

# 植物物种多样性影响因子研究综述

武岳洋, 王庆贵\*

黑龙江大学现代农业与生态环境学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年10月17日; 录用日期: 2021年11月19日; 发布日期: 2021年11月26日

## 摘要

作为生态系统结构和功能的基础, 植物物种多样性受多种因子的影响。近年来由于全球变暖, 植物物种多样性受到了前所未有的影响, 甚至遭到了一定的威胁。与此同时, 随着世界经济快速的发展, 城市化的水平和速度也在不断的提高, 城市化对植物物种多样性的影响也逐渐受到专家学者的注意。植物物种多样性对于整个生态系统的功能和稳定是至关重要的, 如果植物物种多样性遭到破坏, 势必将会引发生态、经济和社会的连锁反应。本文将重点针对气候变化和城市化以及综合因子对植物物种多样性影响的研究现状进行综述, 以期对植物物种多样性的研究及保护提供一定的参考意义。

## 关键词

植物群落, 物种多样性, 影响因子

# Influencing Factors of Plant Species Diversity: A Review

Yueyang Wu, Qinggui Wang\*

College of Modern Agriculture and Ecological Environment, Heilongjiang University, Harbin Heilongjiang

Received: Oct. 17<sup>th</sup>, 2021; accepted: Nov. 19<sup>th</sup>, 2021; published: Nov. 26<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Plant species diversity, the basis of ecosystem structure and function, is affected by many factors. In recent years, due to global warming, the diversity of plant species has been affected unprecedentedly and even threatened to some extent. At the same time, with the rapid development of the world economy, the level and speed of urbanization are also constantly improving, and the impact of urbanization on plant species diversity has gradually attracted the attention of experts and scho-

\*通讯作者。

**lars. Plant species diversity is critical to the function and stability of the entire ecosystem. If plant species diversity is destroyed, it will inevitably cause ecological, economic and social chain reactions. This review will focus on the effects of climate change, urbanization and comprehensive factors on plant species diversity, in order to provide some reference for the research and conservation of plant species diversity.**

## Keywords

**Plant Community, Species Diversity, Influencing Factors**

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

作为人类可以生存和发展的物质基础,生物多样性对于维持环境平衡和生态稳定起着重要作用。生物多样性关乎生态系统的平衡和稳定,是人类得以生存发展的物质基础。在生物学界,对于植物物种多样性的研究非常热门。近年来随着全球气候变化以及全球城市化水平和速度不断的提高,抑制了植物的生长分布以及繁衍,已经在很大程度上影响到了植物物种多样性,从而对生物物种多样性造成威胁[1]。

生物多样性气候变化使生境退化或丧失,物种灭绝速度加快,物种分布范围发生变化,适宜生境改变[2],生物周期和物种繁殖方式的变化,种群生产力发生短期波动,物种之间的关系发生变化等[3]。生物多样性对气候变化的缓解有非常大的帮助,研究表明,生物多样性越高,因气候变化对生态产生的负面影响也就越小[4]。

气候变化对植物物种多样性的影响国内外学者都有所研究,Bello等[5]指出在不同气候梯度上物种丰富度、多样性、均匀度和功能多样性指数变化趋势一致。在气候梯度不同的地区,植物物种多样性以及丰度指数变化是相同的,另外也有其他的结论如Li等[6]研究发现,在不改变功能多样性的情况下,长期施用氮肥导致高山草原植物物种多样性急剧下降。通过气候变化探索物种多样性和功能多样性之间的功能关系,为我们理解植物物种多样性与生态系统之间的关系提供了一定帮助。王宇坤等[7]发现牧草作为内蒙古草原的典型种群,其遗传多样性抑制了群落物种的多样性,遗传多样性与物种多样性存在相互作用。研究还表明,占主导地位物种的遗传多样性可以提高群落多样性的水平。徐武美等[8]发现物种多样性和遗传多样性的变化趋势在纬度梯度上是一致的,具有平行效应,即低纬度地区的物种多样性和遗传多样性大于高纬度地区。通过探索物种多样性和遗传多样性之间的关系,更好地理解生物多样性和生态系统之间的关系。

在气候变化的同时,随着全球经济以及人民生活水平的不断提高,城市化对植物物种多样性造成的影响也引起了很多学者的关注,我国对此方面研究较早,马克明[9]等在河北省遵化市实地考察,研究了郊区和农村的植物多样性,发现城市和城镇边缘的植物多样性呈现梯度变化;张熙茜[10]对太原市植物物种多样性进行研究分析,得出人为干扰对太原市植物物种多样性的影响规律;李俊生等[11]在概述城市生态环境特点的基础上,综述了城市化对生物多样性的影响,并分析了乡村城市生物多样性分布格局特征;晏华等[12]发现城市化较低的地区(缙云山)到城市化较高的地区(沙坪公园)植物物种多样性呈现递增的趋势。

国外对城市植物多样性的研究也比较多, 得出的结果各异。Pauchard 等[13]研究在城市化过程中, 自然生态系统被人造建筑所取代, 本土植被被外来观赏性植被所取代。Pysek 等[14]则认为, 植物物种多样性由城区、郊区到乡村呈现递减情况主要是由于城镇地区引进外来植物所引起的。McKinney 等[15]研究表明, 中等城市化水平对植物物种多样性的增加将会有促进作用。Moffatt 等[16]认为, 随着人为干扰强度的降低, 从城市中心到郊区到农村, 植物物种的多样性将会呈递增态势。

