

黑龙江省不同用地类型固碳量影响研究

潘宥承, 李朦朦, 吴远翔*

(哈尔滨工业大学建筑与设计学院,
自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室, 哈尔滨 150006)

摘要:在当前气候变化影响下, 高效发挥生态系统固碳功能已成为区域可持续发展的关键议题。研究旨在探寻影响黑龙江省不同生态用地类型固碳量的关键景观格局特征, 以期为地区碳中和策略提供科学依据和实践指导。利用网格分析法对研究区域进行网格划分, 采用净生态系统生产力(NEP)作为固碳量指标, 通过 Fragstats 软件计算景观格局指标, 使用 SPSS 软件对固碳量及格局指标进行斯皮尔曼相关性分析。研究结果显示, 2000 至 2022 年间黑龙江省林地、耕地和草地的单位面积年均固碳量均呈现出上升趋势, 相关性分析结果发现, 景观面积百分比、最大斑块指数、斑块邻接度、连通度、景观破碎度、聚集度共六个格局指标与黑龙江省林地、耕地固碳量之间存在显著相关性, 并且这些指标对林地与耕地固碳量的正负影响模式相反, 反映出不同生态用地类型在景观配置与碳固存功能上的复杂交互作用。

关键词:景观格局; 净生态系统生产力; 黑龙江省

中图分类号: X321.7

文献标志码: A

文章编号: 1672-2736(2024)10-0002-8

0 引言

温室气体排放引发的气候和环境危机, 对人类未来的生存发展造成威胁, 在此背景下, 碳中和已成为全球共识^[1]。《巴黎协定》确立了将全球平均气温控制在工业化前升温低于 2℃ 的目标, 并为实现升温低于 1.5℃ 的目标而努力, 以减少气候变化带来的风险与影响^[2]。为了响应这一协议, 我国提出力争在 2030 年前二氧化碳排放达到峰值, 2060 年前实现碳中和目标。

实现碳中和的路径总体上可分为碳减排和碳增汇两种方式, 其中陆地碳汇是基于自然的碳增汇重要解决方案^[3]。陆地生态系统碳汇指通过光合作用和碳循环, 将大气中温室气体固定下来的所有过程、活动或机制^[4]。目前, 全球因化石燃料燃烧和土地利用转变排放的碳 31% 被陆地固定, 23% 被海洋固定, 剩余 46% 留存在大气中^[5]。因此, 陆地生态系统的碳循环研究在全球气候变化和碳中和背景下具有十分重要的意义。

中国的陆地生态系统占全球陆地面积的 6.4%, 其净二氧化碳的吸收量占全球吸收量的 10%~30%, 是全球和区域碳循环及其模式研究的重点地区^[6]。林地、耕地、草地是植被覆盖的主要区域, 承担着中国大部分的陆地生态碳汇职能, 其中森林占中国陆地面积的 22.9%, 是陆地碳汇的主体; 耕地占中国陆地面积的 13.3%, 总体表现为明显碳汇; 草地占中国陆地面积的 27.6%, 碳源汇功能尚不明确^[7]。黑龙江省是中国生态省建设试点之一, 全省自然资源丰富, 森林覆盖率达 47.3%^[8], 耕地面积位居中国第一^[9], 具有很高的生态系统碳循环研究价值。因此, 本文旨在以黑龙江省林地、耕地、草地的景观格局特征及固碳量为研究对象, 通过定量分析揭示景观格局变化对提高固碳效率的具体作用, 从而为地区碳中和策略的制定提供科学依据和实践指导。

1 研究区

黑龙江省位于中国东北部, 地处东经 121°

11' - 135°05', 北纬 43°26' - 53°33', 总面积 47.3 万 km²。该地区属于寒温带和温带气候, 年均降水量 400 ~ 700mm, 年均气温 0 ~ 5℃。黑龙江省用地类型主要为林地、耕地和草地, 其中林地面积 22.1 万 km², 占比 46.7%; 耕地面积 20.2 万 km², 占比 42.7%; 草地面积 0.7 万 km², 占比 0.015%。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究数据来源

