《外来水生入侵植物凤眼蓝监测技术规范》

编制说明

《外来水生入侵植物凤眼蓝监测技术规范》标准编制组

2025 年 11 月

一、项目简况

（一）标准名称

外来水生入侵植物凤眼蓝监测技术规范

（二）任务来源

本标准是经海南省市场监督管理局批准立项，列入 2024 年度第四批地方标准制修订项目计划，标准计划编号：2024-Z049。

（三）起草单位

海南省农业生态与资源保护总站

（四）单位地址

海南省海口市琼山区兴丹路 16 号海南省现代农业大楼内

（五）参与单位

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

（六）主要起草人

表 1 主要起草人及任务分工

序号	单位	姓名	职务	职称	任务分工	联系方式
1	海南省农业生态与资源保护总站	黄　锋	无	高级农艺师	负责标准总体框架、主要内容的确定，统筹指导。	18976338275
2	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	王　旭	无	副研究员	负责标准总体框架、主要内容的确定。	18500852131
3	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	徐大伟	无	副研究员	负责项目的协调管理工作，参与标准的研究编制，负责标准的应用测试。	18600957658
4	海南省农业生态与资源保护总站	郭涛	站长	高级农艺师	负责项目的协调管理工作，标准编制的质量控制，核心指标研究等工作。	18876186193
5	海南省农业生态与资源保护总站	蔡汇丰	副站长	高级农艺师	负责项目的协调管理工作，参与标准的研	13016291058

					究编制。	
6	三亚学院	李淑贞	无	讲师	标准研究编制，技术验证分析、专家意见处理等。	17853516810
7	海南省农业生态与资源保护总站	翁小倩	副科长	助理农艺师	技术验证分析、专家意见处理等	18889589565
8	海南省农业生态与资源保护总站	倪斌	无	高级农艺师	标准编制，技术验证等	18976751275
9	海南省农业生态与资源保护总站	裴霄蕾	无	助理农艺师	数据采集与资料整理，技术验证等。	15700985185
10	海南省农业生态与资源保护总站	王靖	无	助理农艺师	数据采集与资料整理，技术验证等。	18608978631

二、编制情况

（一）制定标准的必要性和意义及背景

外来入侵物种对生态系统稳定、经济发展和社会安全造成严重危害，已成为全球共同关注的生态安全问题。据统计，全球每年因外来物种入侵造成的经济损失高达约 1.4 万亿美元，我国每年因此造成的直接经济损失约为 2000 亿元。凤眼蓝（*Eichhornia crassipes*）是早期传入我国的典型恶性入侵水生植物，原产于南美洲，属多年生漂浮性杂草。在环境条件适宜时，凤眼蓝可迅速扩繁，破坏水体生态平衡，导致生物多样性下降，对区域生态安全构成严重威胁。同时，其大面积聚集可阻塞河道、影响航运与灌溉，造成水体溶氧下降、水质恶化，并为病原微生物滋生提供条件，进而威胁人畜健康。

20 世纪 60 年代，凤眼蓝作为饲料植物被引入海南。由于海南地区气候湿热、水资源丰富，加之管理措施不足，该物种迅速扩散并形成大面积分布，对农业生产、水利设施及生态环境造成显著影响。传统凤眼蓝监测主要依赖人工地面调查，虽然精度较高，但存在耗时长、成本高、覆盖范围有限等问题，难以满足当前大范围、高精度、高时效性的监测需求。随着遥感技术的快速发展，特别是高分辨率传感器和无人机影像的广泛应用，利用遥感手段开展外来入侵物种监测已成为重要技术方向。遥感监测具有覆盖范围广、监测效率高、空间分辨率和时间分辨率可调、经济成本低等优势，能够实现凤眼蓝等外来物种的动态、连续、精确监测。

《中华人民共和国生物安全法》明确提出要防范外来物种入侵，建立生物安

全风险监测预警制度；《外来入侵物种管理办法》要求建立全国外来入侵物种监测网络和防控体系。在此背景下，制定凤眼蓝遥感监测技术规范标准，对规范数据获取、处理与分析流程，提升监测的科学性、准确性和可比性，构建外来入侵物种监测与防控的技术支撑体系，具有重要的现实意义和应用价值。

（三）编制过程简介

1、成立标准编制小组

2024年11月19日，收到《海南省市场监督管理局关于下达海南省 2024年第四批地方标准制修订项目计划的通知》后，召开了《外来水生入侵植物凤眼蓝监测技术规范》标准编制启动会，海南省农业生态与资源保护总站、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所有关专家参加了会议，研讨确定标准的整体框架及主体内容，对标准的关键性或存在争议性的内容进行了初步探讨。会议成立了标准编制小组，制定标准草案的撰写工作方案，明确了任务分工。，成员有黄锋、王旭、徐大伟、郭涛、蔡汇丰、李淑贞、翁小倩、倪斌、吴宜倩、裴霄蕾、王靖。

2、调研阶段

编制小组成立后，拜访了中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，听取了关于水葫芦监测思路及标准制定建议；赴海南和泽农业有限公司、定安县农业科技发展中心、海口市农技术推广中心，调研水葫芦监测与防控技术需求情况，赴海口市南洋水库、临高县道谈电站、儋州市天角潭水库水葫芦的危害情况、生物学特征及监测防控等方面情况。

