靳程，胡四维，胡远东，杨永川 . 不同地理尺度下中国城市绿化树种多样性的均质化特征 [J]. 风景园林，2022，29（1）：53-58.

不同地理尺度下中国城市绿化树种多样性的均质化特征

Homogeneous Characteristics of Urban Landscape Woody Plants Species Biodiversity in China Under Different Geographical Scales

靳程 胡四维 胡远东 杨永川 *

JIN Cheng, HU Siwei, HU Yuandong, YANG Yongchuan*

开放科学（资源服务）
标识码（OSID）

中图分类号：Q948.1
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2022)01-0053-06
DOI：10.14085/j.fjyl.2022.01.0053.06
收稿日期：2021-06-04
修回日期：2021-11-22

靳程 / 女 / 重庆大学环境与生态学院在读博士研究生 / 研究方向为城市化生态环境效应及生态修复
JIN Cheng is a Ph.D. candidate in the College of Environment and Ecology, Chongqing University. Her research focuses on ecological environment effect and ecological restoration under urbanization.

胡四维 / 女 / 重庆大学环境与生态学院在读博士研究生 / 研究方向为城市化生态环境效应及生态修复
HU Siwei is a Ph.D. candidate in the College of Environment and Ecology, Chongqing University. Her research focuses on ecological environment effect and ecological restoration under urbanization.

胡远东 / 男 / 博士 / 东北林业大学园林学院副教授 / 研究方向为风景园林规划与设计、城市生态与生态设计、城市生物多样性
HU Yuandong, Ph.D., is an associate professor in the School of Landscape Architecture, Northeast Forestry University. His research focuses on landscape planning and design, urban ecology and ecological design, urban biodiversity.

杨永川 / 男 / 博士 / 重庆大学环境与生态学院教授 / 研究方向为植物群落结构与动态、珍稀濒危植物生存对策及保育、城市化生态环境效应及生态修复
通信作者邮箱（Corresponding author Email）：ycyang@cqu.edu.cn
YANG Yongchuan, Ph.D., is a professor in the College of Environment and Ecology, Chongqing University. His research focuses on structure and dynamics of plant communities, survival strategy and conservation of rare and endangered plants, ecological environment effect and ecological restoration under urbanization.

摘要：城市绿化建设是保护和提升城市生物多样性的重要途径。绿化树种多样性的均质化对城市生物多样性维持带来不可忽视的影响。以中国 36 个主要城市的城市绿化树种为研究对象，按树种起源分为乡土树种、省外树种、国外树种和栽培树种 4 类，分别探究其在全国尺度和气候带尺度下的均质化特征，以明晰中国城市绿化树种均质化特征在不同地理尺度下的差异，并揭示在不同地理尺度下中国城市绿化树种均质化现象的主导树种类型。结果发现：全国尺度下，城市绿化树种均质化现象具地理尺度效应，主要由栽培树种和国外树种主导；气候带尺度下，以北亚热带城市绿化树种均质化程度最高，中亚热带和暖温带次之，南亚热带和中温带最低，虽然仍由栽培树种和国外树种主导，但乡土树种与省外树种也有一定贡献。研究结果可为制定普适性的解决措施以缓解中国城市绿化树种均质化现象、保护和提升城市生物多样性提供参考依据。

关键词：城市化；绿化树种多样性；生物均质化；全国尺度；气候带尺度

基金项目：重庆市技术创新与应用示范专项重点研发项目（编号 cstc2018jszx-zdyfxmX0007）；科技部科技基础性工作专项（编号 2015FY210200-4）

Abstract: Urban greening construction is an important way to protect and promote urban biodiversity. However, homogenization of species biodiversity for landscape woody plants is a brake on the maintenance of urban biodiversity. Therefore, in this study, landscape woody plants in China's 36 major cities were divided into four types according to the different geographical origins, namely native species, extra-province species, alien species, and cultivated species. We explored the landscape plants' homogenization characteristics under national and climatic scales to clarify different characteristics under different geographical scales. We also revealed the main species that lead to the homogenization of landscape plants under different geographical scales. We found that the landscape plants' homogenization exhibited scale-dependent phenomenon under the national scale, predominantly caused by cultivated and alien species. Under climatic scale, landscape plants in the northern subtropical zone had the highest homogenization degree of species composition, followed by middle subtropical and warm temperate zones, and southern subtropical and middle temperate zones with the lowest ones. Moreover, despite cultivated and alien species caused a tremendous impact on homogenization under climatic scale, native and extra-province species also contributed to it to certain degrees. In summary, this study can provide a basis for formulating universal solutions to alleviate landscape plants' homogenization in China, so as to protect and promote urban biodiversity.

