

DOI: 10.5846/stxb201301300195

秦山, 潮洛濛. 人为干扰对乌海市四合木小灌木景观的影响. 生态学报, 2014, 34(21): 6346-6354.

Qin S, Chao L M. The impact of anthropogenic disturbance on landscape of *Tetraena mongolica* shrub in the Wuhai City. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(21): 6346-6354.

人为干扰对乌海市四合木小灌木景观的影响

秦 山¹, 潮洛濛^{1,2,*}

(1. 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021; 2. 中美生态、能源及可持续性科学内蒙古研究中心, 呼和浩特 010021)

摘要:以乌海市四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)为研究对象,利用 2009 年 Quickbird 高分辨率影像,结合四合木群落野外调查数据,对乌海市四合木分布区在不同人为干扰强度下的景观格局和群落进行研究。结果表明:人为干扰越强烈,四合木生境破碎化程度越严重。在植株生理年龄相近,生境相同时,四合木的高度、冠幅以及重要值随人为干扰加剧,变化趋势明显。受人为干扰程度越强地区,其物种丰富度指数越小,生物多样性越低。干扰强度发生变化时,Pielou 均匀度指数均在 0.77—0.90 间。

关键词:人为干扰;四合木;景观格局;群落特征

The impact of anthropogenic disturbance on landscape of *Tetraena mongolica* shrub in the Wuhai City

QIN Shan¹, CHAO Luomeng^{1,2,*}

1 College of Life Science, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China

2 Sino-US Center for Conservation, Energy and Sustainability Science in Inner Mongolia, Hohhot 010021, China

Abstract: *Tetraena mongolica* Maxim. belongs to a monotypic genus in the Zygophyllaceae and is a super xerophyte and a relic sub-shrub of the Tethys. This species is endemic to a very limited area of West Erosion region in the western part of the Ordos Plateau in China. The limited distribution of this sub-shrub makes it an important conservation target. It is ranked as a second-class national endangered plant species as defined by China's Red Book (endangered species list) and has been considered unique from both a plant taxonomical and regional systematics points of view. Also, from a practical stand point, it plays an important role as a windbreaker and stabilizer of sand and contributes to soil conservation and the regulation of hydrological regimes. Populations of *T. mongolica* serve as an important element in ecosystem functioning and buffer local ecosystems against desertification. Deterioration of the environment and anthropogenic disturbance in recent years have resulted in a high degree of landscape fragmentation and habitat loss in the area. As a result, population size and density of *T. mongolica* have been decreasing dramatically. *T. mongolica* has become severely endangered. Anthropogenic disturbance caused by the industrial development and rapid urbanization were direct reasons for the *T. mongolica* population area reduction and landscape pattern change. So research on the anthropogenic disturbance of this species has attracted attention. Landscape is a heterogeneous area composed of many ecosystems. The different process on landscape scale has decisive effects on the formation of landscape pattern. Correspondingly, the pattern that has already formed controls the basic processes of landscape. The relationship between anthropogenic disturbance, pattern and process has become a research focus which landscape ecology is interested in. A comparative analysis in anthropogenic disturbance of *T. mongolica* is ecologically important and will help document the threats to *T. mongolica* and offer a scientific basis for establishing

基金项目:国家自然科学基金(31060117); 内蒙古自然科学基金(200408020515)

收稿日期:2013-01-30; 网络出版日期:2014-03-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: colmvn@aliyun.com

protective measures for this species. The present study explored the association of *T. mongolica* distribution with anthropogenic disturbance in Wuhai city. With the support of the geographical information system technology and the analysis software of landscape pattern, quick bird high-resolution images and community field survey data of *T. mongolica* were used to investigate the distribution of *T. mongolica*. The Result indicates: Be closer to urban area or anthropogenic disturbance from mining, the *T. mongolica* landscape gets involved in more terrible situation by the increase of anthropogenic disturbance. Moreover, under the influence of anthropogenic disturbance, the canopy size of *T. mongolica* will decrease and the height of *T. mongolica* tends to decrease as well. In case of located in those regions where may generate significant strong anthropogenic disturbance, the species richness index and biodiversity are lower than which from other areas. When the anthropogenic disturbance changes, Pielou evenness index typically stays between 0.77 and 0.90. It is indicated that the industrial development and rapid urban expansion caused by irrational land use were direct reasons for the *T. mongolica* population area reduction and landscape pattern change of the research region.

