

DOI:10.12356/j.2096-8884.2021-0017

· 综合评述 ·

# 国家退耕还林工程生态监测体系区划布局研究

王兵<sup>1,2</sup>, 牛香<sup>1</sup>, 郭珂<sup>1,2\*</sup>

1. 中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所, 国家林业和草原局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;  
2. 北京林业大学信息学院, 北京 100083

**摘要:** 【目的】构建国家退耕还林工程生态监测体系, 以评估退耕还林工程生态建设成效, 巩固已有成果, 走高质量发展之路, 从而促进国家生态文明建设。【方法】以国家退耕还林工程实施区域为研究对象, 构建包括气候(热量条件和水分条件)、植被类型和典型生态区等驱动退耕还林工程生态功能分异的关键因素的生态监测区划指标体系, 采用GIS空间分析技术和合并标准指数法, 获取退耕还林工程生态功能监测区划; 同时, 依据退耕还林工程实施规模、已建站的分布、典型生态区和监测站布局密度, 统筹布局退耕还林工程生态效益监测站。【结果】退耕还林工程生态功能监测区划共包括77个生态功能监测单元区, 位于或部分位于全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区、国家重点生态功能区的占比分别为88.31%、70.13%、67.53%、89.61%; 退耕还林工程生态功能监测网络共布局99个退耕还林工程生态效益监测站(兼容型一级站20个, 兼容型二级站31个; 专业型一级站18个, 专业型二级站30个), 其中位于全国重要生态系统保护和修复重大工程区83个、全国生态脆弱区79个、国家生态屏障区41个、国家重点生态功能区58个, 监测可覆盖的全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区和国家重点生态功能区的类型占比分别为66.70%、100%、100%、76%。【结论】提出的退耕还林工程生态监测体系包括生态监测区划和监测网络布局两方面, 不仅可以满足退耕还林工程的监测需求, 还可以有效监测典型生态区的保护和修复成效。

**关键词:** 退耕还林工程; 生态监测区划; GIS; 典型生态区; 监测站

**中图分类号:** S718.55      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2096-8884(2022)01-0057-16

## The Layout of the Ecological Monitoring System of the Gain for Green Project in China

WANG Bing<sup>1,2</sup>, NIU Xiang<sup>1</sup>, GUO Ke<sup>1,2\*</sup>

1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of National Forestry and Grassland Administration; Ecology and Nature Conservation Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. School of Information Science & Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** 【Objective】The aim of this study was to construct the ecological monitoring system of the Gain for Green Project in China to evaluate the ecological construction effect of the project, consolidate the existing achievements, take the road of high-quality development, and promote the construction of national ecological civilization. 【Method】Taking the area of the Gain for Green Project as the object, the index system of ecological monitoring regionalization is constructed according to the driving factors such as climate (thermal and moisture condition), vegetation types and typical ecological area of the forest ecological function differentiation of the Gain for Green Project, and the ecological function monitoring zone of the Gain for Green Project is obtained by using GIS spatial analysis technology and combined standard index method. Then, according to the scale of the project, the spatial distribution of the existing stations, the typical ecological zones and the density of the monitoring stations, the ecological benefit monitoring stations of the project were arranged in an overall way. 【Result】A total of 77 ecological function monitoring unit areas are included in the ecological function monitoring area of the Gain for Green Project, with 88.31%, 70.13%, 67.53% and 89.61% of the areas located or partially located in the national major ecological system protection and restoration engineering areas, national ecological fragile areas, national ecological barrier areas and national key ecological function areas, respectively. A total of 99 monitoring stations (20 compatible first-level stations, 31 compatible second-level stations, 18 professional first-level stations and 30 professional second-level stations) were distributed in the ecological function monitoring network of the Gain for Green Project. Among them, 83 are located in national major ecological system protection and restoration engineering areas, 79 in national ecological fragile

收稿日期: 2021-09-06; 接受日期: 2022-02-25

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2020ZD002-2); 国家林业和草原局委托项目(130207-21-102, 91212-2021)

第一作者 The first author. E-mail: wangbing@caf.ac.cn; \*通讯作者 Author for correspondence. E-mail: guoke2929@163.com

areas, 41 in national ecological barrier areas, and 58 in national key ecological function areas. the percentages of monitoring types that can cover the national major ecological system protection and restoration engineering areas, national ecological fragile areas, national ecological barrier areas and national key ecological function areas were 66.70%, 100%, 100% and 76%, respectively. **【Conclusion】** The ecological monitoring system of the Gain for Green Project proposed in this study includes two aspects: ecological monitoring regionalization and monitoring network layout, which can not only meet the monitoring needs of the Gain for Green Project, but also effectively monitor the protection and restoration effects of typical ecological areas.

**Key words:** the Gain for Green Project; ecological monitoring regionalization; GIS; typical ecological areas; monitoring stations

退耕还林工程作为世界著名生态工程,是中共中央、国务院在世纪之交着眼中华民族长远发展和国家生态安全做出的重大决策,其实施改变了我国延续几千年的“毁林开荒”局面,极大推进了国土绿化、生态修复进程,对改善生态环境、打赢脱贫攻坚战、振兴乡村经济、拓宽农民就业增收渠道等发挥了显著作用(李世东, 2021; 国家林业和草原局, 2019)。退耕还林工程实施至今已 20 余年,发挥着涵养水源、固碳释氧、净化大气环境和防风固沙等生态功能(刘胜涛, 2018; 师贺雄, 2016; 田宁宁, 2015),生态效益突出,社会经济效益稳步提升(庄斌, 2018; 孟庆香, 2009),是“两山”理念的生动实践。目前,处于“十三五”收官、“十四五”现代化新征程开启的关键时期,在促进退耕还林工程提质增效、走高质量发展之路的同时,建立健全生态产品保护补偿制度和价值化实现机制,是应对当前保护与发展双重压力、机遇与挑战并存新形势下的新思路。这个新思路的实现需要准确科学评估工程建设成效、总结经验、查找工程建设管理工作中的薄弱环节。然而,评估的最大制约因素在于退耕还林生态系统基础生态参数的获取(国家林业局, 2017)。因此,建设退耕还林工程生态监测体系以获取生态参数,是当前亟待解决的问题,对于评估退耕还林工程生态建设成效、巩固已有成果、走高质量发展之路,为国家生态文明建设和国际履约贡献力量具有重要意义。

退耕还林工程生态监测体系包括 2 个方面,其一是目标明确、科学合理的退耕还林工程生态功能监测区划;其二是标准规范、运行科学、协同高效的退耕还林工程生态功能监测网络。生态区划是对生态区域和生态单元的划分和合并研究(傅伯杰等, 2013),最早真正意义上的生态区划方案是 1976 年由美国生态学家 Bailey (1976)按地域、区、省和地段 4 个等级划分、编制的美国生态区域图。此后各国生态学家对生态区划的原则、依据、指标、等级和方法进行了大量研究和讨论,同时形成了全球、国家和区域尺度上的多角度生态区划(Bailey, 1998; Wiken, 1996; Zoltai and Pollett, 1983)。由于科研条件限制,我国自然区划研究起步较晚,其中《中国气候区域论》标志着我国近代自然区划的开始(竺可桢, 1931),随后众多学者对我国自然地域分异规律进行了大量研究,提出了一系列区划原则和指标体系,在众多区划中以中国综合自然区划(黄秉维, 1959)、中国生态地理区域系统(郑度, 2008)、中国森林分区(吴中伦, 1997)、中国植被区划(张新时, 2007; 吴征镒, 1980)应用较为广泛。同时,针对不同区域尺度的生态区划研究大量涌现(白杨等, 2011; 蔡霞等, 2011; 孙彬淳等, 2011; 韩旭, 2008; 汤小华, 2005),其中包括典型区域退耕还林工程生态区划(刘祖英, 2018),但针对全国尺度的退耕还林工程生态功能监测区划尚未见报道。