Keywords: urbanization; species biodiversity of landscape woody plants; biotic homogenization; national scale; climatic scale

Fund Items: Chongqing Technology Innovation and Application Demonstration Major Theme Special Project (No. cstc2018jszx-zdyfxmX0007); Special Project of Basic Work of Science and Technology, Ministry of Science and Technology (No. 2015FY210200-4)

当今，城市容纳了世界 1/2 以上的人口，是人类主要聚居区域 [1]。城市生态系统与人类休戚相关。城市绿化作为城市生态系统的重要组成部分，备受关注。大量研究发现，在快速城市化背景下城市绿化存在诸多问题，绿化树种均质化现象就是其中之一 [2-4]。生物均质化常被视为生物多样性丧失的指标，而绿化树种均质化即不同地区城市绿化树种组成越来越相似，共有树种分布广泛，压缩了地方特有树种的分布，因此绿化树种均质化不利于保护和提升城市生物多样性 [2]。造成此均质化现象的原因多样，有研究表明人们对树种某些特性（如生长快速、易于繁殖、观赏性良好和外来热带起源等）的偏好可能是主要原因 [5-8]。也有研究表明，城市绿化树种均质化现象具有地理尺度效应，与外来树种的存在与否无关 [9]。这 2 种原因截然不同，其对应的解决措施也必然不同。因此，在快速城市化导致城市生物多样性降低、城市生物均质化进程加快的背景下，探究不同地理尺度下城市绿化树种均质化特征及其成因至关重要，能够为建设更具生态效益的绿色基础设施提供支撑。

近些年，中国城市化进程快速推进，全国城市建成区面积逐年增加 [10]。此外，随着中国在全球贸易中的地位愈加重要，物种引入的速度也相应加快 [11-12]。据有关研究预测，未来几十年，中国的外来树种数量将迅速增加，这可能导致中国城市绿化树种组成快速变化 [13-14]。因此，中国为研究快速城市化背景下不同地理尺度城市绿化树种均质化特征及成因提供了绝佳的研究区域。

中国城市绿化树种均质化问题，近些年已经获得了较多关注，研究尺度涉及全国尺度 [15-16]、流域尺度 [7, 17] 和局部尺度 [18-19]。其中，Qian 等 [7] 和 Jin 等 [17] 以长江流域 11 个主要城市的城市绿化树种为研究对象，证实了长江流域城市绿化树种均质化程度较高，且主要由国外树种（在中国境内无自然分布的树种）和栽培树种（起源于人工栽培的树种）贡献。徐志虎等 [18] 以苏浙沪三省主要城市的居住区绿化植物为研究对象，探讨了社区、城市和省份 3 个尺度上居住区绿化植物均质化特征，由于该研究整体地理尺度较小，各省份间乡土植物（在本省有自然分布的植物）组成相似，反而增加了省间均质化程度。目前，尚未有研究关注中国全国尺度城市绿化树种均质化程度和特征，不同地理尺度下城市绿化树种均质化现象由哪类树种主导，也待进一步论证。

本研究以中国 36 个主要城市的绿化树种为研究对象，将绿化树种按地理来源划分为不同类型，在全国尺度和气候带尺度下探究不同类型绿化树种组成相似性，并进行对比，以揭示中国城市绿化树种均质化的整体格局，并探明在不同地理尺度下主导城市绿化均质化现象树种类型。本研究能够为减缓中国城市绿化树种均质化现象并维持城市生物多样性提供理论基础，也能为风景园林相关从业人员全面认识中国城市绿化树种均质化现象提供一定帮助。

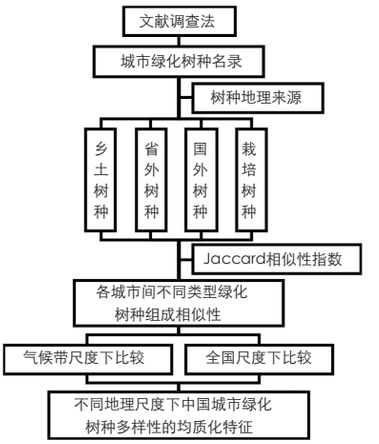
1 材料与方法

1.1 研究区域

本研究区域涵盖全国 36 个主要城市，分别为各地省会、直辖市及计划单列市。参照《中国气候》划分研究城市的气候带 [20]，其中海口属于边缘热带（marginal tropical zone, MTs）；澳门、福州、广州、南宁、厦门和深圳属于南亚热带（southern subtropical zone, SS）；长沙、成都、重庆、贵阳、昆明和南昌属于中亚热带（middle subtropical zone, MS）；杭州、合肥、南京、宁波、上海和武汉属于北亚热带（northern subtropical zone, NS）；北京、大连、青岛、沈阳、石家庄、太原、天津、西安和郑州属于暖温带（warm temperate zone, WT）；长春、哈尔滨、呼和浩特、兰州、乌鲁木齐和银川属于中温带（middle temperate zone, MT）；拉萨和西宁属于高原温带（plateau temperate zone, PT）。由于边缘热带和高原温带分别仅包含 1~2 个城市，所以分别将之并入南亚热带和中温带进行分析。

