

# 塔里木河中游河岸带植物区系及物种多样性初探

卢磊<sup>1,2</sup>, 赵振勇<sup>1</sup>, 乔木<sup>1</sup>, 张科<sup>1</sup>, 周生斌<sup>1</sup>, 唐金<sup>1,3</sup>

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 新疆农业大学, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 塔里木河中游河岸带植物共有 49 种, 隶属于 15 科 38 属。对塔里木河中游河岸带植物区系科、属的组成、地理成分和物种多样性进行了分析, 结果表明: (1) 塔里木河中游河岸带植物区系地理成分多样, 单种科、单种属多, 区系优势现象明显。(2) 植物区系表现强烈的旱生性和古老性。(3) 植物区系主要以温带为主, 这表明塔里木河中游河岸带植物区系特征与该地区所处的北温带和古地中海地理位置是一致的。(4) 特有种比例低, 珍稀濒危保护植物种类较少。(5) 从不同生境及不同林龄的物种多样性指数来看, 水分条件是影响物种多样性变化的主要因素。

**关键词:** 河岸带; 植物区系; 物种多样性; 塔里木河中游

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0016-06

中图分类号: S718.3

## Flora and Species Diversity in Riparian Zone of Middle Reaches of the Tarim River

LU Lei<sup>1,2</sup>, ZHAO Zhen-yong<sup>1</sup>, QIAO Mu<sup>1</sup>, ZHANG Ke<sup>1</sup>, ZHOU Sheng-bin<sup>1</sup>, TANG Jin<sup>1,3</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, China Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

**Abstract:** Forty-nine species of plants, belonging to 15 families and 38 genera, were identified in the middle reaches of the Tarim River in Xinjiang Wei Autonomous Region. The floristic constitution, geographical elements of families, genera of seed plants and species diversity were analyzed in this area. The results show that the flora had highly diverse geographical characteristics. Flora dominance was apparent as many single-families and single-genera existed. Most of the flora was strongly xeromorphic and antique. The flora dominated by temperate species, indicating that the flora characteristics of the middle reaches of the Tarim River agreed well with that of the North Temperate zone and old Mediterranean Sea. The percentage of endemic species was low, and rare and endangered plants were scarce. According to species diversity index of different habitats with various forest ages, water was the main factor affecting species diversity.

**Keywords:** riparian zone; flora; species diversity; the middle reaches of the Tarim River

植物区系为某一地区(或分类单元、植物群落)所有植物种类的总称,它是植物界在一定的自然地理条件下,特别是在自然历史条件下的综合作用、发展和演化的结果<sup>[1-3]</sup>。因此,植物区系的构成中蕴含着大量历史、地理、生态和系统进化的信息。对植物区系的历史和发育演化等方面的研究是植物地理学、历史植物地理学以及植物分类与系统发育生物学研究的重要内容,对某一地区植物区系的调查研究是研究该地区不同时空尺度上植物多样性的重要基础。

塔里木河(以下简称塔河)地处中国西北干旱地区,全长 1 321 km,是中国最长的内陆河,也是世界著名的内陆河之一。但近 50 a 来,由于人类不合理的水土资源开发活动导致了塔河流域河岸生态系统的退化和生物多样性严重受损,尤其在下游区植被严重衰退。由于河岸带这一独特自然景观的植物区系在整个区域自然景观中具有相当的代表性,目前已成为中国西北地区植被恢复研究的热点地区<sup>[4-5]</sup>。故此,本研究以塔河流域河岸带为研究对象,在比较系

收稿日期:2010-07-22

修回日期:2010-08-08

资助项目:国家自然科学基金资助项目“塔里木河中游河岸带植物物种多样性格局及其演化机理”(40701012);“西部之光”人才培养计划项目“新疆耕地资源开发模式和管理对策研究”(XBBS200811)

作者简介:卢磊(1984—),男(汉族),河南省商城县人,在读硕士研究生,研究方向为环境遥感与恢复生态。E-mail:lulei2010@126.com。

通信作者:乔木(1957—),男(汉族),山东省梁山县人,研究员,主要从事环境遥感和干旱区生态恢复研究。E-mail:qiaomu@ms.xjb.ac.cn。

统的河岸带植被调查基础上结合相关文献<sup>[6,8-15]</sup>,借助于较高的植物分类等级区系的构成成分分析,来反映河岸带植物区系的情况及其与区域植物区系的关系,探讨河岸带植物区系的代表性和独特性。

