

山西大学
硕士学位论文
山西桑干河流域湿地植被数量生态学研究
姓名：刘丽艳
申请学位级别：硕士
专业：环境科学
指导教师：张峰
20040601

摘 要

桑干河是山西省的第二大河流,属海河水系—永定河的干流之一。由于地貌和生态环境的类型复杂多样,在桑干河流域孕育了丰富多样的湿地类型。

本文以山西桑干河流域湿地植被为研究对象,对湿地植被的区系多样性、植物群落的种间关系、植物群落与环境的生态关系以及湿地的退化和恢复等进行了研究。

在湿地植被的区系组成中,共有维管植物 101 种,隶属于 31 科 77 属。由于湿地特殊的生态环境,区系成分中以湿生、水生和中生植物占优势。在各类植物区系地理成分中,北温带分布属(29 属)具有明显优势,说明该地区湿地植物区系具有明显的温带特征。温带亚洲分布种(30 种)在区系组成中占有显著优势(占总种数的 30%),表明桑干河流域湿地植物区系的温带特性。

采用 χ^2 检验、Pearson 积矩相关系数和 Spearman 秩相关系数等方法对湿地植物群落的种间关系研究,结果表明:36 个建群种群和优势种群构成的 630 个种对(其中主要是草本植物),其中极显著关联的种对数分别为 49、88、71,显著关联的种对数分别是 31、9、7。种对间的正关联或正相关,主要是由于它们具有相近的生物学特性、对生境具有相似的生态适应性和相互分离的生态位所致。种对间负关联或负相关,则是由于它们具有不同的生物学特性、对生境具有不同的生态适应性和相互重叠的生态位所致。

应用 TWINSpan 和 DCA 相结合的方法对湿地植被的生态关系进行研究, TWINSpan 的结果将湿地植被分为 19 个群丛。DCA 排序第一轴反映了土壤水分梯度,从左到右土壤含水量在不断下降;第二轴反映了海拔梯度,从下到上海拔高度在不断升高。由此可见, DCA 排序的结果更进一步说明了 TWINSpan 分类结果的可靠性,科学性。

受自然和人为因素的影响,桑干河流域湿地面临着严重的威胁,为了实现湿地资源的可持续发展和利用,讨论了对受损湿地进行恢复与重建的科学方法,提出了桑干河湿地的管理和保护对策。

关键词: 湿地植被; 区系分析; 优势种群的种间关系; 群落的分类排序; 湿地的恢复与重建; 桑干河; 山西

Summary

Sanggan River is the second largest river in Shanxi, which belongs to Haihe water system i.e. one of the trunk streams of Yongding River. Because of complex physiognomies and ecological environments, various kinds of wetland develop in Sanggan River valley.

Wetland vegetations in the Sanggan River valley, including the floristic diversity of wetland vegetation, the interspecific relationship of plant communities, the relationships between plant communities and environments were studied, respectively.

There are 101 species of vascular plants in the vegetations, which belong to 77 generas and 31 families. The hygrophyte, the hydrophyte and the mesophyte play an important role in the floristic elements. North Temperate type (29 generas) is account for dominant position in the floristic geographical elements of genera. Moreover, the temperate Asia species (30 species) dominate in the floristic geographical elements of species. It means the wetland vegetation has obvious temperate character.

The interspecific association and correlation of 36 dominant species of the wetland vegetation were analyzed by using χ^2 -test, Pearson's coefficient and Spearman's coefficient. The results shown that those dominant populations composed 630 species-pairs; among the 36 species were herbs, and the higher significant association's or correlation of species-pairs were 49, 88, 71, respectively, moreover, the significant association's or correlation of species-pairs were 31, 9, 7, respectively. Why those species-pairs shown positive association or correlation was that they had the similar biological characters and the similar eco-adaptive and segeration niche. Why the species pairs shown negative association or correlation was that they had different ecological characters, different adaption and overlapping niche.

The ecological relationship between vegetation and environment was analyzed by using TWINSpan and DCA.19 Associations were produced by TWINSpan. The first axis of DCA indicated the water gradient of soil while the second axis reflected the altitude gradient. The moisture of soil descend from left to right, while the altitude ascend from down to up.

Owing to both natural and human activity disturbance, the wetland in Sanggan River valley is facing severe threaten. For pertecting the wetland resources and realizing sustainable development in the valley, we not only manage to pertecte the wetland, but also restorate and reconstructe the damaged wetland. Finally, the scientific strategies for restoration and reconstructe of the dameged wetland were discussed.

Key words : wetland vegetation ; floristic analysis ; interspecific relationship ; classification and ordination ; Sanggan River ; Shanxi

第1章 引言

1.1 目的和意义

湿地是分布于陆地生态系统与水生生态系统之间的过渡性生态系统。按照《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》^[1]（亦称《拉姆萨尔公约》）的定义，湿地系指天然或人工、长久或暂时的沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带（潜水湖泊、河流、泛洪区等），包括静止或流动的淡水、半咸水或咸水水体，以及海洋和低潮时水深不超过 6m 的浅海水域；同时还包括邻接湿地的河湖沿岸、沿海区域以及位于湿地范围内的岛屿或低潮时水深不超过 6m 的海水水体。因此，湿地科学属于陆地生态学与水生生态学的交叉学科。

湿地具有巨大的资源潜力、环境调节功能、广泛的生态功能、环境效益和生态效益，对人类和自然界的价值主要表现在调节气候、涵养水源、蓄洪防旱、洪水控制、防风固堤、控制土壤侵蚀、促淤造陆、净化环境维持生物多样性和生态平衡等，被人们誉为“自然之肾”或“地球之肾”。湿地是重要的自然资源，也是野生动植物，尤其是鸟类的重要栖息地。湿地还具有能源、动力、生态环境教育和自然保护教育等社会功能。由于湿地兼有水生、陆生生态系统的特点，这种特殊的水文条件决定了湿地生态系统易受自然及人为活动的干扰，生态极易受破坏，且受损湿地难以得到恢复。

研究表明^[2~4]对湿地有重要影响的环境因子包括气候、土壤、植被、土地利用等。湿地植被作为湿地的重要组成部分，是湿地生态系统的关键属性之一。湿地植被的结构、功能和生态特性综合反映湿地生态环境的基本特点和功能特性。因此，对湿地植被的研究具有十分重要的科学意义和社会经济价值。

自 1992 年我国加入《拉姆萨尔公约》以来，对湿地的研究已广泛开展并日益受到重视，有关湿地的研究已有陆续报道^[5,6]丰富了我国湿地研究的内容。山西省作为高原性内陆省份，河流是湿地资源的主要类型，因此对河流湿地的研究十分重要。

桑干河是山西省的第二大河流，是海河水系永定河的重要干流之一，目前对桑干河的研究主要集中在水文和地质等方面^[7,8]。因此，以桑干河湿地植被作为研究对象，运用数量生态学的方法研究植物区系多样性、种间关系、群落分类与排序等，从而进一步分析湿地植被、生物多样性与环境的生态关系，揭示湿地植被的结构、功能，为河流湿地生态系统的恢复、管理、保护和可持续利用提供科学依据。

1.2 桑干河流域的自然地理概况

地理概况：桑干河属海河流域的永定河水系，发源于管涔山庙儿沟—恢河和右玉高家堡—源子河。源子河和恢河在朔州市朔城区马邑汇合为桑干河，流经朔城区、山阴县、应县、怀仁县、在怀仁县古家坡附近进入大同市，在阳高县鳌石乡南徐流入河北。主要支流有恢河、

源子河、黄水河、浑河、御河等。桑干河的流域面积为 17142km^2 ，年径流量为 $6.66 \times 10^8\text{m}^3$ ，全长 250km ，河流平均宽度约为 30m 。区域经济以农业为主，主要农作物有春麦 (*Triticum aestivum*)、玉米 (*Zea mays*)、莜麦 (*Avena nuda*)、胡麻 (*Sesamum indicum*)、甜菜 (*Beta vulgaris*) 等。

气候特点：桑干河流域地处内陆高原，属北温带较干燥的大陆性气候，干旱寒冷、温差较大。年平均气温 $7^\circ\text{C} \sim 9^\circ\text{C}$ ，一月平均气温 $-12^\circ\text{C} \sim -10^\circ\text{C}$ ，七月平均气温 $22^\circ\text{C} \sim 26^\circ\text{C}$ ，极端最高温为 $35^\circ\text{C} \sim 37^\circ\text{C}$ ，极端最低温为 $-32^\circ\text{C} \sim -27^\circ\text{C}$ ， $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $3000^\circ\text{C} \sim 3500^\circ\text{C}$ 。平均年日照时数 $2800\text{h} \sim 2900\text{h}$ 。年平均降水量为 $350\text{mm} \sim 430\text{mm}$ 。年平均相对湿度为 $52\% \sim 56\%$ ，无霜期为 $140\text{d} \sim 160\text{d}$ 左右。

土壤类型：桑干河流域湿地土壤主要有褐土、灰褐土、栗钙土、草甸土、盐渍土和沼泽土等。

植被类型：桑干河流域按植被区划可分为两部分，1) 宁武县城以南属于暖温带落叶阔叶林区，2) 宁武县城以北属于温带草原区。植被类型主要有：1) 木本湿地，包括怪柳 (*Tamarix chienensis*) 群落、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 群落。2) 草本湿地：①高草湿地，包括芦苇 (*Phragmites communis*) 群落、香蒲 (*Typha* spp.) 群落、蘆草 (*Scirpus* spp.) 群落、泽泻 (*Alisma orietalecsam*) 群落、慈姑 (*Sagittaria sagittifolia*) 群落、水蓼 (*Polygonum hydropiper*) 群落、稗 (*Echinochloa colonum*) 群落、水莎草 (*Juncellus serotinus*) 群落等，②低草湿地，包括委陵菜 (*Potentilla* spp.) 群落、苔草 (*Carex* spp.) 群落，③浮叶型湿地，包括眼子菜 (*Potamogeton* spp.) 群落、杉叶藻 (*Hippuris vulgaris*) 群落、④沉水型湿地：包括轮藻 (*Chara* spp.) 群落、狐尾藻湿地，⑤杂草类湿地，⑥盐沼湿地等。

湿地类型：桑干河湿地主要有河流湿地、湖泊湿地、水库湿地、沼泽和草甸湿地等。

1.3 研究进展

1.3.1 湿地研究进展

我国对湿地的认识，在古代就有所记载或论及^[9]，但对于现代湿地的研究则始于 20 世纪 50 年代。从那时起，东北师范大学和中国科学院长春地理研究所，相继建立了沼泽机构，对全国的湿地开展科学研究，完成了全国大部分地区的沼泽、泥炭资源、芦苇资源等考察，在沼泽类型、成因、分布、发展、演替规律和古沼泽、古环境等方面发表了一系列论文与著作，包括《若尔盖高原沼泽》^[9]、《三江平原沼泽》、《泥炭地学》、《中国沼泽》、《泥炭的鉴别与利用》、《中国沼泽研究》、《中国湿地研究》、《中国湿地研究与保护》等。为《中国自然地理》、《中国植被》、《中国自然保护纲要》、《中国生物多样性国情报告》^[10]等撰写了有关沼泽、湿地等内容，填补了我国湿地研究的空白。

1994 年 12 月由林业部主持协调各部委，在湖南省岳阳召开了全国首届“中国湿地研讨会”，推动了我国湿地保护与科研工作的发展。林业部（现国家林业局）组织有关部门，包括

国家科委、国家教委、农业部、水利部、交通部、建设部、国家环境保护总局、国家海洋局、中国石油总公司、轻工总会、中国科学院有关研究所、有关高等院校等单位联合制定了“中国湿地保护行动计划”，这对于我国的湿地保护、生物多样性保护、湿地资源合理利用与持续发展及湿地理论研究等深入发展将起着重要作用^[11-14]。

湿地植物区系在物种多样性的水平上反映了植物种类及其变异程度和进化水平的多样性、与不同生境相适应的生活型变化的多样性、植被类型的多样性等方面，体现了植物区系的复杂程度，是植物长期发展、演化及对变化的环境长期适应的结果。我国植物区系地理的研究近年来在关键地区和薄弱地区的植物区系研究取得和大进展，这方面研究主要集中在陆地种子植物的区系分析，对湿地种子植物的区系分析比较薄弱，有关湿地植被的区系研究的报导较少^[15]。