1.2 研究方法

本研究采用文献调查法对全国 36 个主要城市的绿化树种名录进行整合，根据树种地理来源将绿化树种划分为不同类型；采用



1

1 本研究技术路线
Technology roadmap of this research

Jaccard 相似性指数表征城市间各类型绿化树种组成的相似性，之后分别在全国和气候带尺度下比较各类型树种的均质化程度（图 1）。

1.2.1 数据来源

采用文献调查法进行数据整合，以“城市名 + 关键词”组合的方式于中国知网（CNKI，cnki.net）、万方数据（wanfangdata.com.cn）、Web of Science（webofknowledge.com）和 Google Scholar（scholar.google.com）进行检索，获取相关文献，提取各城市绿化树种名录。关键词设置为“城市绿化”“公园绿化”“道路绿化”“居住区绿化”“小区绿化”“校园绿化”“园林绿化”“园林景观”和“植被调查”等（在 Web of Science 和 Google Scholar 检索时使用各关键词对应英文检索相关英文文献）[7, 17]。在文献筛选过程中，仅采用包含实地调查数据的文献以确保获取数据的准确性，此外，还去除了非典型的城市绿化类型，如植物园和温室花园等。

1.2.2 树种基本信息

树种中文名、拉丁名、科、属、生活型和地理来源等信息以《中国植物志》英文修订版（*Flora of China*, www.iplant.cn/foc）为准。其中，在本省有自然分布的树种为该省城市的乡土树种；在本省无自然分布但在中国境内有自然分布的树种为该省城市的省外树种；在中国境内无自然分布的树种为国外树种；起源于人工栽培的树种为栽培树种。此外，乡

土树种和省外树种统称国内树种。

1.2.3 统计分析

计算各城市 4 类绿化树种比例，采用秩和检验和多重比较分析方法（Dunn's Kruskal-Wallis Multiple Comparisons, DunnTest），分别在全国和气候带尺度下比较各类型绿化树种比例。

采用 Jaccard 相似性指数（J）表征城市间绿化树种组成相似性，如公式（1）：

$$J=\frac{a}{a+b+c}, \qquad (1)$$

其中：a 是两城市共有的树种数；b 和 c 分别是每个城市特有的树种数；J 值介于 0~1 之间，J 值越高表示 2 个城市间绿化树种组成相似性越高。

按不同类型绿化树种（乡土树种、省外树种、国外树种和栽培树种），分别计算全国尺度及气候带尺度下各城市间的 J 值。为明晰全国尺度下城市绿化树种均质化现象的主要贡献者，本研究使用广义相加模型（Generalized additive models, GAMs）拟合全国尺度下各城市间不同类型绿化树种 J 值与地理距离间的关系（J 值与地理距离间的关系用于指示城市间绿化树种组成相似性的距离衰减效应），并使用 DunnTest 比较全国尺度下各城市间不同类型绿化树种 J 值[7]。为探究气候带尺度下城市绿化树种均质化现象的主要贡献者，使用 DunnTest 分别比较各气候带内不同类型绿化树种 J 值，及各气候带间相同类型绿化树种 J 值。所有分析和绘图在 R 语言（版本 4.0.3）中完成。

2 结果

2.1 绿化树种组成概况

本研究在中国 36 个主要城市中共记录绿化树种 1 765 种（包含变种、变型等），隶属 124 科 586 属。树种最多的科为蔷薇科，含 204 种；树种最多的属为松属和榕属，均含 33 种（表 1）。出现频次较高的树种为垂柳、月季花、圆柏、侧柏、龙柏、紫叶李和玉兰等；出现频次前 20 位的树种中绝大多数为国内树种（15 种），其次为栽培树种（5 种），极少为国外树种（1 种，表 2）。

表 1 中国 36 个主要城市绿化树种数最多的前 10 个科与属

Tab. 1 Number of tree species in the top 10 families and genera of landscape woody plants in China's 36 major cities

科	种数	属	种数
蔷薇科（Rosaceae）	204	松属（*Pinus*）	33
豆科（Fabaceae）	123	榕属（*Ficus*）	33
棕榈科（Arecaceae）	78	杨属（*Populus*）	32
杨柳科（Salicaceae）	70	柳属（*Salix*）	30
松科（Pinaceae）	69	绣线菊属（*Spiraea*）	28
木犀科（Oleaceae）	57	蔷薇属（*Rosa*）	27
柏科（Cupressaceae）	53	杜鹃花属（*Rhododendron*）	26
樟科（Lauraceae）	48	槭属（*Acer*）	25
桑科（Moraceae）	47	刺柏属（*Juniperus*）	22
木兰科（Magnoliaceae）	45	丁香属（*Syringa*）	19
		荚蒾属（*Viburnum*）	19

表 2 中国 36 个主要城市的城市绿化树种中出现频次排行前 20 的树种

Tab. 2 The top 20 commonly used tree species of landscape woody plants in China's 36 major cities

