泰安市主城区道路林结构特征及碳储量估算*

周继磊[1,4] 李传荣[2,3,4] 贾艳艳[2] 杨 柳[1] 刘 琳[1] 肖 茂[5]

1 山东省林业保护和发展服务中心 济南 250000

2 山东农业大学林学院 山东泰安 271018

3 山东泰山森林生态系统国家定位观测研究站/山东省高等学校森林碳中和工程研究中心 山东泰安 271018

4 山东省高等学校黄河下游生态保护与安全防控重点实验室 山东泰安 271018

5 湖南省农林工业勘察设计研究总院 长沙 410007

摘要：文章对泰安市主城区 3 条道路林进行样地调查，采用物种多样性指数、平均生物量模型等方法分析道路林结构特征及碳储量。结果表明：研究区乔木 8 科 11 属 12 种，平均胸径为 15.49 cm；泰安市道路林的植被构成比较单一化、均质化，植物多样性不高。研究区 37 个样带的碳密度在 0.53~6.59 kg·m^{-2}范围变化，以碳密度<3.00 kg·m^{-2}的居多，占样带总数的 75.68%；不同道路林群落类型中，针阔混交林的平均碳密度最大。道路林碳密度与胸径、单位面积胸高断面积具有极显著正相关性。建议泰安市在未来的道路林建设中，应加强群落优化，注重树种管理，选择应用高碳汇树种，以充分发挥道路林的碳汇效应。

关键词：城市道路林；结构特征；碳储量；碳汇；泰安市

DOI：10.12169/zgcsly.2022.09.19.0005

Structural Characteristics and Carbon Storage Estimation of Road Forest in Urban Core Area of Tai'an City

Zhou Jilei[1,4] Li Chuanrong[2,3,4] Jia Yanyan[2*] Yang Liu[1] Liu Lin[1] Xiao Mao[5]

(1. Shandong Forestry Protection and Development Service Center, Jinan 250000, China; 2. Forestry College, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; 3. Taishan Forest Ecosystem Research Station/Research Center of Shandong Higher Education Institutions for Forest Carbon Neutrality Engineering , Tai'an 271018, Shandong, China; 4. Key Laboratory of Shandong Higher Education Institutions for Ecological Protection and Security Control of the Lower Yellow River, Tai'an 271018, Shandong, China; 5. Hunan Prospecting Designing and Research Institute for Agricultural Forestry and Industry, Changsha 410007, China)

Abstract: Plot investigation is conducted for three road forests in the urban core area of Tai'an City, and the species diversity index and average biomass model are used to analyze their structural characteristics and carbon storage. The results show that there are 12 species of trees belonging to 11 genera and 8 families in the study area, with the average DBH at 15.49 cm, and road forests in Tai'an City have simple and homogeneous vegetation composition, with a low plant diversity. The carbon density of 37 sample areas varies between 0.53 and 6.59 kg·m^{-2}, and the majority of the sample areas, accounting for 75.68% of

收稿日期：2022-09-19

*基金项目：山东省林业保护与发展服务中心“碳中和背景下森林资源碳汇能力评估和提升项目”；山东省自然科学基金项目（ZR2021QD124）

第一作者：周继磊（1983-），男，硕士，高级工程师，研究方向为林业碳汇。E-mail：zhoujl666@Shandong.cn

通信作者：贾艳艳（1986-），女，博士，副教授，研究方向为城市绿地碳汇和城市绿色空间生态系统服务。E-mail：jiayanyan1011@163.com

the total transect, have the carbon density less than 3.00 kg · m^{-2}. The average carbon density of coniferous and broad-leaved mixed forest is the highest among different types of road forest community. The carbon density of road forest has significant positive correlation with DBH and chest height section area per unit area. In the future establishment of road forests in Tai'an, it is suggested that Tai'an City should strengthen community optimization, place an importance to species, and apply tree species with high carbon sink so as to give full play to the carbon sink effect of road forest.