Key Words: anthropogenic disturbance; *Tetraena mongolica* Maxim.; landscape pattern; community characteristics

随着我国经济建设速度的加快,生物多样性保护已经成为可持续发展的重要组成部分。目前,由于人类对于野生物种干扰的加剧,导致野生物种生境减少,甚至濒临灭绝^[1]。城市作为人类活动的产物,其对于自然的干扰尤为剧烈,导致周围的原始景观逐渐变成了异质的、破碎化的景观^[2]。人为干扰促使物种生境的空间形状和质量产生改变,造成了种群的重新划分并且产生了复合种群的结构,影响了种群的稳定性和持久力^[3-5]。四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)是蒺藜科四合木属特有种,已经被列入国家珍稀濒危植物红皮书^[6]。针对四合木濒危原因的科学研究有生态学、生物学、生理学和遗传学等诸多方面^[6-14],其中,人类活动干扰强度的加剧是四合木生境劣化的主要原因^[6,12-13]。城市人为干扰对自然环境造成严重的影响,主要集中于工业和建筑业(城市用地的扩张)^[15]。本文基于景观生态学和植物生态学的理论和方法,选取典型的资源依托型城市乌海市作为研究对象,利用 GIS 技术和野外调查研究,对不同人为干扰强度下四合木的景观特征和群落特征进行分析,揭示人为干扰对于四合木景观的影响。

1 研究区概况

乌海市位于内蒙古自治区西南部,地理位置东经 106°36'25"—107°08'05",北纬 39°02'30"—39°54'55"。年平均气温 9.3℃,无霜期平均在 156—165d,年降水量 162mm,年蒸发量 3289mm,相对湿度 42%。地带性植被为旱生、超旱生的小半灌木和灌木,有国

家濒危珍稀保护植物四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)、半日花(*Helianthemum soongoricum*)、绵刺(*Potania mongolica* Maxim)、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)和蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)等。

乌海全市面积 1754km²,共辖海勃湾、乌达和海南三个区。海勃湾区推行“三产兴区”战略,加快发展房地产业,推进旧城区联片开发,使得海勃湾城区面积不断扩大。2009 年由于资源开采的发展,原有工矿用地面积迅速拓展,小煤矿聚集成矿区。乌达区和海南区矿产资源丰富,大面积开采煤矿,2009 年乌达南部工业园区和其他工矿企业的成立,更进一步增大了工矿用地在乌达区和海南区土地利用的比重。

2 数据与研究方法

2.1 景观类型划分

根据《土地利用现状分类》国家标准(GB/T21010—2007),并结合研究区实际情况,将研究区景观划分为:四合木、城市、乡村宅基地、农田、工矿、沙地、水体、湿地、裸地和由其他植被组成的景观。

2.2 数据获取及处理

以乌海市 2009 年 Quickbird 高分辨率影像为主要数据源,辅该区域 1:5 万地形图、1:20 万乌海市资源系列图和 1:150 万内蒙古植被类型图为补充信息源,结合野外实地调查,进行四合木分布区景观格局信息的提取。运用 Erdas 9.2 和 ArcGIS 10.0 为技术平台进行图像解译,结合景观空间格局分析软件 Fragstats3.3,提取四合木分布区景观构成与景观格局

信息。以乌海市各城区为人为干扰中心源,分别构建 1、2km 和 3km 的四合木景观研究区域,考虑到黄河对于城市影响力的阻断作用,研究区在黄河对岸的部分未予研究;以海勃湾区东部工矿为人为干扰中心源,分别构建 100、200m 和 300m 的四合木景观研究区域,研究不同人为干扰强度下四合木分布区

的景观特征。以城市和工矿为干扰源,对比四合木保护区,对四合木群落进行野外调查。在研究区域选取不同生境条件下的四合木进行 10m×10m 的样方调查(表 1),测定样地内每株灌木的冠幅、高度。对研究样地四合木根茎进行研究,选取植株生理年龄差距较小的进行个体分析研究。

表 1 样地分类

Table 1 The classification of the plots

组别 Classification of group	分组依据 Grouping method	样地名称 Name of plots	样地坐标 Geographical Position of plots
第 1 组 First group	以城市为干扰源	开发区样地	N 39°42'25" E 106°50'27"
		近郊样地	N 39°42'25" E 106°49'27"
		远郊样地	N 39°44'14" E 106°52'30"
		远郊(低山)样地	N 39°44'10" E 106°52'39"
第 2 组 Second group	以工矿为干扰源	黑龙贵矿区样地	N 39°27'02" E 106°56'09"
		距离黑龙贵矿区约 1km 的低山样地	N 39°26'48" E 106°56'14"
第 3 组 Third group	无干扰	四合木保护区样地	N 39°29'44" E 106°53'11"

2.3 研究指数的选取

景观格局指数是基于景观元素的基本特征参数而提出的,具有直观性和准确性^[16],是大部分学者进行景观结构描述所选择的方法。对于景观指数的选择,国内外专家学者已经提出了一些定量指标^[17-21]。针对自然景观破碎化,研究斑块数量,各个斑块面积缩小以及斑块形状^[18],分析景观空间格局及相关的驱动因子^[19],选取斑块水平指数:斑块面积,斑块数,斑块平均面积,最大斑块指数,斑块密度,边缘密度。选取景观水平指数:景观形状指数,景观聚集度指数,景观破碎化指数,均匀度指数,景观多样性指数(Shannon-Weaver 指数),四合木斑块破碎化指数。

由于人类强烈干扰景观,导致斑块破碎化,生物多样性减少,进而使生物生境丧失^[20]。为了更全面地说明人为干扰对于四合木景观的影响,选取群落多样性指数进行分析研究。由于在半干旱地区,物种稀少,而且物种个体大小和数量差异较大,通过多个指数的比较更能反映出群落的真实情况^[21]。选取群落多样性指数:丰富度指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度指数。

