

附件 3

《全国生态状况调查评估技术规范—— 灌丛生态系统野外观测（征求意见稿）》

编制说明

标准编制组

二〇二六年八月

目 录

1 项目背景	1
1.1 任务来源	1
1.2 主要工作过程	1
2 标准制订的必要性分析	2
2.1 制订标准的法律法规依据	2
2.2 相关生态环境标准和环境管理工作的需要	2
2.3 灌丛观测相关行业的需要	3
2.4 国家现有相关标准存在的主要问题	3
3 国内外相关标准情况的研究	4
3.1 国外相关标准情况的研究	4
3.2 国内相关标准情况的研究	8
4 标准制订的基本原则和技术路线	15
4.1 标准制订的基本原则	15
4.2 标准制订的技术路线	15
5 标准主要技术内容	16
5.1 标准适用范围	16
5.2 标准结构框架	16
5.3 规范性引用文件	16
5.4 术语和定义	17
5.5 标准主要技术内容确定的依据	17
6 与国内外同类标准水平对比和分析	33
7 标准实施建议	33
8 参考文献	33

1 项目背景

1.1 任务来源

本项目于 2022 年 5 月被列入国家生态环境标准项目，于 2022 年 5 月 20 日通过《关于开展 2022 年度第二批国家生态环境标准项目实施工作的通知》（环办法规函〔2022〕205 号）下达，项目名称为“全国生态状况调查评估技术规范——灌丛生态系统野外观测”，项目统一编号为 2022-26。项目由生态环境部卫星环境应用中心牵头，西北农林科技大学、新疆生产建设兵团环境保护科学研究所、四川省生态环境科学研究院、江西省生态环境监测中心为协作单位。

1.2 主要工作过程

技术规范编制组成员通过调研并系统分析了生态系统野外观测与评估等相关标准，结合国内外相关研究成果，在前期项目研究、文献资料分析和基础调研的基础上，召开了研讨会，讨论并确定了开展技术规范编制工作的原则、程序、步骤和方法，形成了技术规范初稿。

2022 年 1 月-2022 年 4 月，开展需求调研，明确灌丛生态系统野外观测所涉及的编制目标、评估指标、参数获取方法等。

2022 年 4 月-2022 年 7 月，对国内外灌丛生态系统野外观测工作，以及我国现有相关的技术标准与规范进行调研；完善并签订项目任务书。

2022 年 8 月-2022 年 12 月，根据调研情况，形成初步的标准编写思路，并召开专家咨询会，向相关专家咨询标准编制工作的总体思路。经过多轮内部讨论，编制组围绕编写思路的内容和技术方法进行讨论，做了进一步的修改完善。

2023 年 1 月-2023 年 5 月，编制组召开内部讨论会，围绕技术规范内容、技术方法等开展讨论，从技术规范的角度对规范内容进行完善和格式统一，确定了技术规范编制整体框架。

2023 年 6 月-2024 年 1 月，结合专家意见以及前期调研情况，撰写形成技术规范项目开题论证报告以及标准草案。

2024 年 2 月-2024 年 9 月，编制组组织召开专家研讨会，主要邀请高校、科研单位和相关行业的技术单位从事生态状况评估的专家开展咨询与论证，从技术规范编制的流程、形式，以及与行业已有标准的衔接等角度，对技术规范的定位、内容等进行了进一步明确。

2024 年 10 月-2025 年 8 月，提交《全国生态状况调查评估技术规范——灌丛生态系统野外观测》草案和开题论证报告至标准所。根据要求，对标准制订的必要性分析、国内外相关标准研究等内容进一步修改完善。

2025 年 9 月，自然生态保护司在卫星中心组织召开标准开题论证会，标准所技术负责同志参会，专家组对标准草案存在的问题提出意见，并对下一步改进给予专题指导。

2025 年 10 月-11 月，编制组根据开题论证会的专家意见，对规范体系和内容进一步修改完善，形成标准征求意见稿和编制说明。

2025 年 12 月，自然生态保护司在卫星中心组织召开标准征求意见稿技术审查会，标准所技术负责同志参会，专家组对标准文本和编制说明存在的问题提出意见，并对下一步改进给予专题指导。编制组根据标准征求意见稿技术审查会的专家意见，对规范体系和内容进一

步修改完善，形成目前的标准征求意见稿文本和编制说明。

2 标准制订的必要性分析

2.1 制订标准的法律法规依据

制定灌丛生态系统野外观测规范需要充分的法律法规基础，确保其科学性和权威性。

从国际公约来说，制定灌丛生态系统野外观测规范响应了国际公约的要求。《生物多样性公约》（CBD）作为全球生物多样性保护的纲领性文件，要求缔约国制定国家战略、计划或方案保护生物多样性，并将保护措施纳入各部门计划。灌丛生态系统作为重要的生物多样性热点区域，其观测规范的制定直接响应公约第 7 条关于“查明与监测”中关于查明对保护和持久使用生物多样性至关重要的生物多样性组成部分的要求。《联合国防治荒漠化公约》对于干旱区灌丛生态系统的观测尤为重要，公约第 10 条明确要求建立观测和评估系统，特别是针对易发生荒漠化的脆弱生态系统，这与我国干旱区灌丛保护直接相关。

从国家法律依据来看，制定灌丛生态系统野外观测规范落实了相关法律要求。《中华人民共和国生态环境法典》第六百八十八条明确规定，“国家加强土地、矿产、森林、草原、湿地、海洋、海岛、江河湖泊、雪山冰川、荒漠、野生动植物、水土保持等自然资源状况和生态状况的调查评价，为保障生态安全、合理开发和高效利用国土空间及各类自然资源提供依据”，灌丛生态系统野外观测规范的制定直接服务于这一法律要求，为生态状况评估提供技术支撑。《中华人民共和国森林法》第二十七条规定，“国家建立森林资源调查监测制度，对全国森林资源现状及变化情况进行调查、监测和评价，并定期公布”，要求对包括灌木林地在内的森林资源进行调查监测，为灌丛生态系统观测提供了直接法律依据。《中华人民共和国防沙治沙法》第十四条要求，“对全国土地沙化情况进行监测、统计和分析”，干旱区灌丛作为重要的固沙植被，其观测规范的制定有助于履行该法规定的监测义务。

生态环境部 2019 年印发的《全国生态状况定期遥感调查评估方案》（环办生态〔2019〕45 号），明确要求建立统一的生态状况调查评估技术体系，《全国生态状况调查评估技术规范——森林生态系统野外观测》（HJ 1167-2021）等 11 项调查评估技术规范正是为落实这一方案而制定。其中，灌丛作为生态状况调查评估的一类重要生态系统，应将灌丛生态系统纳入观测范围。方案要求对各类生态系统开展定期观测，为灌丛生态系统观测提供了直接的法规依据。

2.2 相关生态环境标准和环境管理工作的需要

全国生态状况调查评估是一项重要的基础国情调查，对于全方位支撑生态环境监督管理、推动优化国土空间开发布局、有针对性地实施生态保护修复工程，维护国家和区域生态安全，建设美丽中国具有重要意义。机构改革后，调查评估也是生态环境部的重要职责之一。2019 年 5 月 31 日，生态环境部办公厅印发《全国生态状况定期遥感调查评估方案》（环办生态〔2019〕45 号），明确了定期调查评估的长效工作机制，每五年开展一次全国调查评估。2000 年以来，生态环境部（原环境保护部、环境保护总局）联合中国科学院等相关部门完成了 4 次全国生态状况调查评估，分别是 2000 年全国生态环境调查、全国生态环境十年变

化（2000-2010 年）遥感调查与评估、全国生态状况变化（2010-2015 年）调查评估、全国生态状况变化（2015-2020 年）调查评估。因此，统一规范技术体系，明确任务分工，可为定期开展生态状况调查评估提供有力保障。

全国生态状况调查评估工作中，灌丛是主要的生态系统类型，灌丛生态系统野外观测是全国生态状况调查的一项关键环节。灌丛生态系统野外观测的规范化开展对整个调查评估工作具有极为重要的意义，对灌丛生态系统的野外观测指标体系、样地选择与样方设置、技术方法等进行规定，既能为前期生态系统遥感解译结果提供验证依据，又能为进一步生态状况调查评估提供地面观测数据源。研究建立灌丛生态系统野外观测的技术体系，可以及时转化提升为行业技术规范和国家技术规范，指导生态状况调查评估规范化开展，保障调查评估成果质量。灌丛生态系统野外观测主要通过对灌丛各类相关参数开展野外观测，服务于全国和区域生态状况综合评估。

2.3 灌丛观测相关行业的需要

灌丛是重要的植被类型之一，主要由丛生、没有明显主干且高度不超过 5 m 的木本高位芽植物所构成，主要分布在气候条件干燥或寒冷、森林不易生长的环境中。在森林或草地自然分布的区域，受人为或自然因素干扰，也可能形成次生灌丛。灌丛与森林、草地的关联紧密，但其特征与森林、草地各有异同。灌丛及在其中生存的野生动物、植物、微生物的有机整体构成了灌丛资源。灌丛提供多种多样的效用，是人类可利用的重要自然资源，能作为饲料、薪材、木材、药材等，从而产生可观经济价值。灌丛发达的根系、坚强的生命力，可以发挥防沙固土、涵养水源、水土保持等生态防护价值。灌丛生态系统野外观测是生态系统要素观测的重要组成部分，是在生态系统分类遥感解译基础上，从地面观测角度对生态系统特征精细刻画的必要手段，也是满足生态系统评估模型中关键生态学参数获取需求的客观依据，是全国生态状况调查的一项关键环节。

灌丛生态系统野外观测项目相关行业包括各种专业机构、科研团体和环境保护组织，如生态学、地理信息系统、野生动植物学、环境监测和管理等，旨在开展灌丛生态系统的野外观测、数据收集、研究和保护工作。利用各种技术和方法开展野外观测项目，涉及对植被覆盖、土壤质地、水文条件和动植物种群等方面的调查和监测，以研究生物多样性、群落结构、生态系统功能、气候变化和人类活动对灌丛生态系统的影响。这些工作对于改善我们对自然的认识、推动可持续发展和环境保护、为政策制定提供科学依据以及保护自然生态系统方面起着关键作用。

2.4 国家现有相关标准存在的主要问题

现行的标准规范中没有单独的灌丛生态系统相关的技术规范，关于灌木的行业标准，包括《黄土高原适生灌木种植技术规范》（SL/T 287-2014）等。在地方标准中，涉及灌木的标准有《旱生灌木保水建植技术规程》（DB15/T 4077-2025）、《灌木林地造林技术规程》（DB14/T 3403-2025）、《生态气象观测数据质量控制 荒漠区主要灌木》（DB15/T 3866-2025）、《灌木林防风固沙生态效益监测技术规程》（DB15/T 1937-2020）、《主要灌木树种固碳效益监测技术规程》（DB15/T 2527-2022）等。这些标准主要是灌木种植类规范和灌木林生态系统服务相关规范，不是专门的灌丛生态系统野外观测的规范。同时，虽然有关部门已发布

的森林或草地生态系统相关观测技术规范中也涉及灌丛/灌木，但由于服务目标不同，观测指标、观测内容也有差异。不同的指标和技术体系会导致评估结果产生较大差异。同时为了规范化开展灌丛生态系统野外观测和后续生态状况评估工作，目前仍需制定一套服务于生态状况综合评估的标准化、规范化灌丛野外观测技术规范。

3 国内外相关标准情况的研究

3.1 国外相关标准情况的研究

目前，国外先后实施了多个生态系统长期研究计划，包括国际长期生态学研究网络（ILTER）、全球环境监测系统（GEMS）、全球陆地观测系统（GTOS）和全球通量观测网络（FLUXNET）等。以及美国长期生态学研究计划（LTER）、英国环境变化网（ECN）、加拿大生态监测与分析网络（EMAN）、捷克长期生态学研究网络（CLTER）、泛美全球变化研究所（IAI）、亚太全球变化研究网络（APN）、欧洲全球变化研究网络（EN-RICH）等。

国际长期生态系统研究网络（ILTER）于 1993 年在美国成立，现有 34 个成员网络和中东欧、中南美、东亚以及太平洋、北美、南非及西欧 6 个区域网络。在该网络中，中国生态系统研究网络（CERN）、美国长期生态学研究网络（US-LITER）、英国环境变化网络（ECN）处于领先地位。其宗旨是以已有的和拟建的国家、区域和全球环境及生态系统监测和研究网络为基础，在世界范围内联合开展对包括森林等资源、环境状况的监测和研究，为自然资源的可持续利用、改善生存环境以及社会经济的可持续发展作出积极贡献。ILTER 的站点覆盖多种生态系统，灌丛作为重要类型之一，尤其在干旱区、地中海气候区和高寒地带被广泛研究。

全球环境监测系统（GEMS）成立于 1975 年，是联合国环境规划署（UNEP）“地球观察”计划的核心组成部分，其任务就是监测全球环境并对环境组成要素的状况进行定期评价，参加 GEMS 监测与评价工作的共有 142 个国家和众多的国际组织。其中，生态监测是全球环境监测系统列举的国际监测活动项目四大类之一，全球土壤和植被监测主要监测土壤退化评价、森林、草地和农田资源评价等。GEMS 与其他全球观测网络（如 ILTER、GTOS）合作，间接涵盖灌丛生态系统的监测。通过卫星遥感数据（如 MODIS 或 Landsat）监测灌丛的植被覆盖变化，部分成果被 GEMS 用于评估土地退化或碳储存。