调研后，标准编制小组完善了标准编制方案以及任务分工，标准编制组查阅、收集、整理大量文献资料后，研讨确定标准整体框架及主体内容，对标准的关键性或存在争议性的内容进行了初步探讨。

3、起草阶段

2025 年 6 月，由海南省农业生态与资源保护总站牵头，联合中国农业科学院农业资源与农业区划研究所专家组成标准起草小组，梳理并分析了关于凤眼蓝遥感监测技术的研究与应用文献，调研查阅了国内外发布的相关技术标准，结合已开展的凤眼蓝遥感监测技术研究工作，从遥感数据源、数据处理、图像解译等技术方法和流程，启动标准稿草案的撰写工作，并统一安排和部署，明确了参加人员的任务和分工。在形成标准稿草案的过程中，积极开展内部交流和讨论，咨

询聘请业内专家进行指导；并结合地面调查数据、文献资料，对标准的技术流程进行了数据和方法验证，进一步完善和明确技术标准内容。

4、征求意见情况

标准编制小组**完成海南省地方标准《外来水生入侵植物凤眼蓝监测技术规范（征求意见稿）》后，于2025年10月14日，由海南省农业生态与资源保护总站牵头负责通过会议征求意见，征求意见会共收到7名专家38条意见，最终38条采纳，0条未采纳。**

（三）制定标准的原则和依据，与现行法律法规、标准的关系

1、编制原则

本标准基于凤眼蓝监测需求，在遵循规范性、科学性、一致性、操作性等原则基础上，充分利用遥感技术优势开展凤眼蓝遥感监测。

1. 规范性原则

本标准按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》、DB46/T 74-2021《地方标准制修订工作规范》的要求进行编写，保证标准形式和内容的规范性。

2. 科学性原则

本标准借鉴国内外现有研究成果，以多源遥感影像为数据源，结合凤眼蓝生物学特征、影像特征、本底信息及专家经验，构建凤眼蓝遥感监测技术体系，并结合地面调查数据，对识别结果进行精度验证。在科学研究基础上，做到方法可行，精度有保障，为本标准编制提供数据、方法、技术支撑。

3. 一致性原则

本标准在实地调研、文献分析和广泛征求意见基础上，以外来物种管理、监测等相关方面的法律法规、政策文件为依据，并与相关的国家、农业领域等标准规范保持一致性与兼容性，避免冲突、重复。

4. 操作性原则

在制定本项标准时，以凤眼蓝监测精度为评价标准，并充分考虑遥感监测技术的可操作性，监测技术流程详细、合理，且相关条款尽可能具体、准确，做到有据可依。

2、制定标准的依据

本标准的制定依据国家有关法律、法规和国家标准管理办法，严格按照《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》（GB/T 1.1）和《标准化工作导则 第 2 部分：标准中规范性技术要素内容的确定方法》（GB/T 1.2）进行编写。

在广泛调研国内外相关标准及技术文献的基础上，结合我省外来入侵水生植物监测的实际需求和技术条件，参考现有国家及行业标准指标，并以实地调查、遥感监测和验证数据为支撑，综合专家论证意见形成本标准。本标准兼顾科学性与可操作性，具有较强的技术指导意义和推广应用价值。

3、与现行法律法规、标准的关系

本标准的制定符合《中华人民共和国标准化法》及农业农村部、生态环境部等部门关于生态环境保护和外来入侵物种防控的有关政策要求，贯彻落实《国家标准化发展纲要》和海南省人民政府办公厅《关于贯彻落实〈国家标准化发展纲要〉的实施意见》（琼府办〔2022〕13 号）文件精神。标准编制结合《海南省生态保护红线管理规定》和《海南省生态环境保护“十四五”规划》，旨在通过建立统一的凤眼蓝遥感监测技术规范，提高外来入侵水生植物监测的科学化、规范化和信息化水平，支撑生态环境管理与农业可持续发展。

本标准严格按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》及《DB46/T 74—2021 地方标准制修订工作规范》进行编写。本标准与现行法律法规、强制性标准协调一致，不存在冲突，具有较好的衔接性和可操作性。

（四）主要条款的说明，主要技术指标、参数、试验验证的论述

1、主要条款说明

1. 范围

本标准规定了利用遥感技术对凤眼蓝进行监测的技术要求和方法，适用于凤眼蓝的大面积精准监测。该标准内容涵盖了遥感数据的获取、处理、分析，以及监测成果的编制流程，确保了从数据采集到最终监测报告生成的完整性和规范性。通过本标准的应用，可以有效提升对凤眼蓝遥感监测工作的科学性和可操作性。

2. 规范性引用情况

在本标准的具体编制过程中，主要参考并引用了以下相关的国家标准和行业

标准，以确保本标准的技术规范具有坚实的基础和科学依据。具体引用文件如下：

《GB/T 20257.1—2017 国家基本比例尺地图图式》：本标准规定了国家基本比例尺地图的符号、注记、比例尺等方面的技术要求，确保地图制图结果具有一致性和科学性，适用于各种遥感应用领域中的地图制作。