3 结果与分析

3.1 城市化对四合木景观格局的影响

城市化的快速发展,导致城市用地向外扩张,造

成区域资源环境直接被占用。3 个以城区为人为干扰中心的研究区域,由表 2 和图 1 可知,距离中心城区越远,四合木分布面积越大。这是由于城市化进程中,城市周边占用了大量土地进行住宅的建设,导致了离城区越近,四合木分布面积越少。海勃湾区和乌达区的斑块密度和边界密度离中心城区越远,数值逐渐减少,说明距城区越近,生境越为破碎,四合木斑块比较分散。海南区的斑块密度和边界密度在 3km 研究区小于 1km 研究区,但是在 2km 研究区数值最大,这是由于此研究区内小煤矿数量多,道路密集,导致了斑块破碎化严重。结合斑块数,斑块平均面积和最大斑块面积的数值变化,得出四合木斑块面积受人为干扰严重,大面积的斑块直接被城市扩张过程中占用。

由表 3 和图 1 可知,3 个城区景观形状指数,聚集度指数和破碎化指数变化趋势相同,说明距城区越近,景观越为破碎,斑块越不规则。结合均匀度指数和景观多样性指数,得出海勃湾区、乌达区和海南区对四合木的影响主要体现在 1km 研究区。距城区越近时,景观被影响的程度越严重,并且随意占用四合木斑块,造成四合木生境破碎化严重,斑块不规则。