植物物种多样性的影响因子是多样的, 除了气候变化和城市化, 纬度、水分、土壤营养成分、海拔、演替等也是不可忽略的因子。基于此, 本文主要综述了气候变化和城市化以及综合因子对植物物种多样性影响的研究现状, 以期对植物物种多样性的研究和植物物种多样性保护提供一定的参考意义。

## 2. 气候变化对植物物种多样性影响

### 2.1. 气候变化对植物多样性的影响

#### 1) 对物种多样性的影响

物种和群体的多样性是环境景观多样性和稳定性的基础。气候变化对生态系统的水热动力学有重大影响, 导致物种组成和生态系统群落结构发生重大变化[17]。然而, 根据不同的地区、生态系统类型等, 会有不同的反应形式。例如, 在全球范围内, 地球表面温度的升高导致南半球植被生长略有增加[18], 北半球中纬度和高纬度的植物物种丰度明显上升。大多数研究表明, 高温降低了植物物种的多样性或丰富性, 例如在北极苔原生态系统中, 短期高温增加了灌木和草的覆盖, 但削弱了植物物种的多样性[19]; 一些研究也产生了不同的结果, 例如, 在温带草原生态系统中, 植物多样性对温度的上升没有反应。在内蒙古沙漠草原上, 气温上升不会影响植物种类的丰富[20]。刘利利[21]指出新疆热草原植物物种丰度与年平均气温之间存在峰型关系。此外, 气温上升可能会改变物种的分布模式, 许多物种通过改变新的栖息地或发展新的生物特征来适应气候变化。

在全球气候变化的背景下, 森林的位置、物种组成、植被模式以及生理和生态特征都在发生变化。挪威南部高地的一种灌木宽叶仙女木(*Dryas octopetala*)由于气温上升, 已被草本和非草本植物所取代[22]; 牛建明[23]预计气候变化将导致内蒙古草原植被的区域迁移。

2) 对遗传多样性的影响在物种的长期进化过程中, 基因与气候形成了稳定的作用关系。气候变化不可避免地会导致遗传物质的变化, 而遗传物质的变化又会导致遗传多样性的变化。研究表明, 全球变暖可能导致种群减少、种群间遗传物质交换中断、物种之间的密切联系以及遗传多样性的丧失[24]。

一些研究表明, 气温变暖对种群的遗传多样性没有影响。如加拿大北美香柏(*Thuja occidentalis*)纬度与梯度并不影响植物物种遗传多样性[25]。曹路等[26]研究发现多年生和一年生植物对温度升高有不同的遗传反应, 短期温度升高不能显著改变植物种群的遗传多样性和遗传结构。野牛草(*Buchloedactyloides*)丰度与年平均温度和温暖月份的最高温度呈正相关, 与雨季的平均温度呈负相关, 此外, 基因流与年平均温度和暖月份的最高温度呈极显著的负相关。

#### 3) 对功能多样性的影响

温度是影响植物生长发育的关键因素。温度的升高对物种、种群和不同植被类型的生长和繁殖特性有一定的影响。在全球范围内, 气候变化增加了植物的功能特征和多样性。如 Ninemets [27]发现在在温度高、树叶厚度高、棉花含量高的地区, 在 192 个地区发现了 537 棵落叶和 25 棵针叶树; Simova [28]等对北美树木群落物种的研究表明, 气候变化改变了特征的功能空间, 木材密度的差异随着年平均温度的增加而增加; Ordóñez [29]等发现温度的升高对欧洲植物群落功能多样性的地理结构产生了重大影响, 气候变化也对植物的区域功能特征产生了影响, 例如, 年平均温度是内蒙古功能植物多样性的主要因素;

龚春梅[30]等通过研究表明, 旱生植物的叶片生长缓慢, 特别是位于沙漠中的 37 种植物的叶片面积明显低于其他地区, 主要是由于高温干旱。许多结果表明, 气候变化主要影响植物的叶面面积、叶面氮含量和光合效率; 冯秋红等[31]对 11 个栎属(*Quercus*)树种的功能特征与气象因素关系的研究表明, 随着气温从南到北的下降, 槲皮属植物的生长季节逐渐缩短, 单位叶面积和质量的光合效率提高, 种子干重增加。

## 2.2. 降水格局变化对植物多样性的影响

### 1) 对物种多样性的影响

从区域到全球范围内, 降雨始终影响植物群落的空间分布和时间动态[32]。草原上的生物多样性与气候变化密切相关。温暖潮湿的气候有助于增加多年生植物的多样性, 而持续炎热干燥的气候有助于增加一年生植物的多样性[33]。Jiao 等[34]对欧亚干旱地区 1792 个样地的地上生物量数据进行分析后发现, 过去 34 年(1970~2004 年)的年降雨量对该地区的地上生物量有显著影响。Li 等[35]通过研究表明在炎热潮湿的气候条件下, 内陆大部分干旱和半干旱地区的植被覆盖率明显高于其他地区。研究还表明, 降水变化对物种多样性没有影响。如 Harpole [36]等对年草地的研究表明, 年降雨量的增加对植物多样性没有显著影响; 白珍建[37]对贝加尔针茅(*Stipabaicalensis*)进行研究, 降水量的增加对该物种丰度没有太大影响。大量的研究数据表明, 降水量较高的地区物种丰富, 年降水量起着重要的作用。如 Cleland [38]等对美国草原长期观测结果的分析表明, 物种丰富度与年降雨量呈正相关; 这与李瑞新[39]对内蒙古大草原和典型的西林高尔大草原的结果是一样的, 植物的分布和多样性受到降水空间的影响。Bai 等[40]对内蒙古草原植被长期监测数据进行了分析, 发现植物多样性年降雨量梯度增加, 植物多样性沿荒漠 - 荒漠草原 - 典型草原 - 草甸草原的梯度增加。降水分布模式也影响植物物种多样性, 例如生长季节的降雨量和平均降雨量对植物多样性的影响远远大于年降雨量[41]。