《NY/T 3526—2019 农情监测遥感数据预处理技术规范》：本标准对农情监测中的遥感数据预处理过程提出了详细要求，涵盖数据的辐射校正、大气校正等技术，确保遥感数据的准确性与一致性，支持农业遥感监测工作的顺利开展。

《NY/T 4151—2022 农业遥感监测无人机影像预处理技术规范》：该标准明确了农业遥感监测中无人机影像数据的预处理技术规范，涵盖影像校正、几何校正等处理流程，确保无人机影像数据在农业领域应用中的质量和可靠性。

《NY/T 4314—2023 设施农业用地遥感监测技术规范》：本标准规定了设施农业用地遥感监测的技术方法与流程，涵盖遥感影像数据的获取、处理、分析等技术要求，为设施农业的遥感监测提供了统一的技术依据。

《NY/T 4150—2022 农业遥感监测专题制图技术规范》：该标准对农业遥感监测专题图的制作流程、制图技术要求进行了明确规定，确保监测成果的科学性、精确性和可视化表达的标准化，支持农业遥感数据的有效利用。

以上标准的引用，为本标准的编制提供了全面、科学的技术支持。

3. 术语和定义

本文件在凤眼蓝遥感监测过程中采用的主要术语包括遥感、空间分辨率、植被指数等，相关定义引用自《摄影测量与遥感术语》（GB/T 14950）和《农业遥感监测无人机影像预处理技术规范》（NY/T 4150），以确保术语使用的科学性和规范性。本章节所列术语为凤眼蓝遥感监测技术提供统一的技术语言和理解基础。

4. 基本要求

从成果制作需求和要求角度，依据《国家基本比例尺地形图分幅和编号》（GB/T 13989）、《国家基本比例尺地图图式》（GB/T 20257.1）、《农业遥感监测专题制图技术规范》（NY/T 4150-2022）、《设施农业用地遥感监测技术规范》（NY/T 4314）等标准，对凤眼蓝遥感监测的空间基准、成果的分幅和编号和监测时间做了基本要求。