1.3.2 植被数量生态学研究进展

1.3.2.1 分类与排序研究进展

20 世纪 30 年代 Rmensky 提出了排序的概念并发展了一种简单的排序方法，到 50 年代以后，排序方法纷纷涌现，如加权平均法、直接梯度分析、极点排序、主分量分析、相互平均(RA)等已广泛应用于植被生态学研究。1980 年 Hill 和 Gauch 提出除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)，它是由 RA 修改而成的，克服了 RA 所具有的“弓形效应”，提高了排序精度。DCA 可与回归分析、相关分析结合应用，它能使排序结果解释更为容易，使得 DCA 成为现代植被生态学研究不可缺少的分析工具。典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)、除趋势典范对应分析(Detrended Canonical Correspondence Analysis, DCCA)、模糊数学排序(Fuzzy Set Ordination, FSO)等的相继出现，促进了数量生态学的进一步发展。

数量分类最初广泛应用的是单元等级分类法。随着计算机技术的迅速发展，新的多元分析方法不断产生，如最近邻体法、形心法、组平均法等，其中组平均法被认为是最满意的方法之一。1975 年 Hill 等^[16]引入指示种分析法，并在应用中不断完善形成双向指示种分析方法(Two-Way Indicator Species Analysis, TWINSpan)。TWINSpan 能同时实现样方和种的分类，结果更符合植被分布的自然规律，成为当今最常用的数量分类方法。

1.3.2.2 种间关系研究进展

种间联结或称种间联结性是不同物种在空间分布上的相互关联性^[17-19]。Fisher 和 Yates (1943) 提出了判断两个种群在空间分布上的关联性的方法— χ^2 检验。Greig-Smith (1964) 建议在期望值小于 5 时，进行 Yate 校正。Schluter (1984) 使用零关联模型导出方差比率 (VR) 来同时检验关联的显著性。种对间关联程度的测定方法包括点相关系数、联结系数、Ochiai 指数、Dice 指数、Jaccard 指数等。国内学者纷纷采用不同的研究方法，针对不同植被类型，主要有亚热带常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林和针阔叶混交林等^[20-26]，从不同的研究角度对种间联结或相关性进行了深入研究，但对于采用数量数据研究种间关系，以及关于种间相互关

系的机制探讨较少。近几年随着数量生态学理论的不完善,种间关系的研究也有很大突破,主要集中在森林群落种间关系的数量分析^[27-29]。

1.3.3 关于湿地退化的研究进展

在人类历史的长河中,湿地生态系统的用途持续拓宽,利用的强度也不断增强,湿地生态系统成为全球最受威胁的生态系统之一。关于湿地生态系统退化的研究主要集中于湿地面积的急剧减少、湿地水文条件改变、湿地水质改变和湿地物种多样性减少等方面^[30]。湿地退化的原因主要包括:1)自然因素:自然淤积、外来植物、鱼类和鸟类的侵入等;2)人为因素:城市化、工业化、地下水过度提取、沼泽地排水、土地开荒、废物排放等^[31-32]。

近十年来,我国退化湿地生态系统恢复和重建的研究主要包括:湿地自然保护区建立和建设、湿地生物多样性保护、湿地生态治理和污染控制,建立湿地示范区、进行湿地生态工程建设、湿地生态恢复和管理技术等。在南海沿海的红树林保护、三峡库区湿地、珠江三角洲湿地、洞庭湖湿地、三江平原湿地、两河源头湿地等重要湿地的开发、利用和保护方面的研究都取得了举世瞩目的成绩。

第2章 桑干河流域湿地植被的区系多样性研究

植物区系 (flora) 是一定区域内所有植物种类的总称, 是植物界在一定自然环境, 特别是自然历史环境中发展演化的结果。植物区系地理学 (Floristic Geography) 就是研究地球或一定区域所有植物种, 或较高级分类单位科、属的组成, 现代和过去的分布状况及规律, 进一步联系自然环境历史, 研究植物区系的形成, 起源和演化历史^[33]。

根据李锡文关于中国种子植物区系统计分析^[34]和王荷生等关于华北地区种子植物区系的研究方法^[33], 对桑干河流域湿地种子植物区系进行研究, 为桑干河湿地生态系统的利用、改造和保护提供科学依据, 为退化湿地生态系统的恢复提供理论参考。

2.1 植物区系的基本组成

经调查和资料统计, 桑干河湿地共有植物有 31 科 77 属 101 种, 其中被子植物, 其中双子叶植物 24 科 53 属 72 种, 单子叶植物 6 科 23 属 28 种。此外, 还有蕨类植物 1 科 1 属 1 种。桑干河植物区系组成中各科含属数差异悬殊, 含 5 属以上的科有 3 个, 占总科数的 9.7%, 属数 31 个, 占总属数的 40.3%, 在植物区系的组成中占重要位置, 有莎草科 (5)、禾本科 (13)、菊科 (13)。含 5 属以下的科有 28 个, 占总科数的 90.3%, 共有属数 46 个, 占总属数的 59.7%, 在植物区系组成中占次要位置 (表 2.1)

表 2.1 桑干河湿地植物科内属的组成

Table 2.1 The composition of genera within the families of Wetland plants in Sanggan River valley, Shanxi

科内含属数	科数	占总科数%	属数	占总属数%
No.of genera	No.of	% in total	No.of	% in total
within families	families	families	generas	generas
含 10 属以上	2	6.4	26	33.8
含 5—9 属	1	3.2	5	6.5
含 2—4 属	10	32.3	28	36.3
含 1 属	18	58.1	18	23.4
合计	31	100	77	100

科内种的组成见表 2.2。含 5 种以上的科有禾本科 (14), 菊科 (20), 莎草科 (7), 蔷薇科 (6), 蓼科 (6) 等 5 科, 仅占总科数的 16.13%, 而种数则高达 53 种, 占总种数的 52.5%, 在山西湿地植物区系中起主导作用。含种数在 5 以下的共有 26 科, 占总科数的 83.87%, 而种数只占总种数的 47.5%, 在桑干河湿地植物区系中为从属地位。

表 2.2 桑干河湿地植物科内种的组成

Table 2.2 The composition of species in family of Wetland plants in Sanggan River valley, Shanxi

科内含种数	科数	占总科数的%	种数	占总种数的%
No.of species in the families	No. of families	% in the total families	No.of species	% in the total species
含 10 种以上	2	6.5	34	33.7
含 5—9 种	3	9.7	19	18.8
含 2—4 种	13	41.9	35	34.6
含 1 种	13	41.9	13	12.9
合计	31	100	101	100

属内种的组成见表 2.3, 含种数在 5 种以上的属有蒿属 (*Artemisia*) 1 个, 含种数在 2 以上的属有 12 个, 占总属数的 15.58%, 共有 32 种, 占总种数的 31.68%。其中含 2 种以上的属有藨草属 (*Scirpus*)、委陵菜属 (*Potentilla*)、车前属 (*Plantago*)、香蒲属 (*Typha*)、蓼属 (*Polygonum*)、藜属 (*Chenopodium*)、稗属 (*Echinochloa*)、旋覆花属 (*Inula*)、苦苣菜属 (*Ixeris*)、蓟属 (*Cirsium*)、风毛菊属 (*Saussurea*) 和老鹳草属 (*Geranium*) 等。其余 64 个属, 占总属数的 83.12%, 共有 64 种, 占总种数的 63.37%。

表 2.3 桑干河湿地植物属内种的组成

Table 2.3 The composition of species in genera of Wetland plants in Sanggan River valley, Shanxi

属内含种属数	属数	占总属数%	种数	占总种数%
No.of species in genera	No.of genera	% in the total genera	No.of species	% in the total species
5 种以上	1	1.30	5	4.95
2—4 种	12	15.58	32	31.68
1 种	64	83.12	64	63.37
合计	77	100	101	100

2.2 植物属区系成分的统计分析

根据吴征镒教授关于中国种子植物属的分布区类型的划分^[35], 桑干河湿地植物区系分为 15 种分布区类型和 12 个变型, 分别阐述如下 (表 2.4):

2.2.1 世界分布

在桑干河湿地共有 26 属, 该类型以草本植物为主, 湿生的有蓼属、藜属等; 水生或沼生的有眼子菜属 (*Potamogeton*)、浮萍属 (*Lemna*)、苔草属 (*Carex*)、藨草属、莎草属 (*Cyperus*)、芦苇属 (*Phragmites*)、香蒲属等; 中生的有黄芩属 (*Scutellaria*)、补血草属 (*limonium*)、龙胆属 (*Gentiana*)、早熟禾 (*Poa*)、毛茛 (*Ranunculus*)、堇菜 (*Viola*) 等。芦苇、苔草、水莎草 (*Juncellus*) 等是隐域植被—草甸的建群成分或优势成分。

表 2.4 桑干河湿地植物属、种的分布区类型

Table 2.4 The areal- types of generas and species of Wetland plants in Sanggan River valley, Shanxi

分布区类型 Areal-Types	属数 No.of genera	占总属数的数% % in total genera	种数 No.of species	占总种数的数% % in total species
1.世界分布 Cosmopolitan	27	35.06	9	8.91
2.泛热带分布 Pantropic	2	2.60	-	-
3.热带亚洲至热带美洲间断分布 Trop.Asia & Trop.Amer.Disjuncted	-	-	-	-
4.旧世界分布 Old World Tropics	-	-	-	-
5.热带亚洲至热带澳洲分布 Trop. Asia & Trop. Australasia	1	1.30	1	0.99
6.热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia & Trop. Africa	1	1.30	-	-
7.热带亚洲分布 Trop. Asia	1	1.30	4	3.96
8.北温带分布 North Temperate	29	37.66	14	13.86
9.东亚至北美间断分布 E. Asia & Amer. Disjuncted	1	1.30	-	-
10.旧世界温带分布 Old World Temperate	10	12.98	10	9.90
11.温带亚洲分布 Temp. Asia	1	1.30	30	29.70
12.地中海、西亚至中亚分布 Mediterranean ,W. Asia & C. Asia	1	1.30	-	-
13.中亚分布 Central Asia	2	2.60	-	-
14.东亚分布 East Asia	1	1.30	16	15.84
15.中国特有 Endemic to China	-	-	17	16.83
合 计 Ttal	77	100	101	100

2.2.2 热带分布

泛热带分布仅有狗尾草 (*Setaria*)和虎尾草(*Chloris*)等 2 属, 分布于桑干河河漫滩为农田杂草, 不属于典型的热带属,。

其余热带分布类型(3—7)共有 3 属, 在桑干河常见的热带亚洲至热带大洋州分布的莠花(*Wikstroemia*) 属, 热带亚洲至热带非洲分布的苎草(*Arthraxon*) 属, 热带亚洲分布的苦蕒菜, 这表明它们在桑干河湿地植物区系组成中不具有重要意义。

2.2.3 温带分布

北温带分布是温带分布中最为丰富的一类, 共有 27 属, 占总属数的 35.06%, 在桑干河湿地植物区系中占主导地位。木本仅有柳属(*salix*); 以草本属为主, 常见的有委陵菜、蒿、蒲公英(*Taraxacum*)、拂子茅(*Calamagrostis*)、稗、风毛菊、棘豆 (*Oxytropis*) 等属。草本植物中含有较多的草原成分如冰草(*Agropyron*)、蒿等属, 这表明桑干河流域部分湿地已开始退

化。

东亚和北美洲间断分布在桑干河湿地植物区系中仅有胡枝子(*Lespedeza*)1属。

旧世界温带分布,本类型在桑干河湿地有10属,它们分别是旋覆花、苜蓿(*Medicago*)、隐子草(*Cleistogenes*)、怪柳(*Tamarix*)、鹅观草(*Roegneria*)、沙棘(*Hippophae*)、百里香(*Thymus*)、瑞香(*Daphne*)、香薷(*Elsholtzia*)等。其中沙棘和怪柳分别是灌丛的建群种和优势种,而百里香分布于河床较高生境干燥处,是生境比较干旱的指示植物之一。温带亚洲分布的仅有假繁缕(*Pseudostellaria*)1属;地中海、西亚至中亚分布的也只有疗齿草(*Odontites*)1属;中亚分布的有沙蓬属(*Agriophyllum*)和角蒿属(*Incarvillea*),其中沙蓬为中亚比较古老的荒漠植物区系成分,而角蒿为中亚至喜马拉雅分布的成分;东亚分布的仅有狗娃花(*Heteropappus*)1属。

2.3 植物种的区系成分分析

按照王荷生等^[33]关于华北地区种子植物种的区系地理成分的划分方法,桑干河湿地植物可以分为8个分布区类型(表2.4)

2.3.1 世界分布

桑干河流域湿地仅有9种,皆为草本,其中芦苇(*Phragmites australis*)和蘆草(*Scirpus trigueter*)是全世界广泛分布的隐域植被—沼泽和草甸的建群种,在桑干河流域湿地广泛分布,如大同赵家窑水库上游的芦苇沼泽、天镇南洋河的蘆草沼泽以及广灵等地均有分布。蒺藜(*Polygonum aviculare*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)等多为农田杂草。