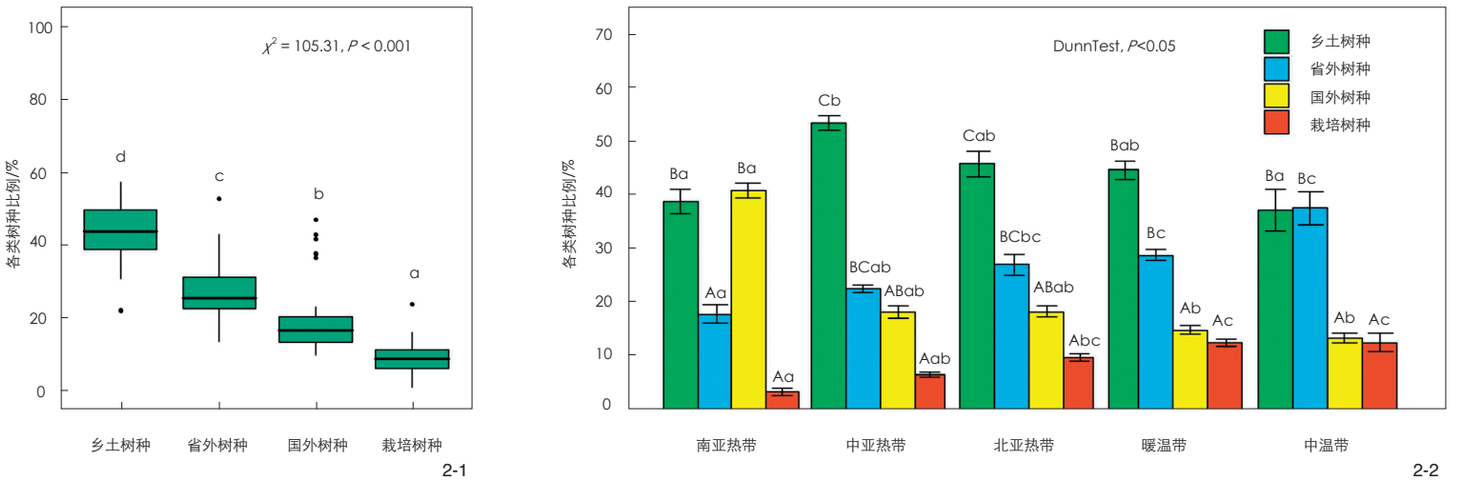
树种	出现频次	树种分类（出现频次）
垂柳（*Salix babylonica*）	36	乡土树种（21）；省外树种（15）
月季花（*Rosa chinensis*）	34	乡土树种（3）；省外树种（31）
圆柏（*Juniperus chinensis*）	33	乡土树种（27）；省外树种（6）
龙柏（*Juniperus chinensis*‘Kaizuca’）	32	栽培树种（32）
侧柏（*Platycladus orientalis*）	32	乡土树种（27）；省外树种（5）
紫叶李（*Prunus cerasifera* f. *atropurpurea*）	32	栽培树种（32）
玉兰（*Yulania denudata*）	32	乡土树种（12）；省外树种（20）
桃（*Prunus persica*）	31	乡土树种（25）；省外树种（6）
碧桃（*Prunus persica*‘Duplex’）	31	栽培树种（31）
槐（*Styphnolobium japonicum*）	31	乡土树种（14）；省外树种（17）
紫叶小檗（*Berberis thunbergii*‘Atropurpurea’）	30	栽培树种（30）
银杏（*Ginkgo biloba*）	30	乡土树种（4）；省外树种（26）
龙爪槐（*Styphnolobium japonicum*‘Pendula’）	30	栽培树种（30）
榆树（*Ulmus pumila*）	30	乡土树种（18）；省外树种（12）
合欢（*Albizia julibrissin*）	29	乡土树种（19）；省外树种（10）
杏（*Prunus armeniaca*）	29	乡土树种（15）；省外树种（14）
木槿（*Hibiscus syriacus*）	29	乡土树种（10）；省外树种（19）
栾树（*Koelreuteria paniculata*）	29	乡土树种（13）；省外树种（16）
枫杨（*Pterocarya stenoptera*）	29	乡土树种（25）；省外树种（4）
刺槐（*Robinia pseudoacacia*）	29	国外树种（29）
旱柳（*Salix matsudana*）	29	乡土树种（17）；省外树种（12）