本文综合利用多种数据源评估黑龙江省生态用地景观格局对固碳量的影响。主要有 LP DAAC 数据中心 MOD17A3HGF 产品的净初级生产量 (Net Primary Production, NPP) 数据; CLCD 土地利用数据集^[10]; 欧盟及欧洲中期天气预报中心等组织发布的 ERA5 - Land 气候数据集; 黑龙江省森林、耕地和草地土壤层 (0 ~ 20cm) 的土壤有机碳密度数据^[11]。

2.2 研究方法

2.2.1 固碳量计算

生态系统净生产力 (Net Ecosystem Productivity, NEP) 是指陆地生态系统与大气的净碳交换^[12], 是定量描述陆地生态系统固碳量的重要指标。当 NEP > 0 表明陆地生态系统为碳汇, 反之为碳源^[13]。NEP 被定义为 NPP 与土壤异氧呼吸 (Rh) 的差值, 其中 Rh 是由 Rh 和土壤自养呼吸 (Rs) 之间关系的拟合方程来确定^[14]。根据 1994 - 2013 年的多年记录, Chuai 等^[15] 计算出适合中国地区的 Rh 和 Rs 的线性拟合方程。Rs 则利用 Yu 等^[16] 基于土壤碳密度、年均气温及年均降水量构建的 GSMSR 模型进行计算。具体计算公式如下:

$$NEP = NPP - Rh \quad (1)$$

$$Rh = 0.4679 \times Rs + 114.42 \quad (2)$$

$$Rs_{month} = (0.588 + 0.118 \times SOC) e^{\ln(1.83 \times e^{-0.006 \times T}) \div 10} \times (P + 2.975) \div (P + 5.657) \times 30 \quad (3)$$

$$Rs_{annual} = \sum_{i=1}^{12} Rs_{month} \quad (4)$$

式中: SOC 为 0 ~ 20 cm 土壤有机碳密度 (kg C · m⁻²), P 为月降水量 (mm), T 为月平均温度 (℃)。

2.2.2 景观格局指数

选取景观面积百分比 (PLAND)、总斑块数 (NP)、斑块密度 (PD)、最大斑块指数 (LPI)、总边缘 (TE)、边缘密度 (ED)、景观形状指数 (LSI)、平均形状指数 (SHAPE_MN)、平均分形维数 (FRAC_MN)、平均周长面积比 (PARA_MN)、斑块邻接度 (PLADJ)、邻接斑块均匀性 (IJI)、连通度 (COHESION)、景观破碎度 (DIVISION)、聚集度 (AI), 共 15 个格局特征指标, 使用 Fragstats 4.2 软件对上述格局指标进行量化计算。

3 黑龙江省生态用地固碳量及景观格局分析

3.1 2000 - 2022 年黑龙江省生态用地年均固碳量变化情况

通过获取的 NPP 数据, 以上文固碳量计算方法对 NEP 进行估算, 得到 2000 - 2022 年黑龙江省林地、耕地、草地的单位面积年均固碳量计算结果, 显示三种主要生态用地在长时间序列下年固碳量的变化情况 (图 1)。其中林地年均固碳量 309.23 gC/m² 明显高于其他两种土地类型, 显示了林地在生态系统碳储存中的重要性。林地的单位面积年均固碳量从 2000 年的 261.26 gC/m² 上升到 2022 年的 348.46 gC/m², 整体呈现出稳定的上升趋势, 最高年均固碳量在 2013 年达到 372.82 gC/m², 而最低值是 2007 年的 209.99 gC/m²。

相比之下, 耕地的单位面积年均固碳量较低, 平均值为 171.25 gC/m², 尽管如此, 耕地也显示出增长的潜力, 从 2000 年的 132.25 gC/m² 增加到 2022 年的 217.35 gC/m², 在 2013 年达到了最高值 219.47 gC/m², 2008 年最低值为 104.81 gC/m²。