同时借助物种丰富度指数、物种多样性指数、物种均匀度指数分析河岸带不同生境、不同林龄的物种多样性特点,旨在为干旱区内流河生态恢复、生态重建和绿化植物种类选择等生态工程设计提供参考依据。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区自然概况

研究区位于塔河英巴扎大桥至其下游方向 5 km 范围内。属暖温带荒漠干旱气候,年降水量不足 50 mm,蒸发量却高达 2 100~2 300 mm,多年平均气温 9.7 °C,夏季绝对最高气温 41.1 °C,冬季绝对最低气温 -29.1 °C,大于 10 °C 的年积温在 4 100~4 300 °C 之间。由于英巴扎段处于塔里木河中游起点,河道较宽,过水情况良好,洪水季节河岸带常受到洪水漫淹,河岸植物种类丰富。

### 1.2 研究方法

2008 年 6 月与 2009 年 8 月对塔河中游河岸植物进行面上踏查,调查了该区的植物种类。参考新疆植物资源数据库及其它相关书籍和文献<sup>[6-15]</sup>,并根据相关研究和考察的样方记录资料,对该区的科、属、种进行了核对,编制了塔河中游河岸带植物名录。运用植物区系地理学的基本原理,根据李锡文<sup>[16]</sup>、吴征镒<sup>[17-18]</sup>等关于科分布区类型划分原则,吴征镒<sup>[19]</sup>关于中国种子植物属分布区类型划分原则,对塔河中游河岸带植物区系的特点进行了比较全面、系统地论述和分析研究。

在易受洪水漫溢地段设置了 2 条样带。样带 1 为河漫滩裸地,距河岸 100 m,距河岸 200 m;样带 2

为胡杨青幼林、中年林和成熟林。2 条样带共 6 个样地,每个样地分为 4 个 10 m × 10 m 的共 24 个植被调查样方。用 GPS 进行定位,记录每个样地的海拔高度和经纬度。利用物种多样性指数的计算方法<sup>[20-21]</sup>来测度样方内的物种多样性。

多样性的测度包括物种丰富度指数(Margalef)、物种多样性指数(Simpson)、物种均匀度指数(McIntosh)。

Margalef 指数: $d_{Mg} = (S-1)/\ln N$

Simpson 指数: $D_1 = 1 - \sum [N_i(N_i-1)/N(N-1)]$

McIntosh 指数: $D_2 = (N-U)/(N-N^{1/2})$ ,

$$U = (\sum N_i^2)^{1/2}$$

式中: $N$ ——样方中记录的个体总数; $S$ ——样方中物种总数; $N_i$ ——第  $i$  种的个体总数。

## 2 植物区系统计分析

根据样带资料调查以及参考文献资料,塔河中游河岸带有植物 15 科 38 属 49 种(含种以下等级,下同),其中双子叶植物 13 科 33 属 41 种,单子叶植物 2 科 5 属 8 种。

### 2.1 科的结构组成

由表 1—2 可以看出塔河中游河岸带没有含 10 属以上的科。6~10 属的科有豆科、藜科、菊科,共 22 属,占总属数的 57.89%。2~5 属的科有 3 个,如禾本科、柽柳科、莎草科,共 7 属,占总属数的 18.43%。仅有 1 属的科共有 9 个,占总属数的 23.68%。

科内种的组成情况:含种数 6~10 的科有豆科、菊科,含种数大于 10 的科为藜科,共计 25 种,占总种数的 51.02%。含种数 2~5 种的科有禾本科、柽柳科、莎草科、萝藦科,夹竹桃科,共计 17 种,占总种数的 34.69%。仅 1 种 1 科的有 7 科,占总种数的 14.29%,如杨柳科、茄科、蒺藜科、胡颓子科、毛茛科、旋花科和蔷薇科。