2.3.2 热带分布

各种热带分布仅有5种,占总种数的4.95%,皆为草本植物,在桑干河湿地植物区系和植被组成中不具有重要意义。它们是热带亚洲至热带大洋州分布的茜草(*Rubia cordifolia*)和热带亚洲分布的香蒲(*Typha angustifolia*)、水苦苣(*Veronica undulate*)、鼠曲草(*Gnaphalium trantzschelii*)、香薷(*Elsholtzia ciliate*)。其中香蒲与水苦苣对生境的水分要求较高,分布于有积水的生境中,如河流边,水库岸边等。

2.3.3 温带分布

北温带分布有14种,皆为草本植物,其中鹅绒委陵菜(*Potentilla anserine*)、蓬子菜(*Galium verum*)等在草甸中较为常见,分布于河漫滩,在季节性河流的石砾性河岸、沙地等处也较为常见;而黄花蒿(*Artemisia annua*)、早熟禾(*Poa annua*)是草原的建群成分或优势成分,生长在较为干旱的生境中。慈菇(*Sagittaria sinensis*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)、狭叶香蒲(*Typha angustifolia*)等是湿地植被的主要建群种或优势种,在积水较深的地方有浮萍(*lemna minor*)、狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)等植物分布。旧世界温带分布的共有10种,灌木仅沙棘(*Hippophae rhamnoides*)1种,以沙棘为建群种形成的灌丛在桑干河上游的河漫滩广泛分布,为优势植被类型之一。草本植物中常见的有野苜蓿(*Medicago falcate*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等,分布于远离河流、水库、池塘等土壤水分含量较低的生

境中。

温带亚洲分布有 30 种, 以草本植物为主。常见的有隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、毛茛(*Ranunculus japonicus*)、阿尔太狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、并头黄芩(*Scutellaria scordifolia*)、砂珍棘豆(*Oxytropis psammocharis*)、鳞叶龙胆(*Gentiana squarrosa*)、抱茎苦荬菜(*Ixeris sonchifolia*)、老鹳草(*Geranium wilfordii*)等, 它们多为草本层或草本群落的优势种或建群种。此外, 泽泻(*Alisma orietale*)、车前(*Plantago asiatica*)是典型的湿生植物, 是湿地植被的建群种。

2.3.4 东亚分布

东亚分布及其变型共有 16 种, 其中中国—喜马拉雅分布仅有委陵菜(*Potentilla chinensis*)、苦菜(*Ixeris chinensis*)、牛毛毡(*Eleocharis yokoscensis*)、眼子菜(*Potamogeton distinctus*)、假繁缕(*Pseudostellaria maximowicziana*)、山柳(*Salix phylicifolia*)等 6 种, 其中委陵菜、苦菜、牛毛毡和假繁缕分布于河漫滩等, 眼子菜分布于水库、湖泊常年积水处。中国—日本分布及其变型有 10 种, 达乌里胡枝子为草原的优势种或建群种, 在积水较深的区域还广泛分布有杉叶藻(*Hippuris vulgaris*)、荆三棱(*Sirpus yagara*), 其它常见的有风毛菊(*Saussurea japonica*)、小蓟(*Cirsium setosum*)、唐松草(*Thalictrum minus*)、马先蒿(*Pedicularis Resupinata*)、翻白草(*Potentilla discolor*)等。

2.3.5 中国特有分布

中国特有分布有 17 种, 占总种数的 16.83%。按照它们的地理分布, 可分为 6 个变型。东北—华北亚型共有 4 种, 其中水稗子(*Echinochloa crusgalli*)是湿地植被的建群种, 其余分别为虎尾草(*Chloris virgata*)、鹅观草(*Roegneria kamoji*)和野燕麦(*Avena fatua*)为草本植物群落的优势成分。华北特有的有芹叶铁线莲(*Clematis aethusifolia*)和獐牙菜(*Swertia diluta*)2 种。

西北—华北—东北亚型共有 9 种, 代表性的灌木有怪柳(*Tamarix chinensis*), 在季节性流水的河道边生长比较繁茂, 而在季节性断流的河岸边长势较差, 主要是水分供应不足所致。其它常见的草本植物有冰草(*Agropyron cristatum*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、并头黄芩、秦艽(*Gentiana macrophylla*)等, 它们皆为草本群落或草本层的优势种。其它亚型有西南—西北—华北的黄瑞香(*Daphne odora*)和西南—江南—华北的河蒴蒾花(*Wikstroemia chamaedaphne*)等, 仅在局部地段出现。

2.4 植物区系的特征

2.4.1 桑干河湿地维管束植物物种较贫乏

桑干河流域湿地仅有 101 种, 隶属于 31 科, 77 属, 其中有蕨类植物 1 科 1 属 1 种; 种子植物 28 科 74 属 98 种。以禾本科、菊科、和莎草科等植物种类较多。这一点进一步表明了我国湿地植被群落组成和结构相对纯的特点。

2.4.2 温带成分占优势地位，世界分布成分多为优势种或建群种

桑干河湿地植物中温带分布区类型含属数较多，世界分布含属数次之。在整个区系中，温带分布属占主要地位，也是植物群落类型的主要建群种或优势种，如委陵菜、蒲公英、蒿属、稗草等属，这充分表明桑干河湿地具有典型的温带性质。此外，许多群落的建群成分为世界分布属，如莎草群落、苔草群落、芦苇群落、香蒲群落、和眼子菜群落等群落类型。

2.4.3 草本植物丰富

桑干河湿地植物区系主要由草本植物组成，占到95%以上，处于居绝对优势。乔木几乎没有，灌木只有少数属，如柳属、沙棘属和桤柳属等。草本植物种类较多的科有禾本科 13 属 14 种，菊科 13 属 20 种，莎草科 5 属 7 种，藜科 4 属 6 种等。草本植物常见的有水莎草、苔草、水葱、蔗草、鹅绒委陵菜、香蒲、泽泻、慈菇、狐尾藻、杉叶藻、眼子菜、芦苇等。

2.4.4 特有属、种匮乏

特有属、种能较好反映所在地域植物区系在起源方面的特征。桑干河湿地植物种类的多样性丰富，但缺乏特有属、种，这表明桑干河湿地植物区系的特征不明显。

2.4.5 分布区类型的多样性

桑干河湿地植物属的分布区含有 12 个分布区类型，其中北温带分布型及其变型占首位，植物区系同全国及世界其它植物区系有着广泛和不同程度的联系。

2.4.6 区系成分中有若干旱生和旱中生成分存在

湿地是比较特殊的生境，生长着的物种大多对水分要求较高，发育着典型的湿地植被，但桑干河湿地植物区系组成中却有许多旱生和旱中生植物，这主要原因是由于近年连续干旱，使河流断流时间明显延长，河流两岸土壤含水量明显降低，生境的干旱化趋势明显，导致旱生和旱中生植物逐渐增加。

第3章 桑干河流域湿地植被种间关系研究

种间关系是植物群落重要的数量和结构特征之一,研究种间联结和相关有利于深入了解群落结构、功能、生境类型和群落演替趋势,有利于正确认识群落中各种群与环境因子和其他种群的相互作用。测定种间联结和种间相关能揭示植物种在空间上共同出现或结合的程度,说明植物种是独立分布,还是存在相互吸引或排斥的关系^[36]。

在样方调查的基础上,采用 χ^2 检验、Pearson 积矩相关系数和 Spearman 秩相关系数,研究了桑干河湿地植物群落的种间关系,对种间相关的测定结果进行了生态分析,探讨了 χ^2 检验、Pearson 积矩相关系数和 Spearman 秩相关系数的生态学意义。此外,还分析了种间关联、种间关系和环境因子的关系。

3.1 研究方法

3.1.1. 取样方法

分别于1996年7~8月和2003年7~8月,9~10月,对桑干河流域湿地植被进行了调查,从桑干河源头,顺流而下,在宁武、朔县、山阴、应县、怀仁、大同等地的主要湿地分布区,包括河漫滩、水库、沼泽、盐渍地等,采用典型取样法进行取样。灌木样方面积为4m×4m、草本样方面积为1m×1m的小样方,共取样方121个。记录指标有植物种名、盖度、株高、水深等。

3.1.2 数据处理

在所有样方中共出现101种植物,选取出现频率>5%的36个种。分别获得36×121的种—样方二元数据矩阵和36×121的种重要值—样方数据矩阵。用种—样方二元数据矩阵构造种对之间的2×2列联表,用 χ^2 检验^[30]种间关联系数:

$$\chi^2 = \frac{(ad - bc)^2 N}{(a + c)(b + d)(a + b)(c + d)} \quad (3.1)$$

如果2×2列联表中任一小格期望值小于1,任何小格的期望值小于5,那么必须用Yates的连续校正系数来纠正。

Yates 系数矫正公式^[37]为:

$$\chi^2 = \frac{(|ad - bc| - 0.5n)^2 n}{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)} \quad (3.2)$$

式中: n 为取样总数, a 为两物种均出现的样方数, b 、 c 分别为仅有1个物种出现的样方数, d 为两物种均未出现的样方数。当 $ad > bc$ 时,种对间为正关联;当 $ad < bc$ 时,种对间呈负关联。若 $\chi^2 > 3.841$ ($p < 0.05$),则表示种对间关联性显著;若 $\chi^2 > 6.635$ ($p < 0.01$),则表示种对间关联性极显著。

用物种的重要值作为 Pearson 积矩相关^[27]和 Spearman 秩相关分析^[27]的数量指标。

Pearson 积矩相关系数 (以下简称积矩相关系数):

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \times \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.3)$$

Spearman 秩相关系数^[27, 28, 38] (以下简称秩相关系数):

$$r = \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.4)$$

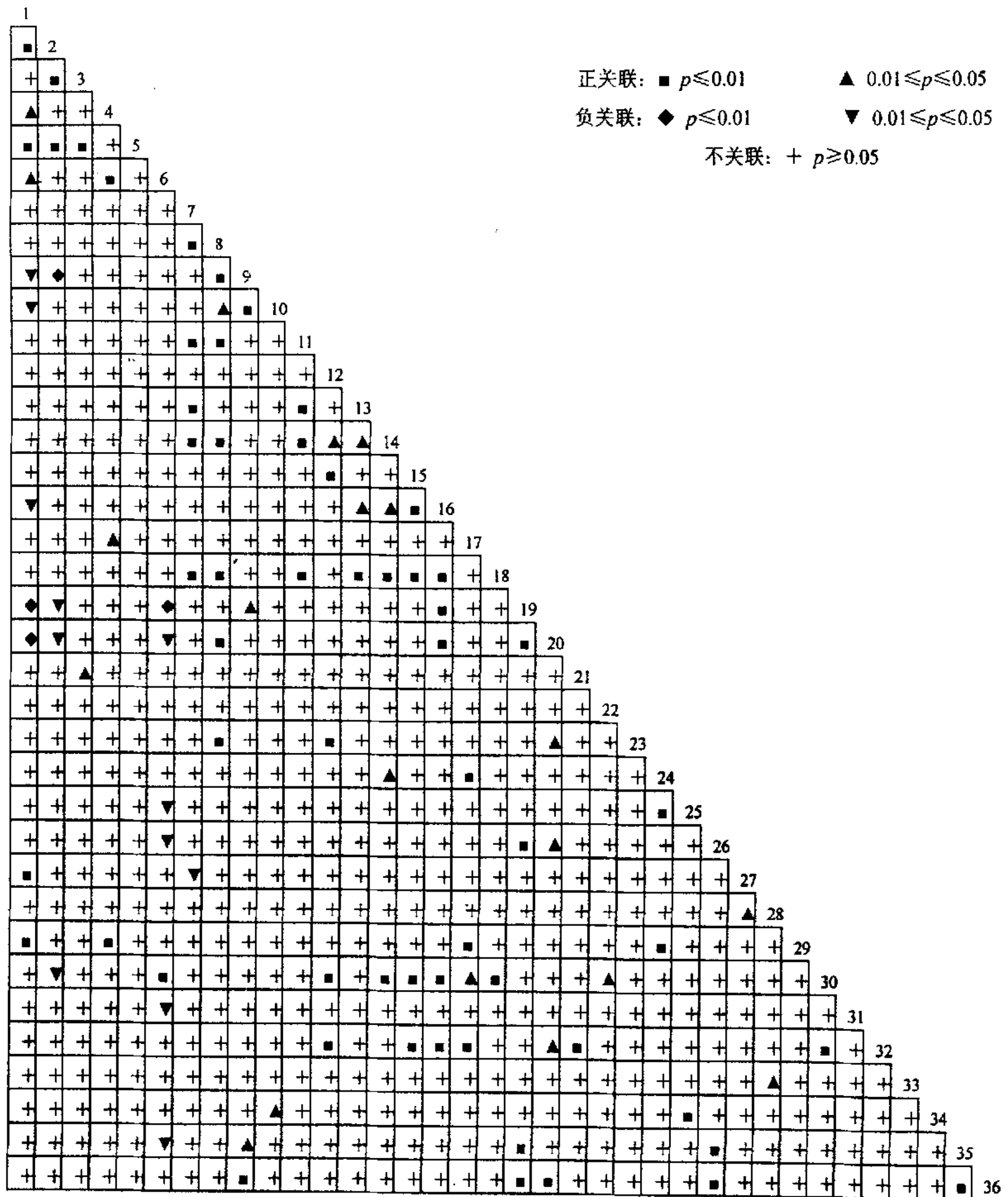
式中, d_i 为每个种的秩, n 为样方数。

3.2 结果与分析

表 3.1 桑干河湿地植物群落中 36 种植物种间关系的 3 种检验结果

Table 3.1 The results of between 36 species in communities of wetland vegetable, Sanggan River in Shanxi produced by χ^2 test, Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient, respectively