草地的单位面积年均固碳量在三种土地类型中最低, 平均值为 144.62 gC/m²。草地的年均固碳量于 2000 年达到 121.78 gC/m², 经历较

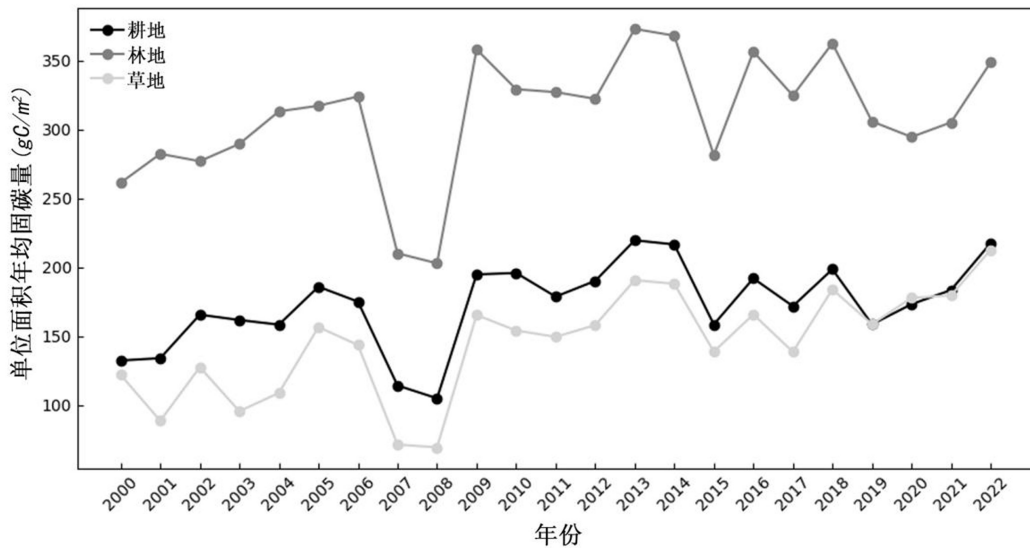


图 1 2000 - 2022 年黑龙江省生态用地单位面积年均固碳量变化曲线图

大波动后,于 2022 年达到 212.55 gC/m^2 ,其中 2013 年达到峰值 190.58 gC/m^2 ,在 2008 年下降至最低值 69.23 gC/m^2 ,较强波动反映了草地生态系统对环境变化的敏感性。

气候因素是导致黑龙江省固碳量产生大幅波动的主要原因。2013 年年度降水量达到 788.5mm ,是 2000 - 2022 年间的最高值。同时,该年年平均气温为 1.49°C ,在长时间序列中处于相对稳定的水平。高降水量和适宜温度条件共同促进了植被的生长和光合作用,致使在 2013 年林地、耕地、草地年均固碳量达到峰值。相反,2007、2008 年的年降水量相对较低,分别为 518.9mm 和 582.9mm 。其年平均气温分别高达 3.581°C 和 3.434°C ,是区间年内较高的平均温度。低降水量和高气温导致水分蒸散量增加,不利于植被生长,从而影响了生态系统的固碳能力,致使 2007、2008 年林地、耕地、草地固碳量大幅下降。

总体来看,林地、耕地、草地的年均固碳量皆在长时间序列中呈现上升趋势,这一正面变化与近年来国家对生态文明建设和环境保护措施的增强密切相关,反映出在生态保护和可持续发展方面的实际成效。

3.2 景观格局与固碳量的相关性

为确保研究结果的可靠性,本文选取与

2000 - 2022 年黑龙江省平均温度和平均降水量最为接近的 2014 年,作为相关性分析的案例年,以减少气候波动对固碳作用的影响,从而更准确确定格局特征本身变化与生态系统固碳量内在关系。经过固碳量计算,进行空间制图,绘制出 2014 年黑龙江省林地、耕地、草地的单位面积年均固碳量分布(图 2)。

本文综合考虑景观空间异质性的影响,根据不同的网格尺度将区域进行了划分,选取 5km 、 10km 、 15km 、 20km 、 25km 、 30km 、 35km 及 40km 八个不同网格尺度。这种分级方法便于对同一研究区域在不同网格尺度上的景观格局特征进行精确的量化和比较。