表 1 塔河中游河岸带植物科内属和种的组成

序号	科名	属数	种数	序号	科名	属数	种数
1	杨柳科( <i>Salicaceae</i> )	1	1	9	萝藦科( <i>Asclepiadaceae</i> )	1	2
2	茄科( <i>Solanaceae</i> )	1	1	10	莎草科( <i>Cyperaceae</i> )	2	4
3	豆科( <i>Leguminosae</i> )	6	6	11	毛茛科( <i>Ranunculaceae</i> )	1	1
4	藜科( <i>Solanaceae</i> )	8	11	12	旋花科( <i>Convolvulaceae</i> )	1	1
5	菊科( <i>Compositae</i> )	8	8	13	蔷薇科( <i>Rosaceae</i> )	1	1
6	禾本科( <i>Gramineae</i> )	3	4	14	夹竹桃科( <i>Apocynaceae</i> )	1	2
7	胡颓子科( <i>Elaeagnaceae</i> )	1	1	15	柽柳科( <i>Tamaricaceae</i> )	2	5
8	蒺藜科( <i>Zygophyllaceae</i> )	1	1				

表 2 塔河中游河岸带植物区系 5 种以上科在新疆、中国、世界区系中的比重

序号	科名	塔河中游河岸带植物种数	新疆种数	中国种数	世界种数	占世界区系总种数/%	世界分布区域
1	豆科	6	365	1 080	12 000	0.050	世界广布
2	藜科	11	159	200	1 400	0.790	世界广布
3	菊科	8	453	2 500	25 000	0.032	世界广布

## 2.2 属的结构组成

由表 3 可见,塔河中游河岸带植物中含 2~5 种的属有 7 属 18 种,如怪柳属、猪毛菜属、蔗草属、白麻属等。含 1 种属有 31 属 31 种,如白刺属、地肤属、打碗花属、甘草属等。这说明该区属的分化较大,单种属及中小属非常丰富,较大属较少,却拥有较多的种,比较发达,在植被构成中占据着十分重要的地位。

表 3 塔河中游河岸带植物属内种的组成

属内种数	属数	占总属数的%	种数	占总种数的%
2~5	7	18.42	18	36.73
1	31	81.58	31	63.27
合计	38	100.00	49	100.00

## 3 植物分布区的类型

### 3.1 科的地理分布和成分分析

科是植物分类学中实际上最大的自然分类单位,在区系研究中也是很重要的。每科一般具有明显的结构特征以与其它科相区别,表明它们可能有共同的起源。植物科的分布和对于气候的忍耐力是受遗传因素控制的,因此具有比较稳定的分布区,并与一定的气候条件相适应。根据世界种子植物科的分布区类型系统<sup>[17-18]</sup>,可以将塔河中游河岸带植物的 15 个科划分为 3 个分布区类型和 1 个分布区变型(表 4)。塔河中游河岸带植物科的分布区类型包括世界分布科、泛热带分布科和温带分布科,东亚分布和中国特有分布科在河岸带植物中不存在。世界分布科有 9 科,占塔河中游河岸带植物科数的 60%。热带分布科有 3 科,占塔河中游河岸带植物科数的 20%。温带分布科包括北温带和南温带间断分布以及旧世界温带一共是 3 科,占塔河中游河岸带植物科数的 20%。从科级水平上看,该区系温带性质非常明显。

3.1.1 世界分布类型 指世界普遍分布的那些科。它们广泛分布于世界各大洲。有茄科、豆科、禾本科、菊科、藜科、毛茛科、蔷薇科、莎草科、旋花科,共 9 科,包含 31 属,37 种。藜科、菊科、豆科为分布较广的科,在塔河中游河岸带植物中均是拥有 5 种以上的大科,藜科植物甚至达到了 11 种。

表 4 河岸带植物科的分布区类型

分布区类型及变型	科数	占总科数%
1 世界分布	9	60.00
2 泛热带分布	3	20.00
8-4 北温带和南温带间断分布	2	13.33
10 旧世界温带	1	6.67
合计	15	100.00