5. 监测流程

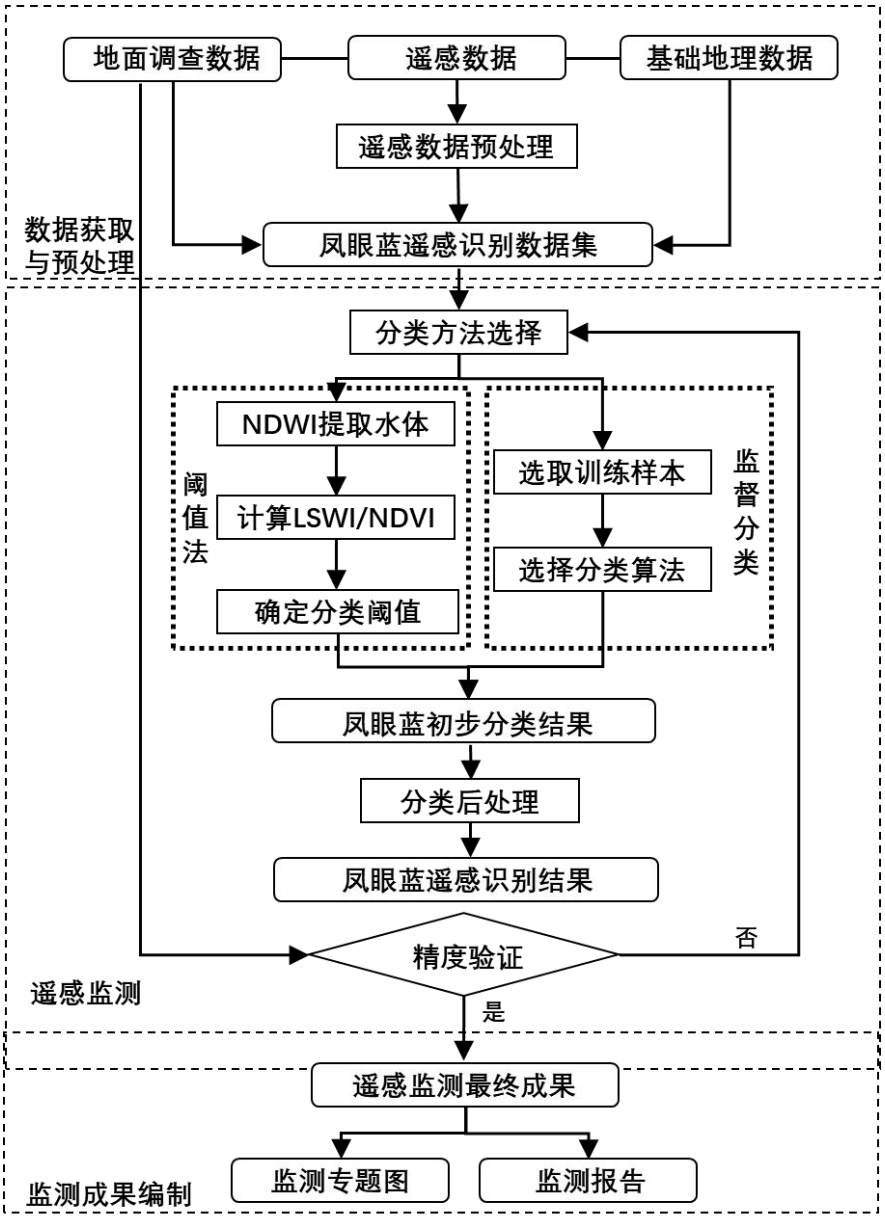

图 1.凤眼蓝遥感监测流程

6. 数据获取与处理流程

（1）地面调查数据

地面调查是凤眼蓝遥感监测精度验证的重要基础。调查人员通过定位设备记录点位编号、时间、地物类型和地理坐标，并采集凤眼蓝、水体及其他植被的照片数据。地面样点信息是遥感分类模型训练与验证的唯一实测支撑，能有效减少遥感反演中的分类歧义。同时，要求地面调查时间与影像成像时间同步，以保证数据的时相一致性，避免由于时间偏差导致的物候变化影响。

（2）基础地理数据

基础地理数据来源于自然资源和规划部门，主要包括行政区划、河流、水库、湖泊等矢量数据。这些数据作为遥感监测区划分和制图的空间基底，保证监测成果具备空间对齐性。通过在监测流程中引入权威地理数据，可以有效减少影像配准误差，确保不同监测期的成果可比性。

（3）遥感数据及预处理

① 遥感数据要求

凤眼蓝遥感监测采用多源光学影像（Sentinel-2、Landsat 8/9）与无人机影像。

波段选择涵盖蓝、绿、红、近红外（NIR）和短波红外（SWIR），以满足凤眼蓝光谱特征提取的需求。实验表明，凤眼蓝在近红外波段反射率较高，而在短波红外波段吸收较强，是其与水体及其他植被区分的主要依据。

空间分辨率优于 30 m，可满足凤眼蓝在中小型水体上的识别精度。

时相要求设定为凤眼蓝生长期（海南省 1—12 月），以保证不同影像具有可对比的植被状态。

对影像云量控制和噪声剔除的要求（无云雾覆盖、无信息丢失）源于对比试验：影像中云量超过 10%时，分类精度下降平均约 7%。

② 遥感数据预处理

预处理包括辐射定标、几何校正、大气校正、镶嵌和裁剪等步骤。本标准引用 NY/T 3526 的技术流程，确保影像在统一的空间参考（CGCS2000 坐标系、1985 国家高程基准）下可比。不同数据源（如 Sentinel-2 和 Landsat 8/9）存在成像几何差异，未经统一校正将导致像元错位和光谱不一致，从而影响分类准确性。经过预处理后，多源影像间位置偏差控制在 0.5 像元以内。

7. 遥感监测

本项标准借鉴和参考《设施农业用地遥感监测技术规范》（NY/T 4314-2023）、《农业遥感调查通用技术 农作物倒伏监测技术规范》（NY/T 4379-2023）、《农业遥感调查通用技术 农作物雹灾监测技术规范》（NY/T 4377-2023）、《农业遥感调查通用技术 农作物干旱监测技术规范》（NY/T 4378-2023）、《农业遥感监测无人机影像预处理技术规范》（NY/T 4151-2022）等标准，按照凤眼蓝的光谱、时相、几何等特征是遥感识别和监测的理论基础这一原则，按照凤眼蓝遥

感监测流程，从类别定义、样本选择、特征选择、分类方法、遥感分类、精度评价等方面可完成凤眼蓝遥感监测。

（1）类别定义

凤眼蓝在光谱上具有明显特征，其近红外反射率高于水体，短波红外反射率低于本地挺水植被，叶片含水量高，表现为典型的浮水植物光谱特征。因此，将监测类别划分为凤眼蓝、水体和其他水生植物，能有效区分主要地物类型，减少混合像元的误判。该分类体系通过实地调查及无人机验证，能准确反映监测区主要地物组成。

（2）样本选择

样本选择是根据定义的类别确定样本分布与数量，需要对每一类别选取一定数目的样本，如地面调查样本数据不够，则根据不同类别的影像特征目视选择，样本在空间上宜均匀分布、数量上应满足统计学的基本需求。样本数据包括训练样本数据和验证样本数据，训练样本是用于凤眼蓝遥感分类模型构建，验证样本是用于凤眼蓝遥感分类结果评价。

样本选择直接影响分类模型的稳定性和精度。通过地面实测共获取训练样本，每类样本在空间上均匀分布，并确保光谱特征差异明显、无阴影或混合像元。样本数量设定依据 NY/T 4314—2023 要求（训练样本不少于 30 个像元，验证样本不少于训练样本 30%），并经对比实验验证：样本数量低于 30 个时，分类总体精度下降约 4%－6%。因此本标准规定了最小样本数量及均匀分布原则。

（3）特征选择

特征集合是不同地物类别分类的指标，是判别的依据，在这大量的特征中存在冗余或者不相关的特性，特征选择就是从一组特征集合中去除冗余或不相关的特征，从而实现降维的目的，特征选择影响着分类效率及精度。凤眼蓝遥感分类特征选择是在遥感数据、分类类别、样本数据的基础上，以光谱特征、时相特征为主，可结合几何特征、纹理特征等，在特征集合基础上进行特征选择，获得最优特征组合。光谱特征如反射率的平均值，标准差，其描述的是不同波段像元值的差异与离散程度。时相特征是指在某一时间段内，不同对象所表现出的特征或状态。纹理特征是描述像元的空间变化特性，目前大部分的纹理特征是基于灰度共生矩阵，描述的是像元灰度呈现的特征与规律。几何特征反映的是对象形状信

