

# 山西高原植被景观空间特征分析

张先平<sup>1,2</sup>, 张彦军<sup>3</sup>, 王孟本<sup>2\*</sup>

(1. 山西林业职业技术学院, 山西 太原 030009; 2. 山西大学 黄土高原研究所, 山西 太原 030006;  
3. 太行山国有林管理局, 山西 和顺 032700)

**摘 要:**以《山西省植被类型图》(1 : 500 000)和《山西省地形图》(1 : 500 000)为数据源,借助 MAPGIS 系统,对图件进行矢量化,建立研究区植被缀块数据库。选取 2 类 9 种景观指数,对山西高原植被景观格局进行分析。研究结果表明:1)农田植被占植被景观总面积的 55.05%。在 118 个群系中以玉米(*Zea mays*)为主的农作物群系所占面积最大,为 44.00%;以棉(*Gossypium hirsutum*)、麦(*Triticum aestivum*)为主的农作物群系次之,占 8.44%,再次为白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)群系,为 5.17%;2)在山西境内植被分布具有明显纬向地带性,以恒山为界,北部为温带草原带,南部为暖温带落叶阔叶林带;3)景观优势度指数很清晰地揭示了山西高原植被类型的地域特色,灌丛植被是山西高原植被景观的优势成分,其次是温性针叶林,再次是灌草丛。

**关键词:**植被; 景观格局; GIS; 山西高原

**中图分类号:**S718.54      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2013)01-0214-07

## Spatial Characters of Vegetation Landscape in Shanxi Plateau

ZHANG Xian-ping<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan-jun<sup>3</sup>, WANG Meng-ben<sup>2\*</sup>

(1. Shanxi Forestry Technological College, Taiyuan, Shanxi 030009 China;

2. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006 China;

3. Taihang Mountain State-owned Forestry Management Bureau of Shanxi Province, Heshun, Shanxi 032700, China )

**Abstract:** Based on "The Map of Vegetation Types of Shanxi Province (1 : 500 000)" and "The Topographic Map of Shanxi Province (1 : 500 000)", the data-bases of vegetation patches were established through the vectorization of the maps with the MAPGIS technique. The vegetation landscape patterns in Shanxi plateau were analyzed by using 9 landscape indices. The results were as follows. 1) The farmland accounted for 55.05% of the total vegetation area. Within the 118 formations, corn-dominated crop formation occupied the leading place, accounting for 44.00% of the total area of vegetation, followed by cotton & wheat-dominated formation, accounting for 8.44%, and *Bothriochlloa ischaemum* formation, accounting for 5.17%. 2) The vegetation distribution exhibited obvious latitudinal zonality: the temperate grassland was in the North of the Hengshan Mountain, and the warm deciduous broad-leaved forest in the South of the mountain. 3) Landscape dominant index clearly indicated the zonal characters of vegetation types in Shanxi plateau: the scrub vegetation was the dominant element, followed by warm conifer forest, and the shrubby grasslands.

**Key words:** vegetation; landscape pattern; GIS; Shanxi plateau

收稿日期:2012-03-09    修回日期:2012-11-09

基金项目:山西省自然科学基金(2012011033-4);山西省林业厅科技创新项目(201021)。

作者简介:张先平,女,副教授,博士,主要研究方向:景观生态学。E-mail:zxp\_sxty@sina.com

\* 通信作者:王孟本,男,教授,博士生导师,主要研究方向:区域生态学。E-mail:mbwang@sxu.edu.cn

随着“3S”技术为代表的现代新技术在景观生态学中的应用日渐成熟,景观生态学研究的内容也不断丰富与发展。现代景观生态学关注景观格局的空间结构、格局与生态过程、景观格局的动态变化以及景观生态学在生物多样性、全球变化等热点领域的应用<sup>[1]</sup>。植被景观格局是植被生态学研究中的一个较高层次,研究某一区域植被景观格局、动态时空变化、驱动机制和碳汇等生态功能,对于维持区域生态环境的可持续发展具有重要的生态意义和社会意义<sup>[2-4]</sup>。山西省位于黄土高原东部,生态环境比较脆弱。利用 GIS 技术和景观生态方法,从区域的尺度揭示山西高原植被景观的空间特征及分布规律,为山西高原植被恢复与重建以及植被信息制图提供依据。