3.1.2 泛热带分布及其变型 泛热带分布类型指普遍分布于两半球热带至亚热带地区的科,其中有些科的少数属种分布到温带,与世界分布科不易区别。

在塔河中游河岸带植物中本类型有 3 科,分别为夹竹桃科、萝藦科、蒺藜科,占塔河中游河岸带植物总科数的 20%,共含 3 个属 5 种,分别占 13.16% 和 10.2%。

3.1.3 北温带和南温带间断分布 在塔河中游河岸带植物区系中仅有 2 科,占塔河中游河岸带植物总科数的 13.33%。杨柳科和胡颓子科植物广为分布,构成落叶阔叶林的建群植物。

3.1.4 旧世界温带分布 旧世界温带分布型指广泛分布于欧洲、亚洲中—高纬度的温带和寒温带或至非洲北部。塔河中游河岸带植物区系仅有此型 1 科 2 属 5 种,主要分布在河岸两侧,尤其在河水漫溢地带,可以形成天然怪柳灌丛林。

### 3.2 属的地理分布和成分分析

依照中国种子植物属的划分方案<sup>[19]</sup>,将塔河中游河岸带植物区系的 38 个属划分为 9 个分布类型和 4 个变型(表 5)。

3.2.1 世界分布 在塔河中游河岸带分布的世界分布属有 7 属,占植物总属数的 18.42%。世界分布类型包括几乎遍布世界各大洲而没有特殊分布中心的属,或虽有一个或数个分布中心而包含世界分布种的属。如蔗草属(*Scirpus* Linn., 3 种)、猪毛菜属(*Sal-sola*, 3 种)、槐属(*Sophora*, 1 种)、碱蓬属(*Suaeda*, 1 种)、芦苇属(*Phragmites* Adens., 1 种)、莎草属(*Cyperus*, 1 种)、铁线莲属(*Clematis*, 1 种)。由于世界分布在确定植物区系关系、地理分布特点时意义不大,所以在各分布类型统计分析时常扣除不计。

表 5 塔河中游河岸带植物属的地理分布

分布区类型及其变型	属数	占总属数
1 世界分布	7	18.42
2 泛热带分布	2	5.26
8 北温带分布	7	18.42
8-4 北温带和南温带间断分布	3	7.89
9 东亚和北美洲间断分布	1	2.63
10 旧世界温带分布	3	7.89
10-1 地中海区、西亚和东亚间断分布	1	2.63
10-3 欧亚和南部非洲间断分布	1	2.63
11 温带亚洲分布	1	2.63
12 地中海区、西亚至中亚分布	9	23.68
12-3 地中海区至温带—热带亚洲、大洋洲和南美洲间断分布	1	2.63
13 中亚分布	1	2.63
15 中国特有	1	2.63
合计	38	100.00

3.2.2 泛热带分布 包括普遍分布于东、西两半球热带,和在全世界热带范围内有一个或数个分布中心,但在其它地区也有一些种类分布的属。泛热带分布型在塔河中游河岸带植物中有 2 属,占塔河中游河岸带植物总属的 5.26%,但是属于 2 个变型的属则完全没有。这些比例都是比较低的,这是由于塔河地处新疆,远离热带和亚热带,许多泛热带成分在这里找不到生息地,只有那些生态幅广或者是由于历史原因在这一温带地区生存下来的属。河岸带植物中属于泛热带分布的属是:打碗花属(*Calystegia* R. Br, 1 种)、鹅绒藤属(*Cynanchum*, 2 种)。从以上每属含的种数可以看出,这些泛热带属在这一温带地区种系发育得并不好。

3.2.3 北温带分布及其变型 北温带分布区类型是指那些广泛分布于欧洲、亚洲和北美洲温带地区的属。由于地理和历史的原因,有些属沿山脉向南延伸到热带山区,甚至远达南温带,但其原始类型或分布中心仍在北温带。

这一类型下有 7 个变型,塔河中游河岸带植物只在北温带和南温带(全温带)间断 1 个变型中有分布。北温带分布有 7 属,占塔河中游河岸带植物总属的 18.42%。北温带和南温带(全温带)间断有 3 属,占塔河中游河岸带植物总属的 7.89%。北温带分布的有:杨属(*Populus* L., 1 种)、棘豆属(*Oxytropis*, 1 种)、胡颓子属(*Elaeagnus*, 1 种)、蓟属(*Cirsium*, 1 种)、蒲公英属(*Taraxacum*, 1 种)、拂子茅属(*Calamagrostis*, 2 种)、李属(*Prunus* L., 1 种)。北温带和南温带(全温带)间断有:盐角草属(1 种)、地肤属(*Kochia*, 1 种)、枸杞属(*Lycium*, 1 种)。

