实验室（山东）有限公司进行检测。具体检测指标包括：pH、全盐量、氯化物、悬浮物、化学需氧量、五日生化需氧量、总汞、总砷、镉、铅、六价铬、粪大肠菌群数、蛔虫卵数、硫化物、阴离子表面活性剂等 15 项。水样检测结果（表 2）显示，所检项目均低于国家灌溉水标准浓度限值^[10]。

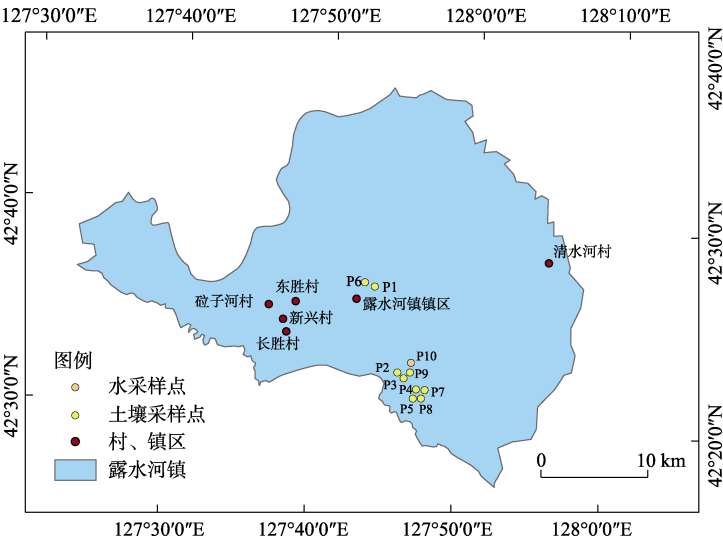


图 5 案例区水和土壤采样点分布图

表 2 露水河镇地表水水质检测结果统计表

序号	检测指标	单位	国家标准限值 ^[10]	检测结果
1	pH	无量纲	5.5–8.5	7.4
2	全盐量	Mg/L	≤1,000	65
3	氯化物	mg/L	≤350	2.78
4	悬浮物	mg/L	≤100	未检出
5	化学需氧量	mg/L	≤200	22
6	五日生化需氧量	mg/L	≤100	4.9
7	总汞	mg/L	≤0.001	未检出
8	总砷	mg/L	≤0.1	未检出
9	镉	mg/L	≤0.001	未检出
10	铅	mg/L	≤0.2	未检出
11	六价铬	mg/L	≤0.1	未检出
12	粪大肠杆菌群数	MPN/L	≤4,000	未检出
13	蛔虫卵数	个/10L	≤20	未检出
14	硫化物	mg/L	≤1	0.0427
15	阴离子表面活性剂	mg/L	≤8	未检出

3.2.4 土壤环境条件

露水河镇成土母质主要为花岗岩和玄武岩，部分为沉积岩。土壤类型以棕壤森林土和白浆土为主，土层厚度一般为 0.5 m 以上。露水河镇土壤由火山喷发物及森林枯落物长期风化发育而成，表层疏松多孔、腐殖质层深厚，下层常可见火山砂砾沉积，整体呈暗褐色至棕黑色，有机质含量高，保水保肥能力强，非常适合红松及林下特色作物的生长。

本研究在案例区分别布设 9 个土壤剖面采样点（图 5），采样点选在红松相对密集的林场，并充分考虑不同的海拔、坡向等因素。此外，为了考虑人类活动的影响，还在露水河镇镇区周边红松密集区设置了土壤采样点。通过分层采集 0–20 cm、20–40 cm、40–60 cm、60–80 cm、80–100 cm 深度的土层样品（图 6），进行案例区土壤肥力状况和环境状况的检



图 6 案例区土壤采样点位剖面图

测，检测项目包括 pH 值、有机质、阳离子交换量、全氮、有效磷、速效钾、铅、镉、铬、砷、汞、铜、锌、镍、有机氯农残。

(1) 土壤肥力

土壤剖面样品的检测结果（表 3）显示，该区域 pH 值介于 5.0–6.8 之间，土壤整体呈酸性至弱酸性，符合红松生长的适宜酸度范围。作为评估土壤保肥能力的核心指标，土壤阳离子交换量（Cation Exchange Capacity, CEC）变化范围为 8.98–31.84 cmol/kg，平均值为 17.23 cmol/kg，表明该区域土壤保肥能力良好，其中 P9 采样点表层 CEC 值高达 31.84 cmol/kg，显示出优异的养分保持能力。CEC 值随土层深度变化较小，表明各土层均具备较好的保肥性能，这种良好的保肥特性为红松深层根系的养分吸收创造了有利条件，有助于树木根系更有效地摄取土壤中的养分，从而促进红松的健康生长与发育。