3.2.1 林地格局特征与固碳量相关性

林地格局特征与单位面积年均固碳量之间的斯皮尔曼相关性分析结果见表 1。PLAND、LPI、PLADJ、COHESION、DIVISION、AI 六个景观格局指标在各网格尺度上均显示出与林地年均固碳量之间的显著相关性。PLAND 与年均固碳量呈显著正相关,这表明随着林地面积比例的增加,固碳量会随之提升,反映出大面积林地在碳储存中的重要作用。LPI 表现出正相关性,说明较大的林地斑块能够提供更连续稳定的生态环境,从而有利于林地固碳量的增长。PLADJ 的正

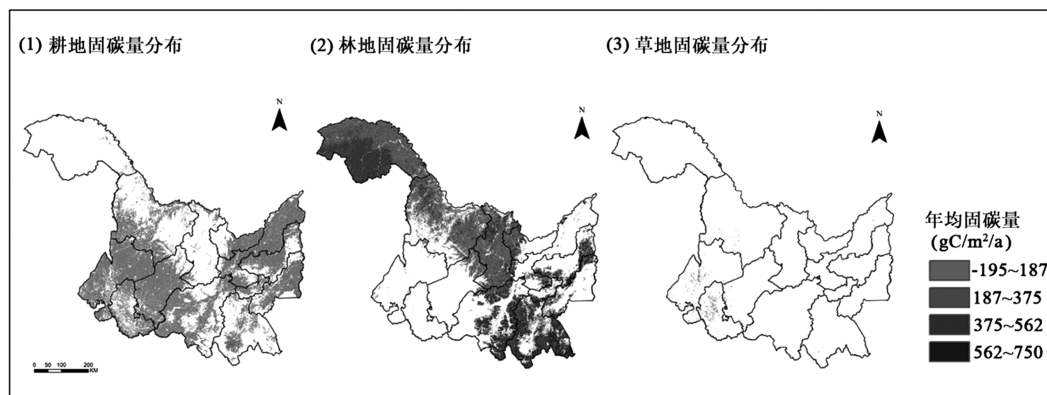


图2 2014年黑龙江省林地、耕地、草地年均固碳量分布

表1 林地格局特征与单位面积年均固碳量斯皮尔曼相关性分析结果

格局指标	5km	10km	15km	20km	25km	30km	35km	40km
PLAND	0.750 **	0.774 **	0.770 **	0.757 **	0.751 **	0.723 **	0.722 **	0.711 **
NP	-0.535 **	-0.411 **	-0.339 **	-0.283 **	-0.250 **	-0.218 **	-0.193 **	-0.166 **
PD	-0.547 **	-0.444 **	-0.391 **	-0.356 **	-0.358 **	-0.291 **	-0.301 **	-0.278 **
LPI	0.750 **	0.776 **	0.768 **	0.755 **	0.749 **	0.717 **	0.716 **	0.708 **
TE	-0.200 **	0.025	0.114 **	0.157 **	0.188 **	0.216 **	0.222 **	0.239 **
ED	-0.231 **	-0.022	0.060 **	0.102 **	0.105 **	0.155 **	0.136 **	0.170 **
LSI	-0.593 **	-0.528 **	-0.493 **	-0.473 **	-0.452 **	-0.432 **	-0.417 **	-0.399 **
SHAPE_MN	-0.129 **	-0.025	-0.021	-0.035	-0.048	-0.013	-0.044	-0.071
FRAC_MN	-0.379 **	-0.328 **	-0.307 **	-0.280 **	-0.268 **	-0.206 **	-0.226 **	-0.230 **
PARA_MN	-0.379 **	-0.178 **	-0.089 **	-0.055	-0.054	-0.085 *	-0.092	-0.049
PLADJ	0.774 **	0.804 **	0.800 **	0.792 **	0.786 **	0.755 **	0.759 **	0.757 **
IJI	-0.187 **	-0.072 **	-0.069 **	-0.079 **	-0.109 **	-0.123 **	-0.136 **	-0.153 **
COHESION	0.749 **	0.778 **	0.771 **	0.757 **	0.756 **	0.718 **	0.713 **	0.715 **
DIVISION	-0.751 **	-0.776 **	-0.769 **	-0.757 **	-0.750 **	-0.718 **	-0.716 **	-0.709 **
AI	0.773 **	0.802 **	0.800 **	0.788 **	0.787 **	0.754 **	0.760 **	0.755 **
网格样本量	14099	4108	1951	1048	789	547	418	328