全球陆地观测系统（GTOS）于 1996 年创立，其目的是为维持可持续发展，对陆地生态系统进行观测、模拟和分析，协助科学家和政策制定者获取有关陆地生态系统的信息，以使它们能够阐明并管理全球或区域尺度的环境变化。它由地球上主要环境梯度的大尺度研究、农业和生态研究中心、实验站和大约 10000 个采样点的网格系统组成，其主要目的是检验并阐明陆地生态系统特征、组成及格局变化，验证用来预测生态系统变化的模型。GTOS 所包含的陆地生态系统有土地、淡水、生物区系（包括生物多样性）和人口等，其核心研究领域为陆地生态系统的变化、淡水资源、生物多样性和气候变化等。全球陆地观测系统（GTOS）的 TEMS（Terrestrial Ecosystem Monitoring Sites）数据库中包含部分灌丛站点，站点数量有限，主要集中在干旱区、地中海气候区，主要观测灌丛植被的覆盖率、生物量、植被高度、

土壤有机碳、土壤质地等生物物理参数，对站点的降水、温度、地表径流等气象水文数据进行观测。

全球通量观测网络（FLUXNET）最早起源于 1993 年，由“国际地圈—生物圈计划”首次提出，在 1996、1997 年欧洲通量网（EuroFlux）和美洲通量网（AmeriFlux）相继建成，1998 年美国国家航空航天局（NASA）成立全球规模的 FLUXNET，将其作为检验 EOS 产品的一种方法。截至 2013 年底，已注册的通量观测塔有 555 个，主要分布在地球南纬 40°~北纬 70°之间从热带到寒带的各种植被区，包括热带雨林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、草原、苔原、灌丛、农田等生态系统。FLUXNET 是全球性的通量观测网络，整合了涡度相关（Eddy Covariance, EC）站点的数据，为全球陆地生态系统碳水循环、碳收支时空格局以及生态系统水碳过程的研究提供了全球范围的实测数据。灌丛生态系统在 FLUXNET 中占有一定比例，尤其是在干旱区、地中海气候区和热带稀树草原。FLUXNET 灌丛站点的核心观测变量包括对蒸散发、CO₂ 通量、能量通量等通量数据，气温、降水、风速等气象数据，生物量、叶绿素含量等生态数据。

美国长期生态研究网络（LTER）于 1980 年正式启动，是世界上第一个国家尺度的长期生态研究网络。目前已经发展成为由代表美国重要的森林、草地、荒漠等生态系统类型的 20 多个生态系统定位研究站组成的网络。并在此基础上，建立国家生态观测站网络（NEON），监测指标体系囊括了生态系统各要素，包括生物种类、植被、水文、气象、土壤、降雨、地表水、人类活动、土地利用、管理政策等。灌丛生态系统在多个 LTER 站点中被重点监测，尤其是干旱区、山地灌丛。灌丛站点的监测涵盖生态、气候、水文和人类影响等多个方面，包括物候、生物量等植被动态和土壤特性、土壤水分等土壤水文状况。

英国环境变化网（ECN）筹建于 1992 年，从 1993 年开始正式运行，是一项多机构协作的长期研究计划，负责收集有关地球生物圈中导致变化的因子及其对环境变化作出反应的数据信息，旨在记录、分析和预测英国的环境变化。目前，它由 54 个监测站组成，其中陆地生态系统观测站 12 个。ECN 网络可以得到能相互比较的长期数据集，每年各个试验站开展一次植被变化的观测，提供与植被变化有关的气候信息。ECN 是英国最全面的长期生态系统监测计划，涵盖多种生境类型，包括灌丛观测，主要集中在山地灌丛（如苏格兰高地）和低地灌丛（如石楠荒原）。观测灌丛群落组成、物候、土壤理化性质、土壤湿度、气温、降水等。

《生物多样性公约》是一项具有法律约束力的国际条约，有三项主要目标：保护生物多样性、可持续利用生物多样性及公正合理分享由利用遗传资源所产生的惠益，其中要求缔约国保护包括灌丛在内的生态系统，防止生物多样性丧失。灌丛在《生物多样性公约》框架下被归类为“森林以外的木本植被”（如干旱区灌丛、石楠荒原、热带稀树灌丛等），具有关键生态系统服务，如碳储存、水土保持、濒危物种栖息地等。因此对灌丛的观测内容主要包括群落结构、生物量、入侵物种等。

国际自然保护联盟（IUCN）生态系统管理指南中提供了灌丛生态系统的可持续管理建议，在其生态系统管理指南中明确将灌丛列为重点监测和保护的生态系统类型之一，特别是在干旱区、地中海气候区和生物多样性热点地区。IUCN 将灌丛归类为“木本植被主导的生态系统”，主要包括温带灌丛，如地中海灌丛（如马基斯群落 Maquis）、石楠荒原（Heathland）；

干旱区灌丛，如北美 Chihuahuan 灌丛、非洲萨王纳灌丛；极地/高山灌丛，如北极苔原灌丛、安第斯山脉灌丛等。基于 IUCN 指南，对灌丛的观测内容主要包括灌丛盖度、高度、生物量、群落动态、主要威胁和濒危物种等。

联合国粮农组织 FAO 每 5-10 年开展的全球森林资源评估（FRA），提供了解森林资源状况、管理和使用的关键信息。但也会涉及与灌丛相关的监测内容，尤其是那些处于森林—灌丛过渡带或木本植被覆盖区域的生态系统。FAO-FRA 的监测范围主要针对森林（Forest），但灌丛可能被纳入“其他林地”，定义为木本植被覆盖 5%-10%（灌丛为主），或树木覆盖 5%-10%且高度可达 5 m（如稀树灌丛）。如地中海灌丛（Maquis）、干旱区灌丛（北美鼠尾草灌丛）等。低矮灌丛（如苔原灌丛、石楠荒原等）可能被归类于“其他土地”。FRA 中关于灌丛的监测内容包括面积与变化趋势、生物量、碳储量等。

《全球性观测系统实地观测的内容和体系纲要》以 GCOS、GOOS 和 GTOS 各自提出的气候观测系统、海洋观测系统和陆地观测系统的内容为基础，根据相关的国家和国际报告及其他已出版的科学文献，列出了全球性观测系统实地观测的 10 个领域及其具体监测内容（见表 1）。

表 1 全球性观测系统实地观测的内容

领域	监测内容	领域	监测内容
1.大气： 动力学、 热力学和 物理学	高空气温	6.海洋	海冰（地域覆盖特征、密集度、范围、厚度）
	风场和风廓线		海面温度、盐度、流速、深度廓线
	大气湿度/水汽廓线		内海和深海：水团更新、对流环流和温盐环流、 盆间输运
	高空气压		海洋生物量、生物学、生物地球化学（包括二 甲基硫化物 DMS）
2.云	云量和云型		海岸带和海洋健康
	云顶高		土地覆盖
	云底高	7.土地 覆盖、 土地 利用 与植 被、生 物圈	土地利用
	液态水总含量		植被结构
	云滴大小和云相		植被指数：归一化植被指数 (NDVI)
3.大气： 化学和组 成（温室 气体和气 溶胶）	二氧化碳		生物量（地上部分）
	甲烷		生物量（地下部分）
	硫的氧化物		火烧（范围和温度）
	氮的氧化物		植被或植物冠盖的叶面积（叶面指数 LAI）
	臭氧		净初级生产力（NPP）
	氯氟烃类（CFCs）和臭氧前体成分		净生态系统生产力（NEP）
	气溶胶、尘埃及悬浮物		枯落物
4.地面和 近地面观 测（陆 地、海 洋）	海面气压		地表粗糙度
	地面风（陆地、海洋）		数字化高程
	空气温度（陆地表面）	8.土壤 特性	土壤碳（微生物和特殊有机物）
	相对湿度（大气、水和水汽含量）		土壤总氮
	降水（累积的，包括液态和固态）		土壤磷
	海面温度（SST）		土壤容重（体积密度）

领域	监测内容	领域	监测内容
	海浪高和海浪谱		土壤颗粒大小分布
	雪盖和雪深（水当量）		土壤表面状况（渗透率）
	湖泊、河流封冻及解冻时间		根系深度
	土壤湿度（近地面 100 cm）	9. 水文学	河流流量和径流
	土壤温度（近地面和作物根系区）		蒸发蒸腾（总蒸发）
5. 与辐射相关的地面变量	入射的短波和长波辐射		地上水储量
	反射的地面短波辐射		地表水储量（区域范围、深度、容积通量）
	输出的长波辐射		径流与陆地生物地球化学物质的陆地-海洋运输
	光合有效辐射量（FPAR）		
6. 海洋	海面盐度（SSS）	10. 冰冻圈特性	冰盖物质平衡
	海洋表面的风速和风应力		冰盖范围和高程/地形
	海平面		冰盖表面平衡
	海洋热通量和淡水通量		冰川和冰帽
	海洋表面碳通量（总 CO ₂ 、pCO ₂ 和 ¹³ C/ ¹² C）		永冻土主动反应（近表面）层
			永冻土热状态

目前，国际上许多国家和机构（如 FAO、UNEP、IUCN 等）在开展生态系统监测时，通常将灌丛（shrubland）与森林（forest）的观测指标合并处理，尤其是将灌丛归类为“其他林地（Other Wooded Land, OWL）”或纳入广义的“木本植被”监测体系。然而，这种做法在实际生态状况调查评估中存在指标不适用、数据精度不足、生态功能误判等问题。

（1）定义与分类标准不匹配

灌丛与森林的生态差异被忽视：森林的监测标准通常基于树木覆盖度（≥10%）、树高（≥5 m），而灌丛（如地中海灌丛、干旱区灌丛）的植被结构以低矮木本植物（<5 m）为主，导致许多灌丛被错误归类为“退化森林”或“稀疏林地”，无法准确反映其真实生态状况。如 FAO 的 FRA 评估中，北美鼠尾草灌丛因树木覆盖不足 10% 被归为“其他林地”，但其生态功能（如固碳、野生动物栖息地）与森林截然不同。

（2）监测指标不适用于灌丛特性

生物量与碳汇估算偏差：森林的碳储量模型高估了灌丛的生物量，因灌丛的地下碳分配比例更高（如根系占 60% 以上），而传统森林监测更关注地上生物量。

水文与土壤指标缺失：灌丛生态系统（如石楠荒原）的土壤持水性和抗侵蚀能力是关键功能，但森林监测体系常忽略这些指标。

（3）生物多样性监测不足

灌丛特有物种被忽视：森林生物多样性监测侧重乔木层物种，而灌丛的濒危物种或传粉网络未被纳入核心指标。如 IUCN 红色名录对灌丛依赖物种（如伊比利亚猞猁）的栖息地评估，因灌丛数据不全而存在盲区。

（4）数据整合与政策制定的脱节

国家报告与国际标准不兼容：部分国家（如澳大利亚）将灌丛归类为“草地”，而另一些（如西班牙）将其视为“林地”，导致全球数据无法直接对比。政策层面（如 CBD 30×30 保护目标）因灌丛监测缺失，难以制定针对性保护措施。

3.2 国内相关标准情况的研究

中国国土面积辽阔，海拔高差悬殊，气候千差万别，形成了多种灌丛类型。无论是科学研究还是行业应用领域，不同机构和研究团队针对灌丛生态系统的野外观测研究做了大量工作，建设了与多种需求相适应的长期观测与研究平台，并发布了一系列灌丛生态系统野外观测规范。

中国生态系统研究网络（CERN）是从 1988 年开始建设，由中国科学院领导，目前由分布在中国不同生态区域的 40 余个生态系统定位研究站、5 个科学分中心和 1 个综合研究中心组成。CERN 发布了长期监测规范《中国生态系统研究网络（CERN）长期观测规范》丛书 5 个，分别是生态系统大气环境观测规范、陆地生态系统土壤观测规范、陆地生态系统水环境观测规范、陆地生态系统生物观测规范、水域生态系统观测规范，以及长期观测质量管理规范《中国生态系统研究网络（CERN）长期观测质量管理规范》丛书 4 个。CERN 规定了生态系统野外观测内容和观测方法，涉及的监测指标共有气象要素监测指标、土壤监测指标、水环境要素监测指标、生物要素监测指标四大类，观测项目 70 余个。灌丛作为重要的生态系统类型，在 CERN 的多个生态站中被纳入常规监测体系，CERN 的部分生态站针对灌丛生态系统开展专项监测，主要包括：（1）干旱区灌丛：如宁夏沙坡头沙漠研究站（腾格里沙漠边缘灌丛）、内蒙古草原生态系统研究站（典型草原—灌丛过渡带）；（2）山地灌丛：如四川贡嘎山高山生态系统观测站（亚高山灌丛）、云南哀牢山森林生态系统研究站（热带山地灌丛）；（3）海岸灌丛：如广东鼎湖山森林生态系统定位研究站（南亚热带灌丛）。CERN 对灌丛的监测涵盖生态、环境、生物地球化学循环等多个方面，核心观测指标包括群落结构、生物量、物候期、土壤理化性质、土壤水分、气温、降水等。CERN 的部分灌丛监测以生态功能研究为导向，与林业部门的森林资源调查（如一类清查）互为补充。如鼎湖山站的研究重点为南亚热带灌丛的碳汇功能，对比灌丛与森林的碳储量差异。