这一类型是塔河中游河岸带植物区系中的主要地理成分,在属和种的数量上都含有最高的比例,含有 10 属(11 种),占塔河中游河岸带植物非世界分布属数的 32.27%,在区系组成中起着极其重要的作用。新疆位于中国的西北部,所处的纬度偏北。因此,北温带的许多属在这里生长得很好,这一类型及变型在塔河中游河岸带植物区系中占据明显的优势是十分自然的。

3.2.4 东亚和北美洲间断分布 即间断分布于东亚和北美洲温带及亚热带地区。该类型表明东亚与北美区系之间关系密切,这些属现代分布中心往往偏于东亚和北美。塔河中游河岸带植物区系中属于这一类型的仅有 1 属,为短星菊属(*Brachyactis*, 1 种)植物。

3.2.5 旧世界温带分布及其变型 这一分布区类型是指广泛分布于欧洲、亚洲中—高纬度的温带和寒温带,或有个别种延伸到亚洲—非洲热带山地甚至澳大利亚的属。属于这一类型的典型分布有 3 属(5 种),占塔河中游河岸带植物非世界属的 9.68%,分别为怪柳属(*Tamarix*, 3 种)、水柏枝属(*Myricaria* Desv., 1 种)、旋覆花属(*Inula*, 1 种)。该类型有 2 个变型:地中海区、西亚和东亚间断分布有 1 属,为鸭葱属(*Scorzzone*, 1 种),为草本植物;欧亚和南部非洲间断分布 1 属,为莴苣属(*Lactuca* L., 1 种)。该类型占塔河中游河岸带植物非世界属的 16.13%,包含 14.29%的种。这一分布类型及变型在塔河中游河岸带植物区系中所占的比例仅次于北温带分布型和地中海区、西亚至中亚分布型。

3.2.6 温带亚洲分布 这一分布类型是指主要局限于亚洲温带地区的属。塔河中游河岸带植物有温带亚洲分布类型 1 属,为苦马豆属(*Sphaerophysa*),含 1 种植物。

3.2.7 地中海、西亚至中亚分布及其变型 这一分布类型是指分布于现代地中海周围,经过西亚或西南亚至前苏联中亚和我国新疆、青藏高原及蒙古高原一带的属。典型分布的有 9 属,占塔河中游河岸带植物非世界属的 29.03%,分别为花花柴属(*Karelinia* Less., 1 种)、盐豆木属(*Nalimodendron* Fisch. ex. DC, 1 种)、盐节木属(*Halocnemum* M. B., 1 种)、盐生草属(*Halogeton* C. A. M., 1 种)、盐穗木属(*Halostachys* C. A. M., 1 种)、盐爪爪属(*Kalidium*, 1 种)、骆驼刺属(*Alhagi*, 1 种)、獐毛属(*Aeluropus* Trin., 1 种)、白刺属(*Nitraria* L., 1 种)。

地中海、西亚至中亚分布型有 1 个变型,为地中海区至温带—热带亚洲、大洋洲和南美洲间断分布。该分布型在研究区有 1 属,为甘草属(*Glycyrrhiza*

L., 1 种)。占塔河中游河岸带植物总属数的 2.63%，占塔河中游河岸带植物非世界属数的 3.23%。这一分布区类型的属在塔河中游河岸带植物区系中占的比例最高，在塔河中游河岸带植物区系中起着十分重要的作用。

3.2.8 中亚分布及其变型 中亚分布型是指分布于中亚(特别是山地)而不见于西亚及地中海周围的属，约位于古地中海的东半部。在研究区典型分布的有 1 属，为白麻属(*Poa cynum*，2 种)。