1 材料与方法

山西省位于黄土高原东部,华北平原西侧,介于太行山与黄河中游峡谷之间,是起伏较大的山地型高原,因而也称山西高原。山西省地处温带与暖温带地区,海拔高度在 250~3 058 m 之间,平均海拔为 1 000 m 左右。属温带大陆性季风气候。年平均气温 3~14℃,昼夜南北温差大。境内东北高,西南低,地貌类型复杂,山地、丘陵、高原、台地和盆地均有分布。

表 1 山西省植被景观分类

Table 1 Classification of vegetation landscape in Shanxi Province

一级分类	二级分类	三级分类	一级分类	二级分类	三级分类
植被型组	植被型	群系/个	植被型组	植被型	群系/个
针叶林	寒温性针叶林	5	草原	蒿类草原	2
	温性针叶林	8		百里香草原	3
针阔叶混交林	寒温性针阔叶混交林	1		针茅草原	2
	温性针阔叶混交林	2		达乌里胡枝子草原	1
落叶阔叶林	山地栎林	6	草甸	山地草甸	3
	山地落叶阔叶杂木林	4		河漫滩草甸	4
	山地杨桦林	4		盐生草甸	5
	平地人工林	4		沼泽植被和水生植被	3
落叶阔叶灌丛	寒温性阔叶灌丛	1	农田	农田	7
	温性阔叶灌丛	29		果园	5
灌草丛	灌草丛	8	人工草地	人工草地	2
草丛	草丛	5	林粮间作	林粮间作	4
合计		植被型组:13 植被型: 24 群系:118			

2 结果与分析

2.1 植被景观总体特征分析

研究区植被景观分为 13 个一级景观类型(植被型组),24 个二级景观类型(植被型),118 个三级景观类型(群系),共 3 479 个缀块(表 2),群系是本研究的基本分类单位。可以看出,在山西省的植被景

1.1 数据来源

以《山西省植被类型图》(1 : 500 000)(山西植被编辑委员会,1985 年)、《山西省地形图》(1 : 500 000)为基础数据源。依托 GIS 对这 3 类图进行校正、矢量化、叠加,获得具有多种信息的山西省植被类型的矢量图(图 1),提取植被斑块信息及其相应的空间数据。

1.2 景观指数的选择

选择 2 类景观指数,一是景观类型水平指数,另一类是景观水平指数。景观类型水平指数:缀块总面积( $A_i$ )、缀块平均面积( $AV_i$ )、缀块面积极差( $SD_i$ )、缀块数( $N$ );景观水平指数有:丰富度( $R$ )、Shannon-Wiener 指数( $H$ )、优势度指数( $D$ )、均匀度( $E$ )<sup>[5-8]</sup>。

1.3 植被分类

依据山西省植被分类系统的分类方法,采用群丛、群系、植被型 3 个基本等级为主要分类单位,群丛组、群系组、植被型组为辅助单位<sup>[9]</sup>,结合山西省植被类型的具体特点,以及自然环境条件,将山西省植被分类系统划分为 13 个植被型组,24 个植被型,118 个群系<sup>[10]</sup>(表 1)。

观中,农田植被的面积最大 86 253.90 km<sup>2</sup>,占植被景观总面积的 55.05%,森林景观占 12.14%(针叶林、针阔叶混交林和落叶阔叶林三者合计),灌丛和草地占 33.42%,沼泽水生植被占有非常小的比例,仅为 0.05%,表明农田在研究区具有重要的地位,是植被景观中的基质,并且对研究区域的发展与稳定具有重要的理论和实践意义。