息，如面积、长度、宽度、长宽比等。

（4）分类方法

基于遥感数据、分类特征和样本数据，选择监督分类、目视判读等分类方法。监督分类方法推荐使用决策树、支持向量机（SVM）、随机森林（RF）、人工神经网络等算法。决策树分类是利用训练样本学习构建一个树形结构，其中每个内部节点表示一个属性上的测试，每个分支代表一个测试输出，每个叶节点代表一种类别。支持向量机的基本思想是建立最优分类超平面作为决策面，使得两个类的边缘间隔最大化，在解决非线性、小样本、过学习及高维模式识别中有较多优势。随机森林是一种基于分类与回归决策树的集成学习算法，随机森林数据处理速度较快，准确度较高，对缺失值具有一定的容忍度，需要的人工干扰较少，相对于单课决策树，具有更好的稳定性及泛化能力。神经网络是模拟人脑神经系统的结构和功能建立的一种数据分析处理系统，其具备很强的学习能力，能够适应复杂的数据关系，能够模拟人脑的某些功能，具备“智能”的特点。

（5）遥感分类

基于预处理的遥感影像、训练样本数据，以及选择的分类特征与分类方法，利用影像处理软件实现遥感影像的初步分类，影像处理软件可采用 ENVI、ERDAS 等。在初步分类结果的基础上，结合地面调查数据、专家经验知识，对错分、漏分结果采用目视判读方式进行修改，获得最终的凤眼蓝遥感监测结果。对无法明确判断的类别进行标识，并再次进行地面调查确认，再重复以上步骤。

（6）精度验证

基于验证样本数据采用混淆矩阵对凤眼蓝遥感分类结果进行精度验证，混淆矩阵是对图像解译结果精度评价的重要方法，也是一种标准格式，混淆矩阵中不同指数显示遥感图像分类精度，依据 NY/T 4314—2023 的规定，以总体精度作为评价指标，若验证结果未满足精度要求，则需迭代优化特征选择与分类算法，直至精度达标。

总体精度（Overall Accuracy）：

$$P_c=\frac{N^*}{N}\times 100\%$$

式中：

Pc ——总体精度，单位为百分号（%）；

N ——总样本数；

N* ——分类正确样本数。

8. 监测成果编制

依据《国家基本比例尺地形图分幅和编号》（GB/T 13989）、《国家基本比例尺地图图式》（GB/T 20257.1）、《农业遥感监测专题制图技术规范》（NY/T 4150-2022）、《设施农业用地遥感监测技术规范》（NY/T 4314）等标准规定的内容与技术要求，凤眼蓝遥感监测成果编制的内容包括遥感监测专题图的制作、监测报告的撰写等。专题图的符号、注记、制图要素等应符合国家标准，确保监测结果的规范性和可读性。监测报告需包括监测技术的说明、数据处理结果的分析以及针对监测区域的结论和建议，为管理决策提供依据，确保成果的完整性与实用性。

2、主要技术指标、参数、试验验证的论述

2.1 遥感指数阈值的确定与验证

2.1.1 阈值设定依据与试验分析

凤眼蓝作为一种浮水植物，其光谱特征同时具备植被的“红边效应”和水体的“强吸收特性”，表现为在近红外波段反射率高于水体但低于陆地植被，在短波红外波段由于高含水量而呈现强吸收。为精确量化这一特征，本标准选取归一化差值水体指数（NDWI）、陆地地表水指数（LSWI） 和归一化植被指数（NDVI）构建识别体系。

阈值确定的试验基础为：选取海南省南木水库作为典型试验区，获取与Sentinel-2 卫星影像时相相近的无人机高分辨率遥感数据。通过目视解译与实地调查相结合的方式，共采集有效样本点 540 个，类别涵盖凤眼蓝、开阔水体及其他本地水生植物。通过对样本点对应光谱指数的统计分析，得到各地物类型的指数统计特征。

表 1. 各地物类型光谱指数统计特征值

地物类型	NDWI 均值	LSWI 均值	NDVI 均值	LSWI 标准差	NDVI 标准差
水体	0.58	0.18	0.05	0.07	0.05
凤眼蓝	0.42	0.39	0.30	0.05	0.06
其他水生植被	0.36	0.30	0.35	0.06	0.07