注: ** 在 0.01 水平上显著相关; * 在 0.05 水平上显著相关。

相关性揭示了林地斑块间高邻近性对增强固碳量的积极影响。COHESION 的正相关表明林地景观的高连通性有助于提高固碳能力。反之, DIVISION 呈现出负相关性, 表明随着景观的分割程度降低, 固碳量则会提升, 显示生态连续性的重要性。AI 的正相关性突显了聚集度较高的斑块对林地固碳量具有积极的影响。

此外, 林地的 NP、PD、LSI 指标在较小网格

尺度上展现出与年均固碳量的中等程度相关性, 然而随着网格尺度增大, 其相关性逐渐降低, 表明在较小网格尺度上, 林地斑块数量、密度及形状复杂性对固碳量具有潜在影响。最后, TE、ED、SHAPE_MN、FRAC_MN、PARA_MN、IJI 六个指标在各网格尺度上与其年均固碳量之间的相关程度低, 表明这些格局指标对固碳量的影响有限。

3.2.2 耕地格局特征与固碳量相关性

耕地格局特征与单位面积年均固碳量斯皮尔曼相关性分析结果如表 2 所示,发现耕地与林地在显著相关的景观格局指标上具有一致性,但各指标正负相关性相反。PLAND 与固碳量表现出显著的负相关性,表明随着耕地面积比例的增加固碳量会降低;LPI 同样显示负相关,表明较大的耕地斑块会降低固碳量;PLADJ 的负相关性揭示了耕地斑块之间的邻近性越高,对固碳量将产生不利影响;COHESION 同样表现为负相关性,证明较高的耕地景观连通性会导致固碳量降低;DIVISION 表现出正相关性,表明景观分割程度的增加会提升耕地固碳量。AI 的负相关性突显了聚集度较高的斑块对耕地固碳量具有负面影响。

耕地 SHAPE_MN、FRAC_MN、PARA_MN 三个指标与年均固碳量在 5km 网格尺度上显示出较低的相关性,但随着网格尺度提升至 10 ~ 40km,其相关性提升至中等程度,表明在较大的网格尺度上,耕地斑块的形状复杂性及紧凑程度

对固碳能力产生潜在影响。此外,LSI 指标则相反,在 5km 网格尺度上呈现中等程度相关性,随着网格尺度提升,逐渐降至低相关性。最后,耕地 NP、PD、TE、ED、IJI 五个指标在各个网格尺度上与年均固碳量皆呈现低相关性。

3.2.3 草地格局特征与固碳量相关性

草地格局特征与单位面积年均固碳量斯皮尔曼相关性分析结果如表 3 所示,PLAND、PD、LPI、ED、SHAPE_MN、PLADJ、IJI、COHESION、DIVISION 和 AI 共十个指标展现与年均固碳量的中等程度相关性,反映了草地景观的结构和配置对固碳量的潜在影响。此外,NP、TE、LSI、FRAC_MN、PARA_MN 五个指标与草地年均固碳量的相关性较低,表明其在当前研究中对于草地生态系统固碳量的解释能力有限。