表 3 露水河镇土壤肥力指标检测结果统计表

编号	土层深度 (cm)	pH	有机质 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	全氮 (%)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
P1	0–20	5.2	44.6	24.49	0.174	1.6	177
	20–40	5.0	24.9	25.60	0.113	4.6	109
	40–60	5.0	8.20	20.40	0.053	9.4	80
	60–80	5.3	5.55	23.92	0.047	25.8	99
	80–100	5.3	5.77	25.22	0.053	21.6	109
P2	0–20	5.6	89.3	12.35	0.498	2.7	129
	20–40	5.5	39.8	11.52	0.241	2.0	105
	40–60	5.6	18.7	10.66	0.121	3.8	75
	60–80	5.7	9.69	12.03	0.078	3.0	65
	80–100	5.3	11.2	17.50	0.056	7.4	75
P3	0–20	5.7	48.8	12.13	0.236	2.5	310
	20–40	5.7	32.5	14.10	0.207	2.5	249
	40–60	5.8	20.0	12.07	0.127	3.6	181
	60–80	5.7	17.2	13.69	0.115	4.9	225
	80–100	5.8	14.8	14.10	0.094	12.0	156
P4	0–20	5.2	29.4	15.38	0.133	2.5	136
	20–40	5.5	10.9	10.33	0.087	1.6	90
	40–60	5.4	6.72	12.49	0.051	2.9	87
	60–80	5.5	14.1	16.25	0.061	4.5	96
	80–100	5.6	9.10	16.15	0.055	6.8	92
P5	0–20	6.3	43.4	17.38	0.253	1.9	500
	20–40	6.5	34.6	13.53	0.192	1.6	440
	40–60	6.7	26.8	13.14	0.145	4.5	251
	60–80	6.8	12.0	10.76	0.073	8.2	100
	80–100	6.4	5.45	8.98	0.051	3.9	96

续表 3

编号	土层深度 (cm)	pH	有机质 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	全氮 (%)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
P6	0-20	5.1	30.7	18.84	0.190	0.1	66
	20-40	5.4	27.9	20.90	0.187	0.6	81
	40-60	5.3	17.6	19.72	0.107	0.4	68
	60-80	5.3	5.29	22.14	0.060	4.4	101
	80-100	5.3	5.45	27.24	0.058	10.2	133
P7	0-20	5.5	35.6	19.10	0.191	0.7	86
	20-40	5.7	21.2	14.57	0.168	1.4	77
	40-60	5.7	21.0	15.33	0.149	1.8	79
	60-80	5.8	10.5	9.07	0.080	2.6	66
	80-100	5.8	5.31	10.65	0.049	7.8	78
P8	0-20	5.4	63.2	26.20	0.381	2.1	160
	20-40	5.3	37.8	22.23	0.234	2.2	128
	40-60	5.4	18.6	12.21	0.136	4.5	91
	60-80	5.7	17.1	13.49	0.112	11.4	96
	80-100	5.8	10.2	14.06	0.077	18.0	92
P9	0-20	5.4	70.0	31.84	0.479	7.3	146
	20-40	5.4	53.6	26.38	0.370	8.0	129
	40-60	5.5	42.7	22.90	0.270	10.5	121
	60-80	5.6	19.5	21.13	0.128	15.6	164
	80-100	5.8	7.54	23.09	0.050	26.8	310

各采样点不同土层的土壤肥力检测指标如表 3、图 7 所示。土壤有机质含量变化范围为 5.29–89.3g/kg，平均值为 24.54 g/kg。有机质含量随土层深度增加而递减，表层土壤有机质含量高于其他土层，表层富集明显，深层土壤有机质趋于稳定但含量最低。全氮含量与有机质变化一致，变化范围为 0.047–0.498%，平均值为 0.151%。不同点位深层全氮含量差异较小，均处于较低水平。有效磷变化范围为 0.1–26.8 mg/kg，平均值为 6.27 mg/kg。多数点位有效磷在表层土壤含量较低，反而在深层土壤出现高值，可能与红松根系深层分布促进磷的活化有关。速效钾变化范围为 65–500 mg/kg，平均值为 140 mg/kg。综上，案例区土壤保肥能力较好，为红松深层根系发育创造了优越的养分环境，有效促进其生长发育，为松籽优质高产提供了重要保障。