### 2) 对遗传多样性的影响

降水模式的变化影响植物的遗传多样性, 年降水量和降水分布模式起着主要的作用, 但有些研究表明, 降雨量的变化推动基因多样性。如王平[42]利用最大生态学模型熵研究发现岩风(*Libanotisbuchtor-mensis*)的遗传多样性在很大程度上取决于每年降雨量的变化和一月降雨量的变化, 这对云杉的遗传流动产生了显著的积极影响, 野牛草种群倍增率与年降水量和暖季降水量高度相关。Huang 等[43]发现大尺度上小叶锦鸡儿(*Caraganamicrophylla Lam*)和黄柳(*Salix gordejewii*)的遗传多样性与降水量的关系呈现正相关。也有的研究结果与之相反, 例如随着降水量的增加减少了科尔沁沙地差不嘎蒿(*Artemisia halodendron Turcz.et Bess*)物种的基因流, 从而使得该物种的遗传多样性降低, 裸果木(*Gymnocarposprzewalskii Maxim*)的遗传和降水量则是呈负相关的态势, 紫斑牡丹(*Paeniasuffruticosa Andr. var.papaveraceaKerner*)遗传结构因为降雨量的增多而受到限制。也有一部分研究证明降水量的增减和植物物种多样性的关系不大, 如牛永梅[44]针对蒙古草原的克氏针茅(*Stipakrylovii*)、新疆针茅(*S. sareptana*)及针茅(*S. capillata*)进行研究发现, 降水量对这项植物的影响并不显著。

### 3) 对功能多样性的影响

植物群多功能性的分布跟降水量有很大的联系。对美洲和澳大利亚的相关研究表明, 降水是控制北美和南美大平原草本物种功能特性的主要因素, 随着降雨量的增加, 叶片长度、植株高度、叶面积、比叶面积和氮吸收增加, 而叶片干重和老叶氮含量下降。美国新墨西哥州 Jor-nada Basin 实验站通过试验表明, 多年来年平均降雨量恒定的情况下, 年降雨量变化增大, 植物功能多样性增大[45]。巴拿马中部雨林树冠层叶功能与降雨量负相关[46]。对澳大利亚东南部 35 个研究地点的分析表明, 降雨直接影响多年生植物的特定叶片面积和冠层, 以及叶片的宽度和高度[47]。中国在这一领域的研究主要集中在降水对不同生态系统植物功能多样性的影响。例如, 在草甸上, 半湿润气候下植物的特定叶面积相对较大, 主要是



为了提供光合作用和养分吸收能力; 在沙漠草原上, 由于降雨量减少, 物种面临更大的干旱压力, 物种通过减少比叶面积来减少水分流失[48]。也有研究表明降雨模式的变化对生态系统的功能有影响[49]。Loreau 等[50]对南美大草原长期观测结果的分析表明, 降雨量变异性的增加大大降低了生态系统的初级生产力。

### 3. 城市化对植物物种多样性影响

#### 3.1. 城市化对植物多样性的影响方式

##### 1) 对植物物种数量的影响

城市化的逐渐加快导致本土植物物种的丧失和外来物种的增加。美国在本方面做了比较多的研究, Bertin [51]对美国尼德姆城近 80 年的植物物种多样性变化了相关研究, 发现该地区原生植物物种多样性下降了接近 40%; Stand-ley [52]对美国马萨诸塞州植物物种多样性的研究发现, 本土植物丧失了一般超过 290 种, 但是外来植物物种却增加了近 250 种; DeCandido 等[53]对纽约城近百年来植物物种多样性进行研究发现丢失了近 550 个城市原生物种, 占到了城市植物物种的近 45%, 但是增加的植物却达到了 420 多种。Chocholouskova 和 Pysek [54]在欧洲的研究也发现非常多的本土植物物种在减少, 而外来植物物种却在增加。

##### 2) 对植物空间分布的影响

目前, 很多学者通过对植物物种多样性的深入研究发现, 随着人为干扰强度的递减, 植物物种多样性从人类活动频繁的市中心到周围乡村在空间分布上呈现递增的趋势。植物物种多样性目前常见的统计方式基本上都是按照本土原生的物种进行统计, 如果算上外来植物物种的数量, 那么结果就是相反的, 郊区乡村的植物物种多样性则低于城市中心。马克明等[55]在我国河北遵化的研究表明, 城市植物物种多样性数量要低于郊区和乡村, 城市植物物种的数量大约是 92 种, 城郊的植物物种大约是 59 种, 乡村的植物物种大约是 49 种。