4 讨论

研究探讨了林地、耕地和草地三种主要生态用地类型的景观格局特征与固碳量之间的相关性,旨在识别对固碳过程影响最为显著的景观格

表 2 耕地格局特征与单位面积年均固碳量斯皮尔曼相关性分析结果

格局指标	5km	10km	15km	20km	25km	30km	35km	40km
PLAND	-0.821 **	-0.845 **	-0.843 **	-0.834 **	-0.835 **	-0.813 **	-0.818 **	-0.805 **
NP	0.309 **	0.189 **	0.119 **	0.108 **	0.083 *	0.046	0.016	0.018
PD	0.245 **	0.109 **	0.035	0.008	-0.004	-0.004	-0.053	-0.041
LPI	-0.783 **	-0.806 **	-0.804 **	-0.792 **	-0.797 **	-0.777 **	-0.780 **	-0.758 **
TE	0.309 **	0.114 **	0.036	0.018	-0.001	-0.035	-0.059	-0.056
ED	0.240 **	0.036 *	-0.042	-0.069 *	-0.068	-0.096 *	-0.119 *	-0.101
LSI	0.447 **	0.374 **	0.337 **	0.324 **	0.306 **	0.270 **	0.237 **	0.226 **
SHAPE_MN	0.211 **	0.442 **	0.522 **	0.536 **	0.527 **	0.529 **	0.515 **	0.486 **
FRAC_MN	0.484 **	0.616 **	0.621 **	0.625 **	0.589 **	0.592 **	0.577 **	0.534 **
PARA_MN	-0.363 **	-0.614 **	-0.615 **	-0.621 **	-0.582 **	-0.573 **	-0.543 **	-0.526 **
PLADJ	-0.721 **	-0.756 **	-0.760 **	-0.754 **	-0.758 **	-0.749 **	-0.764 **	-0.741 **
IJI	-0.172 **	-0.297 **	-0.317 **	-0.331 **	-0.359 **	-0.338 **	-0.334 **	-0.346 **
COHESION	-0.722 **	-0.751 **	-0.750 **	-0.738 **	-0.741 **	-0.731 **	-0.740 **	-0.706 **
DIVISION	0.789 **	0.812 **	0.811 **	0.800 **	0.806 **	0.786 **	0.788 **	0.767 **
AI	-0.717 **	-0.756 **	-0.761 **	-0.755 **	-0.762 **	-0.751 **	-0.763 **	-0.745 **
网格样本量	13642	3865	1832	1082	722	519	400	315

注: ** 在 0.01 水平上显著相关; * 在 0.05 水平上显著相关。

表3 草地格局特征与单位面积年均固碳量斯皮尔曼相关性分析结果

格局指标	5km	10km	15km	20km	25km	30km	35km	40km
PLAND	-0.568**	-0.583**	-0.546**	-0.524**	-0.476**	-0.476**	-0.484**	-0.463**
NP	-0.372**	-0.444**	-0.430**	-0.408**	-0.388**	-0.342**	-0.344**	-0.331**
PD	-0.464**	-0.529**	-0.513**	-0.505**	-0.464**	-0.472**	-0.479**	-0.458**
LPI	-0.547**	-0.574**	-0.548**	-0.522**	-0.498**	-0.510**	-0.525**	-0.507**
TE	-0.361**	-0.438**	-0.417**	-0.396**	-0.371**	-0.328**	-0.333**	-0.312**
ED	-0.448**	-0.512**	-0.488**	-0.474**	-0.429**	-0.433**	-0.441**	-0.421**
LSI	-0.390**	-0.456**	-0.439**	-0.417**	-0.392**	-0.350**	-0.351**	-0.336**
SHAPE_MN	-0.387**	-0.456**	-0.462**	-0.434**	-0.415**	-0.427**	-0.419**	-0.403**
FRAC_MN	-0.288**	-0.370**	-0.387**	-0.363**	-0.349**	-0.360**	-0.360**	-0.326**
PARA_MN	0.245**	0.239**	0.210**	0.172**	0.157**	0.141**	0.160**	0.164**
PLADJ	-0.470**	-0.490**	-0.472**	-0.445**	-0.428**	-0.427**	-0.439**	-0.426**
IJI	0.628**	0.547**	0.490	0.460**	0.462**	0.441**	0.459**	0.432**
COHESION	-0.481**	-0.511**	-0.498**	-0.468**	-0.457**	-0.461**	-0.477**	-0.460**
DIVISION	0.544**	0.565**	0.537**	0.542**	0.500**	0.494**	0.508**	0.484**
AI	-0.437**	-0.470**	-0.461**	-0.433**	-0.42**	-0.422**	-0.435**	-0.426**
网格样本量	4341	1936	1133	782	565	433	347	279