森林生态学研究表明,建立森林生态系统定位观测研究站,形成布局合理、建设标准、监测规范、协调高效的森林生态功能监测网络是开展森林生态功能监测最有效的手段。目前,世界上许多国家已开展了生态系统长期定位观测,并逐渐由单独生态定位站发展为生态系统定位观测研究网络(Hobbie *et al.*, 2003; Miller *et al.*, 2001; Vaughan *et al.*, 2001)。中国于 20 世纪 50 年代开始长期生态定位观测研究,经过几十年的发展,形成了以森林、湿地、荒漠、竹林、城市生态系统为一体的陆地生态系统定位观测研究网络(Chinese Terrestrial Ecosystem Research Network, CTERN)和中国生态系统研究网络(Chinese Ecosystem Research Network, CERN)。但二者是对全国的森林生态系统进行长期定位观测研究,虽然与退耕还林工程生态监测有重合,但并不是一个有明确指向性的退耕还林工程森林生态功能监测网。为全面掌握并评估全国退耕还林工程生态效益的状况及动态变化,满足国家生态文明建设、区域管理政策制定、党中央和国务院及主管部门决策、巩固退耕还林工程成果及其高质量发展等方面的需要,亟需规划和建设具有明确指向性的退耕还林工程专项森林生态功能监测网络。

鉴于此,本文以国家退耕还林工程实施区域为对象,基于 GIS 技术,进行退耕还林工程生态功能监

测区划和网络布局研究, 构建退耕还林工程生态监测体系, 以满足退耕还林工程成果巩固、提质增效、建立健全生态补偿机制的迫切需求, 同时可为其它林业生态工程监测体系的构建提供方法依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

退耕还林工程是从保护和改善生态环境出发, 将易造成水土流失的坡耕地有计划、分步骤地停止耕种, 本着宜乔则乔、宜灌则灌、宜草则草和乔灌草结合的原则, 因地制宜造林种草, 恢复林草植被。自1999年启动以来, 经历了试点示范、全面启动、巩固成果和新一轮退耕还林4个阶段, 实施范围覆盖全国25个省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团(图1), 从北到南横跨寒温带、中温带、暖温带、亚热带和热带等多个气候带, 从西到东广泛分布于青藏高原高寒区、干旱半干旱地区、低山丘陵区等区域, 综合效益显著, 是迄今为止我国政策性最强、投资量最大、涉及面最广和群众参与程度最高的一项生态建设工程, 也是最大的强农惠农项目。

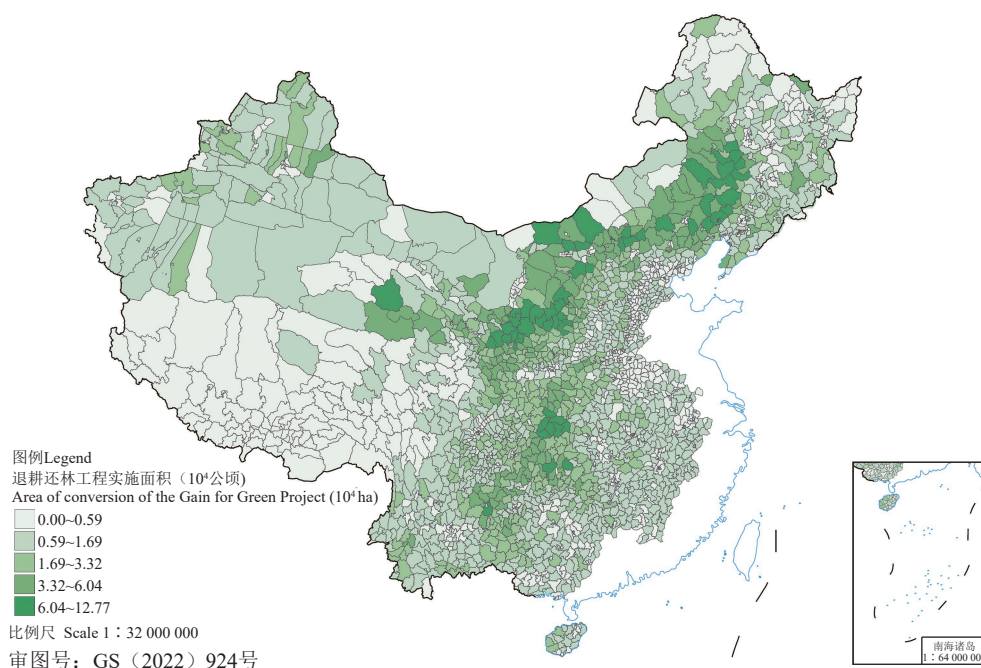


图1 退耕还林工程实施区域

Fig. 1 Area of Grain for Green Project

截至2019年底, 全国退耕还林工程植被恢复总面积达到3 193.84万hm<sup>2</sup>。全国各省退耕还林工程植被恢复的空间分布特征如表1所示, 退耕还林工程植被恢复面积占全国退耕还林工程植被恢复总面积的比例较高的省级区域从高到低依次为内蒙古(9.49%)、陕西(8.55%)、甘肃(7.26%)、贵州(6.85%)、四川(6.81%)和云南(6.16%), 是退耕还林工程实施的重点省级区域, 因此也是退耕还林工程生态功能和效益监测的重点区域。

### 1.2 数据来源与研究方法

#### 1.2.1 数据来源

本文选用数据主要包括: 1) 退耕还林工程实施面积县级数据, 来源于国家林业和草原局退耕还林还草工程管理中心; 2) 省级和县级行政区划数据, 来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<https://www.resdc.cn/>); 3) 中国生态地理区划, 数据来源于《中国生态地理区域系统研究》(郑度, 2008); 4) 中国森林一级分区数据, 来源于《中国森林》(吴中伦, 1997); 5) 全国重要生态系统保护和修复重大工程数据, 来源于国家林业和草原局; 6) 全国生态脆弱区数据, 来源于《全国生态脆弱区保护规划纲要》(环境保护部, 2008); 7) 国家生态屏障区和国家重点生态功能区数据, 均来源于《全国主体功能区规划》(中华人民共和国国务院, 2015)。