Honnay 等[56]在比利时的实地研究表明, 城区植物物种多样性数量要高于郊区和乡村, 这种情况产生的原因是因为该地区引入了外来植物所导致的。McKinney [57]在美国超过 10 个城市进行调研, 然后发现所该地区市中的植物物种丰度较高, 甚至远超城郊和乡村, 这主要是因为该市中心有大量的有机货物运输, 从而导致该地区的植物物种多样性丰度高于郊区和农村。

##### 3) 种类组成的空间变化

植物群落的结构逐渐从城市到郊区和农村变得复杂, 物种多样性发生了巨大变化, 主导地位也发生了变化[58]。尽管城市化带来了一些外来的植物物种, 但是当地植物在群落结构方面的相似性依旧比较的显著。McKinney [59]在对美国 7 座城市实地调研表明, 随着城市化覆盖的范围逐渐下降, 外来植物物种的相似性也逐渐的下降, 而本土植物物种的相似性则相差不大, 这就表明本土植物对于该地区的生态系统稳定有非常重大的意义。

##### 4) 植物对城市化的反应

各种类型的植物对城市化都有相应的反应。防沙治沙植物或本土防沙治沙植物通常能够适应城市化的变化。大多数能够适应城市化的植物都属于草本植物, 尤其是杂草和一年生草本植物, 它们能够承受高水平的干扰。例如, 在道路附近和废弃的工业地点生长的杂草往往能够承受高水平的空气污染、行人和富含氮的碱性、压实性土壤[60]。原生地的植物也可能因为突变的基因而很快的适应城市化。Van der Veken 等[61]对 1880~1999 年比利时城市地区植物物种进化的研究也表明, 扩生性物种的分布越来越广泛, 而强迫性物种的分布则在下降。

### 3.2. 城市化影响植物多样性机制分析

#### 1) 人为引入

人们有意或者无意引入的外来植物造成了本土植物物种多样性的丧失外来植物物种丰度的增高, 其中大部分外来植物物种都为观赏性或者是起绿化作用的植物。为了使外来植物能够适应当地的环境可以快速的繁殖, 人们特意制造了有利于外来植物的生存环境, 如人造观赏性植物景观、化肥、虫害控制等[62]。

#### 2) 小生境改变

栖息地的微小变化可能会改变植物的多样性。市区紫外线、日照时数、年平均风速、相对湿度均低于周边农村, 而年平均气温、年降雨量、雾霾、雾天、人口密度、道路密度、汽车、土壤压实等均高于农村[63]。从远郊区到城区, 白天的二氧化碳的平均浓度提高差不多 19%左右, 而每天的最高温度以及最低温度的变化幅度也在 1.4℃到 3.2℃。混凝土的大量使用导致土壤中的碱性升高, 也导致当地植物物种的变化。对纽约市的研究表明, 从城市和郊区到偏远的农业地区, 土壤中的重金属含量正在逐渐下降。土壤氮流失减少。Schuster B 等[64]从 1880 年到 1999 年, 在比利时对该地地城区郊区和农村的植物物种多样性展开研究, 发现营养丰富的地区, 植物物种多样性丰度较高, 在营养较为缺乏的地区, 植物物种多样性丰度较低。Zhao 等[65]在南京城内及城外发现了砾石以及 pH 值和土壤的密度有较大的差别, 说明城市化对土壤的特性有所影响, 于此同时原生植物物种土壤最容易受到城市化影响。Godefroid 等[66]对城市植物物种多样性的空间分布和植物生境关系进行了相关研究, 得出结论, 植物物种多样性大多受土壤的养分、水分以及 pH 值和阳光光照等因子的影响。在植物物种空间分布来看, 沙地和碎石这些地点的植物物种相一致, 但是混凝土废弃地区植物物种分布与其他位置相差较大。比较了大量的数据后, 大叶醉鱼草(*Buddlejadavidi*)在沙土废弃的混凝土地周边分布的比较多, 大车前(*Plantagomgior*)主要分布在鹅卵石比较多的地方, 荨麻(*Urticadioica*)、小花柳叶菜(*Epilobiumparviflorum*)、草甸羊茅(*Festuca pratensis*)基本上都分布在碎石比较多的地方; 拂子茅(*Calamagrostisepigejos*), 大多都在垃圾堆积的附近, 同花母菊(*Matricaria discoidea*)、篇蓄(*Polygonum aviculare*)、由于比较耐得住践踏大多数多分布在道路周边。城市地区废弃的混凝土周边对植物物种多样性的影响是十分严重的, 减少了植物物种多样性和丰富性, 也阻碍了植物种子的传播[67]。有研究学者建议应该适当的减少城市地区垃圾的堆积, 这样才能控制外来植物物种的入侵[68]。值得注意的是, 事实上, 城市垃圾的收集和储存产生的营养物质并没有预期中那么大程度地影响植物。

#### 3) 景观格局变化

植物物种多样性的变化和景观格局也是密不可分的。张金屯和 Picket [69]通过对纽约市进行研究发现, 在城市、郊区和偏远的农村地区, 林地面积增加, 植物物种多样性也随之增加。随着城市建成区的扩建, 引入了许多外来景观, 对本土植物物种不利。植物物种的丰度符合景观多样性指数, 景观的异质性也会影响植物的多样性。Hermy [70]城市公园和郊区公园的比较表明, 公园在生态上越多样化, 生物多样性就越强, 而大型公园在保护生物多样性方面比小型公园更有效。Murakami 等[71]通过对日本京都进行研究还发现, 蕨类植物的丰富度和森林斑块、生境多样性等因子呈现很大的关联。同时也发现, 蕨类植物多样性指数也与森林斑块面积和城市与周边山地森林距离高度相关, 由此作者推断, 城区 - 郊区 - 远郊农区的蕨类多样性取决于与山区森林的距离以及森林斑块大小。