	极显著关联的种对数 Species-pairs being very significant ($p < 0.01$)		显著关联的种对数 Species-pairs being Significant ($p < 0.05$)		不显著关联的种对数 Species-pairs being No significant ($p > 0.05$)
	正关联	负关联	正关联	负关联	
χ^2 检验 χ^2 test					
草本层 Herb layer	51	3	16	10	481
灌木与草本 Shrub and layers	9	1	3	2	53
Pearson 相关系数					
Pearson's correlation coefficients					
草本层 Herb layer	42	31	5	3	480
灌木与草本 Shrub and layers	3	0	1	0	64
Spearman 秩相关系数					
Spearman's rank correlation coefficients					
草本层 Herb layer	54	11	4	3	479
灌木与草本 Shrub and layers	3	0	0	0	65



chinensis 17 委陵菜 *Potentilla chinensis* 18 蒲公英 *Taraxacum mongolicum* 19 鹅观草 *Roegneria kamoji* 20 野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia* 21 小香蒲 *Typha minima* 22 两栖蓼 *Polygonum amphibium* 23 木贼 *Equisetum hiemale* 24 藜 *Chenopodium album* 25 狗尾草 *Setaria viridis* 26 沙棘 *Hippophae rhamnoides* 27 慈菇 *Sagittaria trifolia* 28 水蓼 *Polygonum hydropiper* 29 毛茛 *Ranunculus japonicus* 30 碱蓬 *Suaeda glauca* 31 狐尾藻 *Myriophyllum spicatum* 32 假苇拂子茅 *Calamagrostis pseudophragmites* 33 香蒲 *Typha angustifolia* 34 百里香 *Thymus mongolicus* 35 老鹳草 *Geranium wilfordii* 36 画眉草 *Eragrostis pilosa*

图 3.1 桑干河湿地植物群落中 36 种植物种间关系的 χ^2 检验半矩阵图

Fig.3.1 The semi-matrix of χ^2 test of the interspecific association for 36 species in plant communities of wetlands in Sanggan River valley, Shanxi

3.2.1 种间关联

χ^2 检验表明 (图 3.1 和表 3.1): 桑干河湿地的 36 种植物组成 630 个种对, 其中有 64 个种对是极显著关联 (60 个种对正关联, 4 个种对负关联), 31 个种对是显著关联 (19 个种对正关联, 12 个种对负关联), 其余种对间的关联性不显著。

3.2.2 相关分析和秩相关分析

通过种对的关联分析, 仅能了解两个物种是否同时存在或不存在, 而无法了解随着某个种的数量指标 (盖度、重要值) 的变化, 另一个种的数量指标是如何变化的。因此, 在 χ^2 检验的基础上, 应该用积矩相关系数和秩相关系数来检验种对的相关性, 以便揭示种间关系的本质。

积矩相关系数和秩相关系数是反映两个物种种间协变线性关系的重要指标, 可以反映物种间的数量变化关系。在桑干河湿地植被中, 经 Pearson 积矩相关系数检验 (如图 3.2), 水葱与水蓼极显著正相关 ($r=0.999$), 芦苇与慈菇显著正相关 ($r=0.896$), 野艾蒿与野苜蓿极显著正相关 ($r=0.999$), 小香蒲与藜草极显著正相关 ($r=0.987$), 主要是它们皆为群落的优势成分或建群成分, 有着不同程度的喜湿性, 生境为湿生—水生, 有积水或流水的地方常常形成以它们为建群成分或优势成分的草本群落。蚊子草与两栖蓼极显著负相关 ($r=-0.998$), 水葱与苔草显著负相关 ($r=-0.825$), 主要是它们有着不同的生态习性、相互分离的生态位以及对环境不同的生态适应性导致它们呈负相关关系。其中蚊子草是多年生草甸中生草本, 是森林草原和草原带的草甸伴生种; 而两栖蓼是多年生草本, 湿生—水生植物, 生长在河溪岸边、湖滨, 常为水生植物群落、草本沼泽和沼泽化草甸的伴生种或亚优势种。

比较表 3.1 中不同检验法的结果, 可以发现无论是呈极显著相关的种对数, 还是呈显著相关的种对数, 从 χ^2 检验→Pearson 积矩相关系数→Spearman 秩相关系数呈递减趋势。这说明秩相关系数比相关系数灵敏度更高, 可以弥补其它检验方法的不足。如水葱与藜草的相关系数不显著 ($r_p=0.014$), 但秩相关关系却显著 ($r_s=0.495$), 就是最好的例证。

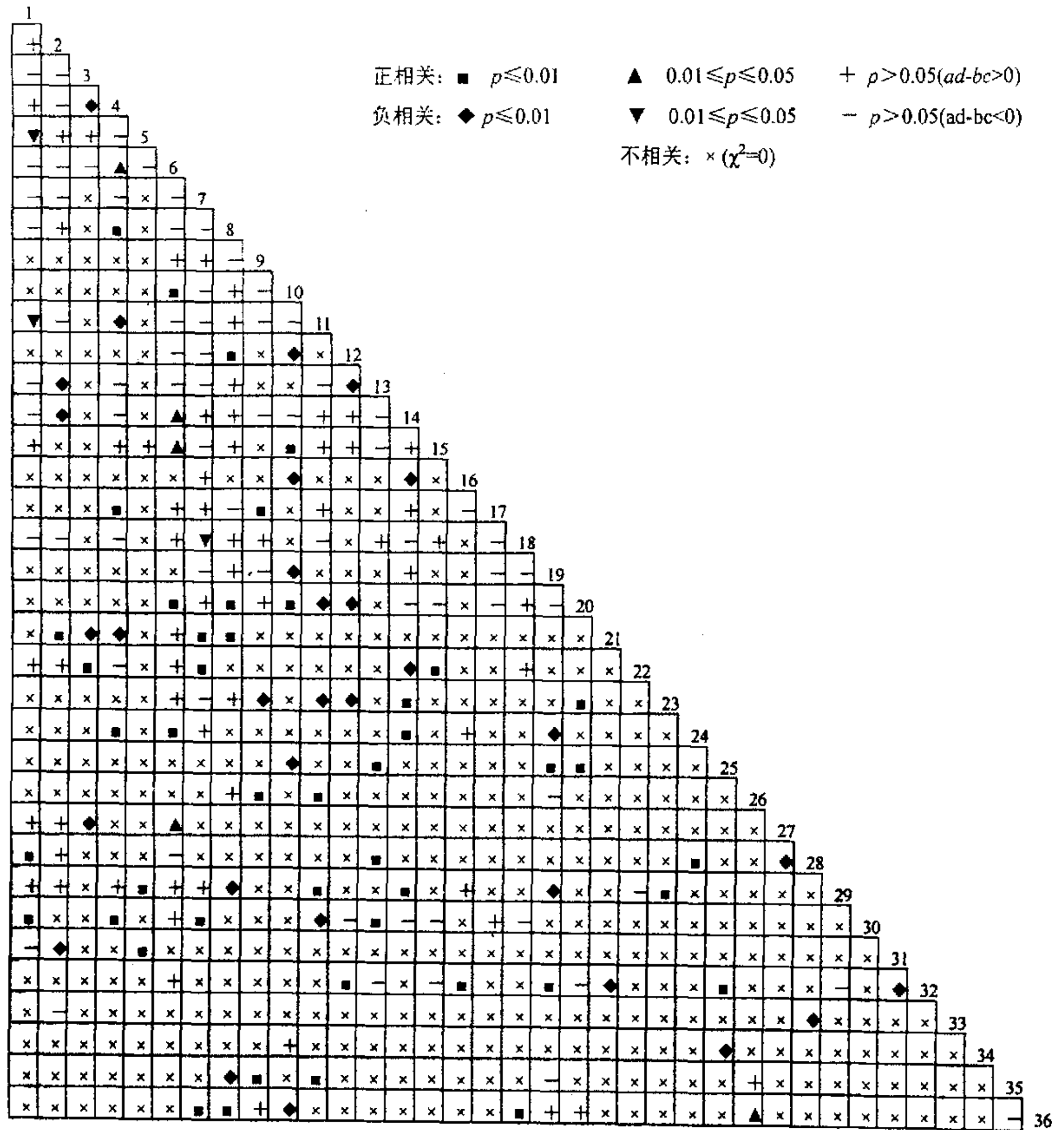


图 3.2 桑干河湿地植物群落中 36 种植物 Pearson 相关的半矩阵图 (种名同图 1)

Fig. 3.2 The semi-matrix of Pearson's correlation coefficients for 36 species in plant communities of wetland in Sanggan River valley, Shanxi

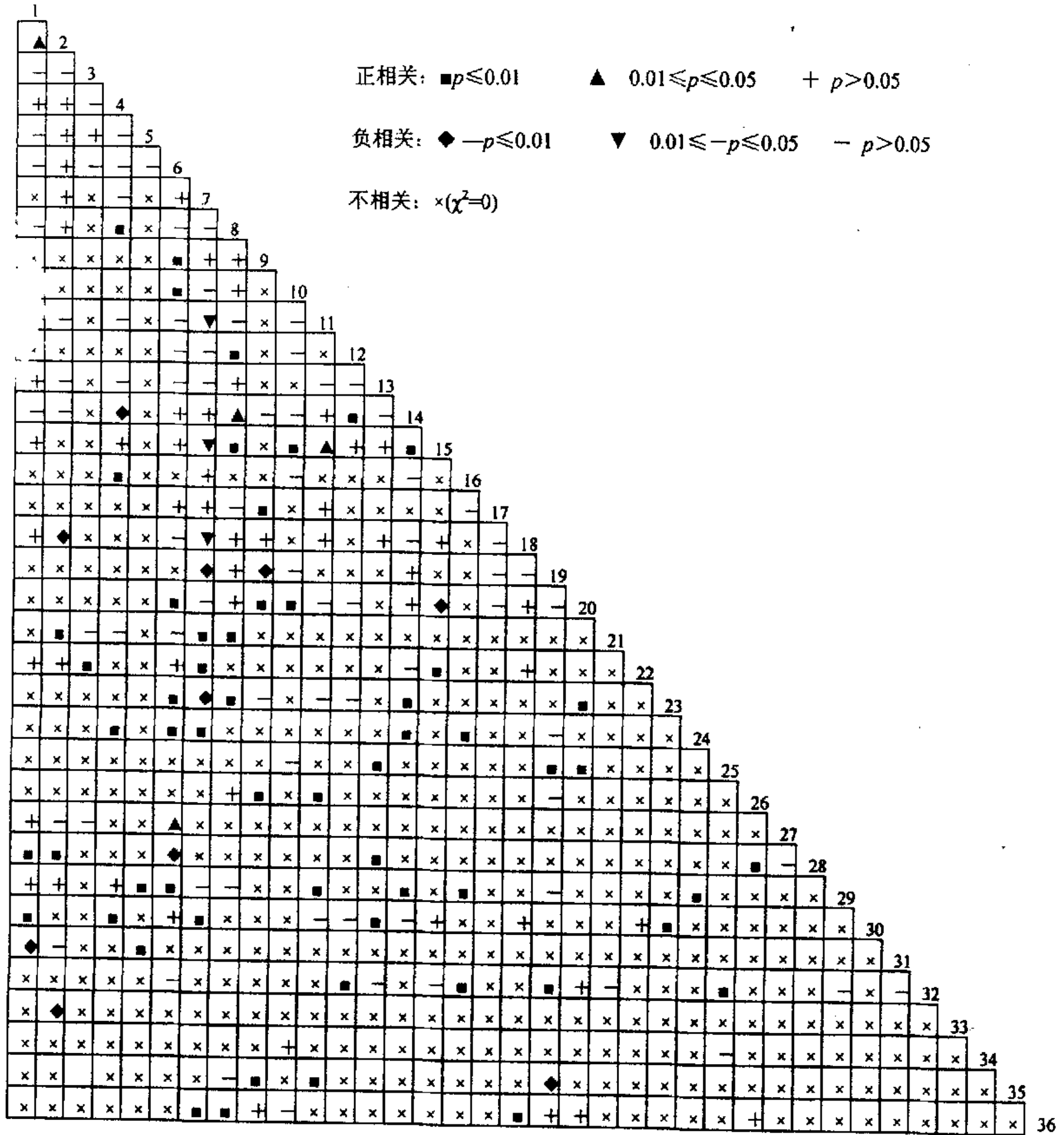


图 3.3 桑干河湿地植物群落中 36 种植物的 Spearman 秩相关的半矩阵图 (种名同图 1)