Keywords: urban road forest; structure characteristics; carbon storage; carbon sink; Tai'an City

城市森林是指城市地域内的各种树木及其相关植被，作为城市区域最主要的近自然生态空间，具有绿色自然碳汇及降低碳排放的作用，对实现“碳中和”和改善城市生态环境起着不可或缺的作用[1-3]。城市道路林是城市森林的重要组成部分，具有美化街道景观、调温增湿、降噪除尘、调节小气候等生态功能[4-5]，在维持城市碳氧平衡和改善城市生态环境中发挥着不可替代的作用。目前，对城市道路林或行道树的研究主要集中在树种选择[5]、不同类型树木固碳能力比较[6]、行道树健康状况评估[7]、道路林不同树种栽植模式对区域小气候的影响[4]、不同生境行道树对冰雪灾害的响应[8]等方面，而对城市道路林碳汇功能的研究相对滞后；部分学者分析了广东省广州市、江门市的行道树碳储量[9-10]，但整体上关于城市道路林碳储量研究还比较缺乏。

山东泰安市城区绿化覆盖率达 44.6%以上，其中道路绿化是城区绿化的重点之一，在上述覆盖率中占据较大比例。Intergovernmental Panel on Climate Change（IPCC）也明确指出，城市树木、行道树等数量较多，生物量的储量变化较大，对其碳汇作用进行估算意义重大。目前，关于泰安市道路绿地的研究多见于道路林配置模式对细颗粒物（$PM_{2.5}$）的阻滞作用[11]、行道树生长对道路两侧带的影响[12]、道路林消减大气颗粒物对气象条件的响应[13]等，但针对泰安市道路林碳储量的研究还比较缺乏。基于此，本研究以泰安市主城区道路林为研究对象，以样地调查为基本手段，运用平均生物量法对道路林碳储量进行估算，以期为提高泰安市道路林固碳效应和改善城市生态环境提供一定参考。

1 研究区概况

泰安市（116° 20′—117° 59′ E，35° 38′—36°28′ N）位于山东省中部，辖泰山区、岱岳区、新泰市、肥城市、宁阳县和东平县，全市东西长约 176.6 km，南北宽约 93.5 km，总面积约 7 762 km^2。整体地势自东北向西南倾斜，拥有山地、丘陵、平原、湖泊等多种地貌类型。属暖温带大陆性半湿润季风气候区，夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥。年均气温 12.9 ℃，年均降水量 727.9 mm，降水集中于 6—9 月，无霜期平均 195 d。泰安市为国家森林城市，截止 2020 年底，全市森林覆盖率达 25.8%，地带性植被为落叶阔叶林和温性针叶林。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

泰安市主城区道路总体上呈“八横五纵”交错的路网格局，其中泰山大街、灵山大街和泮河大街均为泰安市东西走向的骨干道路，道路绿地建设完善，受人为干扰类型比较相似，主要为汽车尾气和人为养护；三条街道道路绿化包括路侧绿带和分车带绿化两部分，路侧绿带位于人行道与沿街建筑之间，更注重与周围环境的融合，并且三条街道路侧绿带分别占其道路绿地面积的 80%以上。基于此，研究区为路侧绿带，不包括分车绿带。泰山大街、灵山大街、泮河大街的起止点分别为龙潭路—京台高速、温泉路—长城路、温泉路—天平湖路。根据道路长度，沿行车方向每隔 500 m 设置 1 个样带，其中泰山大街 12 个、灵山大街 10 个、泮河大街 15 个，共计 37 个。样带大小设置为 15 m×15 m（不足 15 m 宽则按路侧绿带实际宽度设置）。2019 年 8 月，对样带内所有乔木进行每木检尺，记录树种、树高、冠幅、胸径、株数指标，共调查样木 732 株。根据研究区植被群落构成，将道路林划分为针阔混交林、落叶阔叶混交林和常绿落叶阔叶混交林 3 个类型（表 1）。

表 1　泰安市主城区道路林群落类型

群落类型	树种组成	泰山大街		灵山大街		泮河大街	
		样带/个	占比/%	样带/个	占比/%	样带/个	占比/%
针阔混交林	二球悬铃木+雪松+白蜡、二球悬铃木+雪松+银杏、二球悬铃木+雪松、二球悬铃木+栾树+雪松、二球悬铃木+雪松+白皮松、白蜡+雪松+白皮松、二球悬铃木+苦楝+雪松、二球悬铃木+旱柳+雪松、苦楝+女贞+雪松、二球悬铃木+白皮松+苦楝	7	58.33	4	40	9	60
落叶阔叶混交林	二球悬铃木+栾树、二球悬铃木+白蜡、二球悬铃木+银杏+旱柳、栾树+银杏、二球悬铃木+刺槐、二球悬铃木+栾树+旱柳、合欢+二球悬铃木	5	41.67	2	20	6	40
常绿落叶阔叶混交林	苦楝+女贞、栾树+女贞、二球悬铃木+女贞	0	0	4	40	0	0