3.2.9 中国特有分布 此类型塔河中游河岸带植物仅有 1 属，即河西菊属(*Hexinia*，1 种)。这一类型在塔河河岸带植物区系中所占比例是很低的。

#### 4 物种多样性分析

图 1 为河漫滩及距河 100~300 m 范围内不同生境梯度生物多样性指数的变化趋势。由图 1 可见，河漫滩无论单位面积内植物种类数还是植株密度和生物多样性指数均高于距河 100~300 m 区域。随离河距离增加，Simpson 多样性指数、McIntosh 均匀度指数、Margalef 丰富度指数呈现下降再上升的趋势，距河 200 m 处生物多样性指数最低。总的来说，从河漫滩至距河 300 m 处各项指数整体呈递减趋势，其中以河漫滩的物种多样性最为丰富。这主要是因为靠近河道属河水漫溢区，地下水位和土壤含水量相对较高，在时间和水量上都有效地满足了胡杨、怪柳等河岸林植物种子萌发和幼苗生长的水分需求，为群落更新创造了条件。同时受洪水冲击，飘落于水中或地表的植物种子随水传播也带来一些外来种。经调查发现，这些植物在离河 100~300 m 范围均未生长。距河 200 m 处主要着生建群种胡杨、怪柳及一些偶见种沙枣、铃铛刺，群落结构单一，物种多样性低。

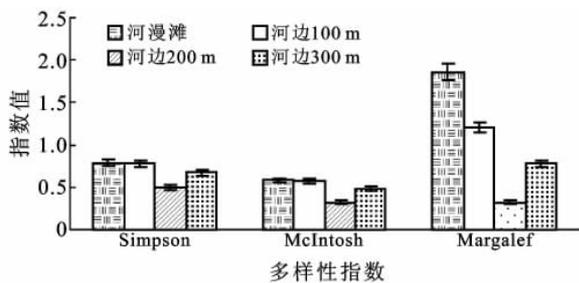


图 1 不同生境物种多样性指数

由图 2 可以看出，从胡杨青幼林、中幼林到成熟林，Simpson 多样性指数、McIntosh 均匀度指数、Margalef 丰富度指数总体呈现递减趋势，各项指数均以胡杨青幼林最大。经调查发现，以胡杨为建群种

的河岸林，胡杨青幼林多集中在距离河边较近或河水漫溢区，植株密度大，分布较均匀。为了保持幼苗的增长和存活，经常聚集在水分条件相对较好的区域生长，以增强植物对不良环境的抗性和竞争能力，从而保持种群的繁衍。中年龄林和成熟林离河较远，地下水水位下降，密度降低，多样性指数下降。

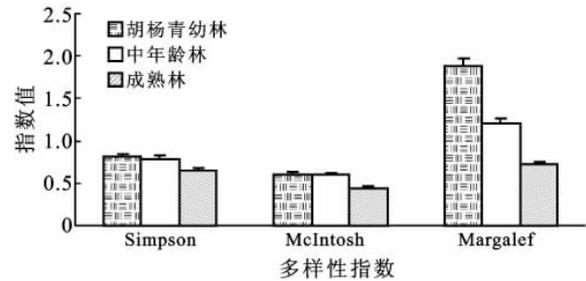


图 2 不同林龄物种多样性指数

综上所述，从不同生境及不同林龄的各多样性指数来看，水分条件是影响塔河中游河岸带物种多样性变化的主要因素。

#### 5 结论

(1) 单种科、单种属多，区系优势现象明显。塔河中游河岸带植物区系中单种科有 9 科，占总科数的 60%，所含种数仅占总种数的 12.24%；同时，植物区系的优势现象十分明显，3 种优势科，虽只占塔河中游河岸带植物区系总科数的 20%，但所含种数占总种数的 51.02%。造成这一现象的原因主要是由于该地区的地貌地形、气候条件所致。该地区属典型的大陆性干旱气候，降雨稀少，限制了植物的生长和分布。

(2) 植物区系表现强烈的旱生性和古老性。在塔河中游河岸带植物区系中以各种旱生和超旱生的灌木、小灌木占优势，藜科(尤其是猪毛菜属)、怪柳科、蒺藜科和蓼科特别发达。