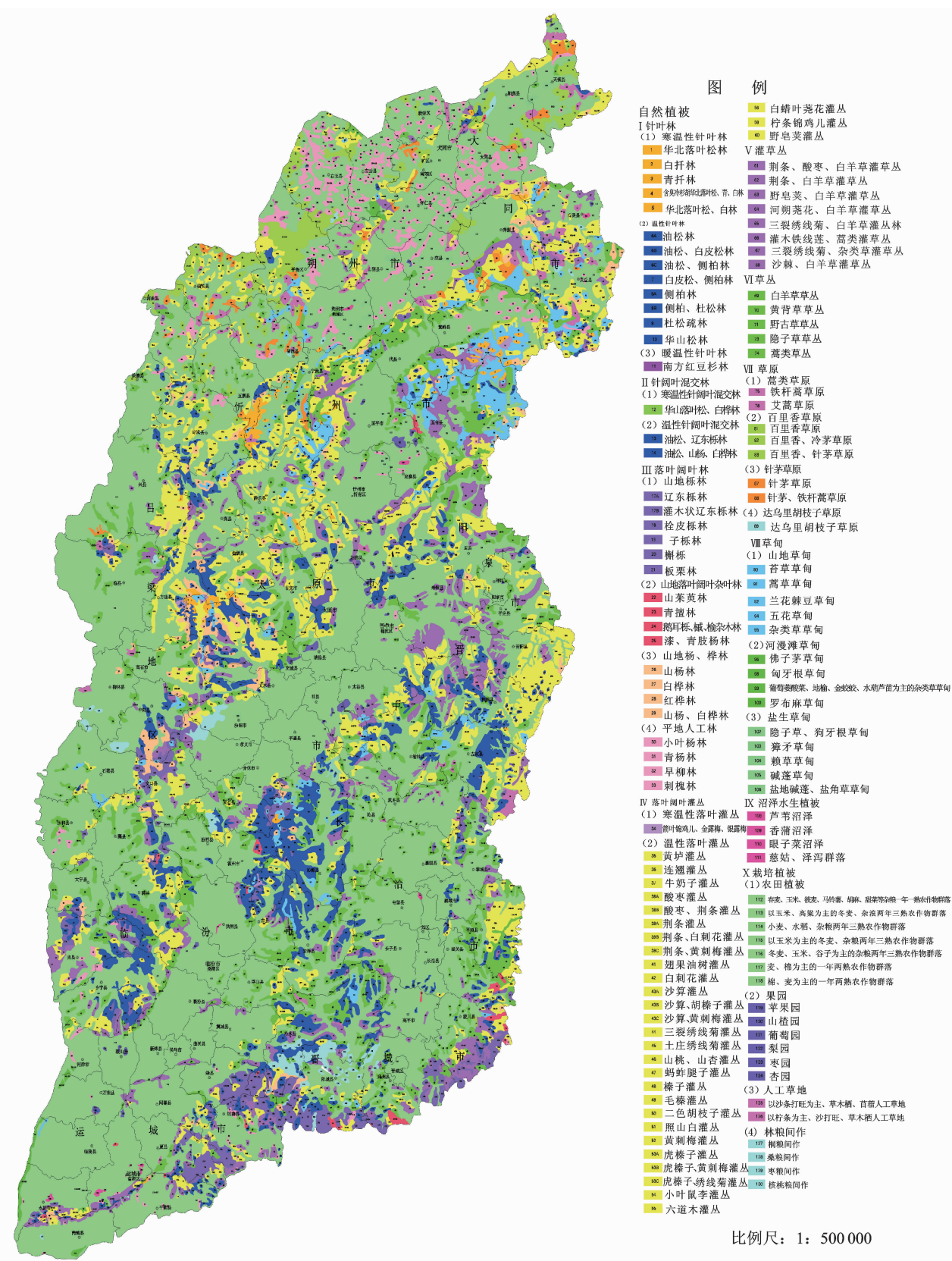


图 1 山西省植被类型图(1 : 500 000)

Fig.1 Map of vegetation types of Shanxi Province

2.2 植被景观缀块规模测度

景观要素的缀块特征主要通过缀块大小或规

模、缀块形状及内部生境指数来反映。本文仅列出一级景观的缀块规模测度统计结果(表 3)。

表 2 植被景观整体组分类型及特征

Table 2 Types of vegetation landscape and their characteristics					
序号	植被型组	面积/km²	比例/%	缀块数	缀块数比
1	针叶林	8 352.75	5.33	521	14.98
2	针阔叶混交林	1 637.17	1.04	69	1.98
3	落叶阔叶林	8 955.92	5.72	597	17.16
4	落叶灌丛	18 531.48	11.83	783	22.51
5	灌草丛	7 893.60	5.04	339	9.74
6	草丛	11 468.50	7.32	569	16.36
7	草原	4 973.44	3.17	212	6.09
8	草甸	4 517.93	6.06	204	5.86
9	沼泽水生植被	85.50	0.05	13	0.37
10	农田植被	86 253.90	55.05	56	1.61
11	果园	432.54	0.28	42	1.21
12	人工草地	298.25	0.19	39	1.12
13	林粮间作	3 279.79	2.09	35	1.01
合计		156 280.77	100	3 479	100