对比保护区的斑块平均面积、边界密度可以看出,保护区的斑块面积比较大,斑块破碎化程度极低。保护区的景观形状指数、破碎化指数以及四合

木斑块破碎化指数对比其他 3 个研究区均有明显的下降,聚集度指数有提升。通过对比可以明显看出 3 个研究区的四合木斑块破碎化严重。

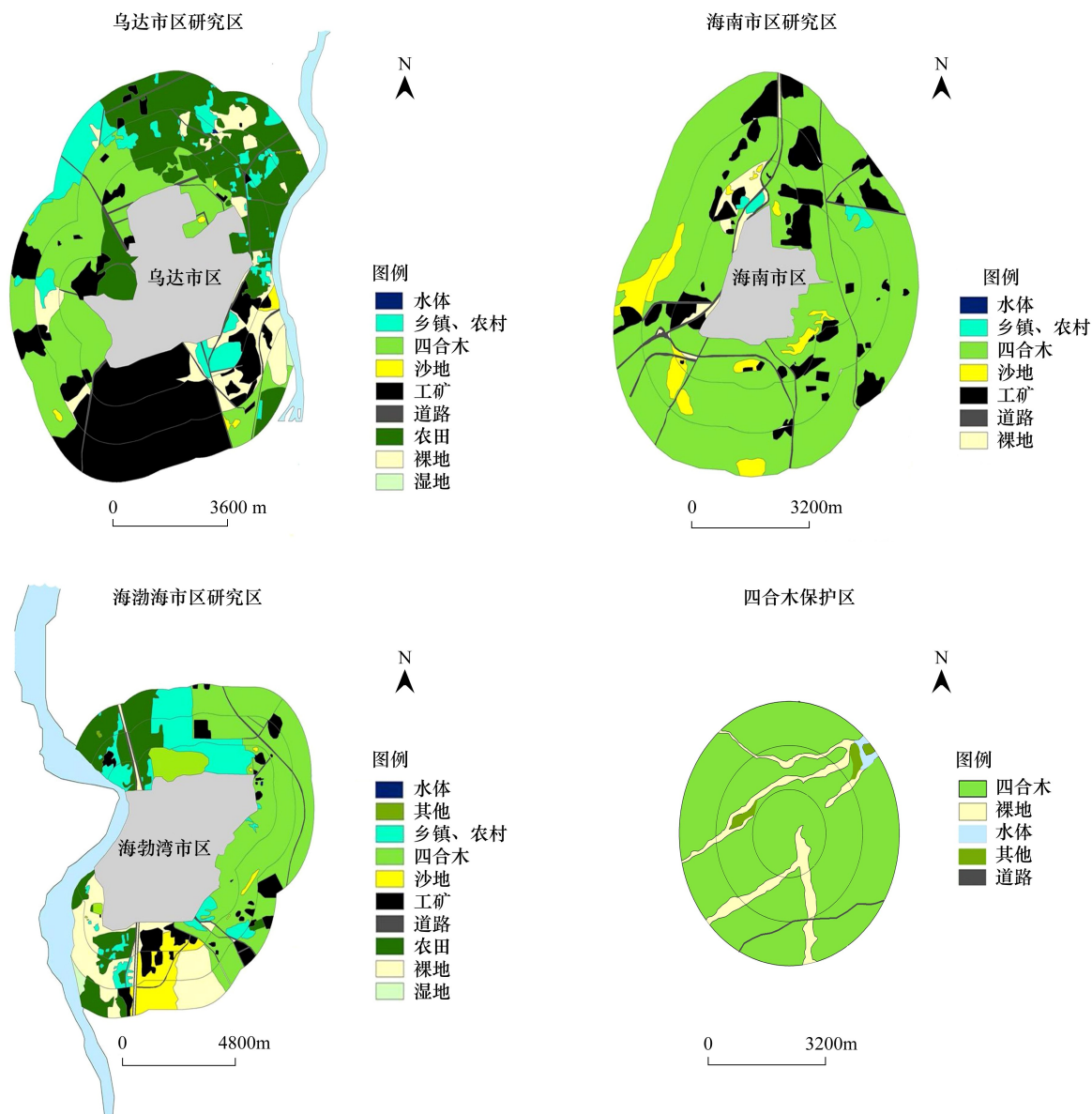


图 1 四合木研究区景观分类
Fig.1 The classification of study area landscape

表 2 乌海市各城区四合木研究区域斑块水平指数

Table 2 The patch level index of city buffers

研究区 Study area	距城区距离/km Distance from the city	斑块面积/km ² Patch size	斑块数 Patch number	斑块平均面积/km ² Mean patch size	最大斑块指数/% Largest patch index	斑块密度 Patch density	边界密度 Edge density
海勃湾	1	5.35	5	1.07	38.04	0.81	40.10
	2	8.77	8	1.10	42.80	0.71	30.59
	3	10.68	8	1.34	33.52	0.51	17.67
海南	1	8.27	9	0.92	28.05	0.27	15.85
	2	13.44	12	1.12	32.15	0.37	16.13

续表

研究区 Study area	距城区距离/km Distance from the city	斑块面积/km ² Patch size	斑块数 Patch number	斑块平均面积/km ² Mean patch size	最大斑块指数/% Largest patch index	斑块密度 Patch density	边界密度 Edge density
乌达	3	17.95	15	1.20	38.94	0.24	11.86
	1	6.00	8	0.75	19.57	0.43	21.47
	2	6.26	4	1.57	20.19	0.19	14.5
保护区	3	6.57	7	0.94	24.14	0.17	9.11
	1	2.80	2	1.40	83.17	0.64	3.81
	2	8.10	4	2.03	75.99	0.42	5.08
	3	14.56	9	1.62	29.69	0.57	4.25

表 3 乌海市各城区四合木研究区域景观水平指数
Table 3 The landscape level index of city buffers

研究区 Study area	距城区距离/km Distance from the city	景观形状指数 Landscape shape index	聚集度指数/% Contagion index	景观破碎化指数 Landscape fragmentation index	景观均匀度指数 Landscape evennessindex	景观多样性指数 Landscape diversity index	四合木斑块破碎化指数 Patches fragmentation index
海勃湾	1	6.30	96.15	1.21	0.55	1.15	4.61
	2	6.09	96.21	0.89	0.41	0.74	2.72
	3	5.23	96.27	0.61	0.56	1.00	1.51
海南	1	5.01	93.89	0.93	0.85	1.84	3.40
	2	5.00	94.91	0.91	0.85	1.76	2.65
	3	4.45	95.70	0.75	0.73	1.69	1.99
乌达	1	6.02	94.34	1.66	0.81	1.68	4.31
	2	4.86	95.05	1.22	0.79	1.64	3.73
	3	3.97	95.44	0.80	0.81	1.68	3.00
保护区	1	1.69	99.05	0.21	0.91	0.64	0.28
	2	2.42	97.81	0.29	0.85	0.69	0.32
	3	2.70	98.67	0.34	0.88	0.61	0.54

3.2 工业化对四合木景观格局的影响

工业化的发展过程中,尤其是露天煤矿的开采,对周边的植物生境造成了严重的破坏。以工矿为人 为干扰中心的研究区域,由表 4 和图 2 可知,距离矿 区中心越远,四合木斑块面积越大。这是由于在煤 炭运输和货车停靠过程中,四合木斑块直接变成裸 地,导致了离矿区越近,四合木分布面积越少。边界 密度离中心矿区越远,数值逐渐减少,说明距工矿越 近,生境越为破碎。煤炭运输道路较多,造成四合木 斑块数多。斑块密度在 200m 研究区内最大,和边界 密度的趋势有差异,这是由于 100m 研究区内的部分 斑块破坏严重,直接成为裸地。3 个研究区域的斑块 数目相差不大的情况下,斑块平均面积数值变化幅 度较大,这是由于在矿区周边,四合木斑块面积受人 为干扰严重,大面积的斑块直接被矿区的运营变成

裸地。

由表 5 和图 2 可知,矿区景观形状指数在 100m 研究区域内最小,这是由于在 100m 研究区域内,人 为干扰多为道路切割,所以斑块人为干扰严重,但是 形状较为规则。聚集度指数和破碎化指数变化趋势 相同,说明距矿区越近,景观越为破碎。结合均匀度 指数和景观多样性指数,得出矿区对四合木的影响 在 100m 缓冲区内最为强烈。距矿区越近时,景观被 影响的程度越严重。