(2) 土壤环境质量

依据国家标准《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB 15618—2018)^[11]，露水河镇红松林土壤环境质量优良，所有检测指标均低于国家土壤污染风险筛选值，农药残留均未检出（表 4），完全满足红松生长对产地土壤环境的质量要求^[11]。优良的土壤环境质量为红松的健康生长提供了安全保障，有助于形成优质安全的林产品。

3.2.5 植被覆盖与土地利用状况

归一化植被指数（NDVI）是表征地表植被生长状况的重要指标。本研究选取 2025 年

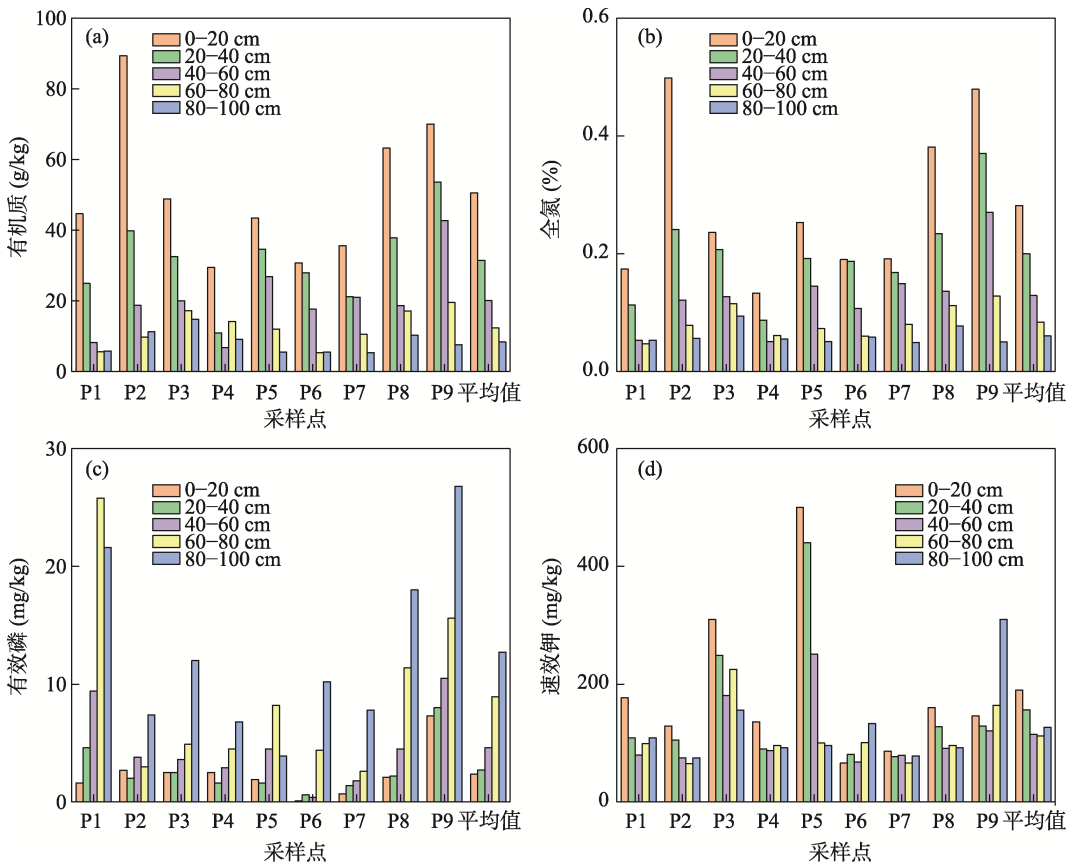


图 7 露水河镇不同土层土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量图

10-m 的 Sentinel 数据²作为数据源，以增强植被光谱响应并降低非植被因素的干扰，生成露水河镇 NDVI 分析图（图 8）。露水河镇 NDVI 整体呈现以高值为主导的空间分布格局，数值大多集中在 0.6 以上，表明区域植被覆盖度高、生态状况良好，具有典型的长白山林区森林景观特征。从空间结构上看，NDVI 表现为连续分布的高值背景与零散分布的低值斑块相结合的镶嵌格局，其中低值区域主要以点状或团块状分布，多对应居民地、林业采伐地及河谷开垦区等人类活动较为集中的区域。同时，NDVI 在空间上具有较强的正自相关性，高值区域连片分布、整体异质性较弱，但局部区域受人为干扰影响呈现出显著差异。

在土地利用分类研究中，作者选取 2025 年 10-m 分辨率、云量占比低于 1% 的 Sentinel 遥感影像作为数据源。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，分析构建得到露水河镇土地利用情况（图 9）。露水河镇土地利用类型主要包括建设用地、林地、耕地、水体等。其中，林地约占 82.54%、耕地约占 10.04%、建设用地约占 5.04%。森林遮荫调节微气候，肥沃的火山土供给养分，清洁的水源维持生理代谢，共同塑造了松籽大饱满、油脂丰富、风味优良的特质。

² European Space Agency (ESA). <https://scihub.copernicus.eu/>.