2.2 绿化树种来源

中国 36 个主要城市的绿化树种中，乡土树种比例最高，其次为省外树种和国外树种，栽培树种比例最低（图 2-1）。

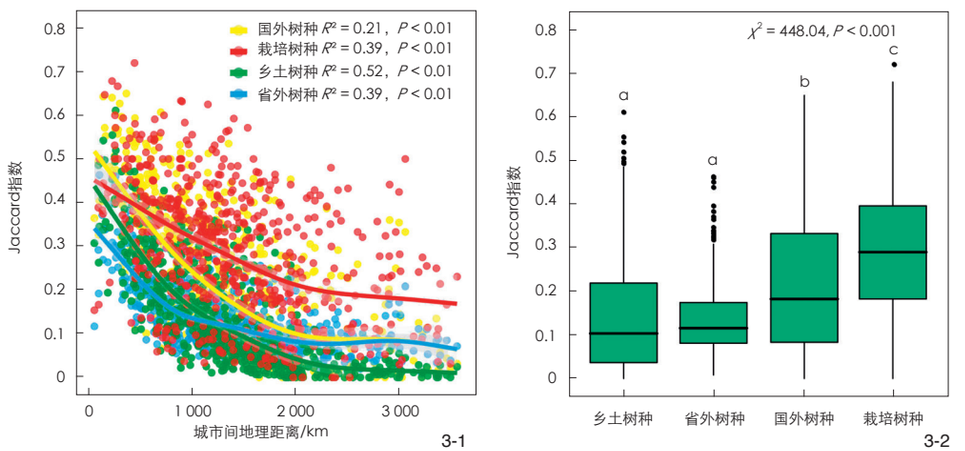
对各气候带内各类型树种比例的比较发现：南亚热带城市绿化中以乡土树种和国外树种比例最高，其次为省外树种和栽培树种；中亚热带、北亚热带、暖温带和中温带城市绿化中均以乡土树种和省外树种比例最高，其次为国外树种和栽培树种（图 2-2）。

比较各气候带间同类型树种比例发现：各气候带城市绿化中乡土树种比例相差无几，但以中亚热带最高；省外树种和栽培树种比例由南向北呈递增趋势，以温带最高；与省外树种和栽培树种相反，国外树种比例由南向北呈递减趋势，以南亚热带最高（图 2-2）。



注：图 2-1 和 2-2 均采用 DunnTest 检验各类差异。其中，图 2-1 小写字母相同表示全国尺度下各类型绿化树种比例无显著差异，反之则表示差异显著（P < 0.05）；图 2-2 大写字母相同表示各气候带内不同类型绿化树种比例无显著差异，反之则表示差异显著；小写字母相同表示各气候带间同类型绿化树种比例无显著差异，反之则表示差异显著（P < 0.05）。

2



注：图 3-1 采用 GAMs 进行拟合，R^2 为各曲线拟合优度；图 3-2 采用 DunnTest 检验不同类型绿化树种 J 值差异，其中，小写字母相同表示各类型绿化树种 J 值无显著差异，反之则表示差异显著（P < 0.05）。

3

2 全国（2-1）和气候带（2-2）尺度下各类型绿化树种比例
The proportion of each type of landscape woody plants species under national (2-1) and climatic (2-2) scales

3 全国尺度下各类型绿化树种 J 值
Jaccard similarity index values of each type of landscape woody plants species under the national scale

3-1 全国尺度下各类型绿化树种 J 值与城市地理距离间关系
Jaccard similarity index values expressing similarity in the composition of each type of landscape woody plants species plotted against geographical distance

3-2 全国尺度下各类型绿化树种 J 值比较
The comparison of Jaccard similarity index among different types of landscape woody plants species

2.3 树种组成的相似性特征

2.3.1 全国尺度

在全国尺度下，各类型绿化树种 J 值均呈现沿地理距离增加而减少的趋势，这表明中国城市绿化树种组成相似性呈现随地理距离衰减的特征。此外，值得一提的是，省外树种与乡土树种 J 值曲线在地理距离阈值小于 1 300 km 时，以乡土树种较高，在阈值超过 1 300 km 后，以省外树种较高，且省外树种 J 值曲线逐渐与国外树种重叠（图 3-1）。

全国 36 个主要城市的绿化树种中以栽培树种 J 值最高，其次为国外树种，乡土树种和省外树种 J 值较低（图 3-2）。这表明，在全国尺度下，城市绿化树种均质化现象主要由栽培树种和国外树种主导。

2.3.2 气候带尺度

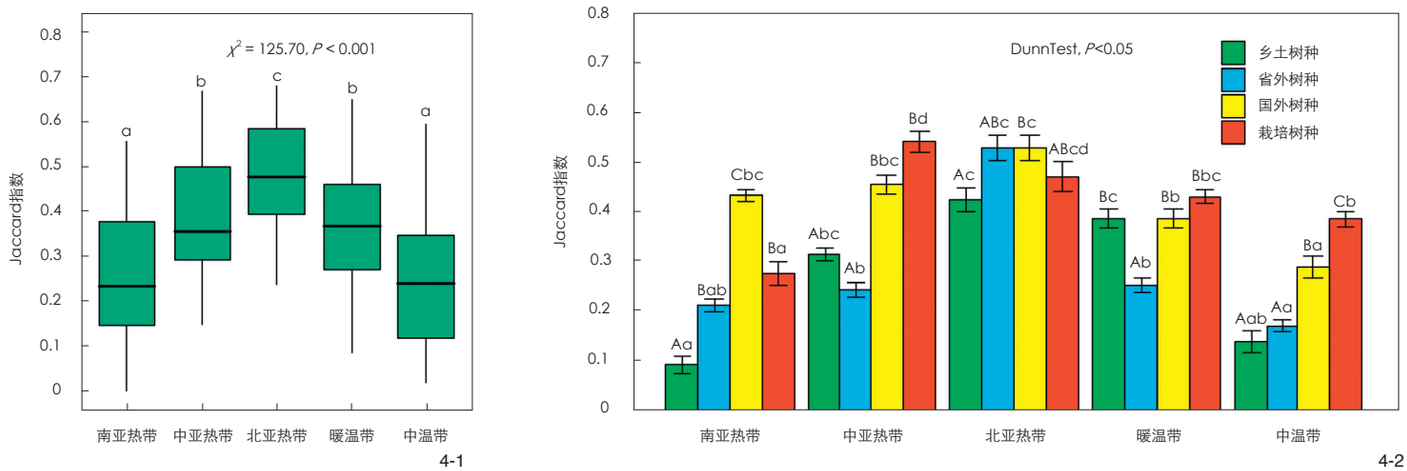
在气候带尺度下，北亚热带城市绿化树种组成相似性显著高于其他气候带，中亚热带和暖温带次之，南亚热带和中温带城市绿化树种组成相似性最低（图 4-1）。