对比保护区的斑块平均面积、边界密度可以看 出,保护区的斑块面积比较大,斑块破碎化程度极 低。保护区的景观形状指数、破碎化指数以及四合 木斑块破碎化指数对比工矿研究区均有明显的下 降,聚集度指数有提升。通过对比可以明显看出工 矿研究区四合木斑块破碎化严重。

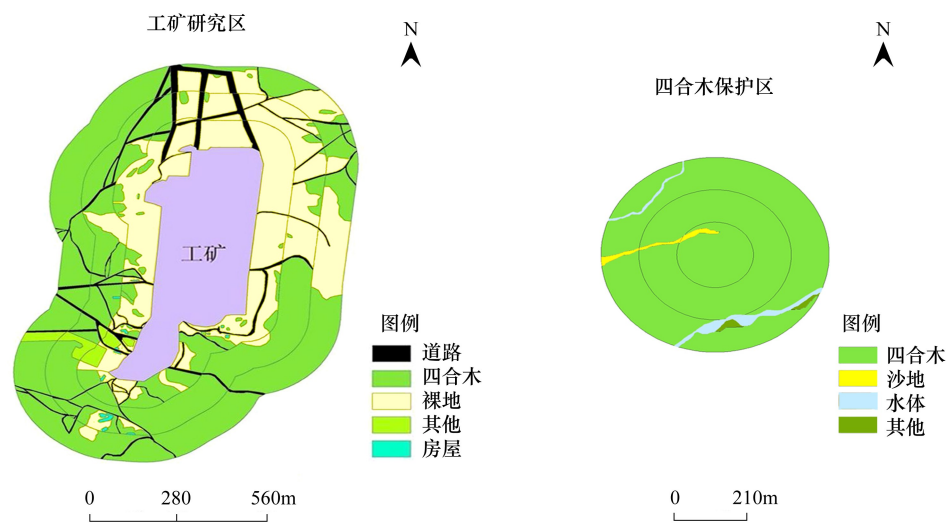


图 2 四合木研究区景观分类

Fig.2 The classification of study area landscape

表 4 工矿区四合木研究区域斑块水平指数

Table 4 The patch level index of mining buffers

研究区 Study area	距城区距离/m Distance from the city	斑块面积/km ² Patch size	斑块数 Patch number	斑块平均面积/km ² Mean patch size	最大斑块指数/% Largest patch index	斑块密度 Patch density	边界密度 Edge density
工矿	100	0.06	30	0.002	16.67	1.04	6.1
	200	0.21	36	0.006	26.19	1.09	5.2
	300	0.30	29	0.01	21.67	0.74	4.7
保护区	100	0.03	1	0.028	89.17	0.32	2.07
	200	0.09	1	0.081	85.99	0.11	1.58
	300	0.14	4	0.035	71.69	0.21	1.25

表 5 工矿区四合木研究区域景观水平指数

Table 5 The landscape level index of mining buffers

研究区 Study area	距城区距离/m Distance from the city	景观形状指数 Landscape shape index	聚集度指数/% Contagion index	景观破碎化指数 Landscape fragmentation index	景观均匀度指数 Landscape evenness index	景观多样性指数 Landscape evenness index	四合木斑块破碎化指数 Patches fragmentation index
工矿	100	6.45	93.26	5.66	0.56	0.89	3.00
	200	7.15	95.15	1.73	0.57	0.91	2.25
	300	6.71	95.37	0.98	0.53	0.73	1.33
保护区	100	1.77	99.85	0.11	0.98	0.11	0.08
	200	2.15	99.81	0.13	0.88	0.18	0.11
	300	2.65	98.97	0.24	0.91	0.24	0.34

3.3 人为干扰下四合木种群特征分析

通过调查统计(表 6)得出,以城市人为干扰源为中心的 4 个四合木研究区中,开发区样地四合木平均高度为 42.3cm,平均冠幅为 71cm,近郊样地四

合木平均高度为 42.4cm,平均冠幅为 114cm。开发区样地和近郊样地相邻,生境内基质相同,均是干枯的河床,两个研究区内四合木平均高度基本相同,但是由于开发区样地内人为干扰较为强烈,导致四合

木平均冠幅产生了差异。远郊样地和远郊低山样地的四合木平均高度为 31.6cm 和 33.1cm,平均冠幅为 86cm 和 102cm。远郊两个样地的四合木特征基本一致,但是由于远郊平原样地人为干扰相对强烈,导致远郊平原样地物种丰富度较低,四合木重要值要值明显高出远郊低山样地(图 3,表 6)。

黑龙贵矿区样地和其低山坡地样地的四合木平均高度为 35.7cm 和 32.9cm,平均冠幅为 114cm 和 81cm。两个研究区四合木特征差异显著,这是由于矿区样地在长期的人为干扰下,地表形成了较厚的沙土层,可以较好的保持雨水。由于矿区样地人为干扰强烈,大量物种消失,仅剩四合木和红砂两种灌