表 4 露水河镇土壤环境指标检测结果统计表

检测指标	限值 ^[1]	单位	检测结果								
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
铅	90	mg/kg	26	26	25	22	19	23	24	25	23
镉	0.3	mg/kg	0.20	0.28	0.25	0.22	0.22	0.14	0.18	0.19	0.20
铬	150	mg/kg	75	67	73	92	87	80	61	75	69
砷	140	mg/kg	10.1	8.99	9.08	8.77	8.20	8.97	8.56	8.2	8.22
汞	1.8	mg/kg	0.064	0.070	0.059	0.052	0.052	0.056	0.054	0.058	0.063
铜	50	mg/kg	25	19	19	26	28	15	15	17	20
锌	200	mg/kg	89	97	112	73	75	82	85	97	100
镍	70	mg/kg	27	27	32	32	35	26	22	25	28
六六六总量	未检出	μg/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
滴滴涕总量	未检出	μg/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

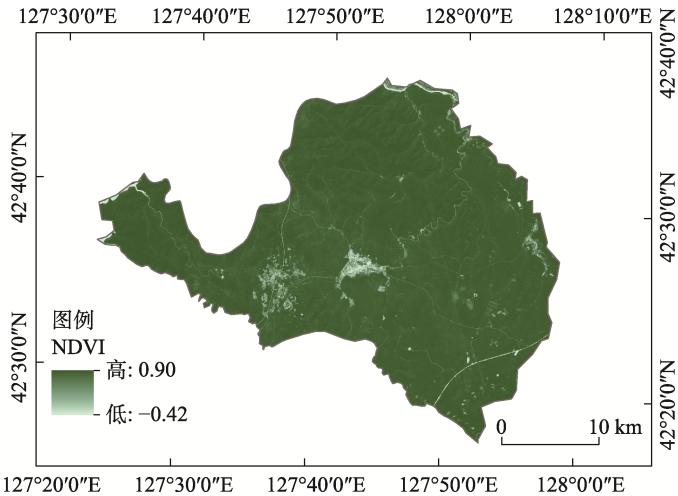


图 8 露水河镇 NDVI 分析图

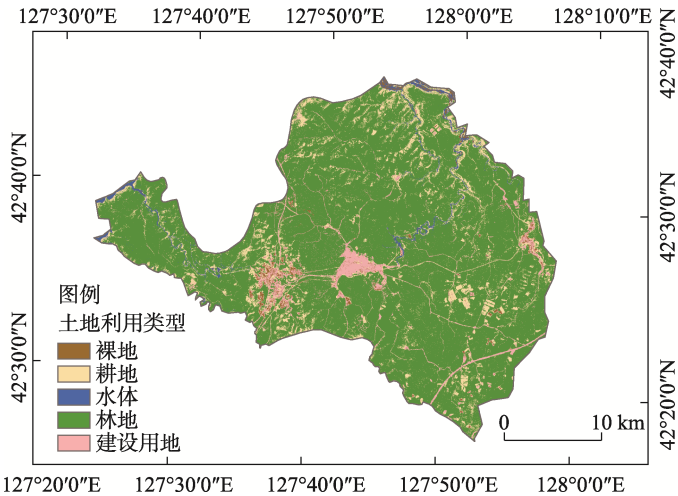


图 9 露水河镇土地利用分布图（2025）

3.2.6 红松林分布状况

露水河镇林地基本都有红松分布，涉及东升、红光、新兴、永青、西林、黎明等林场。参考露水河红松籽仁地理标志产品保护范围图、吉林省露水河林业局森林区划图（1：100000）及松籽采摘重点区域，作者绘制了红松密度较高的红松主要集中分布区（图 10）。