表 2 中国生态系统研究网络（CERN）观测指标

指标	观测内容	指标	观测内容
站区气象要素 人工观测	天气状况	土壤要素监测 指标	有效铁（石灰性土壤）
	气压		有效硫
	风 风向/风速		容重
	空气温度 定时温度/最高温度 /最低温度		有机质
	空气湿度 相对湿度		全氮
	降雨 总量		全磷
	霜 初霜/终霜		全钾
	雪 初雪/终雪/雪深		微量元素全量
	水面蒸发		硼
	地表温度 定时地表温度/最高 地表温度 最低地表温度		钼、锌、锰、铜、铁
	日照时数		重金属
	冻土		铬、铅
	土壤温度		镍、镉、硒
	总辐射		砷

指标	观测内容	指标	观测内容
	净辐射		汞
	紫外辐射（UV）		机械组成
	反射辐射		土壤矿质全量（P、Ca、Mg、K、Na、Fe、Al、Si、Mo、Ti、S）
	光合有效辐射		容重
	土壤热通量	水环境要素监测指标	土壤水
土壤要素监测指标	NO ₃ -N、NH ₄ -N		地下水
	速效磷		地表水
	速效钾		森林蒸散
	有机质		雨水水质
	全氮		静止地表水水质
	pH		流动地表水水质
	凋落物厚度		潜水水质
	阳离子交换量	生物要素监测指标	生境要素
	缓效钾		群落植物种类组成
	土壤交换性钙、镁、钾、钠（酸性、中性土）		群落生物量
	土壤交换性氢、铝（酸化土）		乔、灌、草各层优势植物不同器官和凋落物（叶、枝）的矿质元素含量与能值
	速效微量元素		物候
	有效硼（南方站）		鸟类种类与数量
	有效铝		大型野生动物种类与数量
	有效锌（石灰性土壤）		林地凋落物量季节动态
	有效锰（石灰性土壤）		叶面积指数

国家生态系统观测研究网络（CNERN）针对我国已建立的野外研究站体系的特点和存在的问题，以及国际的发展态势，自 1999 年以来，科技部从现有野外台站中遴选了 35 个基础条件好、人员队伍整齐、观测设施完整、研究水平较高的野外观测站开展了开放运行的试点工作，其中，生态系统野外台站有 24 个。目前，由 18 个国家农田生态站、17 个国家森林生态站、9 个国家草地与荒漠生态站、7 个国家水体与湿地生态站以及国家土壤肥力站网、国家种质资源网和国家生态系统综合研究中心共同组成国家生态系统观测研究网络。CNERN 针对灌丛生态系统的监测主要覆盖以下类型站点：宁夏贺兰山站、内蒙古锡林郭勒站涉及北方干旱区灌丛；江西千烟洲站、湖南洞庭湖站涉及南方丘陵灌丛；青海海北站、西藏那曲站涉及青藏高原高寒灌丛；江苏盐城湿地站涉及滨海盐生灌丛。CNERN 对灌丛的监测主要涉及灌丛盖度、高度、有机碳含量、特有物种、土壤水分等指标。

表 3 森林生态系统定位观测指标体系

指标体系	指标类别	观测指标	指标体系	指标类别	观测指标
天气常规指标	天气现象	云量、风、雨、雪、雷电、沙尘	森林土壤的理化指标	土壤化学性质	土壤全铝、有效铝
		气压			土壤全铜、有效铜

指标体系	指标类别	观测指标	指标体系	指标类别	观测指标
	风	作用在森林表面的风速	森林生态系统的健康与可持续发展指标	病虫害的发生与危害	有害昆虫与天敌的种类
		作用在森林表面的风向			受到有害昆虫危害的植株占总植株的百分率
	空气温度	最低温度			有害昆虫的植株虫口密度和森林受害面积
		最高温度			植物受感染的菌类种类
		定时温度			受到菌类感染的植株占总植株的百分率
	地表面和不同深度土壤的温度	地表定时温度			受到菌类感染的森林面积
		地表最低温度		水土资源的保持	林地土壤的侵蚀强度级
		地表最高温度			林地土壤侵蚀模数
		10 cm 深度地温		污染对森林的影响	对森林造成危害的干、湿沉降组成成分
		20 cm 深度地温			大气降水的酸度，即 pH 值
		30 cm 深度地温			林木受污染物危害的程度
		40 cm 深度地温		与森林有关的灾害的发生情况	森林流域每年发生洪水、泥石流的次数和危害程度以及森林发生其他灾害的时间和程度，包括冻害、风害、干旱、火灾等
	空气湿度	相对湿度		生物多样性	国家或地方保护动植物的种类、数量
	辐射	总辐射量			地方特有物种的种类、数量
		净辐射量			动植物编目、数量
		分光辐射			多样性指数
		日照时数	森林水文指标	水量	林内降水量
		UVA/UVB 辐射量			林内降水强度
	冻土	深度			穿透水
		降水总量			树干径流量
	大气降水	降水强度			地表径流量
		蒸发量			地下水位
	水面蒸发	厚度			枯枝落叶层含水量
	森林枯落物	土壤颗粒组成			森林蒸散量
		土壤容重		水质	pH 值、钙离子、镁离子、钾离子、钠离子、碳酸根、碳酸氢根、Cl ⁻ 、硫酸根、总磷、硝酸根、总氮
		土壤总孔隙度毛管孔隙及非毛管孔隙			微量元素（B、Mn、Mo、Zn、Fe、Cu），重金属元素（Cd、Pb、Ni、Cr、Se、As、Ti）
森林土壤的理化指标	土壤物理性质	土壤 pH 值	森林的群落学特征指标	森林群落结构	森林群落的年龄
		土壤阳离子交换量			森林群落的起源
		土壤交换性钙和镁（盐碱土）			森林群落的平均树高
	土壤化学性质				

指标体系	指标类别	观测指标	指标体系	指标类别	观测指标
		土壤交换性钾和钠			森林群落的平均胸径
		土壤交换性酸量（酸性土）			森林群落的密度
		土壤交换性盐基总量			森林群落的树种组成
		土壤碳酸盐量（盐碱土）			森林群落的动植物种类数量
		土壤有机质			森林群落的郁闭度
		土壤水溶性盐分（盐碱土中的全盐量、碳酸根和重碳酸根、硫酸根、氯根、钙离子、镁离子、钾离子、钠离子）			森林群落主林层的叶面积指数
		土壤全氮、水解氮、亚硝态氮			林下植被（亚乔木、灌木、草本）平均高
		土壤全磷、有效磷			林下植被总盖度
		土壤全钾、速效钾、缓效钾		森林群落乔木层生物量和林木生长量	树高年生长量
		土壤全镁、有效态镁			胸径年生长量
		土壤全钙、有效钙			乔木层各器官（干、枝、叶、果、花、根）的生物量
		土壤全硫、有效硫			灌木层、草本层地上和地下部分生物量
		土壤全硼、有效硼	森林凋落物量	森林凋落物量	林地当年凋落物量
		土壤全锌、有效锌		森林群落的养分	C、N、P、K、Fe、Mn、Cu、Ca、Mg、Cd、Pb
		土壤全锰、有效锰		群落的天然更新	包括树种、密度、数量和苗高等

中国生物多样性监测与研究网络（Sino BON）是由中国科学院按照“科学规划、统一布局”的原则于 2013 年启动建设。2014 年，Sino BON 被亚太地区生物多样性监测网络（AP BON）和全球生物多样性监测网络（GEO BON）正式接受成为其成员网络。平台定位旨在实现全国典型区域重要类群中长期变化态势分析，为国家履行《生物多样性公约》、保护生物多样性和生物资源提供翔实可靠的生物多样性变化数据与决策支持。平台的主要工作包括：建立布局合理、综合配套的生物多样性监测网络（30 个主点，60 个辅点）；借助现代科学技术手段，从基因、物种、种群、群落、生态系统和景观等水平上对生物多样性进行多层次的全面监测与系统研究。Sino BON 通过“10×10 km 网格化布设”在全国建立灌丛专项监测样区，重点覆盖关键生态区（如横断山区的高山灌丛、内蒙古高原的草原灌丛、南方红壤区的丘陵灌丛）、生物多样性热点（如喜马拉雅东缘、秦岭—大巴山区）、典型过渡带（如森林—灌丛交错带、灌丛—草原生态过渡带）。主要监测灌丛群落、特有物种、气温、降水、辐射、土壤元素等指标。

中国荒漠-草地生态系统观测研究野外站联盟（简称荒漠—草地站联盟）是我国为整合各部门研究力量，实现资源共享、优势互补，更好地面向和服务国家需求，中国科学院、国家林业和草原局、教育部和农业农村部于 2013 年共同发起并组建而成。目前，该联盟由 30 个野外站组成，包括 11 个荒漠站、4 个草地站、6 个沙地站、6 个水土保持站和 3 个喀斯特站，对我国沙漠、沙地、草地、喀斯特和黄土高原等脆弱生态系统类型具有广泛的代表性。

荒漠—草地站联盟监测评估的核心任务是构建荒漠—草地生态系统多尺度、多站点、多类型的联网监测和研究平台，采用统一规范的指标体系和监（观）测方法，积累长期观测数据，为生态学基础研究提供数据支持。也涉及部分灌木林的监测指标。

表 4 荒漠-草地站联盟荒漠/沙地/喀斯特站点监测数据

站点名称	监测数据
阿克苏站	常规气象数据、蒸发池水面蒸发、潜水蒸发、生态断面监测数据
策勒站	气象观测数据、土壤水分和养分数据、地下水位数据、生物监测数据、骆驼刺根系生长实验数据、昆仑山前山带荒漠草地生态系统植被生长、生理和生化研究数据等
磴口站	气象数据、地下水位数据、荒漠流动、半固定、固定沙地植被监测数据及表层土壤水分数据；不同时期人工绿洲林带防风阻沙监测数据
阜康站	全套水分、土壤、气象、生物数据、气温降水记录
库姆塔格站	气象数据、风沙数据、地下水数据、涡度相关通量数据
临泽站	气象数据、水热通量数据、物候数据、不同植被类型土壤水分、养分数据、地下水位数据
莫索湾站	气象数据、荒漠灌木林地土壤水分数据
沙坡头站	气象数据、荒漠生态系统土壤、水分、植被物候数据、土壤水、地下水位数据
盐池站	气象数据、荒漠灌木林地和退化草地二氧化碳、水、热通量数据、植被物候数据、土壤水、养分数据、地下水位数据
敦煌站	气象数据、荒漠退化草地潜热、显热、风的脉动、动量通量、摩擦风速等数据、空气温度/相对湿度、水和二氧化碳含量进行了同步监测
鄂尔多斯站	积累气象、水分、土壤和生物等监测数据
共和站	土壤、水分、植被、气象数据
奈曼站	气象数据、沙质草地、流动沙丘、农田生态系统二氧化碳、水、热通量数据、植被数据、土壤水分、养分数据、地下水位数据
乌兰敖都站	气象数据、围封草场、退化草场、灌木林地、乔木林地、固定沙丘和流动沙丘等样地的植被调查数据，土壤水、地下水位、风蚀风积监测数据，以及乌兰敖都地区的沙尘暴监测数据等
浑善达克站	气象数据、植被数据、土壤水分数据、地下水位数据
呼伦贝尔沙地站	气象数据、土壤水分/养分数据、植被盖度/植物种及生长动态变化、沙地治理成效保存率、成效合格面积率
环江站	气象数据、喀斯特旱作农田生态系统水分、土壤、气象、生物四个环境要素多项指标的长期监测数据资源
普定站	气象数据以及坡面水土流失、穿透雨、树干径流、土壤含水量、枯落物含水量以及地表水与地下水的水文水化学数据
普定岩溶观测试验站	气象数据以及坡面水土流失、穿透雨、树干径流、土壤含水量、枯落物含水量以及地表水与地下水的水文水化学数据

国内林草等相关部门发布的森林和草地生态系统观测指标较多，目的是为掌握我国森林和草地资源的现状及其动态变化情况，满足精细化管理需求。虽然这些指标里包含了灌丛或灌木相关内容，但这些指标对于生态状况调查评估工作存在指标不适用的情况。

目前已有一些森林生态系统观测的标准，里面涉及部分灌丛或者灌木观测的相关内容，但少有只针对灌丛生态系统的标准规范。也有部分规范涉及灌木，但主要是灌木种植类规范

和灌木林生态系统服务相关规范。如：

(1) 《森林生态系统长期定位观测方法》(GB/T 33027-2016)

林草部门规定了森林生态系统水文、土壤、气象、生物和其他方面的野外长期连续定位观测的方法和技术要求。标准中包括乔木层、灌木层、草本层、层间植物和竹林，与灌丛生态系统的分类标准体系有所不同。该标准主要针对森林生态系统，对灌木层的观测有一些规定。对灌木层的观测样方设置有相关的要求，关于灌木丛的观测内容为灌木种的株数(丛数)、株高、基径、盖度、多度、物候期、生物量、碳储量等。该标准对这些观测指标的观测方法有一些规定。

(2) 《森林生态系统长期定位观测指标体系》(GB/T 35377-2017)

林草部门规定了森林生态系统长期定位观测的指标，包括森林水文要素、森林土壤要素、森林气象要素、森林小气候梯度要素、微气象法碳通量、大气沉降、森林调控环境空气质量功能、森林群落学特征、森林动物资源、竹林生态系统和其他 11 类观测指标。标准中的森林群落包含乔木、灌木和草本等，与灌丛生态系统的分类标准体系有所不同。该标准主要针对森林生态系统，对灌木层的观测指标有一些规定。主要在森林群落学特征观测指标中，涉及灌木的种名、株数/丛数、平均基径、平均高度、盖度、多度、分布状况、灌木层地上和地下生物量、灌木丛碳储量等。