在各气候带，不同类型绿化树种组成相似性有较大差异。国外和栽培树种组成相似性在各气候带都维持在较高水平。而部分气候带中，乡土和省外树种组成相似性同样较高，如暖温带的乡土树种和北亚热带的省外树种（图 4-2）。

3 讨论

3.1 全国尺度城市绿化树种均质化特征

全国尺度下，城市绿化树种均质化呈现随地理距离增加而衰减的特征，且栽培树种和国外树种加剧了城市绿化树种均质化程度（图 3）。与 Yang 等[9]的研究不同，在本研究的全国尺度下，城市绿化树种均质化特征虽也呈现出地理尺度效应，但对比各类型绿化树种组成相似性，发现栽培树种组成相似性显著高于其他 3 类树种，而国外树种组成相似性也显著高于乡土树种与省外树种，因此全国尺度下栽培树种和国外树种均会加剧城市绿化树种均质化程度，以栽培树种为甚，此结果与 Jin 等[17]相同。然而，目前大多研究在探究城市绿化树种均质化问题时，往往着重强调外来树种[5, 9, 21]，对栽培树种的关注较少，这可能是因为栽培树种在城市绿化中总体比例较



注：图 4-1 和 4-2 均采用 DunnTest 检验各类差异：其中，图 4-1 小写字母相同表示各气候带 *J* 值无显著差异，反之则表示差异显著（P < 0.05）；图 4-2 大写字母相同表示各气候带内不同类型绿化树种 *J* 值无显著差异，反之则表示差异显著；小写字母相同表示各气候带间同类型绿化树种 *J* 值无显著差异，反之则表示差异显著（P < 0.05）。

4

4 气候带尺度下各类型绿化树种 *J* 值
Jaccard similarity index values expressing similarity in the composition of each type of landscape woody plants species under the climatic scales

4-1 不同气候带 *J* 值比较
The comparison of Jaccard similarity indices for landscape woody plants species among different climate zones

4-2 气候带尺度下各类型绿化树种 *J* 值比较
The comparison of Jaccard similarity index for each type of landscape woody plants species under climatic scales

低，所以未引起重视（图 2-1）。但是，本研究发现栽培树种与国外树种比例在多个气候带中无显著差异，尤其是在温带地区（图 2-2）。因此，在探究城市绿化树种均质化问题时，栽培树种也应该得到足够的关注。

全国尺度下乡土与省外树种组成相似性虽然均较低，但在不同地理距离上具有不同表现（图 3-1）。在地理距离阈值小于 1 300 km 时，乡土树种组成相似性高于省外树种，这可能是因为在地理距离较小时，城市间乡土树种库较为相似，导致城市绿化中乡土树种组成相似性较高，这与徐志虎等 [18] 的结论吻合。在地理距离阈值超过 1 300 km 后，省外树种组成相似性高于乡土树种，且其 *J* 值曲线逐渐与国外树种重叠（图 3-1），这说明与国外树种相似，部分省外树种在中国跨地区跨气候带共享 [2, 6, 17, 22]。因此，在尺度较大时，乡土树种确实能减缓城市绿化树种均质化现象，而某些广泛使用的省外树种可能会加剧城市绿化树种均质化现象。

综上，在全国尺度下，探究城市绿化树种均质化问题时，不仅应着重注意国外树种的影响，栽培树种甚至部分广泛使用的省外树种都应引起重视。

3.2 气候带尺度城市绿化树种均质化特征

气候带尺度下，城市绿化树种均质化程度以北亚热带为中心分别向南北降低（图 4）。其中北亚热带城市绿化树种组成相似性相对较高（图 4-1），这可能是因为地理尺度效应 [9]。在 5 个气候带中，北亚热带城市分布最为集中，两两间地理距离较短，导致其树种组成相似性偏高。同样的，中温带城市绿化树种组成相似性相对较低（图 4-1），也是因为该气候带内城市分布较分散，两两间距离较长，各城市自然环境物种库间存在差异，且绿化树种交易流通不便捷，因而导致其树种组成相似性偏低。此外，南亚热带城市绿化树种组成相似性相对较低（图 4-1），可能是因为南亚热带环境条件（降水与温度）较好，适宜植物生存 [23]，使其城市绿化植物物种库较大，可供选择的绿化树种较多；且该地区本身生物多样性丰富，也可为城市绿化提供更多的选择 [24]。