2.2　物种多样性指数计算

以植物群落 α-多样性测度方法，测算泰安市主城区道路林植物群落多样性指数，包括丰富度指数 Patrick 指数（R）、辛普森（Simpson）多样性指数（D）、香农-维纳（Shannon-Wiener）多样性指数（H）、Pielou 均匀度指数（J）[14]。

2.3　碳储量估算方法

道路林碳储量计算分为地上和地下两个部分（由于乔木林是城市森林碳储量的最主要贡献者，本研究主要针对乔木层，不计算灌木、地被层及土壤碳储量）。采用平均生物量法，依据已有文献中不同树种的单木生物量异速生长方程（表 2）计算单株乔木的地上生物量，方程基于近地原则，选择与泰安市立地条件相近的模型。乔木地下生物量采用根冠比法计算，根冠比值为 0.26[15]。通过生物量乘以含碳率，计算碳储量，再结合样地面积计算单位面积碳储量，即碳密度。计算公式为：

$$C = B \times C_c \tag{1}$$

$$C_p = C/S \tag{2}$$

式（1）（2）中：C 为碳储量（kg）；B 为生物量（kg）；C_c 为含碳系数；C_p 为碳密度（$kg \cdot m^{-2}$）；S 为样地绿化面积（m^2）。为了提高碳储量的计算精度，分别采用不同的含碳系数[15-17]（表 2）。

表 2　各树种生物量异速生长方程及含碳系数

树种	生物量异速生长方程	参考文献	含碳系数	参考文献
二球悬铃木（*Platanus acerifolia*）	$B=0.069\ (D^2H)^{0.9133}$	朱敏[18]	0.4996	王迪生[16]
栾树（*Koelreuteria paniculate*）	$B=0.10994D^{2.48438}$	赵倩和赵敏[19]	0.476	王迪生[16]
雪松（*Cedrus deodara*）	$B=1.26\ (0.3721D^{1.2928}+0.2805D^{1.3313})$	朱敏[18]	0.5073	马钦彦等[17]
女贞（*Ligustrum lucidum*）	$B=0.907+0.01D^2H$	Jo 和 McPherson[20]	0.4431	白保勋等[25]
苦楝（*Melia azedarach*）	$B=0.0396\ (D^2H)^{0.933}$	刘国华等[21]	0.4889	汤煜等[15]
白皮松（*Pinus bungeana*）	$B=0.1722D^{2.144}$	Wang[22]	0.5073	马钦彦等[17]
银杏（*Ginkgo biloba*）	$B=0.044+0.042D^2H$	朱敏[18]	0.4681	王迪生[16]
刺槐（*Robinia pseudoacacia*）	$B=0.069D^{2.54}+0.068D^{1.89}+0.0015D^3$	Liu 和 Li[23]	0.5013	王迪生[16]
白蜡（*Fraxinus chinensis*）	$B=0.102136D^{2.408}$	Wang[22]	0.4388	白保勋等[25]
旱柳（*Salix matsudana*）	$B=0.0047D^{2.315}+0.001D^{3.481}+0.1008D^{2.443}$	He 等[24]	0.4111	白保勋等[25]
合欢（*Albizia julibrissin*）	$B=0.0396\ (D^2H)^{0.933}$	刘国华等[21]	0.4352	白保勋等[25]
油松（*Pinus tabulaeformis*）	$B=0.006D^{2.475}+0.0139D^{2.527}+0.0339D^{2.582}$	He 等[24]	0.4728	白保勋等[25]

注：B 为生物量（kg），D 为胸径（cm），H 为树高（m）。

2.4　数据分析

物种多样性指数数据处理、碳储量相关计算等在 Excel 2017 中进行。采用 Pearson 相关性分析道路林碳密度与树种大小、单位面积胸高断面积、物种多样性指数之间的关系；采用 Fisher LSD 进行单因素方差分析，以上分析方法在 SPSS 27.0 软件进行。在 CANOCO 5.0 中运用主成分分析（PCA）比较不同群落类型植被碳密度的变异程度。作图使用 Origin 2021 软件。

3　结果与分析

3.1　道路林结构特征

3.1.1　道路林树种组成特征

根据对 37 个样带调查统计，研究区道路林常

用的乔木共计 12 个种，包括落叶植物二球悬铃木、栾树、白蜡、苦楝、刺槐、银杏、合欢、旱柳 8 种；常绿植物雪松、白皮松、油松、女贞 4 种，隶属 8 科 11 属（表 3）。乔木使用最多的为二球悬铃木，株数占比为 34.43%；排名前 10 位的数量优势树种自二球悬铃木后依次为栾树（24.59%）、雪松（16.67%）、女贞（8.61%）、苦楝（3.14%）、白皮松（3.14%）、银杏（2.32%）、刺槐（1.91%）、白蜡（1.64%）和旱柳（1.64%），其中排前 5 位的乔木数量占总数的 87.44%。泰山大街和泮河大街道路林使用最多的为二球悬铃木，株数占比分别为 43.96% 和 39.63%；灵山大街道路林使用最多的为女贞，株数占比为 31.19%。