表 3 13 个植被型组的缀块大小指数

Table 3 Indices of patch size in 13 vegetation types							
序号	植被型组	缀块总面积	平均缀块面积	缀块数	最大缀块面积	最小缀块面积	缀块面积极差
		/km²	/km²	/个	/km²	/km²	/km²
1	针叶林	8 352.75	16.032 1	521	267.789 3	1.080 8	266.708 5
2	针阔叶混交林	1 637.17	23.727 1	69	137.676 3	3.735 8	133.940 4
3	落叶阔叶林	8 955.92	15.001 5	597	156.130 3	1.099 8	155.030 5
4	落叶灌丛	18 531.48	23.667 3	783	264.183 2	1.759 7	262.423 5
5	灌草丛	7 893.60	23.284 9	339	210.681 0	2.075 3	208.605 7
6	草丛	11 468.50	20.155 5	569	168.268 5	1.831 9	166.436 6
7	草原	4 973.44	23.459 6	212	359.184 5	2.141 4	357.043 1
8	草甸	4 517.93	22.146 7	204	291.755 4	0.886 6	290.868 8
9	沼泽水生植被	85.50	6.576 6	13	14.209 9	0.381 9	13.828 0
10	农田植被	86 253.90	1 540.248 2	56	26 955.140 2	0.980 3	269 54.159 9
11	果园	432.54	10.298 7	42	91.357 2	1.853 0	89.504 2
12	人工草地	298.25	7.647 6	39	21.610 4	3.304 4	18.306 0
13	林粮间作	3 279.79	93.708 3	35	2 326.177 2	4.558 0	2 321.619 2

(1.90%)。群系 101~107 均为农田人工栽培植被，群系 73 为白羊草(*Bothriochloa ischaemum*) 草丛，群系 8 为油松(*Pinus tabulaeformis*) 林，群系 77 为蒿类(*Artemisia* spp) 草丛，群系 45 为沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*) 灌丛，这些都是天然植被，这些天然植被在整个植被景观中占较大比例。

从各群系缀块数所占的比例看：群系 73(白羊草草丛)11.47%>群系 8(油松林)10.00%>群系 31(小叶杨(*P. simonii*) 林)5.46%>群系 77(蒿类草丛)4.51%>群系 65(荆条(*Vitex negundo*)、酸枣(*Ziziphus jujuba*)、白羊草灌草丛)3.56%>群系 45(沙棘、虎榛子灌丛)3.22%>群系 30(山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*B. platyphylla*) 林)2.82%>群系 47(沙棘灌丛)2.73%>群系 66(荆条、白羊草灌草丛)2.30%>群系 59(虎榛子灌丛)2.21%，群系 18(辽东栎(*Quercus wutaishanica*))2.21%，群系 88(杂类草草甸)2.21%。

由表 3 可见，农田植被的平均缀块面积和最大缀块面积均为最大，而缀块个数相对较小，说明在山西高原植被景观类型中，农田景观的空间粒度和聚集度均最大。缀块平均面积中等大小的植被型组有针阔叶混交林、落叶灌丛、灌草丛、草原、草甸、草丛等，但缀块数落叶灌丛最多，落叶阔叶林次之，说明这 2 类植被型组的景观空间粒度较小，聚集度较小，是呈细粒状镶嵌在整个植被景观中。

从 118 个群系缀块统计表看，面积占较大比例的前 10 个群系有：群系 104(18.6%)>群系 102(16.0%)>群系 105(9.3%)>群系 73(5.2%)>群系 8(4.1%)>群系 107(4.0%)>群系 106(2.5%)>群系 77(2.1%)>群系 101(1.91%)>群系 45

2.3 植被景观多样性分析

景观多样性是表征景观的重要指标，对反映景观的功能有重要意义。景观类型多样性是景观类型的多样性或者差异性特征，即景观中类型的丰富度和复杂性。常用丰富度 *R*，Shannon-Wiener 指数 (*H*)、优势度指数(*D*)和均匀度(*E*)来表示。研究区 24 个植被型的景观多样性特征列于表 4。

从丰富度(*R*)来看，在 24 个植被型中，温性落叶灌丛(29)>温性针叶林(8)=灌草丛(8)>农田植被(7)>山地栎林(6)>寒温性针叶林(5)=草丛(5)=盐生草甸(5)=果园(5)。