(3) 《生物多样性观测技术导则 陆生维管植物》(HJ 710.1-2014)

生态环境部门制定了包括蕨类植物、裸子植物、被子植物等陆生维管植物的生物多样性观测技术导则，规定了陆生维管植物多样性观测的主要内容、技术要求和方法。其中森林群落观测对象为乔木、灌木和草本植物。灌丛群落观测对象为灌木和草本植物，与灌丛生态系统的分类标准体系有所不同。灌木在该标准指不具明显独立的主干，并在出土后即行分枝，或丛生地地上比较矮小的木本植物，一般成熟个体高度小于 5 m。对灌丛的观测样地、样方设置，提出了相关规定。灌丛植被观测方法中，对于高大灌丛植被、低矮灌丛植被和草本植被的观测方法都提供了一些规定。灌木(丛)的观测内容和指标包括植被种类、种群大小、种群动态、胸径/冠幅、盖度、物候期、生长状态、群落物种多样性、人为干扰活动的类型和强度等。

(4) 《森林生态系统定位观测指标体系》(LY/T 1606-2003)

林草部门规定了森林生态系统定位观测指标，即气象常规指标、森林土壤的理化指标、森林生态系统的健康与可持续发展指标、森林水文指标和森林的群落学特征指标。标准的森林生态系统以乔木树种为主体，但也包含了一些灌丛的指标，如森林群落结构指标中设置了林下植被(亚乔木、灌木、草本)平均高、灌木层地上和地下部分生物量等。

(5) 《热带森林生态系统定位观测指标体系》(LY/T 1687-2007)

林草部门规定了热带森林生态系统定位观测指标，即气象常规指标、森林小气候及梯度指标、森林大气沉降指标、森林土壤的理化指标、森林生态系统健康指标和森林群落学特征指标。标准的森林群落结构包括乔木、亚乔木、灌木、草本和林下植被。其中森林群落结构指标中设置了灌木的观测指标，包括灌木种类、灌木株数或灌丛数、灌木或灌丛平均高度、灌木或灌丛平均冠幅、灌木盖度、灌木层地上和地下部分生物量等。

(6) 《寒温带森林生态系统定位观测指标体系》(LY/T 1722-2008)

林草部门规定了寒温带森林生态系统定位观测指标,即气象常规指标、森林小气候及梯度指标、森林大气沉降指标、寒温带特征指标、森林土壤的理化指标、森林生态系统健康指标、森林水文指标和森林群落学特征指标。标准的森林群落结构包括乔木、亚乔木、灌木和草本。其中灌木的观测指标包括灌木种类、灌木株数或灌丛数、灌木或灌丛平均高度、灌木或灌丛平均冠幅、灌木盖度、灌木层地上和地下部分生物量等。

(7) 《草原资源与生态监测技术规程》(NY/T 1233-2006)

农业部门规定了草原资源与生态监测的内容和方法,涉及监测的重点类型、分区及重点监测区域。草原类型分类系统按照《中国草地资源》分类系统,草原资源与生态重点监测类型包括灌草丛类,如华北暖温带半湿润、半干旱暖性灌草丛监测区、东南亚热带、热带湿润热性灌草丛监测区、西南亚热带湿润热性灌草丛监测区等。将灌丛纳入草原监测的范畴,包括荒漠草原灌丛(如柠条、沙蒿等灌丛)、草甸草原灌丛(如绣线菊、金露梅等灌丛)、沙地灌丛(如沙柳、沙冬青等灌丛)。主要观测灌丛盖度、优势灌木种、生物量、物候等植被指标。

(8) 《黄土高原适生灌木种植技术规范》(SL/T 287-2014)

水利部门规范了黄土高原水土保持灌木种植技术,规定了水土保持灌木调查设计、立地条件类型划分、树种选择、种子和苗木及其处理、种植、抚育管理等方面的主要技术要求。水土保持灌木指水土流失治理植被措施中,成熟植株在 3m 以下的多年生木本植物,主干不明显,常在基部发出多个枝干,有“丛生之木”之称。茎在草质与木质之间。上部为草质,下部为木质的植物称半灌木或亚灌木。关于适生灌木的定义为在黄土高原自然环境因素下,或通过一定的人工技术措施,可以正常生长发育并形成一定规模的灌木植被或灌丛。为确定适宜的灌木树种、种植技术及其实施方案,该标准调查的内容包括地形、土壤、水文、土壤侵蚀、植被、立地类型等。

(9) 《生态气象观测数据质量控制 荒漠区主要灌木》(DB15/T 3866-2025)

内蒙古地方标准规定了生态气象观测中荒漠区主要灌木观测数据质量控制的相关内容。该标准适用于内蒙古及周边荒漠区,目标灌丛为优势荒漠灌木(如梭梭、白刺)和伴生灌木(如沙蒿、蒙古扁桃)。灌木观测数据主要包括灌木发育期、新生枝条长度、地上生物量鲜重、地上生物量干重等观测数据。对灌丛的株高/冠幅、叶面积指数、光合参数、水分状况等灌木生理指标以及土壤含水量、沙面温度等环境指标进行观测。

(10) 《灌木林防风固沙生态效益监测技术规程》(DB15/T 1937-2020)

内蒙古地方标准规定了灌木林防风固沙生态效益监测基本原则、监测点的选择与布设、监测指标、监测方法及监测数据质量控制等技术要求。该标准适用于干旱、半干旱区的防风固沙灌木林,如内蒙古、宁夏、甘肃等地的荒漠、沙地灌丛。主要灌丛类型包括固沙灌木(如梭梭、沙柳、花棒等)和防风灌木(如柠条、沙蒿等)。其监测指标设计了风速、植被生产力、土壤物理特性、土壤养分、林地蓄水等指标,也规定了指标的监测方法。

通过对《森林生态系统定位观测指标体系》《草原资源与生态监测技术规程》等 10 项国家/行业/地方标准的系统梳理,发现并没有专门的灌丛的观测标准,且目前涉及灌丛的标准在定义与分类体系上并不统一,灌丛的高度阈值(0.3 m/0.5 m/5 m)、盖度标准(10%/30%)存在交叉矛盾;标准中的关键观测指标和监测方法也不一致。

总体上，虽然全球陆地监测系统（GTOS）、全球通量观测网络（FLUXNET）、英国环境变化网（ECN）和美国长期生态研究网络（LTER）等监测网络系统制定的标准与规范中都涉及了灌丛生态系统的长期观测，但是有关灌丛生态系统长期观测方面的国际标准尚未制定。而且有些区域性的灌丛定义、观测指标体系和技术方法是针对特定的区域特定的问题而设置，并不适用于中国地区，无法应用于我国生态系统评估工作。

相关部门和机构发布的专门的灌丛生态系统观测指标不全，且大多与森林和草地监测合在一起。同时，设置的观测内容较为详细具体，但这些指标对于生态状况调查评估工作相对冗余，且存在指标不适用的情况。需要制定一套服务于生态状况综合评估的标准化、规范化灌丛野外观测技术规范，服务于灌丛生态系统野外观测和后续生态状况评估工作。

4 标准制订的基本原则和技术路线

4.1 标准制订的基本原则

（1）适用性、可操作性原则

本标准的内容应具有普遍适用性，方法应具有可操作性，能为相关生态环境保护工作的实施提供技术参考。

（2）科学性、先进性原则

本标准在编制过程中应积极借鉴和利用国内外相关研究成果，运用可靠的原理、成熟先进的技术和科学的方法，保证制定的标准具有科学性和先进性。

（3）经济、技术可行性原则

标准中采用的技术方法应经济可行，确保按照该标准开展全国生态状况调查评估时，涉及的数据源比较容易获取、方法比较容易实现，成本较低，经济可行。

4.2 标准制订的技术路线

通过前期调研，查阅相关文献和标准等，确定了规范化开展灌丛生态系统野外观测的业务需求，研究确定标准的主要内容。在完成主要内容后，申请项目的开题论证，形成征求意见稿和编制说明初稿，并多方征求意见，根据所提意见修改完善相关内容，形成标准送审稿、编制说明后送审报批。标准制订的技术路线图如下：

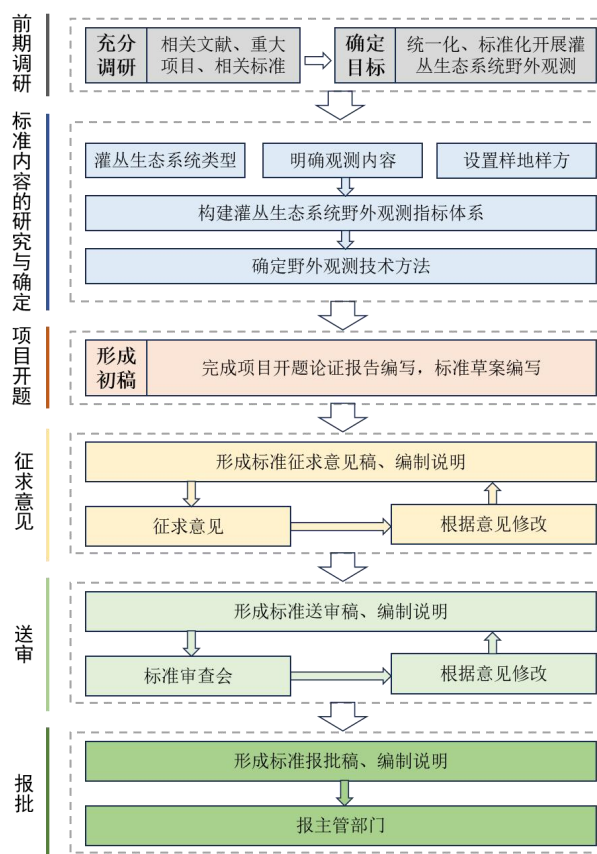


图 1 技术路线图

5 标准主要技术内容

5.1 标准适用范围

本标准规定了灌丛生态系统野外观测的总则、技术流程、野外观测样地选择与样方设置、野外观测指标体系和野外观测技术方法等要求。

本标准适用于全国及省级行政区陆域灌丛生态系统野外观测，其他地理区域可参照本标准执行。

5.2 标准结构框架

本标准包括前言、适用范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、技术流程、灌丛生态系统类型、野外观测样地选择与样方设置、野外观测指标体系、野外观测技术方法等 9 个章节，还包括 1 个附录。

5.3 规范性引用文件

本标准引用了《森林生态系统长期定位观测方法》（GB/T 33027）、《地面气象观测规范》（GB/T 35221）等气象观测相关标准，主要引用灌丛生态系统温度、降雨、风速/风向等小气候的观测方法；引用了《土壤有机质的测定》（GB/T 47361）、《土壤 干物质和水分的测定 重量法》（HJ 613）、《土壤有机碳的测定 重铬酸钾氧化-分光光度法》（HJ 615）、

《土壤 pH 值的测定 电位法》(HJ 962)、《森林土壤颗粒组成(机械组成)的测定》(LY/T 1225)、《土壤检测 第4部分:土壤容重的测定》(NY/T 1121.4)等土壤观测相关标准,主要引用土壤有机质、土壤容重、土壤 pH、土壤机械组成等指标的观测方法;引用了《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》(HJ 1166),主要引用对灌丛生态系统类型的定义和描述;引用了《水文基础设施建设及技术装备标准》(SL/T 276),主要引用对径流量等水文指标的观测方法;引用了《林业资源分类与代码 森林类型》(GB/T 14721)。《生态系统评估 区域生态系统调查方法》(GB/T 43681)、《全国生态状况调查评估技术规范——森林生态系统野外观测》(HJ 1167)、《立木生物量建模方法技术规程》(LY/T 2258)和《立木生物量建模样本采集技术规程》(LY/T 2259),主要引用了对灌丛生态系统类型的生物指标,如植被覆盖度、生物量等观测方法。本标准没有注日期的引用标准,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

5.4 术语和定义

(1) 灌丛生态系统类型 shrubland ecosystem

指以灌木为主的生物群落和非生物环境综合组成的生态系统,本标准中包括阔叶灌丛、针叶灌丛和稀疏灌丛。

该术语定义综合参考了《2000—2010 年全国生态环境十年变化遥感调查与评估工作手册》和《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》(HJ1166-2021)中对灌丛生态系统的描述,参照了《全国生态状况调查评估技术规范——森林生态系统野外观测》(HJ 1167-2021)中森林生态系统定义写法,结合全国生态状况调查评估工作和本标准的使用范围对术语定义进行了整合和界定。

(2) 阔叶灌丛 broadleaf shrubland

指由阔叶植被组成,高度在 0.3 m 至 5 m 之间,且植被覆盖度不小于 20%的灌丛生态系统。

该术语定义引用了《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》(HJ 1166-2021)中关于“阔叶灌丛”类型的分类依据。

(3) 针叶灌丛 needleleaf shrubland

指由针叶植被组成,高度在 0.3 m 至 5 m 之间,且植被覆盖度不小于 20%的灌丛生态系统。

该术语定义引用了《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》(HJ 1166-2021)中关于“针叶灌丛”类型的分类依据。

(4) 稀疏灌丛 sparse shrubland

指植被高度在 0.3 m 至 5 m 之间,植被覆盖度在 4%至 20%之间的灌丛生态系统。

该术语定义引用了《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》(HJ 1166-2021)中关于“稀疏灌丛”类型的分类依据。