注：**在0.01水平上显著相关；*在0.05水平上显著相关。

局指标。分析表明, PLAND、LPI、PLADJ、COHESION、DIVISION 和 AI 六个格局指标在耕地及林地中对固碳量具有决定性的影响。

优化林地格局, 提高其固碳量, 可采取以下综合策略。首先, 通过植树造林、限制砍伐活动以扩大林地面积, 保持林地面积的稳定增长, 增强碳汇功能。其次, 维护大片连续的林地斑块, 减少林地破碎化, 以增强林地的整体生态功能和碳固存能力。进一步, 通过建设生态廊道和连接生物多样性热点区, 增强林地斑块之间的连通性, 促进物种迁移, 从而增强生态系统的稳定性和适应性。最后, 通过规划和实施集中的森林管理区, 减少林地的分割和破碎化, 增强林地内部的聚集度, 提高其固碳效率。

对于耕地, 可实施一系列针对性的优化策略。首先, 在保持耕地数量及质量的前提下, 通过科学规划和管理, 推广如保护性耕作、精准农业、有机农业等先进的农业管理技术, 提高耕地的利用效率和可持续性, 实施高标准农田建设,

提升土壤质量及其固碳能力。其次, 实施作物轮作和多样化种植策略, 种植多种作物以提高耕地的生态复杂性和生物多样性, 从而增强碳固定能力。此外, 通过增设植被带或灌木丛等生态缓冲区减少耕地斑块的直接相连, 缓冲区起到防风固土、保持耕地水分和增加生物多样性的作用, 从而提高整体碳固定能力。最后, 加强对土壤和作物健康的监测管理, 确保耕地的可持续利用。

5 结语

本文通过对黑龙江省林地、耕地、草地景观格局与固碳量之间的关系进行系统的分析, 揭示了不同景观格局指标对生态用地固碳能力的影响。在2000-2022年期间, 黑龙江省三种生态用地的固碳量均显示出上升趋势, 表明在此期间生态保护和管理措施得到了有效实施。基于相关性分析结果, 发现景观面积百分比、最大斑块指数、斑块邻接度、连通度、景观破碎度、聚集度是影响黑龙江省林地、耕地单年均固碳量的主要

格局指标,并且这六项格局指标对于林地、耕地的作用相反。此外,各格局指标对草地的固碳量影响不显著,但包含十个中等程度相关性的格局指标。通过本研究希望能够为黑龙江省的碳中和策略提供一定的科学参考,并对气候变化的应对措施及生态系统服务功能的提升贡献洞见,有助于更有效地规划和实施环境保护政策,促进生态环境的可持续发展。

参考文献(References):