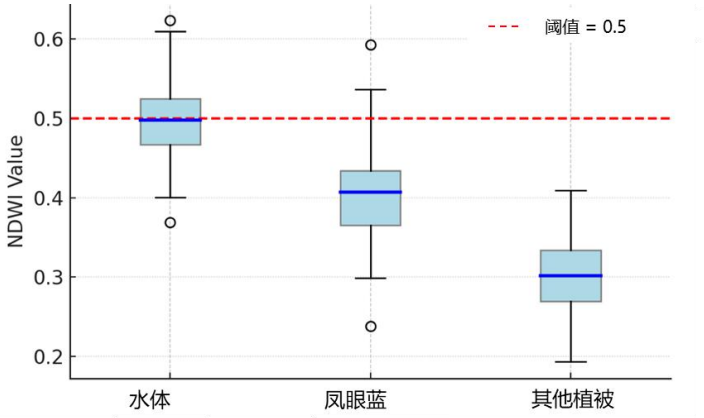

图 2. NDWI 各类别分布及阈值示意图

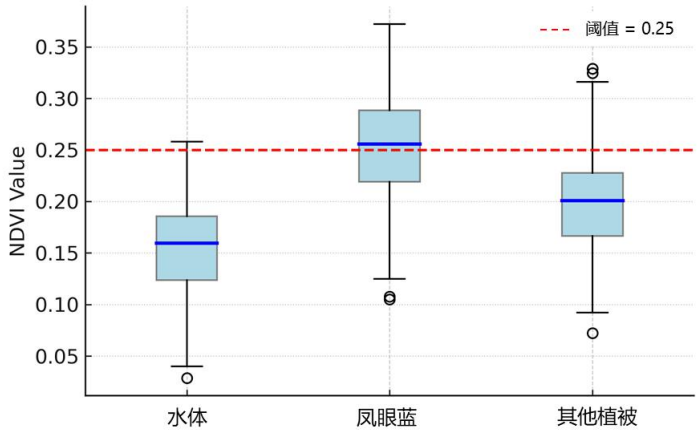

图 3. NDVI 各类别分布及阈值示意图

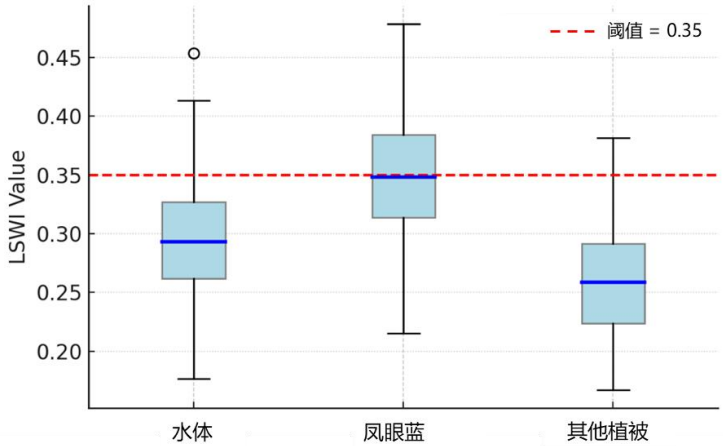

图 4. LSWI 各类别分布及阈值示意图

为直观展示各类别在不同指数上的分布差异，绘制了 NDWI、NDVI 与 LSWI 的类别分布及阈值示意图（图 2、图 3、图 4）。结合地面实测样点统计特征与箱线图分析发现，凤眼蓝在 LSWI 指数上与水体及其他植被具有较好的可分性，

当 LSWI > 0.35 时，绝大多数像元对应凤眼蓝覆盖区；NDVI 在区分植被与非植被方面作用显著，其分界点约为 0.2。

基于上述分析，本标准确定采用“先水体，后植被，再甄别”的层级分类策略。具体阈值参数设定如下：

- 凤眼蓝判识阈值：LSWI > 0.35；
- 辅助阈值：NDVI > 0.25；
- 水体提取阈值：NDWI > 0.50。

2.1.2 验证方法与结果

为验证上述阈值体系的可行性与分类精度，选取海南省凤眼蓝常年暴发的典型区域——南木水库作为验证区，开展阈值法分类试验。首先基于 NDWI > 0.50 提取水体范围（图 5），继而在此范围内综合应用 NDVI 与 LSWI 阈值识别凤眼蓝，最终分类结果如图 6 所示。

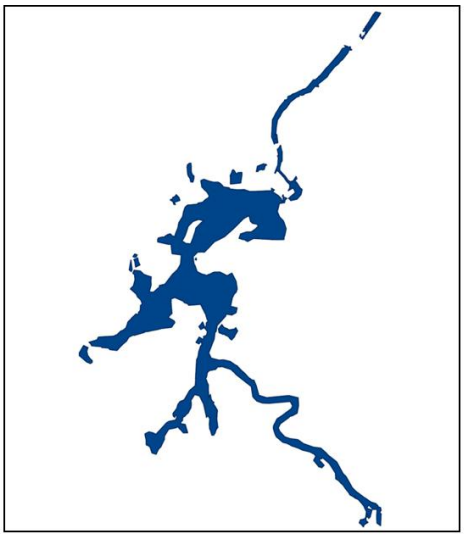

图 5. 基于 NDWI 的南木水库水体提取结果

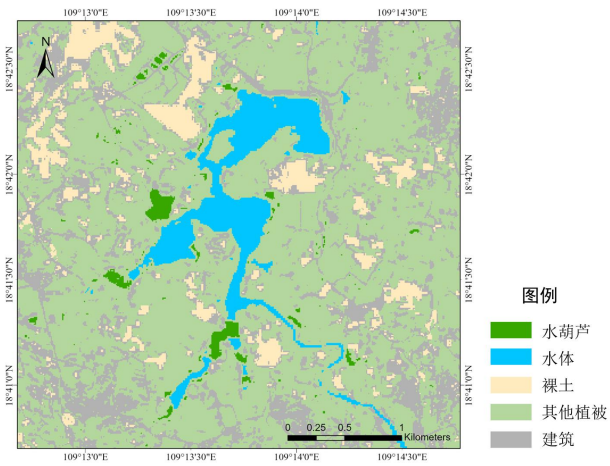

图 6. 基于阈值法的南木水库凤眼蓝分类图

精度验证结果表明（表 2），基于统计分析所确定的阈值法分类效果良好，总体精度达到 92.5%，Kappa 系数为 0.87，完全满足农业遥感监测相关规范中对分类精度（通常要求≥85%）的技术要求，证实了本标准所推荐阈值参数的有效性与实用性。