表1 省级区域退耕还林工程面积

Table 1 Area of Gain for Green Project at provincial level

省级区域 Provincial areas	面积 Area/ 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	占比 Proportion/ %	省级区域 Provincial areas	面积 Area/ 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	占比 Proportion/ %	省级区域 Provincial areas	面积 Area/ 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	占比 Proportion/ %
北京 Beijing	5.34	0.17	江西 Jiangxi	75.73	2.37	云南 Yunnan	197.17	6.17
天津 Tianjin	0.78	0.02	河南 Henan	109.91	3.44	西藏 Xizang	3.80	0.12
河北 Hebei	186.26	5.83	湖北 Hubei	116.37	3.64	陕西 Shaanxi	273.03	8.55
山西 Shanxi	186.47	5.84	湖南 Hunan	143.96	4.51	甘肃 Gansu	231.99	7.26
内蒙古 Inner Mongolia	303.04	9.49	广西 Guangxi	99.87	3.13	青海 Qinghai	74.77	2.34
辽宁 Liaoning	112.23	3.51	海南 Hainan	13.16	0.41	宁夏 Ningxia	89.51	2.80
吉林 Jilin	64.81	2.03	重庆 Chongqing	161.32	5.05	新疆 Xinjiang	112.06	3.51
黑龙江 Heilongjiang	112.11	3.51	四川 Sichuan	217.85	6.82	新疆生产建设兵团 Xinjiang Production and Construction Corps	23.12	0.72
安徽 Anhui	60.20	1.88	贵州 Guizhou	218.98	6.86	<b>总计 Total</b>	<b>3 193.84</b>	<b>100.00</b>

### 1.2.2 指标体系构建及矢量化

退耕还林工程生态监测区划是科学布局退耕还林工程生态效益监测站（简称退耕还林工程监测站）、形成满足生态功能监测及生态效益评估需求的监测体系的基础，其关键在于指标体系构建的合理性。本文综合考虑国家退耕还林工程的实施目标和发展策略、驱动生态功能分异的关键因素以及国家典型生态区，选用指标如下：

#### 1) 气候指标

气候是决定植被生长发育和地理分布最重要的资源和限制条件（[郭定荣, 2021](#)）。影响退耕还林工程森林生态功能的气候因素主要包括2大类，即热量条件（年平均温度、极端最低和最高气温、1月平均气温、7月平均气温、年无霜期、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温数值和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温天数）和水分条件（年降水量、相对湿度）。在热量条件中， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温数值和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温天数对植物生长发育具有重要指示作用，因此本研究选用的主要热量指标为 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温数值和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温天数。水分条件除受年降水量、相对湿度影响外，还受蒸散量调控，而干湿指数综合了区域年均降水量和蒸散量两方面因素，因此选用的水分指标为干湿指数。

中国生态地理区划（[郑度, 2008](#)）全面反映了全国的气候条件，且本研究所采用气候指标与其一致，因此其区划结果同时也反映了全国退耕还林工程实施区的气候条件，可作为本研究气候指标。但中国生态地理区划为栅格数据，需通过定义投影，进行几何纠正和矢量化等预处理步骤获得气候矢量图层。

#### 2) 森林植被指标

中国森林区划（[吴中伦, 1997](#)）综合我国森林类型自然分布和主要森林自然地理环境特点，将中国森林分为2级区，充分反映了我国森林的地带性分布特征。一级区，即“地区”，反映大的自然地理区，以及较大空间范围、自然地理环境特征和地带性森林植被的一致性，其分界线基本上是比较完整的地理大区，一般以大地貌单元为单位，以大地貌的自然分界为主；二级区，即“林区”，反映较小、较具体的自然地理环境的空间一致性，一般以自然流域或山系山体为单位，以流域和山系山体的边界为界。由于退耕还林工程与地带性植被弱相关的特殊性，中国森林区划一级区划更适用于退耕还林工程生态功能监测区划，不仅可以反映退耕还林工程植被所处的地理大区，同时蕴藏着与植被的生长发育紧密相关的地形地貌、土壤分布特征。

#### 3) 典型生态区指标

典型生态区是指生态环境脆弱、亟待修复、关乎国家生态安全的重点区域，也是退耕还林工程的主要实施区域。因此，本研究选取全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区和国家重点生态功能区，作为典型生态区指标划分全国退耕还林工程生态功能监测区划。其中全

国重要生态系统保护和修复重大工程区主要布局在青藏高原生态屏障区、黄河重点生态区(含黄土高原生态屏障)、长江重点生态区(含川滇生态屏障)、东北森林带、北方防沙带、南方丘陵山地带和海岸带等重点区域。全国生态脆弱区主要分布在北方干旱半干旱区、南方丘陵区、西南山地区、青藏高原区及东部沿海水陆交接地区, 主要包括东北林草交错生态脆弱区、北方农牧交错生态脆弱区、西北荒漠绿洲交接生态脆弱区、南方红壤丘陵山地生态脆弱区、西南岩溶山地石漠化生态脆弱区、西南山地农牧交错生态脆弱区、青藏高原复合侵蚀生态脆弱区、沿海水陆交接带生态脆弱区 8 个主要分布区。国家生态屏障区构建了以青藏高原生态屏障、黄土高原川滇生态屏障、东北森林带、北方防沙带和南方丘陵土地带以及大江大河重要水系为骨架, 以其他国家重点生态功能区为重要支撑, 以点状分布的国家禁止开发区域为重要组成部分的“两屏三带”生态安全战略格局。国家重点生态功能区是指承担水源涵养、水土保持、防风固沙和生物多样性维护等重要生态功能, 关系全国或较大范围区域的生态安全, 需要在国土空间开发中限制进行大规模高强度工业化城镇化开发, 以保持并提高生态产品供给能力的区域。国家重点生态功能区是我国对于优化国土资源空间格局、坚定不移地实施主体功能区制度、推进生态文明制度建设所划定的重点区域。全国重要生态系统保护和修复重大工程区数据为文本型, 需基于全国县级行政区划矢量数据, 添加“双重区划”属性信息, 合并相同属性后, 获得“双重区划”矢量图层, 其余典型生态区均为栅格数据, 需通过定义投影, 进行几何纠正和矢量化等预处理步骤获得全国生态脆弱区、国家生态屏障区和国家重点生态功能区矢量图层。

此外, 由于全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区和国家重点生态功能区在空间上具有重叠性, 因此具有多种典型生态区属性的区域, 按照与退耕还林工程的相关性强弱设置优先级(全国重要生态系统保护和修复重大工程区 > 全国生态脆弱区 > 国家生态屏障区 > 国家重点生态功能区)。

### 1.2.3 退耕还林工程生态功能监测区划方法

#### 1) 叠加分析

叠加分析常用来提取空间隐含信息, 它以空间层次理论为基础, 将代表不同主题的数据层进行叠加产生一个新的数据层面, 其结果综合了多个层面要素所具有的属性(王超, 2014; 牛全福, 2011; 黄雪莲等, 2010)。退耕还林工程生态监测体系布局中, 主要通过将气候、森林一级分区和生态主导功能区划等矢量图层进行叠加分析, 获取退耕还林工程生态功能监测区划基础图层。

#### 2) 合并标准指数法

通过叠加分析获取的退耕还林工程生态功能监测区划基础图层并不都符合独立成为一个生态功能监测区域的面积要求和条件, 需要利用合并标准指数(merging criteria index, MCI)(郭慧, 2015), 以量化的方式, 判断该区域是被切割还是通过长边合并原则合并至相邻最长边的区域中。合并破碎区域后, 获得退耕还林工程生态功能监测区划。

### 1.2.4 退耕还林工程监测站布局依据

基于退耕还林工程生态功能监测区划, 以退耕还林还草面积为重要依据, 同时考虑区位代表性、生态站建设研究水平、生态站空间布局等多方面因素, 在每个生态功能监测单元区布局退耕还林工程监测站。其中, 除监测退耕还林工程区外, 还兼顾国家级森林生态系统监测、其它生态工程监测等任务的生态站称为兼容型监测站; 只针对退耕还林工程生态功能监测的生态站称为专业型监测站。布局依据如下:

#### 1) 退耕还林工程生态功能监测区划

退耕还林还草生态功能区划反映了退耕还林还草工程在空间上的差异, 不同的区划单元代表着不同的气候、重点生态功能、退耕实施阶段, 因此退耕还林工程监测站布局首先以退耕还林工程生态区划为基础, 实现退耕还林重点区域生态区划单元全覆盖, 以满足对不同气候区域、不同生态功能区的退耕还林工程区的生态功能监测。

#### 2) 退耕还林工程实施面积

退耕还林工程监测站网络布局以退耕还林面积为依据, 按省、市、县 3 级考虑, 实现退耕还林工程省的全覆盖监测。全国退耕还林工程省的退耕面积差距较大, 考虑监测站布局在空间上的均衡性, 不宜将全国退耕省份的退耕面积以同一水平考虑, 因此, 本布局以省级为单位, 采用 ArcGIS 中的自然间断点

分级法 (李乃强等, 2020), 将各省内县级退耕面积分为 3 级, 即高强度、中强度和低强度退耕区 (图 3, 表 2)。基于退耕还林工程生态区划和各省退耕强度分级结果, 布局退耕还林工程监测站。另外, 退耕还林规模大 (退耕面积排名靠前) 的省份、地级市、县优先布局, 即退耕重点省份优先布局且监测站数量较多, 退耕重点省份的退耕重点地级市优先布局, 退耕重点地级市的退耕重点县优先布局。

表 2 省级区域退耕还林工程面积强度分级

Table 2 Area intensity classification of Gain for Green Project at provincial level

单位unit:  $10^4 \text{ hm}^2$ 

省级区域 Provincial area	低强度退耕区 Low-intensity area	中强度退耕区 Medium-intensity area	高强度退耕区 High-intensity area
北京 Beijing	0.00—0.91	0.91—1.52	—
天津 Tianjin	0.00—0.93	—	—
河北 Hebei	0.00—1.17	1.17—3.72	3.72—7.52
山西 Shanxi	0.00—0.91	0.91—2.06	2.06—4.58
内蒙古 Inner Mongolia	0.00—1.92	1.92—4.51	4.51—8.41
辽宁 Liaoning	0.00—1.00	1.00—3.57	3.57—8.79
吉林 Jilin	0.00—1.41	1.41—4.70	4.70—11.39
黑龙江 Heilongjiang	0.00—0.57	0.57—2.00	2.00—5.39
安徽 Anhui	0.00—0.36	0.36—0.98	0.98—1.68
江西 Jiangxi	0.00—0.42	0.42—1.04	1.04—2.17
河南 Henan	0.00—0.39	0.39—1.45	1.45—4.00
湖北 Hubei	0.00—0.74	0.74—1.84	1.84—3.16
湖南 Hunan	0.00—0.82	0.82—2.31	2.31—7.16
广西 Guangxi	0.00—0.65	0.65—1.67	1.67—3.08
海南 Hainan	0.00—0.37	0.37—1.10	1.10—2.31
重庆 Chongqing	0.00—1.37	1.37—5.73	5.73—10.72
四川 Sichuan	0.00—1.02	1.02—2.03	2.03—3.44
贵州 Guizhou	0.00—1.42	1.42—3.21	3.21—6.67
云南 Yunnan	0.00—0.82	0.82—1.78	1.78—3.57
西藏 Xizang	0.00—0.12	0.12—0.29	0.29—0.49
陕西 Shaanxi	0.00—1.43	1.43—4.76	4.76—12.72
甘肃 Gansu	0.00—1.79	1.79—4.00	4.00—7.65
青海 Qinghai	0.00—0.79	0.79—2.37	2.37—6.42
宁夏 Ningxia	0.00—0.40	0.40—6.69	6.69—11.73
新疆 Xinjiang	0.00—0.90	0.90—2.18	2.18—4.73
新疆生产建设兵团 Xinjiang Production and Construction Corps	0.00—0.90	0.90—2.18	2.18—4.73

### 3) 已建站的空間分布

布局是在中国森林生态系统定位观测研究网络 (Chinese Forest Ecosystem Research Network, CFERN) 现有森林生态站的基础上遴选并拟建退耕还林工程监测站, 因此必须以已建生态站的空间分布为依据。目前 CFERN 共有森林生态站 118 个, 具体分布图见 <https://www.cfern.org/portal/list/index/id/10.html>。已建站所在的行政区域同时也是退耕还林工程实施面积大的区域, 因此可以依托已建站的站点资源进行退耕还林工程生态监测。具体为: 若退耕还林工程生态功能监测分区内已建有森林生态站, 综合考虑退耕还林工程强度和已建生态站的空间距离, 依托现有已建生态站, 在适宜区域布局退耕还林工程监测站。

### 4) 典型生态区

退耕还林工程生态区划单元内, 退耕还林工程面积较多且处于全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区和国家重点生态功能区的区域重点布局。此外, 长江流域和黄河流域是退耕还林工程建设重点区域, 应重点布局。