表 3 泰安市主城区主要道路样带科、属、种组成

	科	属(数量)	种(数量)	株数	占比/%	分布街道
	悬铃木科	悬铃木属(1)	二球悬铃木(1)	252	34.43	泰山大街、灵山大街、泮河大街
	无患子科	栾树属(1)	栾树(1)	180	24.59	泰山大街、灵山大街、泮河大街
	松科	雪松属、松属(2)	雪松、白皮松、油松(3)	151	20.63	泰山大街、灵山大街、泮河大街
	木犀科	梣属、女贞属(2)	白蜡、女贞(2)	75	10.25	泰山大街、灵山大街
	楝科	楝属(1)	苦楝(1)	23	3.14	灵山大街、泮河大街
	豆科	合欢属、刺槐属(2)	合欢、刺槐(2)	22	3.01	泰山大街、灵山大街
	银杏科	银杏属(1)	银杏(1)	17	2.32	泰山大街、泮河大街
	杨柳科	柳属(1)	旱柳(1)	12	1.64	泮河大街
总计	8	11	12	732	100	

3.1.2 道路林树种空间结构

道路林树种空间结构包括径级结构、冠幅结构和树高结构。研究区道路林乔木平均胸径为 15.49 cm，其中胸径在（10，15］cm 区间的乔木最多，占比为 47.81%；41.53% 的树木胸径超过 15 cm；胸径在 30 cm 以上的大乔木占比仅为 1.94%。树种组成主要有二球悬铃木、苦楝、旱柳，三条街道均有分布。从树木径级与数量分布来看，整体上随着径级增大其数量分布呈先增加后减少的变化趋势（图 1A）。三条道路林中，泰山大街树木的平均胸径最大（16.74 cm），其次为泮河大街。

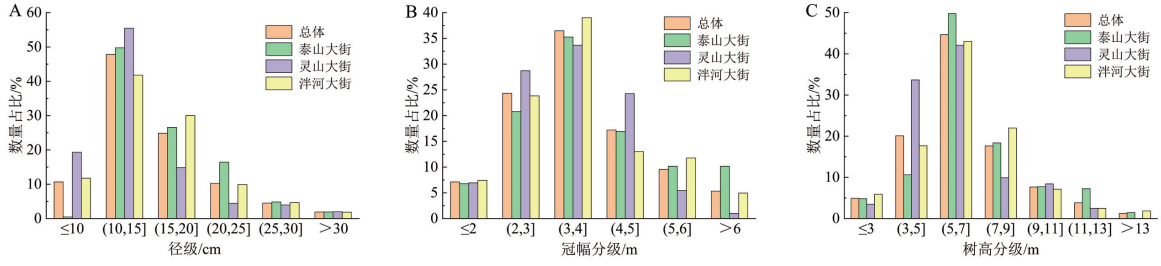


图 1 承德市生态足迹构成

研究区乔木平均冠幅为 3.80 m，其中冠幅分布在 2~4 m 的树木占比达 60.79%，冠幅大于 6 m 的树木仅占 5.33%。树种组成主要有雪松、二球悬铃木、栾树、旱柳、苦楝，主要分布在泰山大街和泮河大街。从树木冠幅等级与数量分布来看，各条道路林均表现出随着冠幅等级增大其数量分布呈先增加后减少的变化趋势，均以冠幅在（3 m，4 m］的区间最多（图 1B）。三条道路林的平均冠幅排序：泰山大街（4.03 m）>泮河大街（3.78 m）>灵山大街（3.58 m）。

研究区乔木平均树高为 6.68 m，87.30% 的树木树高不大于 9 m，其中树高在（5，7］m 区间的乔木数量最多，占比达 44.67%，树高9 m 以上的树木占 12.70%。树种组成主要有雪松、二球悬铃木、银杏、栾树、白皮松、旱柳。树高等级的数量分布与径级、冠幅有类似的变化趋势（图 1C）。三条道路林中，泰山大街树木的平均树高最大（7.07 m），其次为泮河大街，与胸径和冠幅的排序一致，这与道路林建设时间长短、树木生长习性有关，泰山大街道路绿化建设早于灵山和泮河大街，雪松、二球悬铃木为主要应用树种。