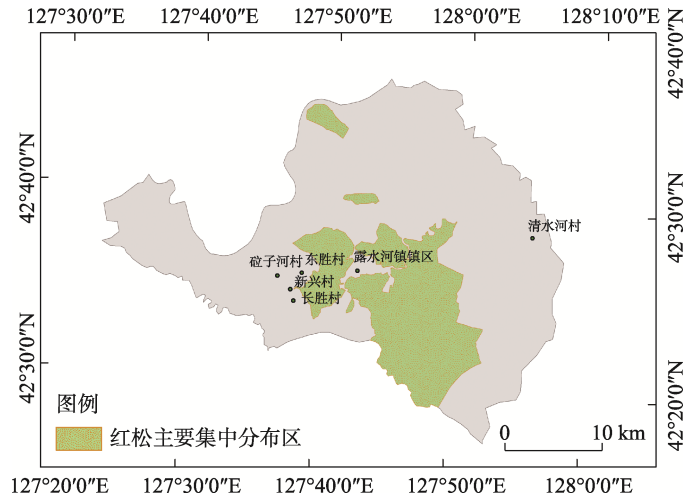


图 10 露水河镇红松主要集中分布区

露水河红松主要集中分布区位于露水河镇镇区的周边区域、西部的红光及南部东升林场，面积近 2 万 hm^2 。

3.3 产品特性数据

3.3.1 抚松露水河松籽特性

抚松露水河松籽种子发芽需低温层积 120 d 以上，自然萌发率不足 5%。红松需生长 50 年以上才能结籽，且两年才成熟一季，产量稀少。籽仁呈浅黄色，卵圆形，颗粒均匀饱满，表面有浅褐色薄皮，仁肉乳白，质地细腻油润。耐贮藏，在低温干燥环境下可长期保持风味与品质。抗氧化性较强，不易酸败，具有良好的营养保健价值和食品加工适应性。

3.3.2 抚松露水河松籽品质检测分析

针对抚松露水河松籽的品质，本研究采集 2025 年采摘并人工开口的松籽样品，主要来源于镇区周边及东升林场的松籽。委托吉林省质量监督检查院及青岛市华测检测技术有限公司对其进行检测分析。参照《地理标志产品 露水河红松籽仁》（GB/T 19505—2008）^[12]，选取感官指标、理化指标、安全卫生指标三个方面进行检测。其中，感官指标包括色泽、气味、外观、杂质 4 项检测项目；理化指标包括脂肪、酸价、过氧化值、蛋白质、氨基酸、维生素及矿物质等 16 项检测项目；安全卫生指标包括砷、铅、汞、镉、黄曲霉素、大肠菌群等 9 项污染物含量。

（1）感官指标

抚松露水河松籽仁具有浓香松味；果仁呈黄色，色泽均匀，无明显色差；颗粒饱满、大小均匀，轻损普遍，重损小于 3%，破碎仁小于 7%，重损和破碎仁控制在较低比例，反

映出在松籽的收获、加工、储存、运输等过程中，采取了有效措施，保证了产品整体外观质量；质地细腻，无肉眼可见杂质，加工过程中，杂质筛选、清理等工序处理到位，产品干净卫生（表 5），符合国家标准要求^[12]。

表 5 抚松露水河松籽感官指标检测结果统计表

序号	检测项目	标准指标 ^[12]	检测结果	单项判定
1	色泽	黄色	黄色	符合
2	气味	浓松香味	浓松香味	符合
3	外观	轻损普遍，重损小于 3%，破碎仁小于 7%	轻损普遍，重损小于 3%，破碎仁小于 7%	符合
4	杂质	无肉眼可见杂质	无肉眼可见杂质	符合

（2）理化指标

松籽是公认的高营养坚果，抚松露水河松籽因独特的生长环境，其营养成分更为突出。检测结果显示（表 6），其粗脂肪含量为 65.4%，膳食纤维含量为 8.4 mg/100g，高纤维与其高脂肪含量形成有益互补。酸价为 0.6 mg/g，过氧化值为 0.0023 g/100g，极低的酸价和过氧化值表明松籽氧化变质程度轻，口感和营养价值更好。蛋白质和氨基酸丰富，含量高达 16.7 g/100g 和 13.1 g/100g，属于优质的植物蛋白来源，其中氨基酸包括天门冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸等 16 项。维生素 E 含量较高，含量为 24.7 g/100g。常量元素中钙含量为 145 mg/100g、钾含量为 594 mg/100g、镁含量为 2.58×10³ mg/100g；微量元素中锰含量为 56.1 mg/100g、铁含量为 45.5 mg/100g、锌含量为 62.7 mg/100g。