5.5 标准主要技术内容确定的依据

5.5.1 关于野外观测技术流程

本标准旨在对灌丛生态系统的野外观测做出基本要求,为生态状况调查评估工作的精细化开展提供支撑,其目的之一是满足遥感产品验证的要求。

从目的性来说,野外观测可以直接或间接地评价遥感产品值的准确性,以分析遥感产品应用结果的真实性。生态遥感产品反映了地表生态状况,一定程度上反映了地表生态参数的真实值,而地表生态参数真实值的获取则依赖于生态遥感参数的野外观测,因此,野外观测是本标准的目的和技术基础。野外观测的真实值,通过直接或间接的方式,与遥感产品值进行对比分析,进而完成遥感产品的验证工作。

从技术上来说,生态遥感参数的野外观测要解决几个基本问题,即观测对象、观测内容、观测地点、观测方法等。上述几个问题,规定了灌丛生态系统野外观测工作的基本框架,本标准即就上述几个问题提出要求。具体来说,灌丛生态系统类型识别要求,解决了“观测对象”问题;样地选择与样方设置要求,解决了“观测地点”问题;观测指标体系要求,解决了“观测内容”问题;观测技术方法要求,解决了“观测方法”问题。

总体来说,本标准就是以上述有关观测技术的问题为基础,指导灌丛生态系统生态遥感产品的验证。根据具体工作流程来看,即对灌丛生态系统类型识别——样地样方设置——观测指标体系构建——观测技术方法等各环节的要求。

灌丛生态系统野外观测工作流程包括:明确观测的灌丛生态系统类型,设置样地和样方,从基本情况、水文指标、土壤指标、生物指标和胁迫指标等 5 个方面确定野外观测指标体系和技术方法,开展灌丛生态系统野外观测,具体如下。

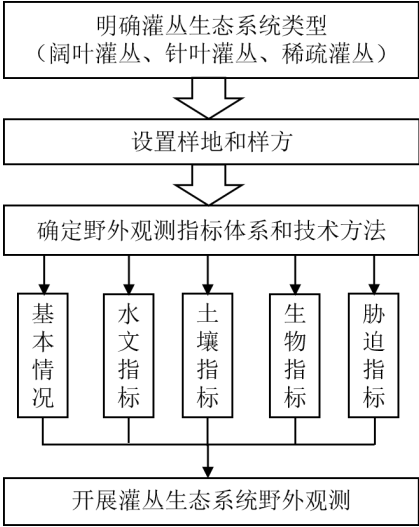


图 2 灌丛生态系统野外观测总体技术流程

5.5.2 关于灌丛生态系统类型

灌丛 (shrubland) 作为重要的生态系统类型,在不同国家和机构的分类体系中被归入不同的类别。

(1) 国际上的灌丛类型

在 FAO 全球森林资源评估 (FRA) 体系中,“其他林地” (Other Wooded Land, OWL) 成熟时树木高度可达 5 米以上且木本植被覆盖率在 5%-10%,或树木、灌木覆盖率超过 10% 但灌木高度通常处于 0.5-5 米之间,同时面积不小于 0.5 公顷、宽度不低于 20 米的区域。在这一分类框架下,部分低盖度的天然灌丛 (如非洲萨王纳灌丛,盖度 6%-9%) 和矮化人工

灌木林（如干旱区柠条种植林，高度 3-4 m，盖度 8%）被纳入 OWL 类别；而高盖度灌丛（如地中海马基群落，盖度超过 10%）则被归类为“森林”，极稀疏灌丛（盖度低于 5%）则被划入“其他土地”类型。这一分类方法虽然为全球森林资源统计提供了统一标准，但也导致许多具有重要生态功能的灌丛生态系统未能被单独识别和评估，特别是那些盖度接近阈值（5% 或 10%）的过渡型灌丛，其分类结果容易因监测精度或季节变化而产生偏差。

IUCN 全球生态系统分类体系（Global Ecosystem Typology）是一套整合生态功能与物种组成特征的层级化分类框架，其中“灌丛与灌丛化林地”功能群对全球灌丛生态系统进行了科学划分，核心包含季节性干旱热带灌丛、季节性干旱温带石南与灌丛、寒温带石南灌丛等关键生态系统功能组。其中，地中海地区的马基群落是“季节性干旱温带石南与灌丛”的典型代表，由硬叶常绿灌木构成，适配夏季干旱、冬季温和的地中海气候，且该类灌丛多演化出耐火、耐旱的适应性特征；北美鼠尾草灌丛作为干旱区灌丛的特征类型，广泛分布于北美西部干旱半干旱区域，其物种具备显著的耐旱机制以应对稀缺降水环境；极地/高山灌丛主要归属于寒温带石南灌丛功能组，集中分布在北极苔原带与高山区域，由极地柳、苔原杜鹃等低矮耐寒灌木组成，通过特殊生理结构适配寒冷气候与短生长季的极端环境。这一分类体系基于生态功能、气候驱动与物种组合等多维度核心指标，为全球灌丛生态系统的保护评估、管理决策提供了科学统一的标准框架。

美国国家土地覆盖数据库（NLCD）将灌丛/灌木地明确定义为以灌木为主导、高度低于 5 m 且灌木冠层盖度通常超过 20% 的区域（当乔木盖度低于 25% 时，灌木盖度一般需超过 25%）。该分类既涵盖原生自然演替灌丛，也包含火灾、采伐后形成的次生灌丛，还纳入幼龄树木或因环境胁迫矮化的树木群落。NLCD 以 30 m 分辨率 Landsat 卫星影像为核心数据源，遵循修正的 Anderson 二级分类系统，结合辅助数据与地面验证实现地类识别和制图。其定义与美国森林调查（FIA）体系形成互补，后者将至少 10% 树冠盖度、面积 ≥ 0.405 ha、宽度 ≥ 36.58 m 的木本植被归为森林，而 NLCD 森林盖度阈值为 20%。该标准可有效监测美国西部干旱区灌丛扩张、东部次生灌丛演替等生态过程，为土地管理和生物多样性保护提供关键基础数据支撑。

国际地圈生物圈计划（IGBP）分类方案是 MODIS 土地覆盖产品（MCD12Q1）采用的全球土地覆盖分类体系之一，该方案共包含 17 个土地覆盖类型，其中对灌丛生态系统进行了专门划分。在 IGBP 分类中，灌丛被细分为两个子类：第 6 类“Closed Shrublands”（郁闭灌丛）指木本植被高度低于 2 m 且冠层盖度超过 60% 的灌丛群落，主要分布在半干旱和地中海气候区；第 7 类“Open Shrublands”（稀疏灌丛）则指高度同样低于 2 m 但冠层盖度在 10%-60% 之间的灌丛系统，常见于干旱区。这一分类特别强调灌丛的高度阈值（2 m）和盖度梯度，通过多时相 NDVI 数据结合地表反射率特征进行识别。但由于其 500 m 的空间分辨率限制，在实际应用中常出现低盖度灌丛与草原，以及高灌丛与矮树林的混淆问题。MCD12Q1 最新 Collection 7 版本未新增类型，而是通过优化交错带分类算法、提升质量控制体系等，增强了城乡边缘区及过渡带的分类精度，这一改进在非洲萨赫勒地带等关键区域的验证中表现出更好的分类精度。

美国马里兰大学（UMD）土地覆盖分类方案是 MODIS 数据产品的重要全球土地覆盖分类体系之一，该方案将灌丛生态系统划分为两大核心类型：第 8 类“封闭灌丛（Closed

Shrubland)”，指木本占优、灌木高度通常不超过 2 m 且冠层盖度高于 60%，可分为常绿或落叶属性，地中海马基斯群落是典型代表；第 9 类“开放灌丛 (Open Shrubland)”，指木本占优、灌木高度通常不超过 2 m 且冠层盖度 10%-40%，同样含常绿与落叶类型，常见于干旱区、温带草原及北极苔原等区域。该方案以 AVHRR/MODIS 多波段反射率、全年时序 NDVI 及物候数据为核心输入，通过决策树分类算法完成识别，其低于 2 m 的灌木高度阈值能有效区分灌丛与高于 5 m 的林地、草本占优的稀树草原。早期 UMD 产品原始分辨率为 1 km，后续适配 MODIS 的产品有 250 m、500 m 等分辨率，受分辨率限制，其在城市灌木公园等小尺度人工灌丛区域的分类精度易受影响。

(2) 国内的灌丛类型

《中国植被》分类系统是我国最权威的植被分类体系，其对灌丛生态系统进行了系统而细致的划分。该系统将我国灌丛划分为五大类型：常绿阔叶灌丛主要分布在热带、亚热带低山与石灰岩山地，涵盖耐阴喜湿及耐旱耐贫瘠等类型，以常绿阔叶灌木为建群种；常绿针叶灌丛多见于高山区，以耐寒的圆柏、刺柏等为建群种；落叶阔叶灌丛分布最广，从温带延伸至热带，常见物种包括荆条、胡枝子等；常绿革叶灌丛是高山特殊类型，以杜鹃花科等革叶灌木为代表；灌草丛则是森林或灌丛遭持续干扰后形成的次生群落，以中生多年生草本为主、伴生少量灌木，属于群落演替阶段。该分类系统以植物群落学—生态学为原则，综合生活型、生态地理特征与物种组成划分，为我国的植被调查、生态恢复和生物多样性保护提供了重要科学依据。

国家基础地理信息中心研制的全球 30 m 地表覆盖数据 (GlobeLand 30) 将灌丛生态系统归类为“灌木地”，其定义标准为：一般地区灌木覆盖度 $\geq 30\%$ 、荒漠地区 $\geq 10\%$ ，涵盖山地灌丛、落叶灌丛、常绿灌丛及荒漠灌丛等类型。该数据集采用多时相 Landsat 和 HJ-1 卫星影像，结合面向对象分类方法，实现了对全球灌丛的高精度制图（总体分类精度达 80% 以上）。值得注意的是，该分类体系将红树林等灌丛湿地归湿地类、灌木苔原归苔原类，与灌木地为并列独立类型。

中国科学院土地利用分类系统 (LUCC) 对灌丛生态系统采用了双指标分类法，科学界定了两种典型类型：灌木林指郁闭度超过 40%、以灌木层为优势的木本植被，主要分布在南方丘陵和西南喀斯特山区；灌丛草地则是以草本植物为基底、灌丛盖度 10%-40% 的过渡类型，广泛存在于北方草原和青藏高原高寒地带。该分类体系创新性地采用“覆盖度—植被优势层”核心指标，精准区分灌丛与森林、灌丛—草地过渡带，为生态恢复工程实施和国土空间规划提供了重要依据。

武汉大学提出的中国年度土地覆盖数据集 (CLCD) 将灌木 (Shrub) 纳入 9 类一级分类体系，该数据集基于 GEE 平台的 Landsat 长时序数据，采用随机森林分类器结合时空滤波后处理，实现土地覆盖的高精度识别，总体精度约 80%。

《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南 (试行)》中，灌丛相关地类分属两类独立三级地类：一是灌丛沼泽，归属湿地类，定义为以灌木为优势群落、覆盖度 $\geq 40\%$ 的淡水沼泽，三江平原柳丛沼泽、若尔盖高原灌木沼泽均属此类；二是灌木林地，归属林地类，定义为灌木覆盖度 $\geq 40\%$ 的林地，不包含灌丛沼泽。

(3) 灌丛生态系统类型确定

为了服务于全国生态状况调查评估工作，生态环境部发布了《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》（HJ1166-2021），规定了生态系统遥感解译与野外核查的总则、技术流程、遥感解译与野外核查以及生态系统类型解译结果等要求。共分为森林生态系统（阔叶林、针叶林、针阔混交林、稀疏林）、灌丛生态系统（阔叶灌丛、针叶灌丛、稀疏灌丛）、草地生态系统（草甸、草原、草丛、稀疏草地）、湿地生态系统（沼泽、湖泊、河流）、农田生态系统（耕地、园地）、城镇生态系统（居住地、城市绿地、工矿交通）、荒漠生态系统（沙漠、沙地、盐碱地）和其他（冰川/永久积雪、裸地）8种Ⅰ级分类和24种Ⅱ级分类。

灌丛作为一类植被，是指以灌木为主体的植物群落，它们通常没有明显的主干，高度在5 m 以下，并且具有相对较高的盖度（通常 30%到 40%）。灌丛的种类丰富多样，适应不同的环境条件，从热带至温带，从低地到高山均有分布。本标准中的灌丛生态系统类型主要依据《2000-2010 年全国生态环境十年变化遥感调查与评估工作手册》和《全国生态状况调查评估技术规范——生态系统遥感解译与野外核查》（HJ1166-2021）中灌丛生态系统的分类标准，分为阔叶灌丛、针叶灌丛和稀疏灌丛。其中阔叶灌丛指由阔叶植被组成，高度在 0.3 m 至 5 m 之间，且植被覆盖度不小于 20%的灌丛生态系统，包括常绿阔叶灌丛和落叶阔叶灌丛。针叶灌丛指由针叶植被组成，高度在 0.3 m 至 5 m 之间，且植被覆盖度不小于 20%的灌丛生态系统，包括常绿针叶灌丛。稀疏灌丛指植被高度在 0.3 m 至 5 m 之间，植被覆盖度在 4%至 20%之间的灌丛生态系统。