3.1.3　道路林物种多样性分析

所有样带中，乔木物种丰富度为 2～4，Shannon-Wiener 指数为 0.514 7～1.204 8，Pielou 和 Simpson 指数变异性较小，值分别在 0.625 4～0.994 7 和 0.332 4～0.662 7，说明各群落的 Pielou 和 Simpson 两项指标分布比较集中。三条道路林的 Shannon-Wiener 和 Simpson 指数平均值变化趋势相同，即泮河大街＞泰山大街＞灵山大街，Pielou 指数表现为泮河大街>灵山大街>泰山大街，说明泮河大街道路林的物种组成更丰富、分布更均匀、多样性更高，这与泰安市在后期道路绿化建设中注重植物配置以及相关部门对泮河大街进行道路改造提升工程紧密相关（泮河大街道路绿地的规划建设晚于泰山、灵山大街）。道路林总体的 Shannon-Wiener、Pielou 和 Simpson 指数平均值分别为 0.840 2、0.920 4 和 0.534 4（表 4），说明泰安市道路林物种间个体分布较为均匀，植被构成比较单一化、均质化，多样性较低，这与城市道路绿化建设要求树种易成活、景观整齐划一有关。

对于不同群落类型，针阔混交林的 Shannon-Wiener 和 Simpson 指数的平均值明显高于其他类型群落，说明针阔混交林群落物种更丰富、分布更均匀；落叶阔叶混交林的多样性指数次之，常绿落叶阔叶混交林的各项指数均最小，这是因为常绿落叶阔叶混交林的树种组成更加单一，仅以女贞和栾树为主。

表 4　泰安市主城区道路林多样性指数

项目		Shannon-Wiener 指数 H		Pielou 指数 J		Simpson 指数 D	
		平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
不同街道	泰山大街	0.839 2	0.190 1	0.908 9	0.102 6	0.533 6	0.095 4
	灵山大街	0.689 7	0.114 1	0.917 6	0.071 4	0.460 7	0.062 3
	泮河大街	0.953 0	0.191 9	0.931 5	0.060 8	0.584 3	0.081 3
群落类型	针阔混交林	0.961 3	0.186 2	0.918 8	0.087 0	0.586 2	0.090 8
	落叶阔叶混交林	0.701 0	0.098 0	0.930 5	0.057 7	0.477 7	0.035 4
	常绿落叶阔叶混交林	0.622 6	0.064 0	0.898 2	0.092 3	0.432 5	0.059 5
	总体	0.840 2	0.207 2	0.920 4	0.079 9	0.534 4	0.095 7

3.2　道路林碳储量与碳密度

研究区 12 个乔木树种的碳储量如图 2 所示。其中，单株碳储量最大的为旱柳（144.70 kg），其次为油松（120.34 kg）、银杏（82.76 kg）、白蜡（49.17 kg）、栾树（47.98 kg），除油松、白皮松和雪松为常绿针叶树种以外，其余均为阔叶树种。单株碳储量最小的为女贞，仅 4.03 kg。