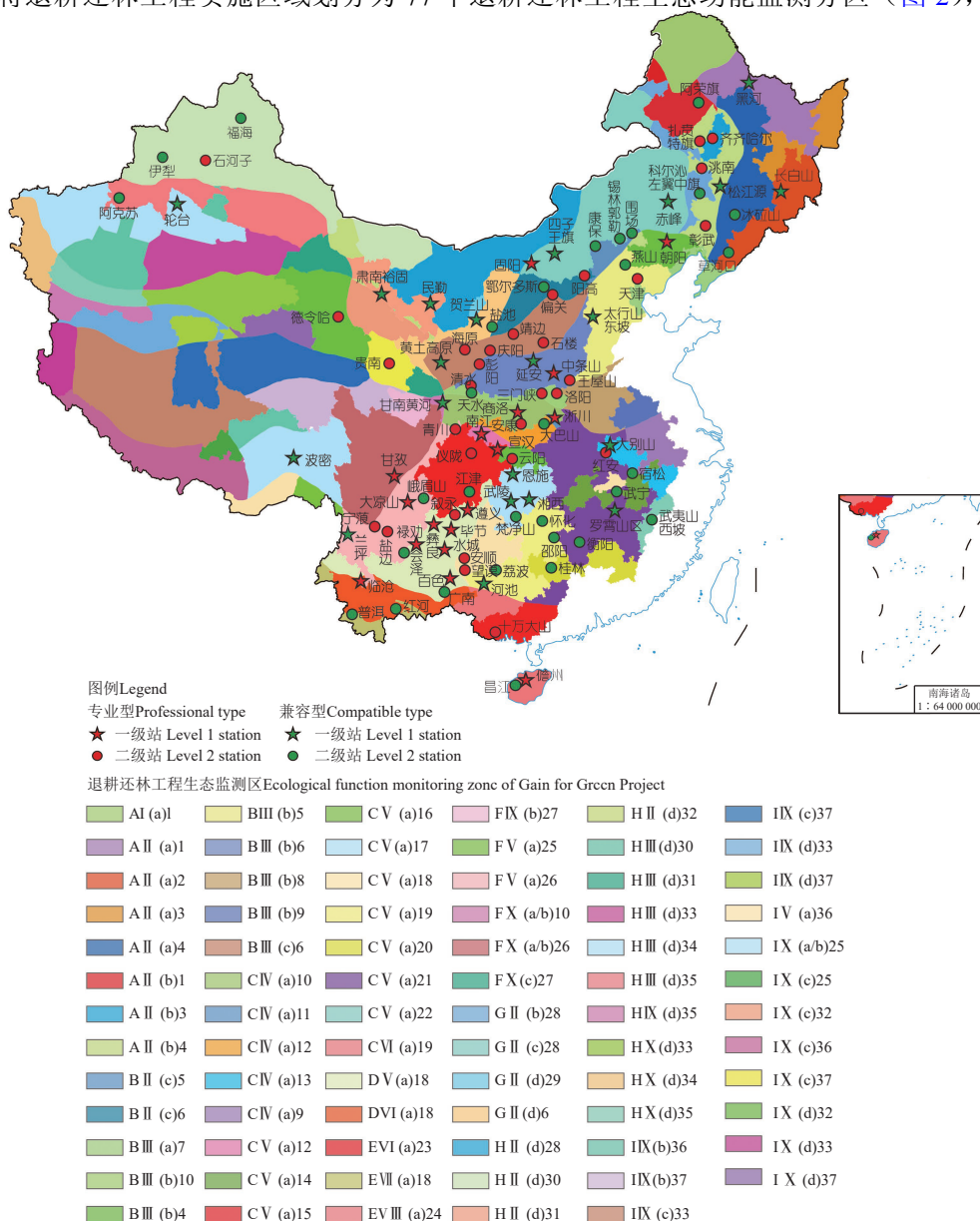
### 5) 监测站布局密度

退耕还林工程监测站布局还应统筹考虑站点之间的方位和距离, 控制站点密度, 即: 若退耕还林工程生态区划单元内存在多个高强度退耕区, 则综合考虑以上因素, 不再重复布设监测站, 以控制站点密度。最后, 依照退耕还林工程实施面积、区位重要程度、森林生态系统典型性、生态站的科研实力等因素按照重要性由大到小, 将兼容型监测站和专业型监测站划分为一级站和二级站。

## 2 结果

### 2.1 退耕还林工程生态功能监测区划

本研究将退耕还林工程实施区域划分为 77 个退耕还林工程生态功能监测分区 (图 2), 命名方法为



审图号: GS (2022) 924号

注: 图例名称中编码的涵义见表 3。See Table 3 for the meaning of codes in legend names.

图 2 退耕还林工程生态功能监测区划与布局

Fig. 2 Ecological function monitoring zone and layout of Gain for Green Project

中国森林区划一级区+气候区+典型生态区。其中, 东北区 8 个、华北区 10 个、华东中南区 16 个、云贵高原区 2 个、华南区 3 个、西南高山峡谷区 6 个、内蒙古东部森林草原及草原区 4 个、蒙新荒漠半荒漠区 13 个、青藏高原草原草甸及寒漠区 15 个。

另外, 退耕还林工程生态功能监测分区中, 位于或部分区域位于全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区、国家重点生态功能区的占比分别为 88.31%、70.13%、67.53%、89.61%。不同的退耕还林工程生态功能监测单元区具有不同的气候、地形地貌和土壤条件, 其森林生态系统所发挥的生态功能具有显著差异, 且位于不同的典型生态区, 区域发展生态需求不同。因此, 基于此区划布局退耕还林工程监测站, 既能全面监测具有不同生态功能的退耕还林工程区, 又能满足不同区域生态需求的监测需要。

表 3 退耕还林工程生态功能分区名称中编码的涵义

Table 3 The meaning of codes in the names of ecological function zones of the Project Gain for Green Project

编码 Code	名称 Name	编码 Code	名称 Name
A	东北区 Northeast area	B	华北区 North China area
C	华东中南区 Southeast China area	D	云贵高原区 Yunnan-Guizhou Plateau area
E	华南区 South China area	F	西南高山峡谷区 Southwest alpine canyon area
G	内蒙古东部森林草原及草原区 Forest steppe and grassland area in eastern Inner Mongolia	H	蒙新荒漠半荒漠区 Semi-desert area in Meng-Xin desert
I	青藏高原草原草甸及寒漠区 Grassland meadow and cold desert area in Qinghai-Tibet Plateau	II	中温带 Middle temperate zone
I	寒温带 Cold temperate zone	IV	北亚热带 North subtropical zone
III	暖温带 Warm temperate zone	VI	南亚热带 South subtropical zone
V	中亚热带 Middle subtropical zone	VIII	中热带 Middle tropical zone
VII	边缘热带 Marginal tropical zone	X	高原温带 Plateau temperate zone
IX	高原亚寒带 Plateau subtropical zone	b	半湿润区 Semi-humid zone
a	湿润区 Humid zone	d	干旱区 Arid zone
c	半干旱区 Semi-arid zone	1	东北森林带大小兴安岭森林生态保育区 Forest ecological conservation area of Xing'an Mountains in northeast forest belt
1	东北森林带大小兴安岭森林生态保育区 Forest ecological conservation area of Xing'an Mountains in northeast forest belt	2	东北森林带长白山森林生态保育区 Changbai Mountain forest ecological conservation area in northeast forest belt
3	东北森林带三江平原、松嫩平原重要湿地保护恢复区 Protection and restoration area of important wetlands in Sanjiang Plain and Songnen Plain of northeast forest belt	4	北方农牧交错生态脆弱区 Agriculture and pasture interlaced eco-fragile region in north China
5	北方防沙带京津冀协同发展生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of Beijing-Tianjin-Hebei coordinated development in northern sand-prevention belt	6	黄河重点生态区黄土高原水土流失综合治理区 Comprehensive control area of soil and water loss of Huangtu Plateau in key ecological area of Yellow River
7	海岸带黄渤海生态综合整治与修复区 Integrated ecological remediation and restoration area of Yellow Sea and Bohai Sea in coastal zone	8	黄河重点生态区黄河下游生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of lower Yellow River in key ecological areas of Yellow River
9	沿海水陆交接带生态脆弱区 Ecologically fragile areas in coastal water-land transition zone	10	黄河重点生态区秦岭生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of Qinling Mountain in key ecological area of Yellow River
11*	南水北调工程水源地生态修复区 Ecological restoration area of water source in South-to-North Water Diversion Project	12	长江重点生态区大巴山区生物多样性保护与生态修复区 Biodiversity conservation and ecological restoration area of the Daba Mountains in key eco-region of the Yangtze River