表 6 抚松露水河松籽理化指标检测结果统计表

序号	检验指标	单位	标准指标 ^[12]	检测结果	单项判定
1	脂肪	%	≥60	65.4	符合
3	酸价	mg/g	≤4	0.60	符合
4	过氧化值	g/100g	≤0.08	0.0023	符合
5	蛋白质	g/100g	/	16.7	—
6	氨基酸	g/100g	/	13.1	—
7	维生素 E	g/100g	/	24.7	—
8	维生素 B ₁	g/100g	/	0.40	—
9	维生素 B ₂	g/100g	/	0.0551	—
10	钙	mg/100g	/	145	—
11	钾	mg/100g	/	594	—
12	镁	mg/100g	/	2.58×10 ³	—
13	锰	mg/100g	/	56.1	—
14	铁	mg/100g	/	45.5	—
15	锌	mg/100g	/	62.7	—
16	膳食纤维	mg/100g	/	8.4	—

注：/ 表示没有对应标准限值；— 表示没有对应数据。

（3）安全卫生指标

对抚松露水河松籽的检测结果显示，砷、铅、镉、总汞等重金属含量均未检出或远低于国家标准限量（表 7）。黄曲霉毒素 B1 未检出，大肠菌落及其他细菌数值低，微生物安全指标表现优秀。检测结果均符合《食品安全国家标准 食品中污染物限量》（GB 2762—2022）^[13]、《食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量》（GB 2761—2017）^[14]的标准。表明抚松露水河松籽的安全卫生指标完全符合国家标准，其生长及加工过程严格遵循安全规范，保障了产品的安全性。

表 7 抚松露水河松籽卫生安全指标检测结果统计表

序号	检测指标	单位	标准指标 ^[13,14]	检测结果	单项判定
1	砷	mg/kg	≤0.5	未检出	符合
2	铅	mg/kg	≤0.5	未检出	符合
3	镉	mg/kg	≤0.5	0.103	符合
4	汞	mg/kg	/	未检出	—
5	黄曲霉毒素 B ₁	μg/kg	≤10	未检出	符合
6	大肠菌群	CFU/g	/	<10	—
7	霉菌和酵母菌	CFU/g	/	7.8×10 ⁴	—
8	沙门氏菌	/25g	/	未检出	—
9	金黄色葡萄球菌	CFU/g	/	<10	—

注：/ 表示没有对应标准限值；— 表示没有对应数据。

4 社会经济发展、经营管理及历史传统

4.1 人口与社会经济发展情况

抚松县县域经济发展稳中快进，良好的经济状况为抚松县全域推进农业绿色发展奠定了基础。2025 年，抚松县地区生产总值（GDP）突破 150 亿元，全县农林牧渔业总产值同比增长 5.0%。抚松县农村居民人均可支配收入 22,008 元，高于吉林省平均水平。露水河镇在国家全面停止商业性采伐后，经历了深刻的产业转型，从单一的森林采伐与木材加工转向天然矿泉水、人参、松籽等多元化产业，并积极发展以国家森林公园、狩猎场为依托的生态旅游产业，致力于走绿色可持续发展道路^[15-18]。依托超百万株百年红松母树林与完善的“种植-采集-加工-销售”产业链，露水河镇松籽产业已成为抚松县“一镇一特”的主导产业，年销售额突破 2 亿元，出口占比超 60%，直接带动当地 3,000 余名林农就业，实现了“生态资源保护-传统技艺传承-产业经济增收”的三维协同发展。2025 年，露水河松籽产量约 4,500 吨，带动就业 200 余人，季节性就业 400 余人，工资 4,500 元/月。

4.2 红松资源保护及发展

自 20 世纪 80 年代起，随着天然林保护意识的提升，露水河林业局率先组建了红松资源保护与利用科研小组，重点推进红松母树林培育、结实率提升以及籽仁品质优化方面的系统性研究。1990—1995 年期间，科研团队借助“优树选择-人工授粉-幼苗驯化”这一技术体系，成功筛选出 3 个红松优良母树品系。随后，在露水河核心林区开展了大规模的母树

林改造工程,百年以上古树资源保护面积拓展至12万亩($8,000\text{ hm}^2$)^[19]。2003年,“露水河红松籽仁”正式获批国家地理标志产品,成为东北首个获此认证的坚果类产品。此后20年间,通过持续科研攻关,其产品先后获得绿色食品AA级认证、欧盟有机食品认证(EUOrganic)、中国森林认证(CFCC)^[20]。2020年露水河红松母林籽仁入选第二批中欧地理标志协定名单。2021年入选“中国名牌农产品”,红松采集技艺更被列入吉林省非物质文化遗产名录。2023年,吉林省露水河红松古树群成功入选“中国最美古树群”。