木,导致了矿区样地的四合木重要值要显著高于其它 3 个研究区样地(图 3,表 6)。

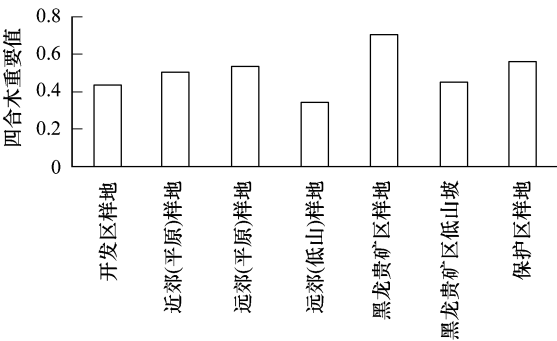


图 3 四合木重要值分析
Fig.3 The important value analysis

表 6 四合木高度和冠幅
Table 6 The height and crown

四合木个体特征 Characteristics of <i>Tetraena mongolica</i> Maxim with individuals	开发区样地 Development zone	近郊样地 Inner suburbs	远郊样地 Outer Suburbs	远郊低山样地 Hilly region of outer suburbs	黑龙贵矿区样地 Heilonggui mining areas	黑龙贵矿区低 山坡地样地 Hilly region of heilonggui mining areas	四合木保护区样地 <i>Tetraena mongolica</i> Maxim Nature Reserve
平均高度/cm Mean height	42.3	42.4	31.6	33.1	35.7	32.9	64.5
平均冠幅/cm Mean crown	71	114	86	102	114	81	151

四合木保护区样地人为干扰基本忽略,其平均高度为 64.5cm,平均冠幅为 151cm,明显高于其它样地(表 6)。

3.4 人为干扰下四合木群落生物多样性分析

以城市和工矿为干扰源,对照四合木保护区的

无人干扰,对四合木群落进行群落生物多样性研究。由图 4 可知,适度人为干扰的远郊低山样地,物种丰富度指数,Shannon-Wiener指数、Simpson指数均为最高,这是由于适度的干扰能增加多样性。黑龙贵矿区样地人为干扰强烈,导致了大部分物种的

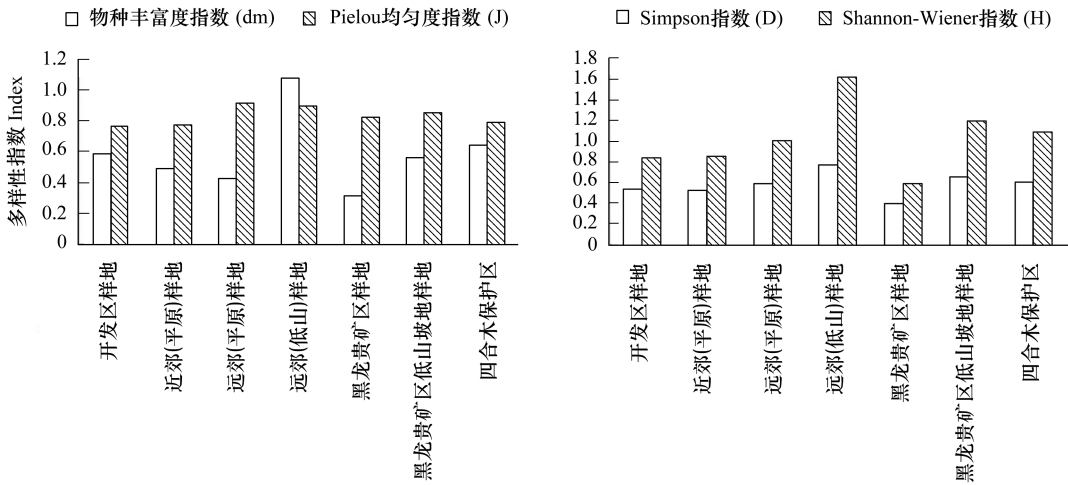


图 4 四合木群落生物多样性分析
Fig.4 The community biodiversity analysis community biodiversity analysis

死亡,物种丰富度指数,Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数均为最低。没有人为干扰的四合木保护区样地,物种丰富度指数 Simpson 指数都仅次于远郊低山样地,Shannon-Wiener 指数低于远郊低山样地和矿区的低山坡地样地。几个样地的 Pielou 均匀度指数都在 0.78—0.90 间,表示四合木群落物种分布的均匀度基本一致。综合分析各项指数可知,四合木群落的生物多样性随着人为干扰的加剧而变低。

4 结论与讨论

随着城市化和工业化等各方面的发展,导致全世界的景观破碎化和植物破坏问题日趋严重,特别是城市周围地区的景观破碎化和植物受损程度就更加严重^[22]。四合木分布区内部由于城市化和工业的发展,以及不合理的土地利用方式,四合木实际占有面积在缩小^[23]。乌海市各城区四合木分布地区景观影响一致,距离城市越近,人为干扰越严重,四合木分布区面积越小,生境破碎化程度越高。海南区和乌达区各个研究区斑块平均面积差异不大,但是最大斑块指数有明显的上升变化趋势,可见越靠近城市干扰中心,生境破碎越严重,人为破坏造成较小面积的斑块。道路的扩张导致了景观斑块的破碎^[24]。海勃湾区 3km 研究区由于外环道路的切割,造成最大斑块指数变小。