## 4. 植物物种多样性变化的综合影响因子

综合因子对植物物种多样性变化的影响, 目前有很多的学者对此进行了研究。贺金生等[72]就纬度、土壤、水分、海拔、演替等因子对近年来国内外陆地植物群落的研究结果进行了综述, 并根据相关的研

究总结出了相应的一些规律:如纬度梯度规律——随着纬度不断地降低,物种多样性的丰度就逐渐增高,但是随着研究的深入,发现部分研究样地并不完全遵守这个规律[73]。另外还有海拔梯度、演替变化等规律,也是植物物种多样性学者热衷研究的因子,近年来,许多新的研究也逐渐地出现,例如土壤和多样性之间的关系。除了文献中提到的与物种多样性相关的土壤中的 P、Mg 和 K 之外,还有研究表明土壤中的  $\text{Ca}^{2+}$  也与群落多样性有关[74];土壤中有机质的积累有助于增加植物的多样性。MacArthur R H [75] 研究表明降低土壤含水量明显影响荒漠灌木和人工植物的生存能力,从而影响植物多样性水平。大型气候条件相对于特定的植物群是一致的,而栖息地的差异可能是多样性的主要原因。当群落生活条件存在重大差异时,它们会以不同的方式改变群体的结构、功能和动态。

除了纬度、土壤、水分、海拔、演替等因子外,光照因子也是诸多学者研究的对象。在研究森林生态系统的过程中,光照同时影响了森林植物分布的垂直结构和水平结构,在不同坡度植物物种多样性主要受光照差异的影响。庄树宏[73]对昆山老杨坟阴坡和阳坡的植物群落的研究表明,阴坡和阳坡的植物物种多样性主要受光照以及水分和温度的影响而产生差异,光照对阴坡和阳坡植物群落的多样性均匀度以及丰度都有较大的影响。马克明等[74]探讨了北京东灵山地区暖温带落叶阔叶林的物种多样性与环境因子的关系,发现坡向、坡位对物种多样,存在一定的影响,而坡向是由光照引起的,坡位则与土壤有联系。

目前,环境因子和生物因子被认为是影响生物物种多样性的两大因子。海拔、纬度、土壤、水分、光照等都是环境因子,除了环境对植物物种多样性造成的影响外,对植物物种影响最大的就是生物因子,特别是人类活动对植物物种多样性的变化也产生了非常大的影响。Tilman [75]在 1978 年的时候提出了中度干扰的假说,其认为对植物群落实施中度干扰,相较于对植物群落实施频繁干扰和不干扰都会增高植物物种多样性的丰度。在对植物群落进行干扰的时候,中期植物物种的丰度相对较大。

总而言之,植物物种多样性的发生始终都是一个漫长的历史过程,植物物种多样性的变化受到多种因子的影响,对植物物种多样性影响因子的研究仍需要继续深入。

## 5. 结论

对植物物种多样性的相关研究是繁多而复杂的,限于篇幅原因很难全部进行综述。本文所做的工作,仅从气候变化对植物物种多样性的影响,城市化对植物物种多样性的影响以及植物物种多样性变化的综合影响因子等方面作了阐述。

通过对国内外学者的研究综述,可以明确气候变化对植物物种多样性的影响十分显著,但是对于不同生态系统、尺度范围以及群落类型内植物物种多样性存在比较大的差异,另外对生态交错带植物物种多样性的研究相对缺乏。另外,研究分析植物多样性水平以及其对生态的影响程度也缺乏相应的研究。所以在日后的研究中,能够开展气候变化下植物物种多样性的对比研究,能够更加深入地了解在不同的环境条件下,植物物种多样性的空间分布规律以及适应生态的机制,将对深入了解生态系统和预测气候变化以及植物物种多样性的地理格局有重大意义,同时也能为植物物种多样性保护提供理论依据。

国内外学者研究城市化对植物物种多样性的影响以及十分深入,但是因为该研究涉及到城市生态学以及植物生态学等多领域的研究,本方面的研究仍有非常大的拓展空间,系统化的研究仍然没有形成。能够预测的是,随着城市化的不断扩展以及对植物物种多样性的影响,该领域的研究将持续深入。未来城市化对植物物种多样性的研究可能在以下三个方面进行:

第一,系统集成研究。选取处于不同气候带的典型城市,系统地调查植物物种多样性在不同气候带以及不同城市化程度上的分布以及特征。

第二,定位监测研究。在城市中建立植物物种多样性研究站,使用实验工具和监测方法长期监测城市化和植物多样性的变化规律。

第三, 内在机制研究, 研究城市化对植物物种多样性以及生态系统和土壤性质的改变, 通过多领域的系统研究, 对植物物种多样性丧失以及其内在规律进行研究, 特别是重点对外来物种和本地物种相互作用的机制进行研究。