4.3 产业发展与经营管理

4.3.1 松籽资源管控

露水河镇依托亚洲最大的天然红松母树林,对红松资源实施精细化管理。依据红松的生长周期与结实规律,执行严格的限额采集制度,每年根据监测数据确定采集量,确保母树可持续生长。林业部门、林场等构建了全方位的红松资源监测体系,运用卫星遥感、无人机监测与地面人工巡查相结合的方式,实时掌握红松的生长状况、病虫害发生情况以及森林生态环境变化情况。

4.3.2 经营管理

露水河镇形成了政府引导,科研机构与企业合作,合作社和村民合作的经营管理模式。其中,科研机构与企业合作开展红松良种选育、破壳取仁工艺优化及松籽功能性成分研究,企业引进国际先进的无菌生产线与加工技术,在初加工环节精准去除杂质与坏籽,采用低温烘焙工艺,最大程度保留松籽仁的营养成分与风味。合作社负责组织村民进行标准化采收、晾晒和初选,确保原料的纯正与可追溯。村民通过参与采收、管护和运输,既增加了收入,也为企业提供了稳定优质的原料。

依托露水河松籽的原产地域优势,政府通过政策引导推动产业集群化发展与产业链延伸,逐步形成了涵盖野生资源管护、机械化采集成、低温破壳取仁、油脂精深加工及健康食品开发等多环节的现代化产业体系。同时,依托吉林长白山明珠森林食品有限公司等龙头企业,多方合力,实现“松籽+”系列产品研发,形成了与人参、可可、酥糖等结合的组合产品,延伸产业链。

4.3.3 市场与品牌建设

政府充分发挥引领作用,通过产业政策引导企业精准对接消费需求,针对不同消费群体开发多样化的产品。面向高端消费市场,推出有机认证、精美礼盒包装的松籽产品,强调生态、健康、高品质属性。面向普通消费者,推出实惠装、小包装的即食松籽仁,满足日常食用需求。同时,政府积极招商引资,引入电商运营和品牌策划专业机构,帮助企业利用社交媒体、网络直播等新兴营销手段,讲述露水河松籽的品牌故事与生态价值,提升消费者的了解程度与购买意愿。

在品牌建设方面,政府主导制定“露水河红松籽仁”区域公用品牌标准,并联合行业协会加强品牌授权与监管,品牌推广注重突出天然生态特质和高营养价值,通过线上线下融合传播、参展推介以及文旅融合项目,持续提升品牌知名度和市场占有率。同时,市场监管部门联合行业协会加强对“露水河红松籽仁”地理标志品牌的保护,定期开展专项整治行动,严厉打击假冒伪劣产品,维护品牌声誉。

4.4 文化传承与发展

红松在露水河镇的历史可追溯至远古时期，诸多林业研究表明，红松作为古老树种，至少在一万年前已存在于东亚地区，且当时分布区比现今更为广阔。抚松县当地满族、朝鲜族等少数民族，自古以来便与红松相依相生^[21]。在清代，满族贵族将红松松籽视为珍品，其不仅作为日常美食，还在祭祀等重要仪式中扮演关键角色，松仁被列为“八珍”之一，常被用于制作糕点等祭品。在民间，红松籽仁更是传统饮食文化的重要组成部分，人们将其制作成松仁粥、松仁饼等特色美食，代代相传。红松在当地文化中具有特殊地位，被视为长寿、坚韧的象征。在民间传说中，红松是山神的化身，守护着这片山林与生活在这里的人们。

围绕红松形成的文化活动丰富多彩，政府发挥引导与支撑作用，联动林业、文旅、市场监管等多部门从活动策划、安全保障到品牌宣传进行全程统筹，打造红松文化节。红松文化节期间，人们展示松籽的传统加工技艺、品尝特色美食，还举行与红松相关的民俗表演、知识竞赛等活动，传承和弘扬红松文化，增强了当地居民对红松资源的保护意识与文化认同感，也让更多人了解到露水河松籽独特的地域文化魅力^[21]。同时，积极推动“红松文化+生态旅游”融合发展，依托露水河邻近抚松县城、二道白河镇和长白山核心景区的区位优势，联合打造森林狩猎文化体验、野外徒步、山地露营、林间探险等户外拓展项目，与周边景区联动推出精品旅游线路。

4.5 抚松松籽露水河镇生态环境溯源

抚松松籽露水河镇产业的可持续发展，离不开现代技术的有力支持。为此，在案例区林场建成了地标生境地面站（图 11），用于对红松林的生态环境情况进行实时的全天候记录 and 溯源，其指标主要包括负氧离子、物候、风速、风向、降雨量、空气质量、温度、相对湿度、土壤温湿度、大气压和土壤电导率等。这些实时监测数据能够用于反映松籽优质的生长环境，为红松林物候变化及种植管理提供科学精准的数据支撑，从而进一步推动松籽产业种植模式向更智慧化、科学化、可持续化转变。