海勃湾区四合木斑块数基本相同,但是由于斑块面积和最小斑块面积之间的差异较大,导致破碎化指数变化较大。海勃湾 2km 研究区由于各景观结构组成所占比例较为相似,复杂性较小,导致其景观多样性指数最小,并且关联的均匀度指数最小。

工矿对四合木分布地区景观影响较为强烈,因为矿业工作的机械化程度高,在建设和生产中对地表破坏严重,距离工矿越近,道路和裸地所占面积比例越高,生境破碎化程度越严重,裸地面积在最靠近工矿区域分布面积比例最大。四合木斑块越靠近工矿分布面积越少,边界密度越大,景观破碎化越严重。工矿 100m 研究区斑块破碎化严重,斑块均为小面积斑块,并且斑块面积差异较小,导致最大斑块指数最小;但由于斑块分布较为集中,所以造成景观分布均匀度指数和 200m 研究区的均匀度指数差距较小的情况下,景观破碎度指数差距较大。工矿 100m

研究区由于大面积的裸地的存在,其景观构成复杂性低于 200m 研究区,所以其景观多样性指数小于 200m 研究区。

城市周边的景观是脆弱的^[25],随着人类干扰强度由郊区向城市中心区逐渐增大,植物多样性呈明显的递减趋势^[26]。城市化对植被和土壤等自然环境影响甚大^[27]。人为干扰对于四合木群落的特征(高度、冠幅和重要值)具有很强的影响。人为干扰改变土壤基质后,会导致四合木高度、冠幅和重要值与正常情况下有显著的差异。强烈的人为干扰在没有改变土壤基质时,会导致四合木冠幅较小,重要值较大。Pielou 均匀度指数在 0.77—0.90 间,不随干扰强度发生明显变化,表现出一致较低的趋势。

由于人类强烈干扰景观,导致景观破碎化,生物多样性减少,进而使生物生境丧失^[20]。乌海市快速发展房地产业,推进旧城区联片开发,城区面积大幅扩张,煤炭开采企业个数增长迅猛,公路数量增多,占用并切割了四合木生境。工业发展、城市扩张等一系列的人为干扰造成乌海市四合木景观破碎化严重,生境丧失。

References:

- [1] Regan H M, Lupia R, Drinnan A N, Burgman M A. The currency and tempo of extinction. *The American Naturalist*, 2001, 157 (1): 1-10.
- [2] Wang X L, Bu R C, Hu Y M, Xiao D N. Analysis on landscape fragment of Liaohe delta wetlands. *Institute of Applied Ecology*, 1996, 7(3): 299-304.
- [3] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277 (5325): 494-499.
- [4] Ehrlich P R. The loss of diversity: causes and consequences// Wilson E O, Peter F M, eds. *Biodiversity*. Washington D C: National Academic Press, 1988: 21-27.
- [5] Menges E S. Population viability analysis for an endangered plant. *Conservation Biology*, 1990, 4(1): 52-62.
- [6] Zhang Y F. The Population Dynamics of Endangered Species *Tetraena mongolica* in Fragmentation Habitats [D]. Wuhan: Wuhan University, 2000.
- [7] Yin K, Cui S H, Shi L Y, Lin T, Guo Q H, Lü J. Human-induced disturbance on the understory plant diversity of urban forest: a case study of Xiamen Institute of Urban Environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 563-572.
- [8] Ge X J, Yu Y, Zhao N X, Chen H S, Qi W Q. Genetic variation in the endangered Inner Mongolia endemic shrub *Tetraena mongolica* Maxim. (Zygophyllaceae). *Biological Conservation*, 2003, 111(3): 427-434.