在已完成的 4 次全国生态状况调查评估工作中对灌丛生态系统的基本情况进行了评估。其中，全国生态环境十年变化（2000-2010 年）遥感调查与评估结果显示，2010 年灌丛生态系统空间分布与森林相似，主要分布于东部湿润、半湿润地区，灌丛生态系统质量整体较低。2000-2010 年，灌丛生态系统质量总体得到改善，灌丛生态系统质量为优等级的比例从 10.4% 提高到 11.7%；全国生态状况变化（2010-2015 年）调查评估发现，2010-2015 年灌丛生态系统面积有所减少，灌丛生态系统主要转为农田和森林生态系统。五年间，全国优等级占比由 11.7%提高到 13.3%，主要分布在太行山、秦岭和天山等地区；2015-2020 年全国生态状况变化遥感调查评估结果表明，2000—2020 年间，灌丛生态系统面积有所减少，2000 年以来，全国自然生态系统（森林、灌丛、草地）质量总体改善。从植被绿度来看，全国有 61.54% 的区域绿度指数增加，灌丛贡献度为 11.53%。

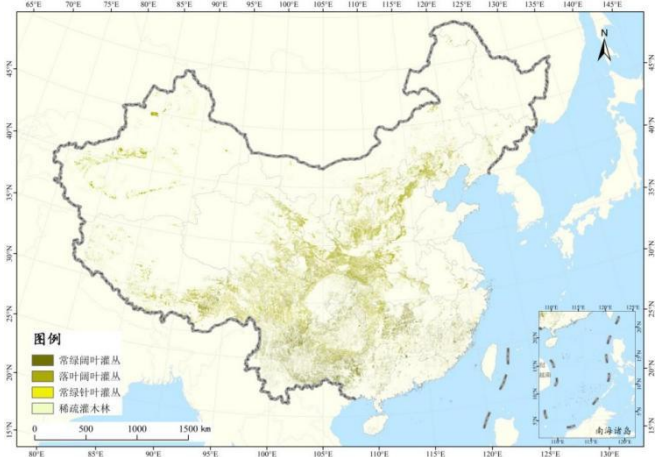


图 3 灌丛生态系统空间分布

5.5.3 关于野外观测样地选择与样方设置

样地为地面观测工作提供了场所，同时，作为下垫面，样地也是观测内容的所在地。观测样地相对固定，长期影响了观测工作的效率、质量、数量等，因此野外观测工作首先对观测样地选址提出基本要求。总体来说，灌丛生态系统野外观测样地的选择与样方设置需要遵循系统性、代表性和科学性的原则。根据国内外主要分类体系要求，样地应选择能代表目标灌丛类型（如阔叶灌丛、稀疏灌丛等）的典型区域，避开人为干扰，并考虑生态梯度变化。为了保证观测内容能真实反映生态系统特点，样地的生态状况要稳定、典型；为了保证观测工作的顺利开展，样地交通、通讯等保障条件要满足基本要求；为了保证观测区域的自然性，样地周边要尽量减少人类活动、人类设施。样方应反映各类灌丛生态系统随地形、土壤和人为环境等的变化特征；为了保证观测数据的真实和科学，考虑设置重复观测样地和样方。

灌丛生态系统观测指标需要布设野外的观测样地和样方，需要考虑样地选择和样方布设的方法和原则。

样地选择具体为：①样地选择需具有代表性和典型性，避免在权属不清、变更频繁的地区选择样地。②布设时应优先考虑利用已有的长期观测样地，并综合考虑代表性、经济性、可达性等。在生态系统类型交错、复杂的区域应适当增加样地密度；在地形和植被类型单一的区域可酌情减少。③针对某一特定类型的灌丛生态系统，应至少设置 2 个具有代表性的独立样地，以反映类型内的自然变异。样地形状应尽可能规整（如正方形或长方形），面积不小于 10000 m²。④样地应选择在生态系统类型一致的平地或相对均一的缓坡坡面上，应远离公路、居民点等强烈人为干扰区域，距离一般不小于 50 m。

样方布设具体为：①样方应反映各类灌丛生态系统随地形、土壤和人为环境等的变化特征，每个样地须保证有不少于 3 个重复样方。针对地形复杂、生境高异质性的灌丛分布区域，可适当增加样方数量。样方大小根据气候带、灌丛群落结构特征不同进行设置，对于结构完整、生长成熟的灌丛，样方大小一般设置为 10 m×10 m；在城市或扰动强烈区域，由于生境破碎化，灌丛斑块面积有限，可酌情设置 5 m×5 m 的样方；在高山、干旱区等以低矮灌丛为主的区域，可采用 5 m×5 m 或 2 m×2 m 的样方。②对于地表覆盖相对均一的样地，样方布设应采用简单随机抽样或系统抽样。③对于非均一样地（如包含明显的地形或土壤梯度），应采用分层随机抽样。根据主导环境因子（如土壤类型、干扰强度等）将样地划分为若干相对均一的层级，然后在每个层级内随机布设至少 1 个样方。

5.5.4 关于野外观测指标体系

本标准所规定的核心工作是野外观测，观测和验证的直接对象是关键地表参数。为更好地服务于全国生态状况调查评估的行业研究和业务应用，观测指标的选取尤为重要，直接影响了本标准的实用性，因此需要对观测指标做出选择，并对其观测提出基本要求。根据国内外灌丛生态系统分类体系与野外观测标准，灌丛生态系统野外观测指标应涵盖气象特征、植被特征、土壤环境、生态功能及干扰响应等多个方面。如林草部门发布的《森林生态系统长期定位观测方法》（GB/T 33027-2016）、《森林生态系统长期定位观测指标体系》（GB/T 35377-2017）、《森林生态系统定位观测指标体系》（LY/T 1606-2003）、《热带森林生态系统定位观测指标体系》（LY/T 1687-2007）和《寒温带森林生态系统定位观测指标体系》

(LY/T 1722-2008)等规范,主要针对森林生态系统,对灌木层的观测有一些规定。对灌木层的观测样方设置有相关的要求,关于灌木丛的观测内容为灌木种的株数(丛数)、株高、盖度、多度、生物量等。

本标准主要参考全国生态状况调查评估系列规范中的《全国生态状况调查评估技术规范——森林生态系统野外观测》(HJ1167-2021)、《全国生态状况调查评估技术规范——草地生态系统野外观测》(HJ1168-2021)等森林、草地等生态系统的野外观测规范,主要从灌丛生态系统的基本情况、水文、土壤、生物和胁迫指标等方面提出观测要求。

(1) 已有数据基础

野外观测指标体系中涉及水文、气象等指标时,可以充分依据已有水文、气象等站点监测数据、获取方法和仪器,获取或补充灌丛生态系统参数野外观测数据;同时,可以充分利用前期全国生态状况调查评估工作中已有工作基础,为现阶段样地样方的布设等提供依据或直接继承。

(2) 野外观测指标设置

根据全国生态状况调查评估工作所需生态参数等指标体系,参考2000年全国生态环境调查、全国生态环境十年变化(2000-2010年)遥感调查与评估、全国生态状况变化(2010-2015年)调查评估和2015-2020年全国生态状况变化遥感调查评估的工作基础,结合灌丛生态系统类型的特征,灌丛生态系统野外观测指标的设置,主要基于以下四个方面的考虑,确保指标体系全面、科学且可操作:

1) 考虑指标体系的继承性与规范性

指标的选取衔接国家生态调查评估体系,充分继承和延续了全国生态状况调查评估项目(如全国生态环境十年变化调查评估、2015-2020年全国生态状况变化遥感调查评估等)的成熟生态状况调查评估指标体系。这保证了本标准的观测数据能与历史及未来的全国性数据进行有效对比与整合,满足宏观生态状况评估与决策的需求,所选指标均是在这些工作实践中被验证为可靠、稳定且可获取的核心生态参数。

2) 考虑指标体系的系统性与完整性

指标体系涵盖生态系统核心组分,遵循生态系统“格局—过程—功能”的认知框架,力求系统性地反映灌丛生态系统的全貌。

基本情况指标:聚焦于驱动生态系统格局与过程的非生物环境因子,如地形(海拔、坡度、坡向)和小气候,这些是决定灌丛类型分布和生长的基础条件。

土壤与水文指标:作为生态系统的关键非生物过程载体,选取了土壤物理(机械组成、容重、含水量)、土壤化学(有机质、pH、有机碳)和水文特征(径流、蒸散)等指标,用以评估系统的物质循环、能量流动和保水固土固碳功能。

生物与类型指标:聚焦生态系统的生物群落结构与组成。通过灌丛类型、种类、优势种、群落结构特征(高度、冠径、覆盖度)和生物量等,量化系统的生物多样性、生产力及健康状况。

3) 考虑指标体系的针对性与特殊性

在通用生态观测指标的基础上,重点引入了灌丛生态系统特有的、核心的指标。

群落结构指标:冠径/丛径、灌丛年龄等是反映灌丛个体生长阶段和群落演替阶段的关

键参数。

生物量与覆盖度：灌丛主要生长在干旱、土壤贫瘠的环境，植被覆盖度和生物量是衡量其初级生产力和防风固沙等生态功能强弱的直接指标。

4) 考虑指标体系的可操作性与应用性

所有观测指标均充分考虑其在野外观测实践中的可获取性与可测量性。所选指标均具备成熟的野外调查方法与技术规范支持，能够由调查人员在样地尺度上通过实地测量、采样与实验室分析等方式准确获取。同时，指标体系也兼顾了与遥感等大尺度监测技术的衔接，如叶面积指数、植被覆盖度等，可实现“天地一体化”的协同验证与拓展应用。

基于以上考虑，本标准构建了灌丛生态系统的基本情况、水文指标、土壤指标、生物指标、胁迫指标等五大观测内容。根据灌丛生态系统需要观测的特征内容，选择制定了相应的观测指标。灌丛生态系统的基本情况主要观测小气候、地形类型、海拔、坡度、坡向；水文指标主要观测径流量和蒸散量；土壤指标主要观测土壤机械组成、土壤容重、土壤含水量、土壤有机质含量、土壤 pH、土壤有机碳密度；生物指标主要观测灌丛生态系统的灌丛种类、冠径/丛径、多度、频度、灌丛高度、灌丛年龄、灌丛优势种、灌丛起源、灌丛生物量、植被覆盖度、叶面积指数；胁迫指标主要观测影响灌丛生态系统的人为干扰和自然灾害。具体见下图。

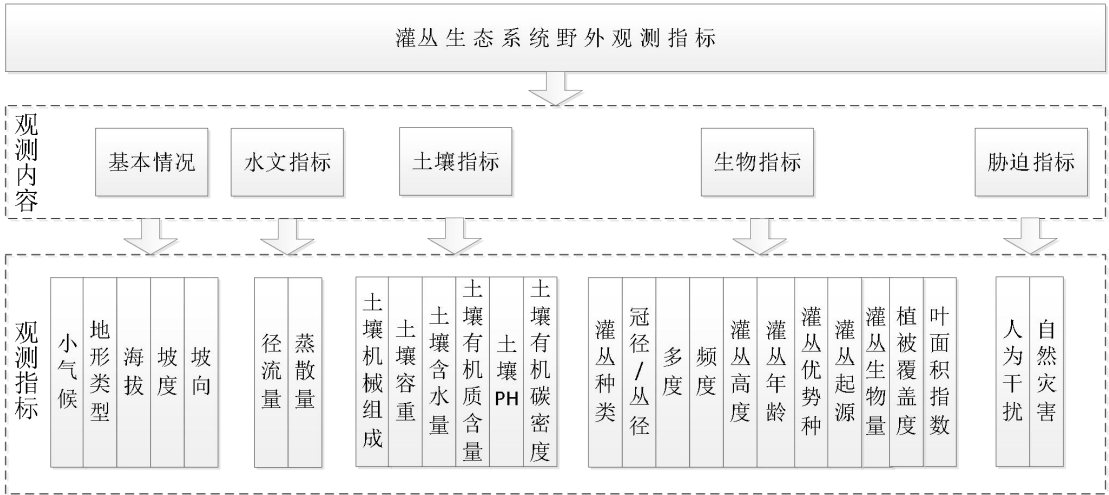


图 4 灌丛生态系统野外观测指标体系

5.5.5 关于野外观测技术方法

观测技术方法的选择直接影响观测真值的获取，从而影响后续生态遥感产品的验证，因此需要对各指标的观测技术方法提出要求。调研国内外相关标准规范，总体来看，从观测方式来说，分为自动观测和人工观测。自动观测主要面向长期、周期性、规律性观测，且具有专用仪器的参数，如利用雨量计、温度测量仪等测量降雨量、气温等气候状况；人工观测主要包括在样地内使用观察法或者利用专业仪器或对观测时间、精度、频率等有特殊要求的指标，如灌丛高度、植被覆盖度等。

(1) 基本情况

灌丛生态系统的基本情况观测包括小气候、地形类型、海拔、坡度、坡向等 5 个指标。根据调研的标准规范，制定了每个指标的观测方法。本标准中各项指标观测方法的选择，是

基于科学性、规范性、可操作性三大原则进行的系统设计。其核心依据在于：首先严格遵循并引用现行国家标准，如《地面气象观测规范》（GB/T 35221）、《生态系统评估 区域生态系统调查方法》（GB/T 43681）、《全国生态状况调查评估技术规范 森林生态系统野外观测》（HJ 1167）等，确保观测程序的规范性与数据的可比性；其次，结合指标自身的科学内涵与时空变化特征，例如对小气候等动态变化的要素采用连续监测，对地形等稳定要素则采用周期性核实；最后，充分兼顾野外观测的实际条件与可行性，为关键指标（如海拔、坡度）提供了从高精度技术（GPS、DEM）到实用工具（罗盘、卷尺）的多路径方案，从而在保证数据质量的前提下，增强了本标准在不同场景下的适应性与可推广性。