(3) 植物区系主要以温带为主。通过植物属的地理成分分析，除去世界分布属，温带分布属占总属数的 32.27%，表明该地区植被分布符合该地区地带性特点。

(4) 特有种比例低，珍稀濒危保护植物种类较少。根据调查，塔河中游河岸带分布的特有种子植物只有 1 种，占全疆特有种总数的 0.9%。该地区还有珍稀濒危保护种胡杨，为国家珍稀濒危保护种。

(5) 河漫滩及距河 100~300 m 范围内不同生境梯度 Simpson 多样性指数、McIntosh 均匀度指数、Margalef 丰富度指数整体呈递减趋势，其中以河漫滩的物种多样性最为丰富。从胡杨青幼林、中幼林到成熟林，Simpson 多样性指数、McIntosh 均匀度指

数、Margalef 丰富度指数总体呈递减趋势,各项指数均以胡杨青幼林最大。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 彭华.滇中南无量山地区的种子植物[M].昆明:云南科技出版社,1998:1-170.
- [2] 吴征镒.中国种子植物属的分布区类型[J].云南植物研究,1991(S):1-139.
- [3] 邓红兵,王青春,代力民,等.长白山北坡河岸带群落植物区系分析[J].应用生态学报,2003,14(9):1405-1410.
- [4] Chen Y N, Zhang X L, Zhu X M, et al. Analysis on the ecological benefits of the stream water conveyance to the dried-up river of the lower reaches of Tarim River, China[J]. *Sci. China: Earth Sci.*; 2004,47(11):1053-1064.
- [5] 阮晓,王强,陈亚宁.塔里木河流域荒漠河岸植物对应急输水的生理响应[J].生态学报,2005,25(8):1966-1973.
- [6] Dmitry A G, Alexander I S, Zhang X C, et al. Some new floristic finding in Xinjiang, China[J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2006,44(5):598-603.
- [7] 中国科学院兰州沙漠研究所.中国沙漠植物志(第1—3卷)[M].北京:科学出版社,1985-1992.
- [8] 赵新风,朱艳芬,徐海量,等.塔里木河下游21种荒漠植物繁殖体形态特征及对环境的适应[J].西北植物学报,2009,29(2):283-290.
- [9] 刘加珍,陈亚宁,张元明.塔里木河中游植物种群在四种环境梯度上的生态位特征[J].应用生态学报,2004,15(4):549-555.
- [10] 刘宏霞,陈亚宁,李卫红,等.塔里木河中游天然植物群落结构与数量特征分析[J].干旱区地理,2008,38(1):109-116.
- [11] 沙代提·木沙,玉米提·哈力克,托乎提·艾合买提,等.塔里木河下游生态输水过程中荒漠河岸林活力恢复监测[J].生态环境学报,2009,18(5):1898-1902.
- [12] 赵锐锋,周华荣,钱亦兵,等.塔里木河中下游湿地及周边植物群落与环境因子的关系初探[J].应用生态学报,2006,17(6):955-960.
- [13] 刘加珍,陈亚宁,陈永金.塔里木河中游不同水文条件下维管束植物物种多样性研究[J].安全与环境学报,2007,7(6):68-73.
- [14] 周洪华,陈亚宁,李卫红.绿洲—荒漠带植物物种多样性特征对水资源的响应[J].自然科学进展,2008,18(7):789-794.
- [15] 张剑云,陈水红,魏萍.塔里木河流域4种野生豆科植物种子耐盐性研究[J].草业科学,2009,26(6):116-120.
- [16] Li X W. Floristic statistics and analyses of seed plants from China [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1996, 18(4):363-384.
- [17] Wu Z Y. The areal-types of the world families of seed plants[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003,25(3):245-257.
- [18] Wu Z Y. The revised edition of "the areal-types of the world families of seed plants" [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003,25(5):535-538.
- [19] Wu Z Y. The areal-types of the world genera of seed plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica*,1999,21(S IV):1-139.
- [20] Ma K P. Measurement of biotic community diversity: I. A diversity(Part. 1) [J]. *Biodiversity Science*, 1994, 2(3):162-168.
- [21] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity: I. a diversity (Part. 2) [J]. *Biodiversity Science*, 1994,2(4):231-239.