气候带尺度下，乡土树种与省外树种对城市绿化树种均质化现象也有一定贡献。气候带尺度下，栽培和国外树种组成相似性还是较高，不过部分气候带中乡土与省外树种组成相似性也较高，甚至与栽培树种或国外树种无显著差异（图 4-2）。如暖温带乡土树种组成相似性与栽培树种和国外树种均无显著差异；北亚热带乡土树种组成相似性与栽培树种无显著差异；南亚热带省外树种组成相似性与栽培树种无显著差异（图 4-2）。这些结果说明，气候带尺度下，目前城市绿化树种库中的乡土树种与省外树种同样也对城市绿化树种均质化现象有一定贡献。因此，在气候带尺度下探讨城市绿化树种均质化问题时，乡土树种和省外树种也应被纳入考虑，以全面理解城市绿化树种均质化现象，为后续解决措施的制定提供更全面的数据支撑。

3.3 人类应用偏好与地理尺度效应

本研究结果发现城市绿化树种均质化现象虽具有地理尺度效应，但对比不同类型绿化树种组成相似性，发现国外树种与栽培树种对城市绿化树种均质化贡献较大，甚至在气候带尺度下，乡土树种与省外树种对城市绿化树种均质化也有一定贡献。这说明，不管是国外树种、栽培树种，还是乡土树种与省外树种，在人类应用偏好的选择下 [6, 8] 均呈现均质化趋势，只是程度不同。同时，城市绿化中出现频次排行前 20 的树种大多是国内树种，这在一定程度上也体现出乡土树种和

省外树种对城市绿化树种均质化现象的贡献（表 2）。然而，目前关于城市绿化树种均质化的研究大多着重关注国外树种的影响 [5, 9, 21]，乡土树种、省外树种及栽培树种对城市绿化树种均质化的贡献较少被提及。此外，已有研究指出国内引种对外来物种积累模式有巨大影响，特别是对中国这样的大型国家而言 [25]，所以省外树种作为国内的“外来树种”也应受到与国外树种相同的重视。

4 结语

在探讨城市绿化树种均质化问题时，按照绿化树种类型在不同地理尺度分别进行讨论，有助于全面认识中国城市绿化树种组成的均质化格局。本研究发现不论在全国尺度还是气候带尺度，城市绿化树种均质化现象均由国外树种和栽培树种主导。然而，本研究也有证据表明部分广泛使用的乡土树种和省外树种也对城市绿化树种均质化现象有一定贡献。综上，目前中国城市绿化树种组成均质化问题严重，为城市生物多样性的保护和提升带来新的挑战。

已有研究表明，人类应用偏好是造成城市绿化树种均质化的内在原因 [5-8]。基于人类应用偏好形成的城市绿化树种库必然是局限的 [6, 17, 26]，为根本解决城市绿化树种均质化问题，维持和提升城市生物多样性，需要整个园林行业及社会的配合，从苗圃产业、园林景观设计人员到公众均应做出改变 [27]。苗圃产业应将部分精力用于培育地方特有树种；而园林景观设计人员应更多地使用地方特有树种，打造“近自然”城市景观，以此与苗圃形成合力，进而形成良性循环 [7, 28-29]。公众也应接受更多的自然科普教育，更多地与本土自然接触以加强与本土自然的联系，从而提高对乡土树种尤其是地方特有树种的认可度 [4, 29-32]。

参考文献 (References)：

[1] United Nations. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision[R]. New York: United Nations, 2018.

[2] MCKINNEY M L. Urbanization as a Major Cause of Biotic Homogenization[J]. Biological Conservation, 2006, 127(3): 247-260.

[3] GRIMM N B, FAETH S H, GOLUBIEWSKI N E, et al. Global Change and the Ecology of Cities[J]. Science, 2008, 319(5864): 756-760.

[4] CELIS-DIEZ J L, MUNOZ C E, ABADES S, et al. Biocultural Homogenization in Urban Settings: Public Knowledge of Birds in City Parks of Santiago, Chile[J]. Sustainability, 2017, 9(4): 485.

[5] ROZZI R, ARMESTO J J, GOFFINET B, et al. Changing Lenses to Assess Biodiversity: Patterns of Species Richness in Sub-Antarctic Plants and Implications for Global Conservation[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2008, 6(3): 131-137.

[6] WILLIAMS N S G, SCHWARTZ M W, VESK P A, et al. A Conceptual Framework for Predicting the Effects of Urban Environments on Floras[J]. Journal of Ecology, 2009, 97(1): 4-9.