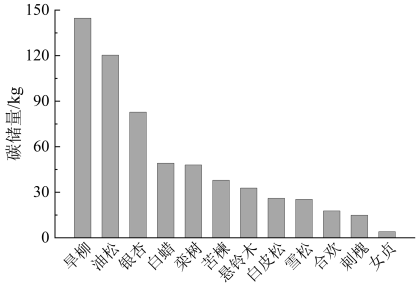


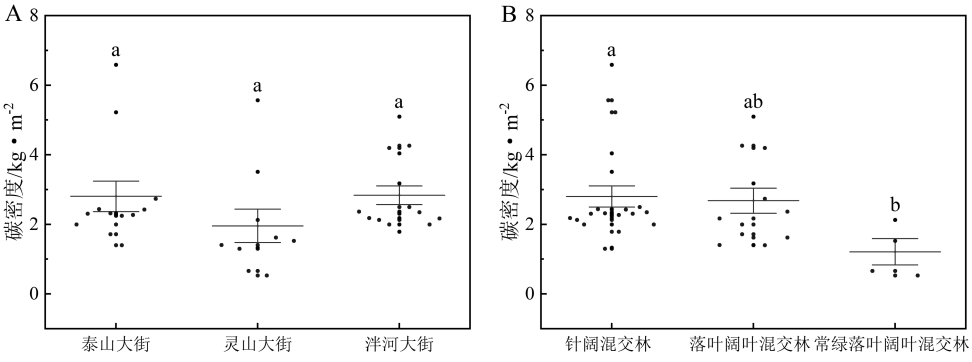
图 2　研究区 12 个乔木树种的碳储量

研究区 37 个道路林样带的总碳储量为 21 569.94 kg，平均碳储量为 582.97 kg，各样带之间碳储量差异较大，泰山大街、灵山大街和泮河大街样带的平均碳储量分别为 631.71 kg、440.96 kg 和 638.66 kg。各样带的碳密度大小存在显著差异，数值在 0.53～6.59 kg·m^{-2}范围变化，其中以碳密度<3.00 kg·m^{-2}的居多，占样带总数的 75.68%。泰山大街、灵山大街和泮河大街的平均碳密度分别为 2.8、1.96 和 2.84 kg·m^{-2}；针阔混交林、落叶阔叶混交林和常绿落叶阔叶混交林的平均碳密度分别为 2.80、2.68 和 1.21 kg·m^{-2}。由图 3 可知，道路林碳密度在道路和群落类型间存在差异性，三条道路林的碳密度差异不显著（P>0.05）；不同群落类型中，针阔混交林的碳密度显著高于常绿阔叶混交林（P<0.05），而落叶阔叶混交林与针阔混交林和常绿落叶阔叶混交林的碳密度差异不显著（P>0.05）。

3.3　道路林碳密度与群落结构组成的关系

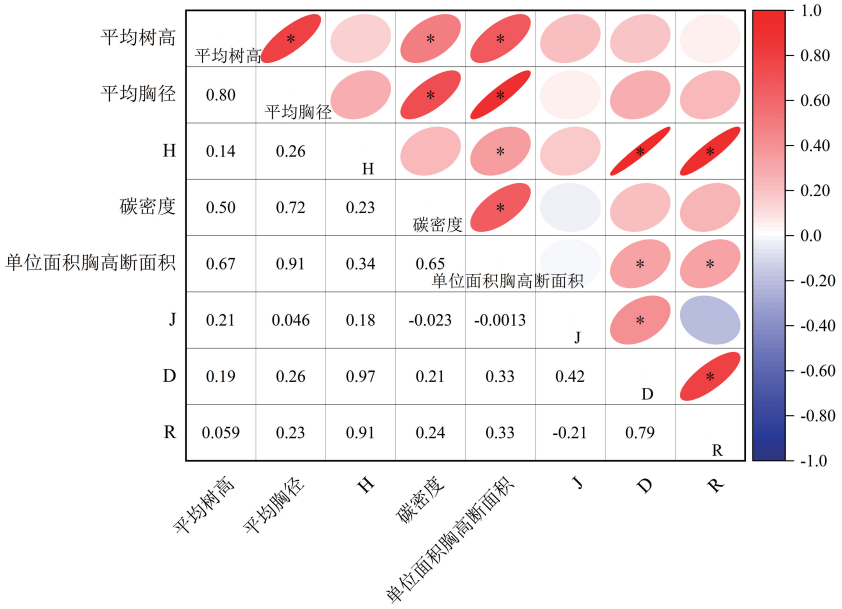
由图 4 可知，研究区道路林 37 个样带的碳密度与平均树高显著正相关（P<0.05），与平均胸径和单位面积胸高断面积呈极显著正相关（P<0.01），其相关系数分别为 0.72 和 0.65，单位面积胸高断面积代表的是林分相对密度的大小，这

表明林分相对密度对提高单位面积碳储量具有极显著影响。物种丰富度指数 R 和 Shannon-Wiener 指数 H、Simpson 指数 D 与碳密度无显著相关关系（$P>0.05$）。



注：图中不同小写字母表示差异显著。

图 3 不同街道（A）和不同群落类型（B）道路林碳密度



注：* 表示相关性在 0.05 水平上显著。

图 4 碳密度与群落特征的相关关系分析

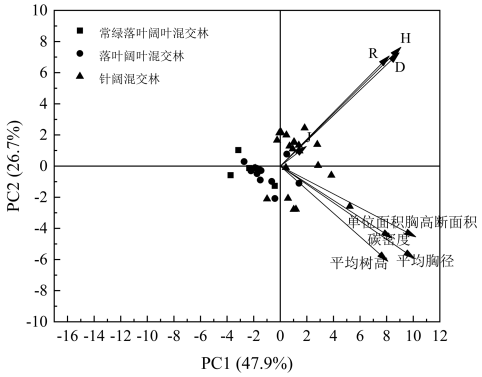


图 5 不同群落类型道路林碳密度主成分分析

由图 5 可知，前两个主成分的累积贡献率达 74.6%，分别为 47.9% 和 26.7%。不同群落类型道路林碳密度在主成分 1 方向有较明显的分异。在主成分 1 方向，针阔混交林碳密度位于正端，常绿落叶阔叶混交林位于负端，表明针阔混交林碳密度最高。同时 PCA 结果也表明，碳密度主要和平均胸径、平均树高、单位面积胸高断面积有显著相关性。