Fig. 3.3 The semi-matrix of Spearman's correlation coefficients for 36 species in plant communities of wetland in Sanggan River valley, Shanxi

3.2.3 生态组群的划分及分析

依据种间相关系数 (图 3.2 和图 3.3), 结合植物种群的生态适应特征, 将桑干河湿地植被中 36 种植物划分为 4 个生态组群:

1) 中旱生植物生态组群: 分布于河岸或水库边地下水位较深的中偏旱生境中, 有小车

前、猪毛蒿、芑荻菜、委陵菜、野艾蒿、沙棘、百里香、鹅观草、狗尾草等,它们大部分呈显著正关联或正相关关系。

2) 中生植物生态组群: 分布于一级阶地或河漫滩等地下水位较浅的中生环境中, 有鹅绒委陵菜、旋覆花、野苜蓿、苔草、蚊子草、怪柳、蒲公英、碱蓬、假苇拂子茅、画眉草等, 它们种间关联表现为正关联或正相关, 种群的生态适应特征为中生性。

3) 湿生植物生态组群: 分布于地下水位较深, 水分较充足的生境中有水葱、蘆草、小香蒲、两栖蓼、毛茛、水蓼等, 它们种间关联表现为正关联, 种群的生态适应特征为湿生性。

4) 水生植物生态组群: 分布于河流、沼泽和河岸等有常年流水或有季节性积水的环境中, 有泽泻、莎草、轮藻、芦苇、慈菇、香蒲、狐尾藻等, 它们大部分呈正关联或正相关。

3.2.4 生态分析

在 χ^2 检验关联图 (图 3.1) 中可以看出, 中生植物生态组群与水生植物生态组群的界限较为清晰。各生态组群内部物种之间的关联性极强, 这是因为种群的生态特性和对环境因子响应一致性的体现。从河流湿地植物群落的生态因子分析, 导致生态组群分化的主导因子是土壤特性和水分。在湿地生境遭受人类活动干扰的情况下, 不同生态组群内种间的关联性发生交叉, 在 χ^2 检验的关联图中, 中生植物生态组群和中旱生植物生态组群的种间关系就表现出显著正关联。如猪毛蒿与蚊子草呈显著正关联, 而猪毛蒿与木贼、猪毛蒿与假苇拂子茅呈极显著正关联, 就它们的生态特性来分析, 猪毛蒿是典型的旱生植物, 而蚊子草、木贼和假苇拂子茅则是中生植物。

通过比较 χ^2 检验和相关系数的结果 (如图 3.1、3.2、3.3), 可以发现水葱、芦苇、泽泻、委陵菜、毛茛等的相关和关联结果并不一致, 除了由于 χ^2 检验与相关系数方法的差别外, 也受到物种自身生态幅度差异的影响。因此, 种间关系在三种方法测得的结果有所差异。例如水葱在 χ^2 检验中与众多物种间的关联性显著, 而在相关系数法和秩相关系数法中则相关性不显著。

在 χ^2 关联图中 36 个种群间表现负相关的种对有 14 个, 其中极显著的种对有 11 个。有 539 个种对间的关联性不显著, 这可能是在长期的自然选择中种间竞争已经弱化, 种间生态位重叠现象不太明显的缘故。比较三种方法所得结果可以看出, 具有显著关联的种对数是: χ^2 检验法 > Pearson 积矩相关系数法 > Spearman 秩相关系数法, 结合物种的生态特性与环境因子分析, Spearman 秩相关系数法分析的结果比较符合实际。如水葱与蘆草在 Spearman 秩相关分析中相关系数 $r=0.495$ 呈显著正相关关系, 而它们都是湿生植物, 生活在浅水或地下水位较高的潮湿生境中, 并且它们具有相似的生态幅, 这与它们显著正相关的结果是一致的。蒲公英和鹅绒委陵菜的相关系数为 $r=-0.720$ 呈显著负相关关系, 它们是中生植物, 但由于它们对环境具有不同的生态适应性和相互分离的生态位使其呈现显著负相关的种间关系。

3.3 讨论

从上述研究结果可以看出, χ^2 检验结果有两个特点: 1) 相关性显著或极显著的大部分为正相关, 只有少数几个是负相关; 2) 呈显著或极显著相关的种对数远远大于 Pearson 相关和 Spearman 秩相关的分析结果。其原因可能有: 1) 2×2 列联表的 χ^2 检验的数据源为 0、1 二元数据, 是定性的描述, 不能很好地刻画两个变量在数量上的变化趋势和关系; 2) 2×2 列联表每一格的期望值并不是均 ≥ 5 的, 因而会导致 2×2 列联表的 χ^2 检验的结果会偏大。对于相关系数检验它要求物种数据服从正态分布, 但对于大多数物种难以满足这一条件, 这极大限制了相关系数检验的应用范围秩相关系数属于非参数检验, 它并不要求知道物种服从何种分布, 因而应用起来更为灵活和方便。秩相关检验结果的极显著正相关的种对数高于相关系数的种对数, 与张峰等的研究结果基本一致^[27], 这表明秩相关系数比相关系数的灵敏度更高, 可以弥补相关系数检验的不足, 如水葱和蘼草, $r_p=0.014, p>0.05$ 而 $r_s=0.495, p<0.05$; 芡菜和鹅绒委陵菜, $r_p=-0.546, p>0.05$ 而 $r_s=-0.900, p<0.05$ 等就是很好的例证。

种对间的正关联或正相关, 主要是由于它们具有相近的生物学特性、对生境具有相似的生态适应性和相互分离的生态位所致; 而种对间负关联或负相关, 则是由于它们具有不同的生物学特性、对生境具有不同的生态适应性和相互重叠的生态位所致^[39, 40]。对于桑干河流域湿地植被中的 36 个种群间的联结性和相关性研究时, 采用 χ^2 检验、Pearson 相关和 Spearman 秩相关三种方法来分析取得了较好的结果。按照其联结性或相关性, 结合各个种群的生物学特性将它们划分为 4 个生态组群, 这将有助于我们正确地认识湿地植被群落的结构和功能、演替等。

第4章 桑干河流域湿地植物群落生态关系研究

植物群落的本质特征之一就是群落及其成员与环境之间存在着密切的相互关系。环境既是群落发生发展的原因,也是群落存在的条件。群落的组成、结构、功能、形成、动态、和分布等都受环境的制约,反过来,群落存在也影响和决定着环境的许多特征,并对群落的内部环境起创造作用。通过植物群落与环境的生态关系、植物群落内部的生态关系研究可以深入揭示植物群落的结构、动态、分类等,从而为保护、利用和改造植物群落提供理论依据^[41-43]。

数量分类和排序是植物群落生态关系研究的重要手段,它们在群落分析中结合使用可以深刻揭示植物种、植物群落与环境间的生态关系。本章采用 TWINSpan 和 DCA 对桑干河流域湿地植物群落与环境的生态关系、植物群落内部的生态关系进行了研究,目的是从理论上深入揭示湿地植物群落的结构、动态、分类等规律,进而全面了解湿地植物群落与生态环境相互关系和作用规律。

4.1 研究方法

4.1.1 野外取样

取样方法和样方大小及每个样方内记录的内容同 2.2.1。在野外共记录 121 个样方,其中灌丛 28 个,草本样方 93 个,共记录了 101 种植物,得到 121×101 原始数据矩阵。

4.1.2 数据处理

植物种的数据我们采用重要值综合指标。对每个样方分别计算灌木和草本植物的重要值:

灌木重要值 = (相对盖度 + 相对高度) / 200

草本重要值 = 相对盖度 / 100

4.1.3 数据分析

数量分类采用 VESpan 软件包中 Hill (1979) 设计的 TWINSpan,排序采用 Braak (1988) 设计的 CANOCO 软件包标准程序中的 DCA。

4.2 TWINSpan 结果与分析

对桑干河流域湿地植物的 121 个样方进行 TWINSpan 等级分类,其结果矩阵如图 4.1 所示。图中左边为种的序号,右边为种的分类,最上面三行为样方序号,下面为样方分类结果,其中“0”代表一次分划后所得到的一个组,“1”代表另一组。矩阵中的数字表示植物种的数量水平,“-”表示不存在。该矩阵使用的是数量数据,它明显反映出两个环境梯度,一是海拔高度,二是土壤湿度。矩阵从左到右,海拔高度由高到低,矩阵从上到下,土壤含水量从低到高,植被类型从中生向湿生、水生过渡。

TWINSpan 分类将 121 个样方划分为 22 组,但结合实际生态意义,最终将它归并为 19

个组,代表19个群落类型。19个群落的基本特征如下:

I. 假苇拂子茅+狗尾草群落 (Ass. *Calamagrostis pseudophragmites* + *Setaria viridis*) 含样方118。分布于朔州梵王寺桑干河的河漫滩,海拔1200m。地下水位高3cm~5cm,洪水期常被水淹没, pH 值为7。总盖度为90%。假苇拂子茅盖度90%,狗尾草盖度15%,伴生种有水苦蕒,篇蓄等。

II. 百里香+铁杆蒿群落 (Ass. *Thymus mongolicus* + *Tripolium vulgare*) 含样方95、109、110、96、108、119、121。分布于宁武分水岭往北1000m的恢河河漫滩,河床宽50m,并且河床较高,基质为鹅卵石,还有少量土。海拔1590m。群落总盖度为50%。百里香的盖度50%。由于刚发水不久,冲掉了不少植被,所以使群落的物种数明显减少,仅伴生有野苜蓿、狗尾草。这都表明该群落在退化,由湿生向中旱生群落演替。

III. 柽柳+沙棘—鹅观草灌丛 (Ass. *Tamarix chinensis* + *Hippophae rhamnoides*—*Roegneria kamoji*) 含样方14、101、104、94、100、102、103、120。分布于宁武余庄往北的恢河河道,海拔1440m。群落总盖度75%~95%,建群种柽柳盖度70%~80%,沙棘盖度50%~60%,鹅观草盖度20%~35%。

IV. 柽柳—鹅绒委陵菜灌丛 (Ass. *Tamarix chinensis*—*Potentilla anserine*) 含样方5、7、48、97、98、105、106、107。分布于大同市水泊寺乡文瀛湖及宁武等地,海拔1050m。地势较低,土壤 pH 值6.5。群落总盖度80%~90%。柽柳盖度50%~70%,鹅绒委陵菜盖度75%~85%。伴生种有小车前、蚊子草、旋覆花等。

V. 沙棘—铁杆蒿群落 (Ass. *Hippophae rhamnoides*—*Tripolium vulgare*) 含样方99。分布于宁武县城北,海拔1500m。群落总盖度90%。沙棘盖度60%,铁杆蒿盖度20%。伴生种有风毛菊、早熟禾等。

VI. 芦苇+苔草群落 (Ass. *Phragmites australis* + *Carex dispalata*) 含样方2、3、4、6、11、15、25、28、30、31、32、37、38、39、46、49、50、52、80、81、82、83、88、91、92、93、111。分布于大同市文瀛湖岸、天镇、广灵、怀仁、右玉、应县、朔州、大同县等。芦苇的盖度为35%~50%,高度为15cm~60cm;苔草的盖度为5%~15%,高度记录不详。伴生有野苜蓿、小车前等。

VII. 柽柳—芦苇灌丛 (Ass. *Tamarix chinensis*—*Phragmites australis*) 含样方35、60、61、62、64、65。分布于怀仁河头乡桥村和山阴东方红大桥附近的河漫滩,海拔1000m,群落总盖度75%~85%,柽柳盖度70%~85%,平均高度50cm~65cm。柽柳被割过的痕迹。伴生种有莧菜、苦蕒菜、芦苇、碱蓬等。