- [1] Fang J Y, Zhu J L, Wang S P, et al. Global warming, human - induced carbon emissions, and their uncertainties[J]. *Science China Earth Sciences*, 2011, 54(10): 1458 - 1468.
- [2] Rogelj J, Den E M, Höhne N, et al. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C[J]. *Nature*, 2016, 534(7609): 631 - 639.
- [3] 于贵瑞,朱剑兴,徐丽,等. 中国生态系统碳汇功能提升的技术途径: 基于自然解决方案[J]. *中国科学院院刊*, 2022, 37(04): 490 - 501.
- [4] 方精云. 碳中和的生态学透视[J]. *植物生态学报*, 2021, 45(11): 1173 - 1176.
- [5] Friedlingstein P, Jones M W, O' Sullivan M, et al. Global carbon budget 2021[J]. *Earth System Science Data*, 2022, 14(04): 1917 - 2005.
- [6] 于贵瑞,郝天象,朱剑兴. 中国碳达峰、碳中和行动方案之探讨[J]. *中国科学院院刊*, 2022, 37(04): 423 - 434.
- [7] 杨元合,石岳,孙文娟,等. 中国及全球陆地生态系统碳源汇特征及其对碳中和的贡献[J]. *中国科学: 生命科学*, 2022, 52(04): 534 - 574.
- [8] 徐思若,成志影,那雪迎,等. 黑龙江省森林碳汇及其经济价值的变化分析与潜力预测[J]. *生态学杂志*, 2024, 43(01): 197 - 205.
- [9] 王诗雨,刘学伟,崔鸿鹏,等. 农田生态系统碳源/汇时空演变因素分析——以黑龙江省为例[J]. *中国国土资源经济*, 2024, 37(05): 4 - 13 + 88.
- [10] Yang J, Huang X. The 30m annual land cover and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. *Earth System Science Data Discussions*, 2021: 1 - 29.
- [11] 童荣鑫,梁迅,关庆锋,等. 2000—2020 年中国大陆土壤碳储量及土地管理碳汇核算[J]. *地理学报*, 2023, 78(09): 2209 - 2222.
- [12] Zhang L, Wylie B K, Ji L, et al. Upscaling carbon fluxes over the Great Plains grasslands: Sinks and sources[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2011, 116(G3).
- [13] 方精云,柯金虎,唐志尧,等. 生物生产力的“4P”概念、估算及其相互关系[J]. *植物生态学报*, 2001, 69(04): 414 - 419.
- [14] 裴宏泽,赵亚超,张廷龙. 2000—2020 年黄土高原 NEP 时空格局与驱动力[J]. *干旱区研究*, 2023, 40(11): 1833 - 1844.
- [15] Chuai X W, Qi X X, Zhang X Y, et al. Land degradation monitoring using terrestrial ecosystem carbon sinks/sources and their response to climate change in China[J]. *Land Degradation & Development*, 2018, 29(10): 3489 - 3502.
- [16] Yu G Y, Zheng Z M, Wang Q F, et al. Spatiotemporal pattern of soil respiration of terrestrial ecosystems in China: the development of a geostatistical model and its simulation [J]. *Environmental science & technology*, 2010, 44(16): 6074 - 6080.

作者简介:

第一作者:潘宥承,1995 年生,男,黑龙江哈尔滨人,博士研究生,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室,主要研究方向为风景园林学。Email:youcheng_pan@163.com;
通讯作者:吴远翔,1971 年生,男,江苏通州人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室,副教授,主要研究方向为风景园林学。Email:745417816@qq.com

Study on the Influence of Carbon Storage by Different Types of Land Use Types in Heilongjiang Province

PAN Youcheng, LI Mengmeng, WU Yuanxiang*

(School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology;

Key Laboratory of National Territory Spatial Planning and Ecological Restoration in Cold Regions,

Ministry of Natural Resources, Harbin 150006, China)

Abstract: In the context of ongoing climate changes, it has been an crucial issue to enhance the carbon sequestration capacity of ecosystems for regional sustainable development. This study aims to identify the key landscape pattern characteristics influencing carbon sequestration of different ecological land – use types in Heilongjiang Province, providing scientific evidence and practical guidance for regional carbon neutrality strategies. By employing a grid – based analytical method, the study area is subdivided into grids, and Net Ecosystem Productivity (NEP) is used as the carbon sequestration indicator. Landscape pattern metrics are calculated using the Fragstats software, and Spearman’s correlation analysis is performed in SPSS to examine the relationships between carbon sequestration and these metrics. The results show that from 2000 to 2022, the annual average carbon sequestration per unit area of forests, farmlands, and grasslands in Heilongjiang Province exhibits an upward trend. Correlation analysis further reveals that six landscape pattern metrics, including percentage of landscape area, largest patch index, patch adjacency, connectivity, landscape fragmentation, and aggregation, are significantly correlated with carbon sequestration in forests and farmlands. Moreover, these metrics exert opposite positive and negative effects on carbon sequestration across forests and farmlands, indicating complex interactions in landscape configuration and carbon storage functions among different ecological land – use types.

Key words: landscape patterns; Net Ecosystem Productivity; Heilongjiang Province