1) 小气候

指标定义：灌丛生态系统温度、降雨、风速/风向、太阳辐射、湿度、积温、无霜期等（监测站连续观测；或人工观测，1月1次）。

野外观测方法：依托长期定位观测站，对灌丛生态系统的温度、降雨、风速/风向、太阳辐射、湿度等进行连续监测；积温与无霜期等指标基于观测数据计算得出。具体观测技术，包括观测场地的选择、仪器的安装高度、测量精度和数据采集，参照 GB/T 35221 和 GB/T 33027 中关于气象要素观测的相关要求。

观测频度：连续观测或每月观测 1 次。

2) 地形类型

指标定义：分为平原、山地、丘陵、高原和盆地。

野外观测方法：采用现场观察与地形图分析相结合的方法进行判定。主要分为平原、山地、丘陵、高原和盆地，可根据实际情况在此基础上进行细化和备注，参照 HJ 1167 的相关要求执行。

观测频度：每 5 年观测 1 次。

3) 海拔

指标定义：地面某个地点高出海平面的垂直距离。

野外观测方法：利用全球定位系统获取，或使用数字高程模型（DEM）提取。

观测频度：每 5 年观测 1 次。

4) 坡度

指标定义：地表单元陡缓的程度，通常指坡面的垂直高度和水平距离的比值。

野外观测方法：使用数字高程模型（DEM）提取或采用罗盘等工具测量，参照 GB/T 43681 的相关要求执行。

观测频度：每 5 年观测 1 次。

5) 坡向

指标定义：坡面法线在水平面上的投影的方向，可理解为坡面所面对的方向。

野外观测方法：使用数字高程模型（DEM）提取或采用罗盘等工具测量，参照 GB/T 43681 的相关要求执行。

观测频度：每 5 年观测 1 次。

（2）水文指标

灌丛生态系统的水文指标观测包括径流量和蒸散量 2 个指标。根据调研的标准规范，制

定了每个指标的观测方法。关于水文指标观测方法的选择，遵循国家与行业标准规范。径流量的观测明确要求水文基础设施建设需参照《水文基础设施建设及技术装备标准》(SL/T 276)等相关技术规程执行，确保了从站点设置到数据获取全过程的规范性与权威性。其次，紧密结合水文过程的自然特性与观测条件。针对径流量在汛期与非汛期的显著差异，设置了弹性方案；对于连续发生的蒸散过程，方法选择时考虑指标本身时空变异规律，优先推荐“仪器直接观测”以捕捉其动态变化。最后，兼顾方法的科学先进性与野外实操可行性。在蒸散量的观测上，既提供了基于精密仪器（如涡度相关仪）的直接测定法，以实现高精度连续测量，也保留了相对简明的替代方案，确保了在不同设备条件和人力物力资源下，观测任务均能够有效实施。这种多层次的方法体系设计，保障了标准在复杂现实环境中的广泛适用性。

1) 径流量

指标定义：某一时段内通过河流某一过水断面的水量（监测站连续观测；或人工观测，汛期 1 月 1 次，非汛期 1 季度 1 次）。

野外观测方法：灌丛生态系统通常进行河道径流观测，依托已有水文观测站点进行观测，水文基础设施建设参照 SL/T 276 相关要求执行。若无已有固定站，于汛期 1 月 1 次人工观测，在非汛期每季度 1 次人工观测，通过测量断面面积与流速（使用流速仪法）计算流量。

观测频度：连续观测或每月观测 1 次或每个季度观测 1 次。

2) 蒸散量

指标定义：土壤蒸发和植物蒸腾的总耗水量（监测站连续观测；或人工观测，1 月 1 次）。

野外观测方法：通过对观测样方设置仪器直接观测或者采用湍流交换法测定。仪器直接观测主要采用蒸渗仪，设置一个装满土壤的容器，容器表面裸露或生长植被，以测定土壤蒸发和植物蒸腾的总耗水量。湍流交换法主要采用涡度相关仪，安装在地表水平、均一的样地，测定灌丛蒸散量。

观测频度：连续观测或每月观测 1 次。

(3) 土壤指标

灌丛生态系统的土壤指标观测包括土壤机械组成、土壤容重、土壤含水量、土壤有机质含量、土壤 pH、土壤有机碳密度 6 个指标。根据调研的标准规范，制定了每个指标的观测方法。土壤指标观测方法的选择，主要体现标准化、精确化与差异化原则。首先，所有指标的测定方法均严格遵循并引用现行国家、行业或地方标准，如《土壤有机质的测定》(GB/T 47361)、《土壤 干物质和水分的测定 重量法》(HJ 613)、《土壤有机碳的测定 重铬酸钾氧化-分光光度法》(HJ 615)、《土壤 pH 值的测定 电位法》(HJ 962)、《森林土壤颗粒组成（机械组成）的测定》(LY/T 1225)、《土壤检测 第 4 部分：土壤容重的测定》(NY/T 1121.4) 等，确保了从样品采集、前处理到实验室分析全过程的规范性与数据可比性。例如，土壤机械组成参照 LY/T 1225 采用经典的吸管法，土壤有机质含量则参照 GB/T 47361 采用重铬酸钾氧化容量法，这些方法均为相应领域公认的权威方法。其次，方法选择充分考虑了不同指标的物理化学特性及对时效性的要求。对于相对稳定的土壤本底属性（如机械组成、容重等），采用周期性的野外采样与室内分析，并设定较长的观测频度（每 5 年 1 次）；而对于易发生季节性波动的属性（如含水量、有机质含量、pH 值等），则设定了更高的观测频率（每年 1 次），并采用电位法等能够快速、精确测定的标准方法。最后，

在保证数据准确性的前提下，方法选择也体现了对技术发展与实操便利的兼顾。例如，土壤含水量的观测既保留了实验室烘干法这一基准方法，也推荐了土壤水分传感器进行连续观测，为不同精度的监测需求提供了可选方案。

1) 土壤机械组成

指标定义：土壤中土粒的大小及其比例状况。

野外观测方法：采用吸管法测定，主要测定土壤粗砂、粉砂和黏粒含量，具体采样方法和测定步骤参照 LY/T 1225 的相关要求执行。

观测频度：每 5 年观测 1 次。

2) 土壤容重

指标定义：自然状态下，单位体积土壤（包括孔隙）的烘干重量。

野外观测方法：通过野外土壤剖面，利用环刀法测定土壤容重，具体参照 NY/T 1121.4 相关要求执行。

观测频度：每 5 年观测 1 次。

3) 土壤含水量

指标定义：土壤绝对含水量，即 100 g 烘干土中含有的水分量。

野外观测方法：采集土壤样品，立即密封，带回实验室称取鲜重后，于 105℃ 下烘干至恒重，计算水分含量占烘干土重的百分比，可参照 HJ 613。连续观测可布设土壤水分传感器。

观测频度：每年观测 1 次。

4) 土壤有机质含量

指标定义：单位体积土壤中含有的各种动植物残体与微生物及其分解合成的有机物质的数量。

野外观测方法：采集土壤样品，风干后过筛，采用重铬酸钾氧化容量法测定，具体参照 GB/T 47361 的相关要求执行。

观测频度：每年观测 1 次。

5) 土壤 pH

指标定义：土壤酸碱度。

野外观测方法：采用电位法观测，具体参照 HJ 962 相关要求执行。

观测频度：每年观测 1 次。

6) 土壤有机碳密度

指标定义：单位面积中一定厚度的土层中有机碳储量。

野外观测方法：采用重铬酸钾氧化-分光光度法测定土壤有机碳密度，具体参照 HJ 615 的相关要求执行。

观测频度：每年观测 1 次。

(4) 生物指标

灌丛生态系统的生物指标观测包括灌丛种类、冠径/丛径、多度、频度、灌丛高度、灌丛年龄、灌丛优势种、灌丛起源、生物量、植被覆盖度、叶面积指数 11 个指标。根据调研的标准规范，制定了每个指标的观测方法。生物指标观测方法的选择，首先严格遵循了群落

生态学调查的基本范式与国家标准。对于物种组成与结构指标（如灌丛种类、多度、频度等），均采用经典的样方调查法，并引用《林业资源分类与代码 森林类型》（GB/T 14721）等规范确保物种识别的准确性，体现了方法的规范性与可比性。其次，方法设计充分考虑了不同指标的特异性与植被的生长型。针对可直接测量的形态指标（如冠径/丛径、灌丛高度等），采用卷尺、测高杆等工具进行直接测定，简单高效；而对于复杂的综合参数，则采用了多层次、精细化的技术方案。例如，生物量的测定根据灌木高矮差异，分别采用采样烘干法和引用《立木生物量建模方法技术规程》（LY/T 2258）和《立木生物量建模样本采集技术规程》（LY/T 2259）异速生长方程法；植被覆盖度和叶面积指数的观测则针对高大与低矮灌丛，分别适配了无人机遥感、鱼眼相机和冠层分析仪等不同技术，确保了数据采集的科学性与准确性。最后，所有观测统一在每年 7-9 月的生长旺季进行，保证了数据能真实反映灌丛群落的年际最大生物潜能与季节动态，增强了年际序列数据的可比性。

1) 灌丛种类

指标定义：单株灌木的种类。

野外观测方法：采用样方调查法，对样方内的每一株灌丛进行识别，记录其物种名称。常见灌木种名称及代码可参考 GB/T 14721 相关要求执行。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

2) 冠径/丛径

指标定义：植冠的直径，冠径用于不成丛单株散生的灌木种类；丛径用于成丛生长的灌木种类。

野外观测方法：采用测量法。冠径用于单株散生的灌木种类，用卷尺测量其植冠东西和南北两个方向的直径，取平均值。丛径用于成丛生长的灌木，用卷尺测量灌丛丛冠东西和南北两个方向的最大直径，取平均值。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

3) 多度

指标定义：一定样地面积内某种灌木物种的个体数目。

野外观测方法：对样方内不同植物物种进行鉴别，目视观测样方内每一种灌丛物种的个体数目。对于丛生且不易区分个体的灌丛植物，地上部分独立的一丛算作一株。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

4) 频度

指标定义：某种灌木物种出现的样方数占全部样方数的百分比。

野外观测方法：在样方内随机设置次级样方 10~20 个（如：1 m×1 m 或 2 m×2 m），统计每种植物出现的次级样方次数，计算某种植物出现的次级样方数占总次级样方数的百分比。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

5) 灌丛高度

指标定义：灌丛群落植被平均高度。

野外观测方法：随机选择样方内某种灌木的 10 株（丛）健康个体，用测高杆或卷尺测量其自然状态下从地面到最高叶冠层之间的垂直高度，取平均值作为灌丛高度。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

6) 灌丛年龄

指标定义：灌丛群落植被平均年龄。

野外观测方法：针对单株散生的灌木种类，在样地内选择灌丛优势种的 10 株（丛）健康个体，用生长锥在基部钻取木芯，通过计数年轮以确定年龄，取平均值作为灌丛年龄。对于丛生灌木，可通过判断枝条的轮生痕或回溯地上部分枝条的年龄来估算，参照 GB/T 33027 相关要求执行。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

7) 灌丛优势种

指标定义：灌丛生态系统中数量特征（多度、频度或植被覆盖度）占优势地位的灌木物种。

野外观测方法：灌丛生态系统中数量特征（多度、频度或植被覆盖度）占优势地位的灌木物种为灌丛优势种，通过计算重要值判定，重要性值由多度、盖度和频度取均值得到。依据重要值排序，将显著突出的前 1~3 位的物种确定为灌丛优势种。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

8) 灌丛起源

指标定义：灌丛群落的形成来源。

野外观测方法：根据样地的立地条件、植被演替特征、人为/自然干扰痕迹及群落组成特征，综合判定灌丛群落形成原因，将灌丛划分为原生灌丛、次生灌丛和人工灌丛。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

9) 生物量

指标定义：某一时刻单位面积内实存生活的有机物质总量。

野外观测方法：灌丛生态系统生物量观测分为地上生物量观测和地下生物量观测，两者干物质质量（干重）之和为总生物量，具体如下：地上生物量观测根据样方内所有灌木进行测量，针对高于 2 m 的高大灌木，依据异速生长方程计算，采样及方程计算方法具体参照 LY/T 2258 和 LY/T 2259 相关要求执行；针对低于 2 m 的低矮灌木，将不少于 3 个样方内植物地面以上所有绿色部分用剪刀齐地面剪下，按样方分别装进样品袋，做好标记。对采集的样本进行称量鲜重后，65℃烘干至恒重后称量干重，将多个样方内干重值求平均，获取生物量。地下生物量观测根据根冠比来计算，采样及方程计算方法具体参照 LY/T 2258 和 LY/T 2259 相关要求执行。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

10) 植被覆盖度

指标定义：灌丛植被（包括叶、茎、枝）在地面的垂直投影面积占统计区总面积百分比。

野外观测方法：采用照相机法，计算获得样方植被覆盖度，拍摄时应避免照片范围内存在阴影。针对高大灌木，宜采用无人机搭载可见光/多光谱相机，进行采样式定点悬停拍摄，获得无人机样方影像，影像地面分辨率控制在厘米尺度，并通过无人机影像计算得到植被指数，进而获得植被覆盖度；针对低矮灌木，尽量贴近地面，使用鱼眼相机垂直向上拍摄，对鱼眼照片进行处理，计算得到植被覆盖度。每个样方内布设 5 个采样点，即样方中心设置 1