续表 3

编码 Code	名称 Name	编码 Code	名称 Name
13	长江重点生态区大别山-黄山水土保持与生态修复区 Dabieshan-Huangshan soil and water conservation and ecological restoration area in the key ecological region of Yangtze River	14	长江重点生态区鄱阳湖、洞庭湖等河湖湿地保护和修复区 Poyang Lake, Dongting Lake and other river and lake wetland protection and restoration areas in the key ecological zone of Yangtze River
15	西南岩溶山地石漠化生态脆弱区 Rocky desertification ecologically fragile area in karst southwest China	16	长江重点生态区三峡库区生态综合治理区 Ecological comprehensive control area of three gorges reservoir area in key ecological region of Yangtze River
17	长江重点生态区武陵山区生物多样性保护区 Biodiversity protection zone in the Wuling Mountains, a key ecological zone of the Yangtze River	18	长江重点生态区长江上中游岩溶地区石漠化综合治理区 Comprehensive management area of stone desertification in karst areas in the upper and middle reaches of Yangtze River in the key ecological zone of Yangtze River
19	南方丘陵山地湘桂岩溶地区石漠化综合治理区 Comprehensive control area of rocky desertification in Hunan - Guangxi karst area of southern hilly mountainous belt	20	南方丘陵山地南岭山地森林及生物多样性保护区 Nanling Mountain forest and biodiversity conservation area in southern hilly and mountainous belt
21	南方红壤丘陵山地生态脆弱区 Ecologically fragile area of hilly and mountainous red soil in south China	22	南方丘陵山地武夷山森林及生物多样性保护区 Forest and biodiversity reserve of Wuyi Mountain in southern hilly mountain belt
23	海岸带北部湾典型滨海湿地生态系统保护和修复区 Typical coastal wetland ecosystem protection and restoration area of Beibu gulf in the coastal zone	24	海岸带海南岛热带生态系统保护和修复区 Hainan island tropical ecosystem protection and restoration area in the coastal belt
25	青藏高原生态屏障区藏东南高原生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of southeast Tibetan Plateau in Qinghai-Tibet Plateau ecological barrier area	26	长江重点生态区横断山区水源涵养与生物多样性保护区 Water conservation and biodiversity conservation area in Hengduan Mountain area of a key eco-region of the Yangtze River
27	青藏高原生态屏障区若尔盖-甘南草原湿地生态保护和修复区 Ruorgai-Gannan grassland wetland ecological protection and restoration area in Qinghai-Tibet plateau ecological barrier area	28	北方防沙带内蒙古高原生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of Inner Mongolia Plateau in northern sand-prevention belt
29	黄河重点生态区贺兰山生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of Helan Mountain in key ecological area of Yellow River	30	北方防沙带天山和阿尔泰山森林草原保护区 Forest and grassland reserves of Tianshan and Altai Mountain in northern sand-prevention belt
31	北方防沙带河西走廊生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of Hexi Corridor in key ecological area of Yellow River	32	青藏高原生态屏障区祁连山生态保护和修复区 Qilian Mountain ecological protection and restoration area in Qinghai-Tibet Plateau ecological barrier area
33	青藏高原生态屏障区藏西北羌塘高原-阿尔金草原荒漠生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of Qiangtang Plateau-Altun grassland desert in northwest Tibet, ecological barrier area of Qinghai-Tibet Plateau	34	北方防沙带塔里木河流域生态修复区 Ecological restoration area of Tarim River Basin in key ecological area of Yellow River
35	西北荒漠绿洲交接生态脆弱区 Northwest desert oasis intersection ecologically fragile area	36	青藏高原生态屏障区西藏“两江四河”造林绿化与综合整治修复区 Afforestation and renovation area of 'Two Rivers and Four Rivers' in Tibet, ecological barrier area of Qinghai-Tibet Plateau
37	青藏高原生态屏障区三江源生态保护和修复区 Ecological protection and restoration area of Sanjiangyuan in Qinghai-Tibet Plateau ecological barrier area		

注: \*特殊生态区 special ecological zone。

## 2.2 退耕还林工程生态监测站布局

基于退耕还林工程生态功能监测区划, 本研究共布局 99 个退耕还林工程监测站 (图 2), 其中东北

区 10 个, 华北区 21 个, 华东中南区 27 个, 云贵高原区 11 个, 华南区 4 个, 西南高山峡谷区 8 个, 内蒙古东部森林草原及草原区 8 个、蒙新荒漠半荒漠区 7 个、青藏高原草原草甸及寒漠区 3 个。全部监测站中, 兼容型监测站 51 个, 专业型监测站 48 个。兼容型监测站中, 一级站 20 个, 二级站 31 个; 专业型监测站中, 一级站 18 个, 二级站 30 个 (表 4)。

表 4 退耕还林工程监测站布局

Table 4 Layout of monitoring stations for Gain for Green Project

编码 Code	数量 Number	监测站 Monitoring stations	现状 Status	类型 Type	级别 Level
AII(a)1	1	黑河站 Heihe station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
AII(a)2	2	草河口站 Caohekou station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		长白山站 Changbaishan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
AII(a)4	1	冰砬山站 Binglashan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
AII(b)1	1	阿荣旗站 Arongqi station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
AII(b)3	1	齐齐哈尔站 Qiqihar station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
AII(b)4	4	彰武站 Zhangwu station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		松江源站 Songjiangyuan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		洮南站 Taonan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		扎赉特旗站 Zhalaiteqi station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
BII(c)5	2	康保站 Kangbao station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		围场站 Weichang station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
BII(c)6	2	偏关站 Pianguan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		阳高站 Yanggao station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
BIII(a)7	1	天津站 Tianjin station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
BIII(b)4	1	朝阳站 Zhaoyang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
BIII(b)5	2	太行山东坡站 Taihangshandongpo station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		燕山站 Yanshan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
BIII(b)6	5	清水站 Qingshui station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		王屋山站 Wangwushan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		中条山站 Zhongtiaoshan	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		彭阳站 Pengyang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		延安站 Yanan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station

续表 4

编码 Code	数量 Number	监测站 Monitoring stations	现状 Status	类型 Type	级别 Level
BIII(b)10	3	洛阳站 Luoyang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		三门峡站 Sanmenxia station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		天水站 Tianshui station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
BIII(c)6	5	黄土高原站 Huangtugaoyuan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		海原站 Haiyuan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		庆阳站 Qingyang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		石楼站 Shilou station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		靖边站 Jingbian station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
CIV(a)10	2	安康站 Ankang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		商洛站 Shangluo station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
CIV(a)11	1	浙川站 Xichuan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
CIV(a)12	1	大巴山站 Dabashan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
CIV(a)13	2	红安站 Hongan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		大别山站 Dabieshan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
CV(a)12	1	南江站 Nanjiang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
CV(a)14	1	宿松站 Susong station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
CV(a)15	3	仪陇站 Yilong station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		宣汉站 Xuanhan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		江津站 Jiangjin station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
CV(a)16	1	云阳站 Yunyang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
CV(a)17	4	梵净山站 Fanjingshan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		武陵站 Wulingshan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		湘西站 Xiangxi station	已建站 Existing station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		恩施站 Enshi station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
CV(a)18	3	望谟站 Wangmo station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		荔波站 Libo station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		安顺站 Anshun station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station

续表 4

编码 Code	数量 Number	监测站 Monitoring stations	现状 Status	类型 Type	级别 Level
CV(a)19	3	河池站 Hechi station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		怀化站 Huaihua station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		邵阳站 Shaoyang station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
CV(a)20	1	桂林站 Guilin station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
CV(a)21	3	衡阳站 Hengyang station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		罗霄山区站 Luoxioshanqu station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		武宁站 Wuning station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
CV(a)22	1	武夷山西坡站 Wuyishanxipo station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
DV(a)18	9	广南站 Guangnan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		禄劝站 Luquan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		会泽站 Huze station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		彝良站 Yiliang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		遵义站 Zunyi station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		水城站 Shuicheng station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		毕节站 Bijie station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		叙永站 Xuyong station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		百色站 Baise station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
DVI(a)18	2	红河站 Honghe station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		临沧站 Lincang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
EVI(a)23	1	十万大山站 Shiwandashan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
EVII(a)18	1	普洱站 Puer station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
EVIII(a)24	2	昌江站 Changjiang station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		儋州站 Danzhou station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
FV(a)26	6	兰坪站 Lanping station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		盐边站 Yanbian station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		宁蒗站 Ninglang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		大凉山站 Daliangshan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		峨眉山站 Emeishan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		青川站 Qingchuan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station