4 讨论

泰安市主城区三条道路林的植被多样性不高，常用的乔木树种仅有 12 种，Shannon-Wiener 指数

的平均值为 0.840 2，远低于一些南方城市[26]和哈尔滨市[27]，这可能是由于本研究仅统计乔木层而未计算灌木层，也和泰安市早期道路绿化较注重整齐划一效果而忽略植被多样性有关。

植被碳储量受群落配置的内在因素（树种组成、树木大小、群落结构）和外界因素（管理、修剪等）的影响，即使同一城区、同一类型城市森林，不同样地的碳密度也存在明显差异[2]。泰安市主城区道路林样带的碳密度在 0.53~6.59 kg·m^{-2} 范围变化，平均碳密度为 2.59 kg·m^{-2}，这与于超群等[28]对济南市经十东路道路绿地平均碳密度（2.02 kg·m^{-2}）的研究结果比较一致，但明显低于 Yang 等[29]对北京市城市森林树木平均碳密度（3.19 kg·m^{-2}）的研究结果，以及吕海亮[27]对哈尔滨市道路林碳密度的估算（7.16 kg·m^{-2}），可能是由于泰安市道路林平均胸径相对较低（83.33% 的乔木胸径小于 20 cm），也可能是由于生物量和碳储量估算方法的差异，包括生物量模型和含碳系数等参数的差异，以及在计算碳储量时是否包含林下层、枯落物、根系等要素。

研究区样带中碳密度最大的达 6.59 kg·m^{-2}，该样带内树木的平均胸径在 25 cm 以上；碳密度在 5.10 kg·m^{-2}以上的样带内树木平均胸径均在 18 cm 以上；碳密度最小（0.53 kg·m^{-2}）样带的树木平均胸径仅 8.73 cm。相关性分析表明，泰安市道路林碳密度与树木平均胸径、单位面积胸高断面积具有极显著正相关性，该结果与 Baul 等[30]对孟加拉国南部 Maheshkhali 岛人工林树种多样性和林分结构对碳储量影响的研究结果一致，罗玉兰等[2]的研究也表明乔木树龄和种植密度对群落碳密度贡献率更大，说明适当选择大乔木和提高林分密度可有效提升道路林单位面积碳储量。

泰安市道路林具有重要的增汇潜力，对改善泰安市主城区生态环境起着重要支撑作用，但泰安市主城区道路林总体存在多样性不高、群落类型不丰富、单种优势强、树龄偏小等特点，碳汇效应未充分发挥。因此，泰安市在今后的绿地系统或道路林建设中，应加强群落优化，注重树种的选择，多选择生物量高、寿命长的树种；注重常绿与落叶树种的比例，合理控制林分密度，增加物种多样性及群落稳定性。此外，在兼顾生态与景观需求的同时，应注重泰安市文化内涵的挖掘，使泰安市道路林在充分发挥碳汇功能的同时也成为泰安市道路绿化的景观名片。

5　结论

泰安市主城区道路林乔木树种共 8 科 11 属 12 种，群落类型主要为针阔混交林、落叶阔叶混交林和常绿落叶阔叶混交林。每条道路林常用乔木 3~4 种，其中，二球悬铃木、栾树和雪松运用广泛。道路林乔木平均胸径为 15.49 cm，胸径为 10~15 cm 的最多，占比 47.81%。研究区道路林的植被构成比较单一化、均质化，植物多样性不高，物种不丰富。

研究区 37 个道路林各样带之间的碳储量差异较大，各样带的碳密度以碳密度<3.00 kg·m^{-2}居多，占样带总数的 75.68%；不同群落类型中，针阔混交林的平均碳密度最大。道路林碳密度与胸径、单位面积胸高断面积具有极显著正相关性。

参考文献

[1]江佩宜,戴菲.城市绿地碳汇测算方法研究进展[J].中国城市林业,2024,22(1):87-93.

[2]罗玉兰,张冬梅,张浪,等.基于“双碳”目标的城市绿化树种筛选及配置研究:以上海世博公园为例[J].园林,2022,39(1):25-32.