个点，在四角点方向距离中心点 4 m 处各设 1 个采样点，同一个采样点需要拍摄至少两次，样方的植被覆盖度为 5 个采样点的平均值。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

11) 叶面积指数

指标定义：单位土地面积上植物叶片总面积与土地面积的比值。

野外观测方法：采用叶面积指数仪/冠层分析仪测定。针对高大灌木，采用叶面积指数仪或冠层分析仪进行测量，然后计算样方平均叶面积指数。采样点沿样地的两条斜对角线等间距分布，两点之间间隔不超过 5 m，每条对角线上观测至少 8 次。针对低矮灌木，采用植物冠层分析仪进行测量，将冠层分析仪的传感器置于灌丛群落底部，尽可能接近地面，向上对整个群落结构进行扫描，可得出群落的总叶面积指数。

观测频度：每年 7-9 月，观测 1 次。

(5) 胁迫指标

灌丛生态系统的胁迫指标包括人为干扰和自然灾害 2 个指标。根据调研的标准规范，制定了每个指标的观测方法。

1) 人为干扰

指标定义：人类活动对灌丛生态系统结构和功能造成的物理性扰动与破坏。

野外观测方法：采用现场观察与记录法，调查并记录样地内及周边存在的各类人为干扰类型、强度与范围，如：砍伐、放牧、旅游踩踏、基础设施建设等。

观测频度：根据实际情况及时观测。

2) 自然灾害

指标定义：由自然因素引发的、对灌丛植被造成损害的急性事件及其遗留痕迹。

野外观测方法：采用现场观察与记录法，调查并记录样地内由自然因素引发的急性损害事件类型、发生时间、影响面积与强度，如病虫害、水灾、旱灾、火灾等。具体参照 GB/T 33027。

观测频度：根据实际情况及时观测。

基于前述灌丛生态系统观测指标体系，本标准设计了一套完整的野外调查记录表体系，旨在系统化、标准化地采集与记录野外观测数据。该记录表体系由《灌丛生态系统样地情况调查表》与《灌丛生态系统样方调查表》构成。

《灌丛生态系统样地基本情况调查表》主要用于记录样地宏观环境属性，包括地形地貌（海拔、坡度、坡向等）、水文指标（径流量、蒸散量）、土壤指标（机械组成、容重、有机质等）以及小气候数据（温湿度、风速、辐射等），同时设置了人为干扰与自然灾害等胁迫指标的专项记录模块，为生态系统功能评估提供环境背景数据支撑。

《灌丛生态系统样方调查表》则聚焦于灌丛群落结构与组成特征，详细记录灌丛类型、物种组成、多度、高度、冠径/丛径、频度、植被覆盖度、叶面积指数、生物量等关键生物指标。该表采用分层调查记录格式，支持对样方内每种灌木进行逐项测量与描述，并可基于所获数据计算重要值，科学判定群落优势种等。

表 5 灌丛生态系统样地情况调查表

样地号: _____

调查日期: _____

调查人: _____

一、基本信息						
样地所在行政区		经纬度（采用度分秒格式）		样地景观照片编码		
二、地形地貌						
地形类型	☐ 平原 ☐ 山地 ☐ 丘陵 ☐ 高原 ☐ 盆地					
海拔（m）		坡向（°）		坡度（°）		
坡位	☐ 脊部 ☐ 上坡 ☐ 中坡 ☐ 下坡 ☐ 山谷 ☐ 平地					
三、水文指标（观测方式： ☐ 自动监测站 ☐ 人工观测）						
径流量（m ³ ）		蒸散量（mm）				
四、土壤指标（采样记录）						
土壤机械组成	采样深度(cm)		采样点数量		采样日期	
土壤容重	采样深度(cm)		采样点数量		采样日期	
土壤含水量	采样深度(cm)		采样点数量		采样日期	
土壤有机质含量	采样深度(cm)		采样点数量		采样日期	
土壤 pH	采样深度(cm)		采样点数量		采样日期	
土壤有机碳密度	采样深度(cm)		采样点数量		采样日期	
五、小气候（观测方式： ☐ 自动气象站 ☐ 便携式设备人工观测）						
指标	记录值		观测时间		备注	
空气温度（℃）						
相对湿度（%）						
降雨量（mm）						
风速（m/s）						
风向						
太阳辐射（W/m ² ）						
六、胁迫指标						
人为干扰	☐ 有 ☐ 无	类型： ☐ 砍伐 ☐ 放牧 ☐ 旅游 ☐ 垦殖 ☐ 基础设施建设 ☐ 其他：_____				
		现场描述（干扰面积、干扰次数等）：_____				
		干扰强度等级： ☐ 轻度（存在零星、间歇性干扰痕迹，不改变群落优势种结构）； ☐ 中度（存在明显、经常性干扰，群落结构发生变化）； ☐ 重度（存在强烈、持续性干扰，原生植被严重退化）				
自然灾害	☐ 有 ☐ 无	类型： ☐ 风害 ☐ 雪压 ☐ 冰雹 ☐ 滑坡 ☐ 火灾 ☐ 干旱 ☐ 病虫害（主要物种：_____） ☐ 其他：_____				
		发生时间/痕迹：_____；影响面积：_____				
		灾害影响强度等级： ☐ 轻度（枝叶受损但主枝完好的比例 >50%，且整体死亡率 <10%；灾害斑块面积占样地面积 <10%）； ☐ 中度（主枝折断或严重损伤的个体比例达 10%~50%，整体死亡率 10%~30%；灾害斑块面积占样地面积 10%~30%）； ☐ 重度（主枝严重损伤或死亡的个体比例 >50%，整体死亡率 >30%；灾害斑块面积占样地面积 >30%）				
备注（异常情况或未观测项说明原因）						
注 1：样地所在行政区具体到村一级行政单位名称，以“省+市+县+镇（乡）+村”格式填写。						
注 2：“□”为勾选项，可打√，按照实际情况和调查结果填写。						
注 3：表格中数字均保留 2 位小数。						

表 6 灌丛生态系统样方调查表

样地号: _____ 样方号: _____ 调查日期: _____ 调查人: _____

一、样方环境与总体特征								
样方面积 (m ²)			样方中心点经纬度 (采用度分秒格式)					
样方照片编号	全景照片编号: _____; 近景照片编号: _____							
灌丛类型	☐ 阔叶灌丛 ☐ 针叶灌丛 ☐ 稀疏灌丛							
植被覆盖度 (%)			测量方式	☐ 鱼眼相机 ☐ 无人机 ☐ 其他: _____				
叶面积指数			测定方式	☐ 冠层分析仪 ☐ 叶面积指数仪 ☐ 其他: _____				
生物量 (kg/m ²)			测定方式	☐ 收获法 ☐ 相对生长方程法 ☐ 其他: _____				
二、灌丛群落分层调查记录								
种名	冠径/丛径 (cm)	高度 (m)	多度	盖度 (%)	频度	年龄 (年)		备注
(中文名及拉丁学名)	(东西 × 南北)		(个体数目)	(该种在样方内的投影盖度)	(出现次级样方数/总次级样方数)	年	测定方法	(健康状况、物候等)
							☐ 生长锥 ☐ 轮生痕 ☐ 模型	
							☐ 生长锥 ☐ 轮生痕 ☐ 模型	
... (可根据需要增加行数)								
三、群落综合判定								
优势种 (建议通过计算重要值确定)	优势种 1: _____		重要值: _____		个体照片编号: _____; 生境照片编号: _____			
	优势种 2: _____		重要值: _____		个体照片编号: _____; 生境照片编号: _____			
	优势种 3: _____		重要值: _____		个体照片编号: _____; 生境照片编号: _____			
灌丛高度 (m)			灌丛年龄 (年)					
灌丛起源	☐ 原生灌丛 ☐ 次生灌丛 ☐ 人工灌丛							
备注 (记录天气、特殊情况、数据存疑说明等)								
注 1: 表格中数字均保留 2 位小数。								
注 2: “ ☐ ”为勾选项, 可打 ☒ , 按照实际情况和调查结果填写。								
注 3: 重要值 = (多度 + 盖度 + 频度) / 3。								

6 与国内外同类标准水平对比和分析

总体上,虽然全球陆地监测系统(GTOS)、全球通量观测网络(FLUXNET)、英国环境变化网(ECN)和美国长期生态研究网络(LTER)等监测网络系统制定的标准与规范中都涉及了灌丛生态系统的长期观测,但是有关灌丛生态系统长期观测方面的国际标准尚未制定。而且有些区域性的灌丛定义、观测指标体系和技术方法是针对特定的区域特定的问题而设置,并不适用于中国地区,无法应用于我国生态系统评估工作。相关部门和机构发布的专门的灌丛生态系统观测指标不全,且大多与森林和草地监测合在一起。同时设置的观测指标较为详细具体,但这些指标对于生态状况调查评估工作相对冗余,且存在观测指标不适用的情况。需要制定一套服务于生态状况综合评估的标准化、规范化灌丛野外观测技术规范,服务于灌丛生态系统野外观测和后续生态状况评估工作。

因此,本标准更加符合我国生态系统与地理格局的客观现实,主要服务于我国开展国家尺度的灌丛生态系统生态状况调查评估的工作。由于服务目标不同,本技术规范中的观测指标体系也与其他行业部门技术规范有明显差异。本技术规范的观测指标,主要依据生态系统评估(格局、质量、功能、问题等)模型所需参数,构建观测指标体系,设置有针对性的观测指标,如生物量、多度、叶面积指数、灌丛类型、土壤和气象特征等参数。

7 标准实施建议

1. 建议标准发布后,加强宣贯与培训。标准发布后,标准管理部门及标准编制单位应做好标准的宣贯与培训,加强解释和说明,帮助技术人员理解标准内容,有助于标准的推广和实施。

2. 建议根据标准实施过程中发现的问题和反馈,根据生态环境标准制修订工作的要求,及时对本标准进行修订和完善,以适应实际工作的需要。

8 参考文献

- [1] 胡会峰, 王志恒, 刘国华, 傅伯杰. 中国主要灌丛植被碳储量[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 539-544.
- [2] 蔡文涛, 来利明, 李贺祎, 等. 草地灌丛化研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2016(4): 531-537.
- [3] 赵哈林, 苏永中, 张华, 等. 灌丛对流动沙地土壤特性和草本植物的影响[J]. 中国沙漠, 2007(3): 385-390.
- [4] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 等. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1757-1764.
- [5] 吴宁. 川西北窄叶鲜卑花灌丛的类型和生物量及其与环境因子的关系[J]. 植物学报, 1998, 40(9): 860-870.
- [6] 谢晋阳, 陈灵芝. 中国暖温带若干灌丛群落多样性问题的研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(3): 197-207.

- [7] 张宏, 史培军, 郑秋红. 半干旱地区天然草地灌丛化与土壤异质性关系研究进展[J]. 植物生态学报, 2001, 25(003): 366-370.
- [8] 王迎新, 陈先江, 娄珊宁, 等. 草原灌丛化入侵: 过程、机制和效应[J]. 草业学报, 2018, 27(5): 219-227.
- [9] 彭海英, 李小雁, 童绍玉. 干旱半干旱区草原灌丛化研究进展[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 313.
- [10] 刘文彬. 岷江上游半干旱河谷灌丛的主要类型[J]. 山地研究, 1994, 12(1): 27-31.
- [11] 于应文, 胡自治, 徐长林, 等. 东祁连山高寒灌丛植被类型与分布特征[J]. 甘肃农业大学学报, 1999, 34(1): 12-17.
- [12] 奚为民. 怀柔山区灌丛群落优势种群生态位的研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(4): 324-330.
- [13] 张光富, 宋永昌. 浙江天童灌丛群落的种类组成、结构及外貌特征[J]. 广西植物, 2001, 21(3): 201-207.
- [14] 许文强, 罗格平, 陈曦. 干旱区绿洲-荒漠过渡带灌丛土壤属性研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 583-586.
- [15] 曹嘉瑜, 刘建峰, 袁泉, 等. 森林与灌丛的灌木性状揭示不同的生活策略[J]. 植物生态学报, 2020, 44(7): 715.
- [16] 刘梦, 陈芳清, 王玉兵, 等. 广西中部 7 种典型灌丛群落的物种多样性特征[J]. 热带亚热带植物学报, 2018, 26(2): 157-163.
- [17] 王庆慧, 李婧贤, 彭羽, 等. 我国灌丛生态系统服务功能价值评估[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 233-237.
- [18] 谢宗强, 唐志尧. 中国灌丛生态系统碳储量的研究[J]. 植物生态学报, 2017, 41(1): 1-4.
- [19] 邵京, 李晓松, 杨珺婷, 等. 光学与雷达遥感协同的大尺度草地灌丛化监测研究[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(2): 130-135.
- [20] 唐蛟, 殷金忠, 潘飞飞, 等. 生态恢复中灌丛保育效应研究进展[J]. 应用生态学报, 2022, 33(8): 2279.
- [21] 金钊, 齐玉春, 董云社. 干旱半干旱地区草原灌丛荒漠化及其生物地球化学循环[J]. 地理科学进展, 2007, 26(4): 23-32.