续表 4

编码 Code	数量 Number	监测站 Monitoring stations	现状 Status	类型 Type	级别 Level
FX(a/b)10	1	甘南黄河站 Gannanhuanghe station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
FX(a/b)26	1	甘孜站 Ganzi station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
GII(b)28	1	科尔沁左翼中旗站 Horqinzuoyizhongqi station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
GII(c)28	5	固阳站 Guyang station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	一级站 Level 1 station
		四子王旗站 Siziwangqi station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		赤峰站 Chifeng station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
		锡林郭勒站 Xilinguole station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		鄂尔多斯站 Erdos station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
GII(d)6	1	盐池站 Yanchi station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
GII(d)29	1	贺兰山站 Helanshan station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
HII(d)30	3	石河子站 Shihezi station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
		福海站 Fuhai station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
		伊犁站 Yili station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
HII(d)31	1	民勤站 Minqin station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
HII(d)32	1	肃南裕固站 Sunanyugu station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
HIII(d)34	1	轮台站 Luntai station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
HIII(d)35	1	阿克苏站 Akesu station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	二级站 Level 2 station
IX(a/b)25	1	波密站 Bomi station	已建站 Existing station	兼容型 Compatible type	一级站 Level 1 station
IX(c)37	1	贵南站 Guinan station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station
IX(d)32	1	德令哈站 Delingha station	拟建站 Proposed station	专业型 Professional type	二级站 Level 2 station

此外, 退耕还林工程生态监测站中, 83 个监测站位于全国重要生态系统保护和修复重大工程区, 其中一级站的占比为 41%; 79 个监测站位于全国生态脆弱区, 其中一级站占比为 39%; 41 个监测站位于国家生态屏障区, 其中一级站占比为 41%; 58 个监测站位于国家重点生态功能区, 其中一级站占比为 41%; 37 个监测站位于长江流域, 其中一级站占比为 43%; 18 个监测站位于黄河流域, 其中一级站占比为 28%。此外, 监测可覆盖的全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区和国家重点生态功能区的类型占比分别为 66.70%、100%、100%、76%。由此可见, 退耕还林工程生态监测体

系布局可以有效监测位于全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区、国家重点生态功能区以及长江和黄河流域内的退耕还林工程。

### 3 讨论

本文通过构建退耕还林工程生态功能监测区划指标体系,利用 GIS 空间分析技术进行了国家退耕还林工程生态监测体系区划和网络布局。总体而言,退耕还林工程生态效益监测站均位于实施退耕还林工程强度高的区域(图 3),突出了布局与退耕还林工程紧密结合的特点,可实现对退耕还林工程的全覆盖监测。具体而言,华东中南区布局监测站最多,为 27 个,占总监测站数量的 27%;华北区布局监测站数量位居第 2,为 21 个,占总监测站数量的 21%;其他站点数量由多到少依次为云贵高原区 11 个、东北区 10 个、西南高山峡谷区 8 个、内蒙古东部森林草原及草原区 8 个、蒙新荒漠半荒漠区 7 个、华南区 4 个和青藏高原草原草甸及寒漠区 3 个,分别占监测站总数的 11%、10%、8%、8%、7%、4% 和 3%,各类型退耕还林工程生态功能监测区监测站的布局数量与退耕还林工程实施规模基本一致。

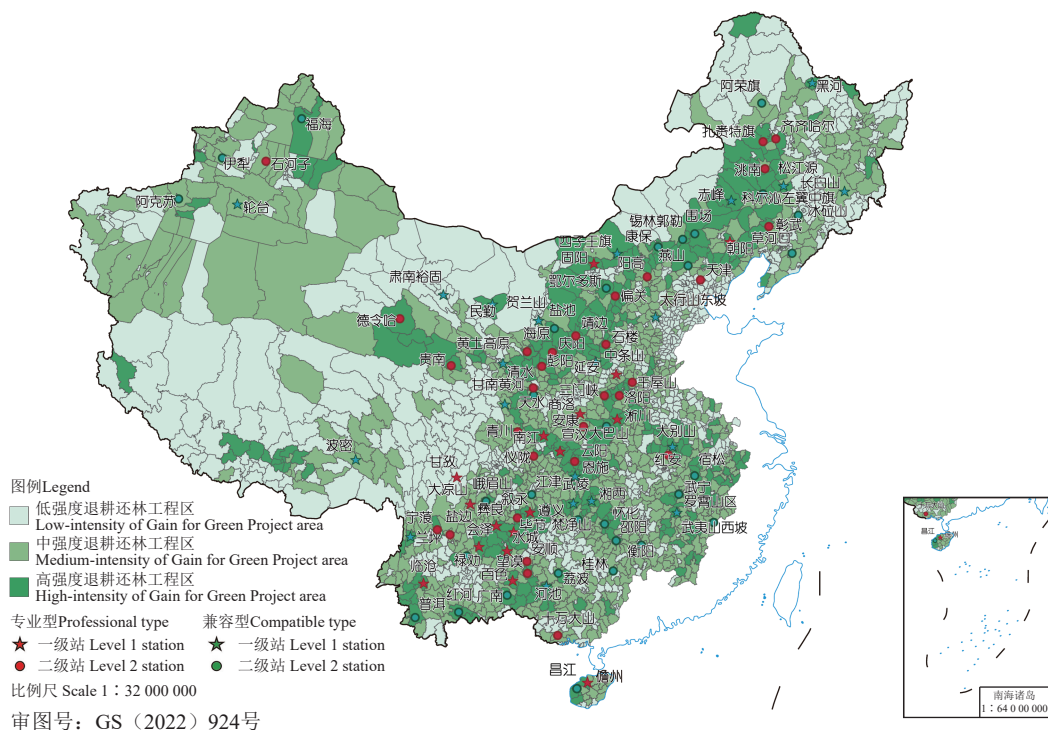


图 3 全国退耕还林工程实施强度和监测站布局

Fig. 3 Implementation intensity and layout of monitoring station of Gain for Green Project in China

此外,不同退耕还林生态功能监测分区布局监测站数量不同,其中 DV(a)18 中亚热带湿润性长江重点生态区长江上中游岩溶地区石漠化综合治理区布局监测站最多为 9 个, FV(a)26 中亚热带湿润性长江重点生态区横断山区水源涵养与生物多样性保护区布局 6 个监测站, BIII(c)6 暖温带半干旱性黄河重点生态区黄土高原水土流失综合治理区、BIII(b)6 暖温带半湿润性黄河重点生态区黄土高原水土流失综合治理区和 GII(c)28 中温带半干旱性北方防沙带内蒙古高原生态保护和修复区均布局 5 个监测站, CV(a)17 中亚热带湿润性长江重点生态区武陵山区生物多样性保护区和 AII(b)4 中温带半湿润性北方农牧交错生态脆弱区均布局 4 个监测站,这主要是由于这些生态功能监测分区面积较大,涉及省份较多同时生态区位重要性较高,多处于生态脆弱区内,退耕还林工程实施强度高,因此布设监测站数量较多。

在退耕还林工程生态功能监测网络布局中,从监测站级别层面分析,一级站的建设标准最高,监测能力最强,对周边二级站具有引领带动的辐射作用,因此理论上一级站的数量应少于仅需要满足基本指标监测要求的二级站的数量;从监测站类型层面分析,专业型监测站作为退耕还林工程生态功能的主要监测站,理论上数量应多于兼容型监测站。本布局中,一级监测站共 38 个,占比为 38.38%,二级站共