VIII. 柽柳—委陵菜灌丛 (Ass. *Tamarix chinensis*—*Potentilla chinensis*) 含样方36、67、68。分布于怀仁县河头乡李家小村和山阴县合盛乡上小河村,海拔1000m。建群种柽柳盖度80%~90%,委陵菜盖度20%~30%。伴生种有蒲公英、苍耳、两栖蓼等。

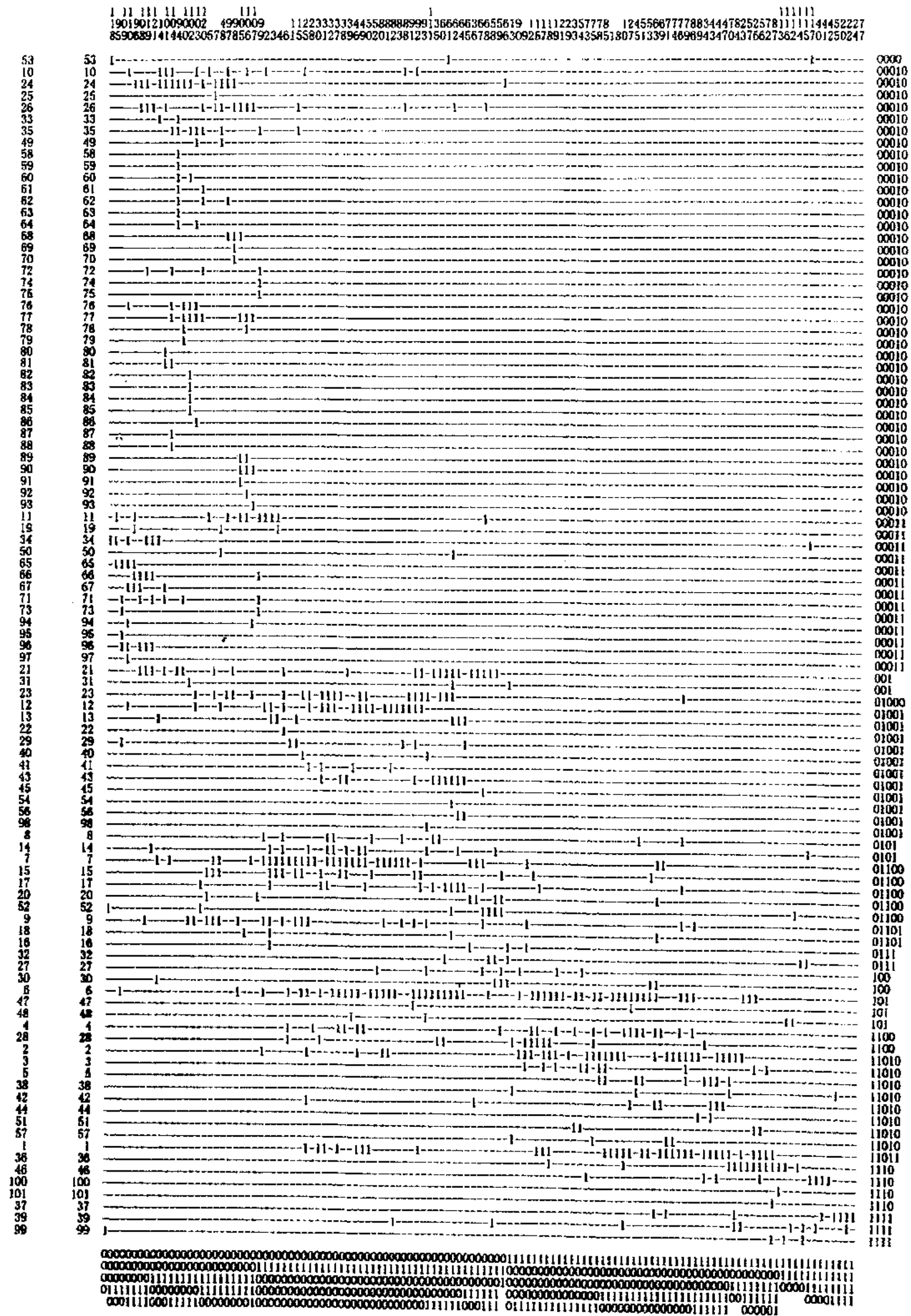


图 4.1 TWINSpan 分类结果矩阵图

Fig4.1 Tow-way table of species and quadrats classification for plant communities from Sanggan River Valley,

Shanxi produced by TWINSpan

1.水葱 *Scirpus tabernaemontani* 2. 蘼草 *Scirpus triquetus* 3.泽泻 *Alisma plantagoaquatica* 4.莎草 *Cyperus glomeratus* 5.轮藻 *Chara* sp. 6.芦苇 *Phragmites australis* 7.鹅绒委陵菜 *Potentilla anserine* 8.堇菜 *Viola pekinensis* 9.旋覆花 *Inula japonica* 10.小车前 *Plantago depressa* 11.野苜蓿 *Medicago falcate* 12.苔草 *Carex dispalata* 13.猪毛蒿 *Artemisia scoparia* 14.车前 *Plantago asiatica* 15.蚊子草 *Eilipendula palmate* 16.虎尾草 *Chloris virgata* 17. 苣荬菜 *Sonchus brachyotus* 18.苍耳 *Xanthium sibiricum* 19.隐子草 *Cleistogenes squarrosa* 20. 委陵菜 *Potentilla chinensis* 21.怪柳 *Tamarix chinensis* 22.紫堇 *Corydalis edulis* 23.蒲公英 *Taraxacum mongolicum* 24.鹅观草 *Roegneria kamoji* 25.苦菜 *Ixeris chinensis* 26.野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia* 27.小香蒲 *Typha minima* 28.两栖蓼 *Polygonum amphibium* 29.木贼 *Equisetum hiemale* 30.藜 *Chenopodium album* 31.灰绿藜 *Chenopodium glaucum* 32.水稗 *Echinochloa crusgallii* 33.黄花蒿 *Artemisia annua* 34.狗尾草 *Setaria viridis* 35.沙棘 *Hippophae rhamnoides* 36.慈菇 *Sagittaria sinensis* 37.香蒲 *Typha angustifolia* 38.水绵 *Spirogyra* spp. 39.水蓼 *Polygonum hydropiper* 40.牛毛毡 *Eleocharis yokoscensis* 41.冰草 *Agropyron* sp. 42.毛茛 *Ranunculus japonicus* 43.碱蓬 *Suaeda glauca* 44.眼子菜 *Potamogeton distinctus* 45.大蓟 *Cirsium japonicum* 46.狐尾藻 *Myriophyllum spicatum* 47.苔藓 *Mnium* sp. 48.水莎草 *Juncellus serotinus* 49.山柳 *Salix phylicifolia* 50.大车前 *Plantago major* 51.杉叶藻 *Hippuris vulgaris* 52.假苇拂子茅 *Calamagrostis pseudophragmites* 53. 蒿蓼 *Polygonum aviculare* 54.小蓟 *Cirsium setosum* 55.金色补血草 *Limonium aureum* 56.本氏木蓝 *Indigofera bungeana* 57.浮萍 *Lemna minor* 58. 山蒿 *Artemisia brachyloba* 59.茶藨子 *Ribes pulchellum* 60.芹叶铁线莲 *Clematis aethusifolia* 61.鼠掌老鹳草 *Geranium sibiricum* 62.角蒿 *Incarvillea sinensis* 63.野燕麦 *Avena fatua* 64.薄荷 *Mentha haplocalyx* 65.百里香 *Thymus mongolicus* 66.早熟禾 *Poa annua* 67.阿尔泰狗娃花 *Heteropappus altaicus* 68.翻白草 *Potentilla discolor* 69.紫羊茅 *Festuca rubra* 70.大籽蒿 *Artemisia sieversiana* 71.铁杆蒿 *Tripolium vulgare* 72.风毛菊 *Saussurea japonica* 73.达乌里胡枝子 *Lespedeza davurica* 74.秦艽 *Gentiana macrophylla* 75.银露梅 *Potentilla glabra* 76.老鹳草 *Geranium wilfordii* 77.画眉草 *Eragrostis pilosa* 78.蓬子菜 *Galium verum* 79.并头黄芩 *Scutellaria scordifolia* 80.黄瑞香 *Daphne odora* 81.紫花地丁 *Viola yedoensis* 82.牛蒡 *Arctium lappa* 83.小蓟 *Cirsium setosum* 84.唐松草 *Thalictrum minus* 85.秃疮花 *Dicranostigma leptopodum* 86.蔓假繁缕 *Pseudostellaria davidii* 87.茜草 *Rubia cordifolia* 88.滨藜 *Atriplex patens* 89.獐牙菜 *Swertia diluta* 90.火绒草 *Leontopodium leontopodioides* 91.苅草 *Arthraxon hispidus* 92.马先蒿 *Pedicularis resupinata* 93.疗齿草 *Odontites serotina* 94.野豌豆 *Vicia amoena* 95.砂珍棘豆 *Oxytropis psammocharis* 96.蒿草 *Kobresia bellardii* 97.沙蓬 *Agriophyllum squarrosum* 98.鳞叶龙胆 *Gentiana squarrosaledeb* 99.水苦蕒 *Veronica undulata* 100.荆三棱 *Scirpus yagara* 101.狭叶香蒲 *Typha angustifolia*

IX. 芦苇+水蓼+莎草群丛 (Ass. *Phragmites australis* + *Polygonum hydropiper* + *Cyperus glomeratus*) 含样方 58、59、66。分布于应县和山阴, 海拔分别为 1020m、1000m。群落总盖度为 70%~75%。芦苇盖度 50%~60%, 水蓼盖度 20%~40%, 伴生种有藜、水稗等。

X. 藜+虎尾草群丛 (Ass. *Chenopodium album* + *Chloris virgata*) 含样方 13。分布于大同市御河河床, 海拔 1080m。群落总盖度 75%。藜盖度 70%, 虎尾草盖度 15%。伴生有灰绿藜和水稗。

XI. 浮萍+水绵群丛 (Ass. *Lemna minor* + *Spirogyra* spp.) 含样方 60。分布于大同县徐疃乡册田水库出水口, 海拔 960m, pH 值 6.5。群落总盖度 60%, 浮萍盖度 45%, 水绵盖度 60%。伴生种为两栖蓼。

XII. 蘆草+莎草+泽泻群丛 (Ass. *Scirpus triqueter* + *Cyperus glomeratu* + *Alisma plantagoaquatica*) 含样方 9、12、16、17、18、19、21、29、33、54、73、75、78、85。分布于大同市、天镇、广灵、怀仁、应县、山阴朔州等地。该群丛是桑干河流域湿地植被中比较典型的群落类型。蘆草盖度 50%~80%, 莎草盖度 30%~50%, 同时还有泽泻等典型的湿生物种。伴生种有小香蒲、芦苇、两栖蓼、苣荬菜等。

XIII. 水葱+蘆草+芦苇群丛 (Ass. *Scirpus tabernaemontani* + *Scirpus triqueter* + *Phragmites australis*) 含样方 1、8、10、27、45、51、53、63、69、71、74、76、79、86、89。分布于大同市、广灵、右玉、应县、山阴、朔州、大同县等地, 分布几乎遍及整个桑干河流域。该群丛也是有代表性的湿地植被类型。水葱盖度 30%~75%, 高度 20cm~60cm, 通常生于河流水边或浅水塘中。蘆草常生湖沼、沟溪、水边或沼泽中。芦苇的盖度 10%~40%, 高度 18cm~60cm, 伴生成分有莎草、菹菜、轮藻。

XIV. 水葱+轮藻+眼子菜群丛 (Ass. *Scirpus tabernaemontani* + *Chara* spp.+ *Potamogeton distinctus*) 含样方 34、43、44、47、70、84。主要分布于怀仁、左云、右玉、山阴、朔州等地, 土壤含水量较高, 局部有积水。眼子菜盖度 70%~90%, 轮藻盖度 30%~50%。伴生成分有水葱、两栖蓼和蘆草等。

XV. 水蓼+慈菇群丛 (Ass. *Polygonum hydropiper* + *Sagittaria sinensis*) 含样方 23、57。分布于广灵县西河乡村的下河湾水库和应县镇子梁村镇子梁水库出水口, 海拔为 960m-1040m, pH 值为 7, 积水 6cm。水蓼盖度 95%, 伴生有蘆草、香蒲、慈菇。

XVI. 慈菇+芦苇群丛 (Ass. *Sagittaria sinensis* + *Phragmites australis*) 含样方 26、56、72、87、113、116。该群丛分布广灵县城关乡、应县镇子梁村、山阴县东榆林村、朔州市城关乡、朔州城南恢河大桥东、西等地的水库和水塘中。海拔 970m~1040m, pH 值 7~7.5。群落总盖度 70%~95%, 慈菇盖度 15%~80%, 高度 20 cm ~50 cm, 芦苇盖度 5%~15%, 高度约 60 cm, 伴生成分有泽泻, 水葱、毛茛、蒲公英、香蒲。