[3]王敏,宋昊洋.影响碳中和的城市绿地空间特征与精细化管控实施框架[J].风景园林,2022,29(5):17-23.

[4]李坤,李传荣,许景伟,等.3 种典型道路景观林对诸城市夏季小气候条件的影响[J].生态环境学报,2018,27(6):1060-1066.

[5]THOMSEN P,BÜHLER O,KRISTOFFERSEN P.Diversity of street tree populations in larger Danish municipalities[J].Urban Forestry & Urban Greening,2016,15:200-210.

[6]褚芷萱,马锦义,邵海燕,等.不同应用类型园林树木固碳能力[J].中国城市林业,2022,20(1):126-129.

[7]张涛,杨永利,张清,等.天津滨海新区行道树法桐衰弱成因分析[J].中国城市林业,2022,20(1):120-125.

[8]刘青,刘苑秋,古新仁.不同生境行道树香樟生长特性及其对冰雪灾害的响应研究[J].中国园林,2020,36(2):112-117.

[9]陈婷婷,鲍戈平.天河区主要道路行道树结构特征与碳储量研究[J].安徽农业科学,2016,44(31):172-175.

[10]王祥林,张妍,张璐,等.江门市城区行道树碳储量[J].广东园林,2013,35(4):62-65.

[11]刘浩栋,陈亚静,李清殿,等.城市道路林对细颗粒物($PM_{2.5}$)的阻滞作用解析[J].浙江农林大学学报,2020,37(3):397-

406.

[12]李铮,姜磊,谭兴来,等.泰安市行道树生长对道路两侧带的影响研究[J].山东林业科技,2021,51(3):23-29.

[13]陈亚静,迟增臻,李清殿,等.不同气象条件下道路景观林对大气颗粒物浓度的影响[J].中国城市林业,2020,18(6):55-60.

[14]马杰,贾宝全.北京市六环内城市道路附属绿地木本植物多样性及结构特征[J].林业科学,2019,55(4):13-21.

[15]汤煜,石铁矛,卜英杰,等.城市绿地碳储量估算及空间分布特征[J].生态学杂志,2020,39(4):1387-1398.

[16]王迪生.基于生物量计测的北京城区园林绿地净碳储量研究[D].北京:北京林业大学,2010.

[17]马钦彦,陈遐林,王娟,等.华北主要森林类型建群种的含碳率分析[J].北京林业大学学报,2002,24(5):96-100.

[18]朱敏.西安浐灞生态区城市绿地空间植被碳储量估算研究[D].西安:西安建筑科技大学,2020.

[19]赵倩,赵敏.城市化过程及其绿地储碳研究:以上海"城-郊-乡"样带为例[J].长江流域资源与环境,2015,24(4):531-538.

[20]JO H K,MCPHERSON G E.Carbon storage and flux in urban residential greenspace [J]. Journal of Environmental Management,1995,45(2):109-133.

[21]刘国华,傅伯杰,方精云.中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J].生态学报,2000,20(5):733-740.

[22]WANG C K.Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests[J].Forest Ecology and Management,2006,222(1/2/3):9-16.

[23]LIU C F,LI X M.Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China [J]. Urban Forestry & Urban Greening,2012,11(2):121-128.

[24]HE H J,ZHANG C Y,ZHAO X H,et al.Allometric biomass equations for 12 tree species in coniferous and broadleaved mixed forests, Northeastern China[J].PLoS One,2018,13(1):e0186226.

[25]白保勋,焦书道,陈东海.河南中北部38个常见树种的生物量与固碳特征分析[J].西部林业科学,2017,46(1):79-84.

[26]刘雅琦,谭又铭,刘一丁,等.德昌县城区绿地系统植物多样性[J].中国城市林业,2022,20(5):143-150.

[27]吕海亮.城市植被与土壤碳储量时空变化规律研究:以哈尔滨市为例[D].哈尔滨:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2017.

[28]于超群,齐海鹰,张广进,等.基于低碳理念的园林植物景观设计研究:以济南市城区典型绿地为例[J].山东林业科技,2016,46(5):10-15.

[29]YANG J,MCBRIDE J,ZHOU J X,et al.The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction[J].Urban Forestry & Urban Greening,2005,3(2):65-78.

[30]BAUL T K,CHAKRABORTY A,NANDI R,et al.Effects of tree species diversity and stand structure on carbon stocks of homestead forests in Maheshkhali Island,Southern Bangladesh[J].Carbon Balance and Management,2021,16(1):11.