- [9] Zhen J H, Liu G H. Research advance in rare and endemic plant *Tetraena mongolica* Maxim. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(2): 43-440.
- [10] Zhen J H, Li Y L, Zhao M, Liu G H. Spatial-temporal change of endemic plant-*Tetraena mongolica* Maxim. population. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(7): 182-187.
- [11] Zhen J H, Su G C, Zhang J, Zhou R P. Spatial-temporal change of landscape pattern in the distribution region of endemic species *Tetraena mongolica* Maxim. on Ordos Plateau. Geographical Research, 2009, 28(4): 1031-1039.
- [12] Zhen J H, Chen D X, Yu S, Liu G H. Habitat suitability change for endangered plant *Tetraena mongolica* Maxim. Journal of Arid Land Resources and Environmen, 2011, 25(7): 188-195.
- [13] Yang C, Wang Y C, Liu Q, Zhang Y F, Zhang Y J. *Tetraena mongolica* Maxim. Conservation Biology. Beijing: Science Press, 2002: 88-94, 97-99.
- [14] Wang Y C, Ma H, Zheng R. Studies on the reproductive characteristics of *Tetraena mongolica* Maxim. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2000, 20(4): 661-665.
- [15] Yang G M, Ming Q W. Pressures of urbanization on ecology and environment in Inner Mongolia. Arid Land Geography, 2007, 30(1): 141-148.
- [16] Wu J G. Landscape Ecology-Pattern, Process, Scale and Hierarchy. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 107-115.
- [17] Forman R T T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 141-321.
- [18] Li X Z, Bu R C, Chang Y, Hu Y M, Wen Q C, Wang X G, Xu C G, Li Y H, He H S. The response of landscape metrics against pattern scenarios. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 123-134.
- [19] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. The characteristics and contents of landscape spatial analysis. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(7): 1135-1142.
- [20] Yang D W, Chen Z J, Chen Y J, Wang H Y. Biodiversity research based on the basic theories in landscape ecology. Areal Research and Development, 2006, 25(1): 111-124.
- [21] Jing F J. Plants Diversity of Different Landusing Patterns at Different Landforms in Semi-arid Mountain Region on Loess Plateau [D]. Gansu Agricultural University, 2005.
- [22] Zhang J T, Pickett S T A. Effects of urbanization on forest vegetation, soils and landscape. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 655-658.
- [23] Zhang Y F, Yang C, Chen J K. Spatial-temporal change of landscape structure in the distribution region of *Tetraena mongolica*. Journal of Wuhan Botanical Research, 2001, 19(1): 24-30.
- [24] Lisa F, Peter R H, Slaven R, Guy P, Martin S, Julia S, Stefan K, Nuria S, Pierre L I. Spatial road disturbance index (SPROADI) for conservation planning: a novel landscape index, demonstrated for the state of Brandenburg, Germany. Landscape Ecology, 2013, 28(1): 1353-1369.
- [25] Gassó N, Pino J, Font X, Vilà M. Regional context affects native and alien plant species richness across habitat types. Applied Vegetation Science, 2012, 15(1): 4-13.
- [26] Moffatt S F, McLachlan S M. Understorey indicators of disturbance for riparian forests along an urban-rural gradient in Manitoba. Ecological Indicators, 2004, 4(1): 1-16.
- [27] Smith W H. Air Pollution and Forests: Interactions Between Air Contaminants and Forest Ecosystems. New York: Springer-Verlag, 1990: 110-116.
- 参考文献:**
- [2] 王宪礼, 布仁仓, 胡远满, 肖笃宁. 辽河三角洲湿地的景观破碎化分析. 应用生态学报, 1996, 7(3): 299-304.
- [6] 张云飞. 濒危植物四合木生境破碎化过程中种群动态研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2000.
- [7] 尹锴, 崔胜辉, 石龙宇, 吝涛, 郭青海, 吕静. 人为干扰对城市森林灌草层植物多样性的影响——以厦门市为例. 生态学报, 2009, 29(2): 563-572.
- [9] 甄江红, 刘果厚. 珍稀特有植物四合木研究进展. 应用生态学报, 2008, 19(2): 433-40.
- [10] 甄江红, 李艳玲, 赵明, 刘果厚. 珍稀特有植物四合木种群动态时空分析. 干旱区资源与环境, 2009, 23(7): 182-187.
- [11] 甄江红, 苏根成, 张靖, 周瑞平. 鄂尔多斯特有种四合木分布区景观格局时空变化. 地理研究, 2009, 28(4): 1031-1039.
- [12] 甄江红, 陈德喜, 玉山, 刘果厚. 濒危植物四合木生境适宜性变化分析. 干旱区资源与境, 2011, 25(7): 188-195.
- [13] 杨持, 王迎春, 刘强, 张云飞, 张颖娟. 四合木保护生物学. 北京: 科学出版社, 2002: 88-94, 97-99.
- [14] 王迎春, 马虹, 征荣. 四合木繁殖特性的研究. 西北植物学报, 2000, 20(4): 661-665.
- [15] 杨光梅, 闵庆文. 内蒙古城市化发展对生态环境的影响分析. 干旱区地理, 2007, 30(1): 141-148.
- [16] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 107-115.
- [18] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 胡远满, 问青春, 王绪高, 徐崇刚, 李月辉, 贺红仕. 景观格局指标对不同景观格局的反应. 生态学报, 2004, 24(1): 123-134.
- [19] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. 生态学报, 2002, 22(7): 1135-1142.
- [20] 杨德伟, 陈治谏, 陈友军, 王贺一. 基于景观生态学基本理论的生物多样性研究. 地域研究与开发, 2006, 25(1): 111-124.
- [21] 景福军. 黄土高原半干旱区山地不同地形不同利用方式植物群落多样性研究 [D]. 甘肃农业大学, 2005.
- [22] 张金屯, Pickett S T A. 城市化对森林植被、土壤和景观的影响. 生态学报, 1999, 19(5): 655-658.
- [23] 张云飞, 杨持, 陈家宽. 四合木 (*Tetraena mongolica*) 分布区景观结构时空变化分析. 武汉植物学研究, 2001, 19(1): 24-30.