表 2. 阈值法精度验证结果

测试区	样点总数	分类正确点数	总体精度 (%)	Kappa 系数
南木水库	240	222	92.5	0.87

2.2 监督分类方法的参数与验证

2.2.1 参数设定

通过从遥感影像中提取地物的光谱与纹理特征以构建特征空间，并利用已知类别标签的训练样本对分类模型进行训练，从而实现对地表覆盖类型的自动识别与分类。该方法能够综合运用多种特征信息，使得模型对复杂地物的适应性更强

在分类算法的选择上，本研究综合考量了算法特性与任务需求，最终确定应用支持向量机、随机森林以及卷积神经网络三种成熟且各具优势的机器学习算法。

支持向量机（SVM）是一种经典的监督学习算法，特别适用于解决小样本、高维度的非线性分类问题，其通过寻找最优超平面实现良好的泛化能力。随机森林（RF）作为一种集成学习算法，由多棵决策树共同构成，不仅能够通过袋外估计评估模型性能，还能输出特征的重要性排序，且其固有的随机性使其具备较强的抗过拟合能力。卷积神经网络（CNN）则是一种深度学习方法，通过其特有的卷积和池化操作能够自动从影像中提取多层次的空间特征，尤其适合处理具有明显空间相关性的遥感影像数据，展现出卓越的分类性能。

在特征变量的选取方面，为全面、准确地刻画地物属性，本研究构建了一个由 Sentinel-2 卫星影像核心波段与衍生指数组成的综合特征集。所采用的特征包括 B3（绿）、B4（红）、B8（近红外）三个核心光谱波段，以及 NDVI（归一化植被指数）、LSWI（陆地表面水指数）和 NDWI（归一化水体指数）三个遥感指数，共计六个特征变量，旨在从不同维度增强模型对目标地物，特别是凤眼蓝的识别能力。

样本的选择与数据集划分是监督分类的关键环节。本研究通过在多个典型水域进行系统采样，共获取有效样本点 2000 个，样本类别涵盖凤眼蓝、水体、裸

地、其他植被及建筑五类典型地物。样本的具体分布情况详见样本选择表。所有样本点均通过野外实地勘察与高分辨率遥感影像交叉验证的方式确定，保证了样本的可靠性。随后，将所有样本按照 7:3 的比例随机划分为训练集与验证集，即训练样本 1400 个，验证样本 600 个，此举旨在确保模型获得充分学习的同时，保留足够独立的样本以客观评估其泛化性能。

表 3. 监督分类法中各类别的样本选择表

真实类别 \ 预测类别	凤眼蓝	水体	裸土	其他植被	建筑	合计
凤眼蓝	367	13	7	10	3	400
水体	10	383	3	2	2	400
裸土	7	5	383	3	2	400
其他植被	5	3	3	387	2	400
建筑	3	3	2	3	389	400
合计	392	407	398	405	398	2000

注：本表以随机森林算法在验证集上的混淆矩阵为例进行展示，主对角线加粗数字为正确分类的像元数

2.2.2 监督分类验证结果

为验证上述方法的有效性，本研究选取海南省珠溪河流域作为实验区，分别应用支持向量机、随机森林和卷积神经网络三种分类方法进行了凤眼蓝的识别制图，其分类结果可视化展示如图 6 所示。从空间分布上看，三种方法均能较好地勾勒出凤眼蓝的主要分布范围，但在斑块完整性、边界光滑度以及细小图斑的识别上存在差异。