[7] QIAN S, QI M, HUANG L, et al. Biotic Homogenization of China's Urban Greening: A Meta-Analysis on Woody Species[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2016, 18: 25-33.

[8] WARD S G, AMATANGELO K L. Suburban Gardening in Rochester, New York: Exotic Plant Preference and Risk of Invasion[J]. Landscape and Urban Planning, 2018, 180: 161-165.

[9] YANG J, LA SORTE F A, PYSEK P, et al. The Compositional Similarity of Urban Forests among the World's Cities is Scale Dependent[J]. Global Ecology and Biogeography, 2015, 24(12): 1413-1423.

[10] 住房和城乡建设部 .2016 年城乡建设统计公报 [J]. 城乡建设，2017（17）：38-43.

[11] WEBER E, LI B. Plant Invasions in China: What is to be Expected in the Wake of Economic Development?[J]. Bioscience, 2008, 58(5): 437-444.

[12] VAN KLEUNEN M, DAWSON W, ESSL F, et al. Global Exchange and Accumulation of Non-native Plants[J]. Nature, 2015, 525(7567): 100-103.

[13] MCKINNEY M L. Do Human Activities Raise Species Richness? Contrasting Patterns in United States Plants and Fishes[J]. Global Ecology and Biogeography, 2002, 11(4): 343-348.

[14] GONG C, CHEN J, YU S. Biotic Homogenization and Differentiation of the Flora in Artificial and Near-natural Habitats Across Urban Green Spaces[J]. Landscape and Urban Planning, 2013, 120: 158-169.

[15] YAN P, YANG J. Species Diversity of Urban Forests in China[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2017, 28: 160-166.

[16] ZHU Z X, ROEDER M, XIE J, et al. Plant Taxonomic Richness and Phylogenetic Diversity Across Different Cities in China[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2019, 39: 55-66.

[17] JIN C, ZHENG M M, HUANG L, et al. Co-existence between Humans and Nature: Heritage Trees in China's Yangtze River Region[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2020, 54: 126748.

[18] 徐志虎，宋坤，秦俊，等 . 长三角新建居住区景观绿化植物组成的相似性 [J]. 生态学杂志，2009，28（10）：1956-1959.

[19] 王思瑶，刘艳红，贺志龙 . 太原市城区不同类型绿化园林植物结构及相似性分析 [J]. 中国农学通报，2017，33（10）：59-66.

[20] 丁一汇 . 中国气候 [M]. 北京：科学出版社，2013.

[21] LA SORTE F A, MCKINNEY M L, PYSEK P. Compositional Similarity Among Urban Floras Within and across Continents: Biogeographical Consequences of Human-mediated Biotic Interchange[J]. Global Change Biology, 2007, 13(4): 913-921.

[22] JENERETTE G D, CLARKE L W, AVOLIO M L, et al. Climate Tolerances and Trait Choices Shape Continental Patterns of Urban Tree Biodiversity[J]. Global Ecology and Biogeography, 2016, 25(11): 1367-1376.

[23] CHEJANOVSKI Z A, WIENS J J. Climatic Niche Breadth and Species Richness in Temperate Treefrogs[J]. Journal of Biogeography, 2014, 41(10): 1936-1946.

[24] SVITOK M, HRIVNAK R, KOCHJAROVA J, et al. Environmental Thresholds and Predictors of Macrophyte Species Richness in Aquatic Habitats in Central Europe[J]. Folia Geobotanica, 2016, 51(3): 227-238.

[25] VITULE J R S, OCCHI T V T, KANG B, et al. Intra-country Introductions Unraveling Global Hotspots of Alien Fish Species[J]. Biodiversity and Conservation, 2019, 28(11): 3037-3043.

[26] 达良俊，李艳艳，章君果，等 . 关于上海城市“地标性”植物群落建设的思考 [J]. 城市问题，2009（8）：37-39.

[27] 林良任，陈莉娜，福铭 . 增进城市地区生物多样性：以新加坡模式为例 [J]. 风景园林，2019，26（8）：25-34.

[28] 袁兴中，贾恩睿，刘杨靖，等 . 河流生命的回归：基于生物多样性提升的城市河流生态系统修复 [J]. 风景园林，2020，27（8）：29-34.

[29] 达良俊，许东新 . 上海城市“近自然森林”建设的尝试 [J]. 中国城市林业，2003，1（2）：17-20.

[30] BALLOUARD J-M, BRISCHOUX F, BONNET X. Children Prioritize Virtual Exotic Biodiversity over Local Biodiversity[J]. Plos One, 2011, 6(8): e23152.

[31] ROZZI R, PICKETT S T, PALMER C, et al. Linking Ecology and Ethics for a Changing World[M]. New York: Springer, 2013.

[32] 下村彰男，刘铭 . 日本地域景观的独特性及其可持续管理 [J]. 风景园林，2019，26（9）：109-118.

图表来源 (Sources of Figures and Tables)：

图 1~4 由作者绘制；表 1、2 由作者绘制。

（编辑 / 王一兰）