作为全球生物多样性系统中非常重要的一部分, 植物物种多样性在维持全球生态平衡所发挥的作用是非常大的。因为植物物种自身多样性变化以及外部的多种因子, 关于植物物种多样性的研究需要考虑多多学科的兼顾, 包括遗传学、系统学、分类学以及生物保护学等等, 还要考虑到植物物种多样性对人类社会产生的文化和经济的影响。这就表明植物物种多样性要进行多学科的渗透, 需要多个领域的专家学者共同的参与, 从不同的层次展开深入的研究, 才能够对植物物种多样性的规律做出总结, 从而达到保护植物物种多样性的目的。

## 参考文献

- [1] 吴建国, 吕佳佳, 艾丽. 气候变化对生物多样性影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 693-703.
- [2] Sherry, R.A., Zhou, X.H., Gu, S.L., *et al.* (2007) Divergence of Reproductive Phenology under Climate Warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **104**, 198-202. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605642104>
- [3] 王国杰, 汪诗平, 郝彦宾, 等. 水分梯度上放牧对内蒙古主要草原群落功能多样性与生产力关系的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1649-1656.
- [4] 李瑞新. 内蒙古草原群落多样性格局及其与生产力的关系: 基于物种与功能性状纬度[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017.
- [5] Bello, F.D., Lep, J. and Sebastia, M.T. (2006) Variation in Species and Functional Plant Diversity along Climatic and Grazing Gradient. *Ecography*, **29**, 801-810. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04683.x>
- [6] Li, W., Cheng, J.M., Yu, K.L., *et al.* (2015) Plant Functional Diversity Can Be Independent of Species Diversity: Observation Based on the Impact of 4-yrs of Nitrogen and Phosphorus Additions in an Alpine Meadow. *PLoS ONE*, **10**, c0136040. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136040>
- [7] 王宇坤, 丁新峰, 王小平, 等. 内蒙古典型草原建群种羊草基因型多样性抑制群落物种多样性的生态功能[J]. 生态学报, 2019, 39(5): 1-10.
- [8] 徐武美, 慈秀芹, 李捷. 浅析环境特征对遗传多样性与物种多样性的平行效应[J]. 生物多样性, 2017, 25(5): 481-489.
- [9] 马克明, 傅伯杰, 郭旭东. 农业区城市化对植物多样性的影响: 遵化的研究[J]. 应用生态学报, 2001(6): 837-840.
- [10] 张熙茜. 太原市居住区植物多样性特征研究[D]: [硕士学位论文]. 晋中: 山西农业大学, 2016.
- [11] 李俊生, 高吉喜, 张晓岚, 等. 城市化对生物多样性的影响研究综述[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 953-957.
- [12] 晏华, 袁兴中, 刘文萍, 邓合黎. 城市化对蝴蝶多样性的影响: 以重庆市为例[J]. 生物多样性, 2006(3): 216-222.
- [13] Murakami, K., Maenaka, H. and Morimoto, Y. (2005) Factors Influencing Species Diversity of Ferns and Fern Allies in Fragmented Forest Patches in the Kyoto City Area. *Landscape and Urban Planning*, **70**, 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.019>
- [14] Bertin, R.I. (2002) Losses of Native Plant Species from Worcester, Massachusetts. *Rhodora*, **104**, 325-349.
- [15] Van der Veken, S., Verheyen, K. and Hermya, M. (2004) Plant Species Loss in an Urban Area (Turnhout, Belgium) from 1880 to 1999 and Its Environmental Determinants. *Flora*, **199**, 516-523. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00180>
- [16] McKinney, M.L. (2006) Urbanization as a Major Cause of Biotic Homogenization. *Biological Conservation*, **127**, 247-260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- [17] Kovach, R., Muhlfeld, C., Wade, A., *et al.* (2015) Genetic Diversity Is Related to Climatic Variation and Vulnerability in Threatened Bulltrout. *Global Change Biology*, **21**, 2510-2524. <https://doi.org/10.1111/gcb.12850>
- [18] Jia, F.M., Xiao, Y.S., Peter, E.T., *et al.* (2013) Global Latitudinal-Asymmetric Vegetation Growth Trends and Their Driving Mechanisms: 1982-2009. *Remote Sensing*, **5**, 1484-1497. <https://doi.org/10.3390/rs5031484>
- [19] Walker, M.D., Wahren, C.H., Hollister, R.D., *et al.* (2006) Plant Community Responses to Experimental Warming across the Tundra Biome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **103**, 1342-1346. <https://doi.org/10.1073/pnas.0503198103>