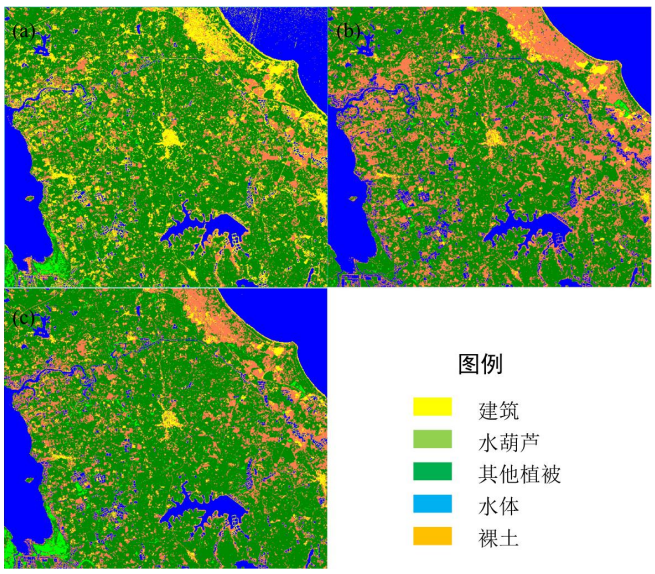

图 7. 基于监督分类的珠溪河流域凤眼蓝分类图（a. SVM 法，b. 随机森林法，c. 卷积神经网络法）

为定量评价分类模型的性能，本研究基于统一的验证集样本，系统计算了总体分类精度与 Kappa 系数。由精度评价结果可知，支持向量机、随机森林与卷积神经网络三种监督分类方法在本研究任务中均取得了良好的分类效果，其总体分类精度均接近或超过 90%，Kappa 系数也均处于较高水平，表明不同方法在珠溪河流域地物分类任务中均具备较好的适用性与稳定性。

这一结果证明，在当前所采用的特征组合与样本体系支持下，几种主流的监督分类方法均能有效应用于区域尺度的凤眼蓝及伴生地物信息提取，为实际业务中根据数据基础、算力条件与精度需求灵活选择分类算法提供了可靠的实践依据。

表 4. 凤眼蓝精度验证表

分类方法	总体精度（%）	Kappa 系数
支持向量机（SVM）	89.2	0.865
随机森林（RF）	93.8	0.922
卷积神经网络（CNN）	94.5	0.931

（五）标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明

无

（六）采用国际标准和国外先进标准的程度或与国内同类标准水平的对比情况

目前国内外尚未有专门的外来入侵水生植物遥感监测国际或者国外标准，本标准不涉及国际标准和国外先进标准的引用和采用。

（七）重大分歧意见的处理过程和依据

无

（八）贯彻标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法、实施日期等）

标准发布后主要开展标准宣贯和相关技术推广应用，主要方案如下：

1、标准宣贯

与海南省农业农村厅、海南省水务厅、地方政府、治理企业联合，在海南水葫芦主要集中发生区域海口、文昌、琼海、万宁和屯昌等市县开展标准宣贯，通过课件培训、实地讲解等多种方式，使管理部门、推广单位、企业和农户了解标准技术和效益优势，推动标准落地实施。

2、标准技术推广应用

采用培训指导与示范推广相结合方式，以海口、文昌、琼海、万宁和屯昌等外来入侵物种监测与防控管理单位为核心，示范推广标准技术，以点带面，促进标准的落实和应用。

3、建立技术骨干队伍并做好培训

建立以本标准主编单位为主体的技术服务队伍，及时解决标准使用过程中出现的各类问题和困难。

4、标准实施信息反馈

为了全面掌握标准的执行情况，鼓励使用本标准的单位和个人将本标准的执行情况以及所发现的问题反馈到主管部门或本标准的主编单位，以便及时发现标准执行中的问题，不断修改完善，提升标准水平，提高标准的科学性、合理性、协调性和可操作性。

（九）预期效果

该技术标准是借助先进遥感技术开展凤眼蓝监测，遥感数据客观、真实、可靠性强，空间尺度大，涵盖区域广阔，不但大幅节约地面人力核查成本，而且时效性强、有据可查，为及时分析和评估凤眼蓝发生动态、扩散趋势预测提供精确的数据支撑，为贯彻实施外来入侵物种“源头治理”、“治早、治小、治了”等防控决策提供精准信息支撑，为各级外来入侵物种管理部门提供科学决策依据，有效提高外来物种防控的精准性和时效性，大幅降低防控治理成本，有效降低对生态系统健康和物种多样性的危害，具有良好的生态效益和经济效益。

另外，遥感技术进一步与其他技术融合应用，如与 GIS、人工智能、大数据等技术的结合，推动了凤眼蓝监测与防控技术的变革和创新。这些新技术的应用，不仅提高了凤眼蓝监测的精度和效率，还为监测防控工作提供了更多样化、更智能化的手段和方法。遥感技术在凤眼蓝监测与防控领域的应用，将催生一批新的技术产品和服务，如遥感监测设备、数据处理软件、监测预警系统等。这些新技术和产品的出现，不仅提高了监测与防控工作的效率和质量，为凤眼蓝监测防控提供更加精准、高效的管理和服务，还为相关产业的发展提供了新的增长点和动力。

综上所述，遥感技术在凤眼蓝监测与防控领域的应用，不仅推动了遥感技术

本身的发展，还促进了凤眼蓝监测防控技术领域的创新和升级，展现出了巨大的潜力和价值。

（十）其他应予说明的事项

无

参考文献

[1] GB/T 20257.1—2017 国家基本比例尺地图图式

[2] NY/T 3527-2019 农作物种植面积遥感监测规范

[3] NY/T 4378-2023 农业遥感调查通用技术 农作物干旱监测技术规范

[4] NY/T 4379-2023 农业遥感调查通用技术 农作物倒伏监测技术规范

[5] NY/T 4377-2023 农业遥感调查通用技术 农作物雹灾监测技术规范

[6] NY/T 4150—2022 农业遥感监测专题制图技术规范

[7] NY/T 3526—2019 农情监测遥感数据预处理技术规范

[8] DB 3705/T 44—2024 芦苇遥感监测技术规范

[9] DB 46/T 74-2021 地方标准制修订工作规范