XVII. 水莎草+水稗群丛 (Ass. *Juncellus serotinus* + *Echinochloa crusgallii*) 含样方 112、114、115、117。分布于朔州城南恢河大桥东面或西面河道内, 水深 20cm, 群落总盖度 90%~100%。水莎草盖度 50%~80%, 水稗盖度 30%~40%, 伴生种有水苦荬、水蓼、慈菇等。

XVIII. 狐尾藻+香蒲群丛 (Ass. *Myriophyllum spicatum* + *Typha angustifolia*) 含样方 40、41、42、55。分布于左云县十里河水库北、应县镇子梁村镇子梁水库, 海拔 1040~1340m, pH 值 6.5, 该地段常年积水。狐尾藻盖度 50%~85%, 香蒲盖度 80%, 伴生成分有水蓼。

XIX. 香蒲+水蓼群丛 (Ass. *Typha angustifolia* + *Polygonum hydropiper*) 含样方 20、22、24、77。分布于广灵县城南水深塘、广灵县西河乡村下河湾水库、朔州市神头小海, 海拔分

别为 1000m、960m, pH 值 7。香蒲盖度 60%~95%, 伴生成分有莎草、旋覆花等。

4.3 DCA 排序与分析

采用 DCA 排序对桑干河流域湿地 121 个样方进行分析, 所得 4 个排序轴的特征值分别为 0.912, 0.875, 0.782, 0.696。由于第一、二轴特征值较大, 包含的生态信息较多, 所以采用第一、二轴数据作二维散点图^[44-46]。DCA 排序结果见图 4.2。

将 TWINSpan 分类结果与 DCA 排序相结合, 从图 4.2 中可以看出, 排序第一轴反映了土壤水分梯度, 从左到右土壤含水量在不断下降; 第二轴反映了海拔梯度, 从下到上海拔高度在不断升高。由此可见, DCA 排序的结果更进一步说明了 TWINSpan 分类结果的可靠性、科学性。

排序图的第一轴主要反映了土壤水分的变化情况。从水平方向看, 排序图非常明显的把样方分成 3 部分: 第 1 部分非常分散地分布在坐标轴附近, 集中了群丛 14 到群丛 19 的 26 个样方, 这些群丛的建群种以湿生和水生植物为主, 如香蒲、水蓼、水莎草、水稗、慈菇、芦苇等。第 2 部分比较分散地分布在排序图的中部, 集中了群丛 6 到群丛 13 的 70 个样方, 这些群丛的优势种以中生植物为主, 如苔草、委陵菜、藜、莎草、虎尾草等。第 3 部分比较集中分布在排序图的右面, 且成带状分布, 许多样方都重叠在一起, 包含群丛 1 到群丛 5 的 25 个样方, 它们的建群种以中生、旱中生植物为主, 如怪柳、百里香、鹅观草、铁杆蒿、假苇拂子茅等。

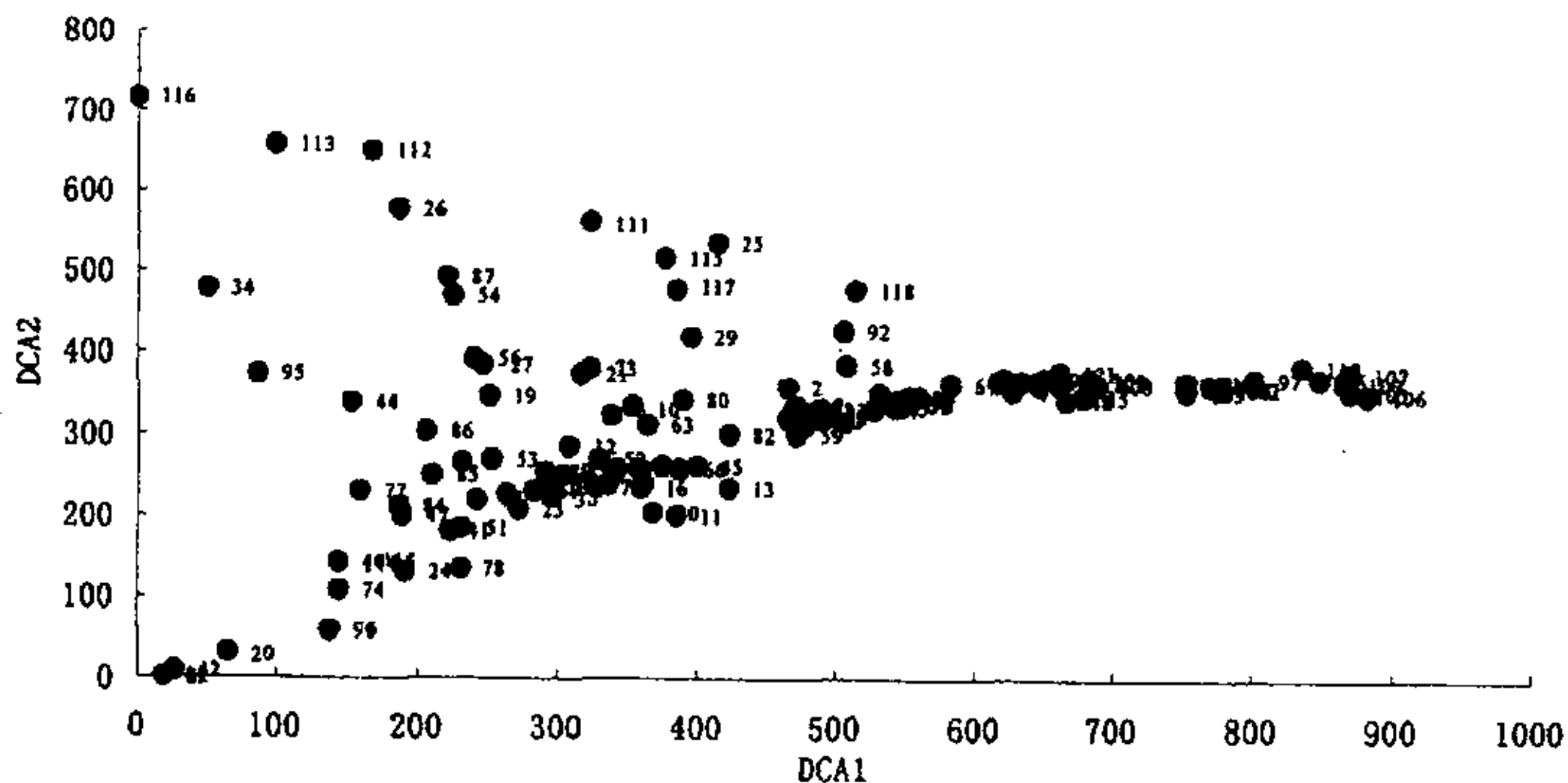


图 4.2 121 个样方的 DCA 二维排序图

Fig. 4.2 Two-dimensional DCA ordination diagram of 121 quadrats in Sanggan River valley, Shanxi

从上述结果可以看出, 桑干河湿地植物群落当中, 水生、湿生植物类型不占绝对优势, 仅有 26 个样方, 占样方总数的 21.5%; 而中生植物类型占绝对优势, 有 70 个样方, 占样方

总数的 57.8%；此外，还有一定旱生植物群落分布。这反映了近几年来，桑干河降水减少，断流时间延长，从而导致湿地环境严重退化。

排序图的第二轴主要反映了海拔高度的变化趋势。从排序轴的下部往上，海拔高度由 980m 到 1500m。随着海拔的升高，土壤类型也呈现出一定的梯度变化，在排序轴最下面靠近轴的地方分布的样方大多为沼泽土，而沼泽土分布于河流沿岸或水库周边，地下水位接近地表处，土壤水分常年处于饱和状态。在局部低洼地方，地面出现少量积水或土壤为水所浸润，是沼生或水生群落分布的重要生境，如群丛 12、13、18、19 等。在排序轴上部的样方土壤类型为草甸土，草甸土是季节性地下水位浸润和草甸植被作用下形成的土壤，主要分布在河流沿岸一级阶地低洼处和地下水位较高的河漫滩水陆交错带，绝大多数样方分布在该类土壤上。

第5章 桑干河流域退化湿地的恢复与重建对策

近半个世纪以来,由于人类活动和气候变化的影响,湿地面积不断减少、环境不断恶化、功能不断减弱,局部地区湿地的退化甚至危及到了人类的生存。国际上湿地的恢复与重建日益受到关注,中国、美国湿地恢复和重建的重点在于消除河流湿地和湖泊湿地的污染和富营养化,加拿大、瑞典和芬兰则主要侧重于扩大沼泽湿地和湖泊湿地的面积,恢复贫营养沼泽。

湿地恢复(Wetland restoration)即对受损湿地在人工控制下恢复,使之还原至从前的湿地植被和功能状态。指导湿地恢复的理论主要有次生演替、自设计(Self-design)理论和入侵(Invasion)理论。次生演替理论认为,只要将受损生态系统的生境条件(最重要的是水位)恢复至受损前的状态,该系统的植被(乃至整个生物群落)便循序地按照一定演替轨迹自动向前发展,直至恢复至受损前水平(即所谓的“轨迹模式”, Trajectory model)。人工干预的,一是要确定生境条件的恢复,二是要加速这一自然过程。这一理论,近来受到了挑战:在圣迭戈湾 Sweetwater 沼泽,植被十年来的年间变异及方向不明的变化表明该沼泽植被没有向原来状态恢复的迹象^[47]。

自设计(或自调节)理论认为,在微型(Extensive)干扰下,泥炭藓沼泽可自动恢复。许多泥炭开采地和复湿(Rewetted)生境重现的 *Eriophorum vaginatum* 群落即是证明^[48]。入侵理论主要讨论外来种或非湿地种对湿地植被的影响,目标种(Desired plant)、非目标种(Undesired plant)以及外来种在受损湿地中的定居和扩散等是研究的主要内容。在英国,营造针叶林导致了 Blanket 沼泽的区系变化,为造林而进行的翻耕、开沟和施肥等,导致湿地优势种的更替^[49]。

自20世纪90年代以来,随着全球范围的生物多样性保护的意识增强,有越来越多的资金资助濒危湿地的保护与恢复^[47],同时国际上有关受损湿地植被恢复与重建(Restoration and reconstruction)的研究大量涌现,相关专著和专题论文集相继出版^[50],促进了湿地恢复研究的开展。近年来,国际上形成了湿地恢复研究的两大中心:一是欧洲(含加拿大北部),主要以贫营养沼泽(Bog)的恢复为主;二是北美,主要以富营养沼泽(Fen)为主。

我国的湿地恢复研究主要在湖泊和滩涂,工作较少^[47]。自1998年长江流域发生特大洪水以来,我国已将退田还湖作为生态重建、持续发展的重要内容。

5.1 湿地面临的威胁

近年来,山西桑干河流域湿地生态特征发生了一系列明显的变化,包括湿地面积缩小、水文条件改变、水质改变、生物多样性减少等。引起这些变化的因素很多,既有自然的因素如干旱,又有人为因素包括修建水利工程、工农业污染、河漫滩垦植和过度放牧等,其中人为干扰是引起湿地生态特征变化的主要原因。

人们为了种种目的,在不断的改造自然,如整治河道、兴修水利、防治水灾、采石挖沙、

围湖造田、放牧割草等。桑干河流域湿地也深深地打上了人类活动的烙印,从源头开始,顺流而下,沿途修建水库、防洪堤坝等水利工程,这些工程一方面促进了该流域的经济社会发展,一方面随之产生了许多负面效应。建库蓄水、引水灌溉使河道径流量从上游向下游逐渐减少,甚至在洪水季也会出现断流现象。河漫滩围垦造田、修筑堤坝、河网改造、岸边工程等,使季节性淹没区减少,天然湿地大量丧失,洄游通道不畅,各种湿地植物和湿地动物的生境、栖息地被大量破坏,各类生态系统和丰富的生物多样性也发生显著改变。

1996年野外调查时,蘆草群落的高度为50cm~60cm,而2003年高度已不足10cm,这是由于过度放牧、牲畜过度践踏造成的。统计表明:优质牧草比例降低50%,地上生物量也随放牧强度的增大而下降。与此同时,由于长期践踏,使土壤板结,造成土壤持水量降低,加剧了河漫滩湿地的退化。

桑干河沿岸的工农业污染排放,诸如农药、化肥使用量成倍增加以及城市污水的大量排放,也加剧了湿地生态环境的恶化,最突出地表现在农业的灌溉、排水、农业化学品及肥料随径流进入湿地等。生活和建筑垃圾乱堆乱放,污染和富营养化,水禽及湿地动物的违法捕猎对桑干河湿地也构成了巨大的威胁。