- [20] 李元恒. 内蒙古荒漠草原植物群落结构和功能对增温和氮素添加的响应[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [21] 刘利利. 新疆不同草地类型植物多样性及与水热因子的关系[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [22] Klanderud, K. and Birks, H.J.B. (2003) Recent Increases in Species Richness and Shifts in Altitudinal Distributions of Norwegian Mountain Plants. *The Holocene*, **13**, 1-6. <https://doi.org/10.1191/0959683603hl589ft>
- [23] 牛建明. 气候变化对内蒙古草原分布和生产力影响的预测研究[J]. 草地学报, 2001, 9(4): 277-279.
- [24] 唐海萍, 陈旭东, 张新时. 中国东北样带生物群区及其对全球气候变化响应的初步探讨[J]. 植物生态学报, 1998, 22(5): 428-433.
- [25] 徐怀同. 气候、干扰、森林演替对北美香柏遗传多样性的影响[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [26] 曹路, 李春瑞, 田青松, 等. 内蒙古荒漠草原植物遗传多样性对模拟增温处理的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(21): 6909-6918.
- [27] Ninemets, U. (2001) Global-Scale Climatic Controls of Leaf Dry Mass per Area, Density, and Thickness in Trees and Shrubs. *Ecology*, **82**, 453-469. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[0453:GSCCOL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[0453:GSCCOL]2.0.CO;2)
- [28] Simova, I., Violle, C., Kraft, N.J.B., et al. (2015) Shifts in Trait Means and Variances in North American Tree Assemblages: Species Richness Patterns Are Loosely Related to the Functional Space. *Ecography*, **38**, 649-658. <https://doi.org/10.1111/ecog.00867>
- [29] Ordonez, A. and Svenning, J.C. (2015) Geographic Patterns in Functional Diversity Deficits Are Linked to Glacial-Interglacial Climate Stability and Accessibility. *Global Ecology and Biogeography*, **24**, 826-837. <https://doi.org/10.1111/geb.12324>
- [30] 龚春梅, 白娟, 梁宗锁. 植物功能形状对全球气候变化的指示作用研究[J]. 西北植物学报, 2011, 31(11): 2355-2363.
- [31] 冯秋红, 史作民, 董莉莉, 等. 南北样带温带区栎属树种功能性状间的关系及其对气象因子的响应[J]. 植物生态学报, 2010, 30(6): 619-627.
- [32] Murray, B.R., Thrall, P.H., Gill, A.M., et al. (2002) How Plant Life-History and Ecological Traits Relate to Species Rarity and Commonness at Varying Spatial Scales. *Austral Ecology*, **27**, 291-310. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2002.01181.x>
- [33] Soliveres, S., Maestre, F.T., Eldridge, D.J., et al. (2015) Plant Diversity and Ecosystem Multifunctionality Peak at Intermediate Levels of Woody Cover in Global Drylands. *Global Ecology & Biogeography*, **23**, 1408-1416. <https://doi.org/10.1111/geb.12215>
- [34] Jiao, C., Yu, G. and He, N. (2017) Spatial Pattern of Grassland Aboveground Biomass and Its Environmental Controls in the Eurasian Steppe. *Journal of Geographical Sciences*, **27**, 3-22. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1361-0>
- [35] Li, J.Y., Xu, W.X., Cheng, Z.G., et al. (2012) Spatial-Temporal Changes of Climate and Vegetation Cover in the Semi-Arid and Arid Regions of China during 1982-2006. *Ecology and Environmental Sciences*, **21**, 268-272.
- [36] Harpole, W.S., Potts, D.L. and Suding, K.N. (2007) Ecosystem Responses to Water and Nitrogen Amendment in a California Grassland. *Global Change Biology*, **13**, 2341-2348. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01447.x>
- [37] 白珍建. 增水增氮对草甸草原植物群落结构组成和功能的影响[D]: [博士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2017.
- [38] Cleland, E., Collins, S.L., Dickson, T.L., et al. (2013) Sensitivity of Grassland Plant Community Composition to Spatial vs. Temporal Variation in Precipitation. *Ecology*, **94**, 1687-1696. <https://doi.org/10.1890/12-1006.1>
- [39] Bai, Y.F., Wu, J.G., Xing, Q., et al. (2008) Primary Production and Rain Use Efficiency across a Precipitation Gradient on the Mongolia Plateau. *Ecology*, **89**, 2140-2153. <https://doi.org/10.1890/07-0992.1>
- [40] Swemmer, A.M., Knapp, A.K. and Snyman, H.A. (2007) Intra-Seasonal Precipitation Patterns and Above-Ground Productivity in Three Perennial Grasslands. *Journal of Ecology*, **95**, 780-788. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01237.x>
- [41] 王平. 岩风的遗传多样性与谱系地理学研究[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [42] Huang, W.D., Zhao, X.Y., Zhao, X., et al. (2016) Environmental Determinants of Genetic Diversity in *Caragana microphylla* (Fabaceae) in Northern China. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **181**, 269-278. <https://doi.org/10.1111/boj.12407>
- [43] 牛永梅. 蒙古高原北部光芒组针茅种群沿经向方向的遗传分化[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2015.