61个,占比为61.62%;兼容型监测站51个,占比为51.52%,专业型监测站48个,占比为48.48%,二者比例接近,这是由于较多退耕还林工程规模大的县级行政区域可利用已建森林生态站,以充分发挥已建生态站的监测功能,资源最大化的同时节约资金。另外,监测可覆盖的全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区和国家重点生态功能区的类型占比分别为66.70%、100%、100%、76%。总体而言,该布局可以满足位于典型生态区的退耕还林工程的专业监测工作。

#### 4 结论

本研究以退耕还林工程实施区域为研究对象,构建了退耕还林工程生态功能监测区划指标体系,采用GIS空间分析技术,进行了退耕还林工程生态功能监测区划和网络布局,二者共同构成了退耕还林工程生态功能监测体系。主要研究结论如下:

基于气候、植被类型和典型生态区所构建的监测区划指标体系,将国家退耕还林工程实施区域划分为77个具有空间异质性的生态功能监测分区,其中位于或部分位于全国重要生态系统保护和修复重大工程区、全国生态脆弱区、国家生态屏障区、国家重点生态功能区的占比分别为88.31%、70.13%、67.53%、89.61%,能够为退耕还林工程生态功能监测站的网络布局服务;

退耕还林工程生态功能监测网络共布局99个退耕还林工程生态效益监测站(兼容型一级站20个,兼容型二级站31个;专业型一级站18个,专业型二级站30个),其中位于全国重要生态系统保护和修复重大工程区83个、全国生态脆弱区79个、国家生态屏障区41个、国家重点生态功能区58个,监测可覆盖的类型占比分别为66.70%、100%、100%、76%,既可以满足退耕还林工程的监测需求,又可以有效监测典型生态区的保护和修复成效,促进退耕还林工程高质量发展,推动国家生态文明建设。

#### 参考文献

- 白杨,郑华,欧阳志云,等. 2011. 海河流域生态功能区划[J]. 应用生态学报, 22(9): 2377-2382.
- 蔡霞,王祖华,陈丽娟. 2011. 淳安县森林生态系统服务功能空间分异区划[J]. 浙江农林大学学报, 28(5): 727-734.
- 傅伯杰,刘国华,欧阳志云. 2013. 中国生态区划研究[M]. 北京: 科学出版社, 23.
- 郭慧,王兵,牛香. 2015. 基于GIS的湖北省森林生态系统定位观测研究网络规划[J]. 生态学报, 35(20): 6829-6837.
- 国家林业和草原局. 2019. 2017退耕还林工程综合效益监测国家报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 125-129.
- 国家林业局. 2017. 森林生态系统长期定位观测指标体系: GB/T 35377-2017[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 韩旭. 2008. 青岛市生态系统评价与生态功能分区研究[D]. 上海: 东华大学.
- 环境保护部. (2008-09-27) [2021-09-06]. 全国生态脆弱区保护规划纲要[EB/OL]. [http://www.gov.cn/gzdt/2008-10/09/content\\_1116192.htm](http://www.gov.cn/gzdt/2008-10/09/content_1116192.htm).
- 黄秉维. 1959. 中国综合自然区划草案[J]. 科学通报, (18): 594-602.
- 黄雪莲,杨传勇,梁敬祖. 2010. ArcGIS Engine中矢量数据叠加分析的实现及应用[J]. 城市勘测, (3): 38-40.
- 李乃强,徐贵阳. 2020. 基于自然间断点分级法的土地利用数据网格化分析[J]. 测绘通报, (4): 106-110+156.
- 李世东. 2021. 退耕还林还草高质量发展策略[J]. 林草政策研究, 1(1): 8-19.
- 刘胜涛,牛香,王兵,等. 2018. 陕西省退耕还林工程生态效益评估[J]. 生态学报, 38(16): 5759-5770.
- 刘祖英,王兵,赵雨森,等. 2018. 典型区域退耕还林工程生态区划[J]. 北京林业大学学报, 40(3): 93-100.
- 孟庆香,武斌,贺鹏飞,等. 2009. 陕北地区退耕还林草工程社会经济效益分析: 以志丹县和子洲县为例[J]. 水土保持通报, 29(4): 159-163+173.
- 牛全福. 2011. 基于GIS的地质灾害风险评估方法研究: 以“4.14”玉树地震为例[D]. 兰州: 兰州大学.
- 师贺雄,王兵,牛香. 2016. 长江、黄河中上游省份退耕还林工程生态系统服务[J]. 生态学杂志, 35(11): 2903-2911.
- 孙彬淳,丁兆连,王大庆,等. 2011. 基于ARCGIS方法的双鸭山市土地利用生态功能分区[J]. 东北农业大学学报, 42(5): 109-113.
- 汤小华. 2005. 福建省生态功能区划研究[D]. 福州: 福建师范大学.
- 田宁宁,张建军,李玉婷,等. 2015. 晋西黄土区退耕还林地涵养水源和保育土壤功能评价[J]. 水土保持学报, 29(5): 124-129.
- 王超. 2014. 基于GIS的灾害性气象事件时空分布规律研究[D]. 西安: 西安科技大学.
- 邬定荣,王培娟,霍治国,等. 2021. 中国普通油茶种植气候适宜性区划[J]. 生态学杂志, 40(5): 1313-1323.
- 吴征镒. 1980. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社.
- 吴中伦. 1997. 中国森林[M]. 北京: 中国林业出版社.
- 张新时. 2007. 中国植被及其地理格局: 中华人民共和国植被图(1:1000000)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 603-727.
- 郑度. 2008. 中国生态地理区域系统研究[M]. 北京: 商务印书馆.
- 中华人民共和国国务院. 2015. 全国主体功能区规划[M]. 北京: 人民出版社.
- 竺可桢. 1931. 中国气候区域论[J]. 气象研究所集刊, (1): 124-131.
- 庄斌. 2018. 广西典型地区退耕还林工程社会经济效益研究[D]. 南宁: 广西大学.
- Bailey R G. 1976. Ecoregions of the United States[Z]. Ogden, UT: US Department of Agriculture and Forest Service, Intermountain Region.

- Bailey R G, 1988. Problems with using overlay mapping for planning and their implications for geographic information systems[J]. *Environmental Management*, 12: 11-17.
- Hobbie J E, Carpenter S R, Grimm N B, *et al*, 2003. The US long term ecological research program[J]. *BioScience*, 53(1): 21-32.
- Miller J D, Adamson J K, Hirst D, 2001. Trends in stream water quality in Environmental Change Network upland catchments: the first 5 years[J]. *Science of the Total Environment*, 265(1/3): 27-38.
- Vaughan H, Brydges T, Fenech A. *et al*, 2001. Monitoring long-term ecological changes through the ecological monitoring and assessment network: science-based and policy relevant[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 67(1/2): 3-28.
- Wiken E B, Gauthier D, Marshall I, *et al*, 1996. A perspective on Canada's ecosystems: an overview of the terrestrial and marine ecozones[M]. Ottawa, Ontario: Canadian Council on Ecological Areas.
- Zoltai S C, Pollett F C, 1983. Wetlands in Canada: their classification, distribution, and use[J]. *Ecosystems of the World*, 4b: 245-268.