5.2 湿地恢复的目的、策略和途径

湿地恢复的目的有3个方面:种群的恢复、生态系统或景观的恢复以及生态系统功能的恢复。湿地恢复的策略主要有两种,一是修复(Repairing),二是重建(Rebuilding)。修复是对必要生境条件的直接恢复,它适合于小规模干扰的湿地,可以很快实现恢复目的。重建是重新建立适宜的生境条件,使湿地生态系统回到早期阶段并重新发育,它适合于大规模、严重破坏的湿地;这种湿地已发生不可逆转的退化,或者采用修复策略存在技术困难,或代价昂贵;本策略的缺点是它要求进一步的破坏(以产生坚实的重建基础),需要较长的时间发育,有可能偏离初始的恢复目的,因为其早期的恢复阶段可能成为人们的兴趣焦点。湿地恢复的途径多种多样,有简单的工程途径,也有复杂的生态途径。但不管采用何种途径,都宜遵循“最小干涉”原则,尽可能地利用堤防、表面积水、地下水和当地种源等。这样既可事半功倍,又不过多干扰待恢复的生态系统。

5.3 湿地保护对策

鉴于山西湿地资源相对贫乏,湿地面积较小、规模小的特点^[51、52],为了实现桑干河流域湿地的可持续发展和利用,要积极开展对现有湿地资源的保护。通过对现有湿地资源的保护,拟实现以下目标:1)实现湿地生态系统地表基底的稳定性。地表基底是生态系统发育的载体,基底不稳定就不可能保证生态系统的演替与发展。2)恢复湿地良好的水状况。一是恢复湿地的水文条件,二是通过污染控制,改善湿地的水环境质量。3)恢复湿地植被和湿地景观,保证一定的植被覆盖率和土壤肥力,提高生态系统的生产力和自我维持能力。4)保

护湿地的生物多样性。5) 实现全流域社会、经济和生态环境的可持续发展。为此, 应采取以下科学对策, 促进湿地的保护、重建和恢复工作的全面开展。

5.3.1 制定湿地保护立法, 加大执法力度

加强湿地利用与保护的立法, 是湿地资源合理利用和科学管理的保证。只有健全法制, 湿地的保护和利用才能做到规范化、制度化、法制化。因此, 湿地保护立法首先应注重对湿地的水文、水质、生物多样性和栖息地等各方面功能的有效保护, 以利于其功能的持续发挥。二是明确界定湿地资源的保护范围以及农、林、牧、渔、环保等管理部门的职权, 使湿地保护法规具有较强的权威性和可操作性。三是建立以政府为主、以部门系统为辅的执法机构和执法队伍, 强化执法职能, 加大湿地保护执法力度, 将目前的被动保护转化为主动保护。

5.3.2 重视河流湿地的科学研究

只有系统地对桑干河湿地进行科学研究, 深入揭示湿地生态结构、功能和进化规律, 才能维持自然状态的湿地, 实现对退化湿地的恢复和重建目标。湿地研究的内容应包括: 1) 湿地分类。这是湿地研究的基础工作, 从不同角度出发可以对湿地进行科学合理的分类。2) 湿地建模。主要包括湿地生态模型、湿地化学模型和湿地形态变化模型。3) 湿地评价。主要有: ①湿地功能评价, 着重对湿地内部过程的分析比较; ②湿地环境影响评价, 包括湿地现状评价和预测评价, 主要依据是实测数据和评价模型的预测结果。4) 湿地和周边环境系统的相互联系及其相互作用规律研究。5) 湿地生态系统设计。主要是根据生态工程原理和方法, 构建和恢复湿地。通过对湿地生态系统进行设计, 可以为生态系统健康研究提供范式, 特别是在湿地恢复和构建人工湿地中, 可以为受损湿地提供有效的生态参照指标。

5.3.3 湿地的合理利用和管理

湿地保护涉及诸多部门, 因此, 桑干河流域湿地的管理者应当加强各部门之间的联系与协调, 便于在重大问题上取得共识, 采取协调一致的保护行动。

参考文献

- [1] 陈克林等. 湿地保护与合理利用指南. 北京: 中国林业出版社, 1994, 197
- [2] 杨亚妮. 湿地生态系统研究及防治退化对策. 自然杂志, 2002, 24 (2): 95~99
- [3] 叶居新, 袁宜如, 葛刚. 关于湿地植物. 植物杂志, 2000, (4): 40
- [4] 张龙胜, 宋伯为. 湿地的生态功能及其在汾河治理中的作用. 山西大学学报 (自然科学版), 2000, 23 (2): 172~174
- [5] 陈宜瑜主编. 中国湿地. 长春: 吉林科技出版社, 1995, 1~2
- [6] 杨朝飞. 中国环境科学, 1995, 15 (6): 407~412
- [7] 张裕厚. 桑干河河道特征及水文分析. 山西水利科技, 2003, 1: 36~38
- [8] 吴忱, 马永红, 张秀清. 从晋北地区地貌演化看桑干河的古流向. 地理学与国土研究, 2001, 17 (1): 82~86
- [9] 中国湿地植被编辑委员会. 中国湿地植被. 北京: 科学出版社, 1999
- [10] 杨永兴. 从魁北克 2000—世纪湿地大事件活动看 21 世纪国际湿地科学研究的热点与前沿. 地理科学, 2002, 22 (2): 150~155
- [11] 杨永兴. 国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望. 地球科学进展, 2002, 17 (4): 508~514
- [12] 余国营. 洪灾后的反思—湿地管理和洪水灾害的生态关系浅析. 生态学杂志, 1999, 18 (1): 34~38
- [13] 周小春. 安徽湿地植被类型及利用、保护现状. 安徽师范大学学报 (自然科学版), 2001, 24 (3): 250~253
- [14] 殷康前, 倪晋仁. 湿地研究综述. 生态学报, 1998, 18 (5): 539~546
- [15] 上官铁梁等. 山西湿地维管植物区系多样性研究. 木本植物研究, 2000, 20 (3): 275~281
- [16] Hill M O., R.G.H. Bunce and M.W. Shaw 1975. Indicator species analysis, a divisive polythetic method of classification, and its application to a survey of native pinewoods in Scotland. *Journal of Ecology* 63: 597~613
- [17] P.Greig-Smith, *Quantitative Plant Ecology*, 3rd ed. Oxford: Blackwell Science Publication, 1983: 105~112
- [18] 郭志华等. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究. 植物生态学报, 1997, 21 (5): 424~432
- [19] 彭少麟等. 鼎湖山地带性植被种间联结变化研究. 植物学报, 1999, 41 (11): 1239~1244
- [20] 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间关联测定技术研究. 种间联结测试的探讨与修正. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9 (4): 274~285
- [21] 上官铁梁, 张 峰. 山西绵山植被优势种群的分布格局与种间联结的研究. 武汉植物学研究, 1988, 6 (4): 357~364
- [22] 杜道林, 刘玉成, 李 睿. 缙云山亚热带栲树林优势种群种间联结性研究. 植物生态学报, 1995, 19 (2): 149~157

- [23] 陈中义, 陈家宽. 长喙毛茛泽泻的种群分布格局和种群内种间关联. 植物生态学报, 1999, 23(1): 56~61
- [24] 郭志华, 卓正大, 陈洁等. 庐山常绿阔叶混交林乔木种群种间联结性研究. 植物生态学报, 1997, 21(5): 424~432
- [25] 彭少麟, 王伯荪. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术. 取样技术. 热带亚热带森林生态系统研究, 1985, 3: 167~173
- [26] 蒋有绪. 川西亚高山森林植被的区系, 种间联结关系和群落排序的生态分析. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(4): 281~301
- [27] 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析. 植物生态学报, 2000, 24(3): 351~355
- [28] 张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 芦芽山植物群落种间关系的研究. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1085~1091
- [29] 张峰, 张金屯, 韩广业. 历山自然保护区猪尾沟森林群落树种种间关系及环境解释. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 52~56
- [30] 崔保山. 湿地生态系统生态特征变化及其可持续性问题. 生态学杂志, 1999, 18(2): 43~49
- [31] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展. 生态学杂志, 2001, 20(3): 31~36
- [32] 张明祥等. 中国湿地资源的退化及其原因分析. 林业资源管理, 2001, (3): 23~26
- [33] 王荷生, 张镒铿, 黄劲松等. 华北地区种子植物区系研究. 云南植物研究, 1995, 增刊VII: 32~54
- [34] 李锡文. 中国种子植物区系统计分析. 云南植物研究, 1996, 18(4): 363~384
- [35] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 1991(增刊IV), 1~178
- [36] 王祥荣, 宋永昌. 浙江天童国家森林公园长绿阔叶林种间相关的研究. 应用生态学报, 1994, 5(2): 113~119
- [37] 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带长绿阔叶林种间联结测定技术研究 I—一种间联结测试的探讨与修正. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 274~285
- [38] 王孝安, 郭华, 肖娅萍. 秦岭太白红杉群落种间关系的数量分析. 西北植物学报, 2003, 23(6): 906~910
- [39] 上官铁梁, 张峰. 山西绵山植被优势种群的分布格局与种间关联的研究. 武汉植物学研究, 1988, 6(4): 357~364
- [40] 张思玉. 莎罗群落内主要乔木种群的种间关联性. 应用与环境生物学学报, 2000, 7(4): 355~359
- [41] 王伯荪. 植物群落学. 北京: 高等教育出版社, 1987
- [42] 上官铁梁. 汾河太原段河漫滩草地植被的数量分类与排序. 草业学报, 2001, 10(4): 31~39
- [43] 宋永昌. 植被生态学. 上海: 华东师范大学出版, 2001
- [44] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆博格达山地面生苔藓植被的数量分类与排序研究. 植物生态学报, 2002, 26(1): 10~16
- [45] 张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. 生态学报, 2003, 23(3): 421~427
- [46] 张峰, 上官铁梁. 山西吕梁地区湿地植被数量分类研究. 木本植物研究, 2000, 20(3): 355~360
- [47] 周进, Hisako TACHIBANA, 李伟等. 受损湿地植被的恢复与重建研究进展. 植物生态学报, 2001,

25 (5): 567~572

- [48] Joosten, J. H. J. 1995. Time to regenerate: long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. IN: Wheeler, B. D., S. C. Shaw, W. J. Fojt & R. A. Robertson eds. Restoration of temperate wetlands. Chichester: John Wiley & Sons. 379~404
- [49] Anderson, A. R., D. G. Pyatt & I. M. S. White. 1995. Impacts of conifer plantations on blanket bogs and prospects of restoration. In: Wheeler, B. D., S. C. Shaw, W. J. Fojt & R. A. Robertson eds. Restoration of temperate wetlands. Chichester: John Wiley & Sons. 533~548.
- [50] 刘兴土. 松嫩—三江平原湿地资源及其可持续利用. 地理科学, 1997, 增刊: 451~460
- [51] 张峰, 上官铁梁, 张龙胜. 山西省湿地生物多样性及其保护. 地理科学, 1999, 19 (3): 216~219
- [52] 张峰, 上官铁梁. 山西湿地资源及可持续利用研究. 地理研究, 1999, 18 (4): 420~426

致 谢

在硕士学业即将结束之际，我要感谢我尊敬的导师张峰教授！论文之所以能够顺利如期地完成，得益于先生的辛勤指导。论文从选题、方法设计、野外调查、数据分析到论文定稿，自始至终都是在他的精心指导下完成的。三年来，先生渊博的学识、严谨的治学态度和勤奋忘我的工作精神，无时无刻不在感染着我、激励着我，将永远是我学习的榜样。先生不仅教我如何做学问，而且教我如何做人。他告诉我做学问要踏踏实实，做人也要实实在在，做学问如同做人来不得半点虚假。毕业之际，特向导师的辛勤培养表示衷心的感谢，并致以崇高的敬意！

三年来，我还得到张金彪教授、上官铁梁教授、王孟萍教授等先生的言传身教，老师们的学识自不待言，为人也令我肃然起敬，诸位老师的教导我将铭记在心。在此向各位老师表示衷心的感谢！

在硕士三年的学习中，还得到程占红博士、吴东丽硕士、袁建英硕士等在专业方面给予的很大帮助。野外工作得到马晓勇硕士、樊立硕士、张殿波硕士等的帮助，在此表示诚挚的谢意！此外，跟我朝夕相处的狄小艳硕士在生活和学习上给予了很大的帮助，在此一并表示感谢！

最后我向所有关心和扶持我的各位老师、各位同学致以深深的谢意！

刘丽艳 2004年6月