- [44] Jyoti, B. (2015) The Inner Mongolia Grassland Productivity and Biodiversity Response to Grazing and Precipitation. China Agricultural University, Beijing.
- [45] Hawkins, B.A., Field, R., Cormell, H.V., *et al.* (2003) Energy, Water and Broad-Scale Geographic Patterns of Species Richness. *Ecology*, **84**, 3105-3117. <https://doi.org/10.1890/03-8006>
- [46] Mwendera, E.J., Saleem, M.A.N. and Woldu, Z. (1997) Vegetation Response to Cattle Grazing in the Ethiopian Highlands. *Agriculture Eco-Systems and Environment*, **64**, 43-51. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01128-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01128-0)
- [47] Condit, R., Ashton, P., Bunyavejchewin, S., *et al.* (2006) The Importance of Demographic Niches to Tree Diversity. *Science*, **313**, 98-101. <https://doi.org/10.1126/science.1124712>
- [48] Fonseca, C.R., Overton, J.M.C., Collins, B., *et al.* (2000) Shifts in Trait-Combinations along Rainfall and Phosphorus Gradients. *Journal of Ecology*, **88**, 964-977. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00506.x>
- [49] Loreau, M. (1998) Biodiversity and Ecosystem Functioning: A Mechanistic Model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **95**, 5632-5636. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.10.5632>
- [50] Bertin, R.I. (2002) Losses of Native Plant Species from Worcester, Massachusetts. *Rhodora*, **104**, 325-349.
- [51] Standley, L.A. (2003) Flora of Needham, Massachusetts—100 Years of Floristic Change. *Rhodora*, **105**, 354-378.
- [52] DeCandido, R., Muir, A. and Gargiullo, M.B. (2004) A First Approximation of the Historical and Extant Vascular Flora of New York City: Implications for Native Plant Species Conservation. *Journal of the Torrey Botanical Society*, **131**, 243-251. <https://doi.org/10.2307/4126954>
- [53] Chocholouskova, Z. and Pysek, P. (2003) Changes in Composition and Structure of Urban Flora over 120 Years: A Case Study of the City of Plzen. *Flora*, **198**, 366-376. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00109>
- [54] Honnay, O.K., Piessens, W., van Landuyt, M. and Gulinck, H. (2003) Satellite Based Land Use and Landscape Complexity Indices as Predictors for Regional Plant Species Diversity. *Landscape and Urban Planning*, **63**, 241-250. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00194-9](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00194-9)
- [55] McKinney, M.L. (2006) Urbanization as a Major Cause of Biotic Homogenization. *Biological Conservation*, **127**, 247-260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>
- [56] Tait, C.J., Daniels, C.B. and Hill, R.S. (2005) Changes in Species Assemblages within the Adelaide Metropolitan Area, Australia, 1836-2002. *Ecological Applications*, **15**, 346-359. <https://doi.org/10.1890/04-0920>
- [57] Gherardi, L.A. and Sala, O.E. (2015) Enhanced Precipitation Variability Decreases Grass- and Increases Shrub-Productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **112**, 12735-12740. <https://doi.org/10.1073/pnas.1506433112>
- [58] Van der Veken, S., Verheyen, K. and Hermy, M. (2004) Plant Species Loss in an Urban Area (Turnhout, Belgium) from 1880 to 1999 and Its Environmental Determinants. *Flora*, **199**, 516-523. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00180>
- [59] Neil, K. and Wu, J.G. (2006) Effects of Urbanization on Plant Flowering Phenology: A Review. *Urban Ecosystem*, **9**, 243-257. <https://doi.org/10.1007/s11252-006-9354-2>
- [60] 施宇, 温仲明, 龚时慧, 等. 黄土丘陵区植物功能性状沿气候梯度的变化规律[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 107-111.
- [61] Schuster, B. and Diekmann, M. (2003) Changes in Species Density along the Soil pH Gradient-Evidence from German Plant Communities. *Folia Geobotanica*, **38**, 367-379. <https://doi.org/10.1007/BF02803245>
- [62] Zhao, Y.G., Zhang, G.L., Harald, Z. and Yang, J.L. (2007) Establishing a Spatial Grouping Base for Surface Soil Properties along Urban-Rural Gradient—A Case Study in Nanjing, China. *Catena*, **69**, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.017>
- [63] Godefroid, S., Monbaliu, D. and Koedam, N. (2006) The Role of Soil and Microclimatic Variables in the Distribution Patterns of Urban Wasteland Flora in Brussels, Belgium. *Landscape and Urban Planning*, **80**, 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.001>
- [64] Grime, J.P., Thompson, K., Hunt, R., *et al.* (1997) Integrated Screening Validates Primary Axes of Specialisation in Plants. *Oikos*, **79**, 259-281. <https://doi.org/10.2307/3546011>
- [65] Denys, C. and Schmidt, H. (1998) Insect Communities on Experimental Mugwort (*Artemisia vulgaris* L.) Plots along an Urban Gradient. *Oecologia*, **113**, 269-277. <https://doi.org/10.1007/s004420050378>
- [66] Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L. and Grove, G.M. (2001) Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial, Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **32**, 127-157. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012>
- [67] Hermy, M. (2004) Biodiversity Relationships in Urban and Suburban Parks in Flanders. *Landscape and Urban Planning*, **69**, 385-387. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.038>

- 
- [68] Murakami, K., Maenaka, H. and Morimoto, Y. (2005) Factors Influencing Species Diversity of Ferns and Fern Allies in Fragmented Forest Patches in the Kyoto City Area. *Landscape and Urban Planning*, **70**, 221-229. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.019>
- [69] 贺金生, 等. 中国中亚热带东部常绿阔叶林主要类型的群落多样性特征[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 303-311.
- [70] 黄建辉, 等. 地带性森林群落物种多样性的比较研究[J]. 生态学报, 1997, 17(6): 611-618.
- [71] Harrison, S. (1999) Local and Regional Diversity in a Partly Landscape: Native Alien and Endemic Herbs on Serpentine. *Ecology*, **80**, 70-80. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[0070:LARDIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[0070:LARDIA]2.0.CO;2)
- [72] MacArthur, R.H. and Connell, J.H. (1966) *The Biology of Populations*. Wiley, New York.
- [73] 庄树宏, 等. 昆箭山老杨坟阳坡与阴坡半天然植被植物群落生态学特征的初步研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(3): 238-249.
- [74] 马克明, 等. 北京东灵山地区森林的物种多样性和景观格局多样性研究[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 1-7.
- [75] Tilman, D. (1996) Productivity and Sustainability Influenced by Biodiversity in Grassland Ecosystems. *Nature*, **379**, 718-720. <https://doi.org/10.1038/379718a0>