图 11 案例区松籽地标生境地面站设施图

5 结论

抚松松籽露水河镇红松林地标生境案例位于吉林省抚松县长白山核心区域,其原始森林生态系统凭借高海拔、寒温带湿润气候及肥沃火山灰土质,为红松生长提供了良好的生境条件。露水河镇土壤环境质量优良,农药残留均未检出,水质清洁,有利于高品质松籽产出。露水河松籽具有籽粒饱满、果仁乳白、香气浓郁的独特品质,并富含脂肪、蛋白质及人体必需微量元素,营养价值显著。当地通过规范野生松籽采集管理、发展构建产学研政团民传一体的经营管理模式,实现了对珍稀红松母林资源的保护性开发。未来需进一步深化生态保护与产业融合,在保障红松资源安全稳定的基础上,提升红松籽品质与附加值,实现生态效益、经济效益与社会效益的协同提升。

作者分工: 戚伟对本案例做了总体设计,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,并协同召开案例实地调研与研讨,开展论文撰写与统筹。王刚、高建堂、杜雨川、赵文旭统筹案例调研和数据采集;戚伟、朱文浩、朱建华、陈永婷、刘燕、刘宇博、牛子明参加了案例研究的实地考察;王秀琴、金鑫、戚伟进行了土样和水样采集和分析工作;陈永婷、刘燕、刘宇博、牛子明、李宇、樊开负责采集、分析、处理数据及制作图件;唐昕瑞、刘会强负责协调各级单位帮助与本地文化数据采集;戚伟负责气象数据采集与分析;朱建华负责相关松籽仁文化采集与分析;刘会强、许延国、张增贵负责经营管理、经济发展和特性数据采集。朱文浩、朱建华、陈永婷、刘燕、刘宇博、牛子明、李宇、樊开、唐昕瑞参与论文的撰写工作。

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!感谢在土壤、水样品采集和分析过程中提供帮助的村民!

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] 刘吉波. 露水河天然红松母树林经营及保护措施[J]. 吉林林业科技, 2012, 41(3): 44-45.
- [2] 祖述冲. 红松(*Pinus koraiensis* Sieb.et Zucc.)籽资源评价与精深加工技术研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
- [3] 李旭华. 长白山阔叶红松林区植被生产力与水分利用关系研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [4] 刘德栋. 我国红松良种选育研究进展[J]. 防护林科技, 2017(3): 96-99+116.
- [5] 张厚娜, 郭佳琪, 赵玉红. 红松松籽成分、营养价值和开发利用研究现状[J]. 中国林副特产, 2022(2): 84-86.
- [6] 宋伟, 闫鹏云, 刘佳等. 沁县小米上党盆地区生境保护与可持续发展案例研究[J]. 全球变化数据学报, 2024, 8(3): 267-285. <https://doi.org/10.3974/geodp.2024.03.05>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2024.03.05>.

- [7] 戚伟, 朱建华, 王刚等. 抚松露水河松籽红松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.2026.04.01.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11>. 2026.04.01.
- [8] 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).
- [9] 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.
- [10] 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: 中国标准出版社, 2021.
- [11] 中华人民共和国生态环境部, 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: 中国标准出版社, 2018.
- [12] 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 露水河红松籽仁(GB/T 19505—2008) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 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 食品中污染物限量(GB 2762—2022) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量(GB 2761—2017) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 王晓红. 探讨红松果材林的营建技术[J]. 农业与技术, 2019, 39(3): 88–89.
- [16] 王伟, 李鹏霞, 王贵禧等. 贮藏温度对不同状态松籽种仁生理和品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2009(4): 743–746.
- [17] 董姝娜, 余宇芬, 付永存. 吉林省长白山地区林下经济增长质量时空分异及影响因素研究[J]. 东北师大学报(哲学社会科学版), 2023 (1): 147–158+202.
- [18] 梁玉芳. 抚松县农业绿色发展先行区发展水平评价与模式效果分析[D]. 长春: 吉林大学, 2024.
- [19] 任忠杰, 时文海. 可持续发展背景下森林资源保护与发展探究——以抚松县为例[J]. 广东蚕业, 2024, 58(10): 24–26.
- [20] 刘璐, 聂海洋. 吉林省国家地理标志产品的保护发展现状及对策分析[J]. 科技创新导报, 2018, 15(28): 152–153.
- [21] 徐文. “山里红”永远红——抚松县山里红剧团成长履痕[J]. 参花(下), 2019(7): 62–65.