从 Shannon-Wiener 指数来看，排在前 10 位的有农田植被(1.220 2)>温性落叶灌丛(0.581 0)>草丛(0.240 4)>灌草丛(0.234 4)>温性针叶林(0.175 6)>山地栎林(0.117 8)>山地草甸(0.111 8)>百里香草原(0.090 5)>林粮间作>(0.090 2)>平地人工林(0.084 0)，这样的顺序与各植被型面积所占比例比较一致。这与 Shannon-

Wiener 指数公式中所用的数量指标有关系,如  $P_i$  是第  $i$  景观植被型占植被景观总面积的比例。

表 4 24 个植被型的景观多样性特征

Table 4 Landscape diversity of 24 vegetation types

序号	植被型名称	$R$	$H$	$D$	$E$
1	寒温性针叶林	5	0.030 0	1.579 4	0.018 7
2	温性针叶林	8	0.175 6	1.903 8	0.084 5
3	寒温性针阔叶混交林	1	0.002 5	-0.002 5	0.000 0
4	温性针阔叶混交林	2	0.052 7	0.640 5	0.076 0
5	山地栎林	6	0.117 8	1.674 0	0.065 7
6	山地落叶阔叶杂木林	4	0.011 9	1.374 4	0.008 6
7	山地杨桦林	4	0.066 5	1.319 8	0.048 0
8	平地人工林	4	0.084 0	1.302 3	0.060 6
9	寒温性落叶灌丛	1	0.007 0	-0.007 0	0.000 0
10	温性落叶灌丛	29	0.581 0	2.786 3	0.172 5
11	灌草丛	8	0.234 4	1.845 0	0.112 7
12	草丛	5	0.240 4	1.369 0	0.149 4
13	蒿类草原	2	0.040 9	0.652 2	0.059 0
14	百里香草原	3	0.090 5	1.008 2	0.082 3
15	针茅草原	2	0.028 2	0.664 9	0.040 7
16	达乌里胡枝子草原	1	0.005 9	-0.005 9	0.000 0
17	山地草甸	3	0.111 8	0.986 8	0.101 8
18	河漫滩草甸	4	0.018 6	1.367 7	0.013 4
19	盐生草甸	5	0.010 9	1.598 6	0.006 7
20	沼泽水生植被	3	0.004 7	1.094 0	0.004 2
21	农田	7	1.220 2	0.725 7	0.627 1
22	果园	5	0.019 4	1.590 0	0.012 1
23	人工草地	2	0.012 5	0.680 7	0.018 0
24	林粮间作	4	0.090 2	1.296 1	0.065 1

从优势度指数( $D$ )来看,排在前 10 位的有:温性落叶灌丛(2.786 3)>温性针叶林(1.903 8)>灌草丛(1.845 0)>山地栎林(1.674 0)>盐生草甸(1.598 6)>果园(1.590 0)>寒温性针叶林(1.579 4)>山地落叶阔叶杂木林(1.374 4)>草丛(1.369 0)>河漫滩草甸(1.367 7)。这是由于优势度指数( $D$ )是指某一类景观缀块占优势的程度,它包含 2 方面的含义:一是景观缀块的类型,二是景观缀面积块所占的比例。

均匀度( $E$ )描述景观缀块类型分布中不同生态系统分布的均匀程度。在 24 个植被型中,均匀度排在前 10 位的是:农田(0.627 1)>温性落叶灌丛(0.172 5)>草丛(0.149 4)>灌草丛(0.112 7)>山地草甸(0.101 8)>温性针叶林(0.084 5)>百里香草原(0.082 3)>温性针阔叶混交林(0.076 0)>山地栎林(0.065 7)>林粮间作(0.065 1)。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 植被景观总体特征

山西高原植被景观分为 13 个植被型组,24 个植被型,118 个群系<sup>[9]</sup>。根据山西省植被类型图的矢量

化结果:在山西省的植被景观中,农田植被占植被景观总面积的 55.05%,森林景观占 12.14%,灌丛和草地占 33.42%,这也表明农田是植被景观的基质。

农作物群落是山西省栽培植被中分布广、面积最大、连通性最好的类型,是该区域的基质<sup>[11]</sup>。从植被类型图上看,群系 104 是以玉米为主的小麦、杂粮两年三熟农作物,主要分布在晋中一带;群系 102 是玉米、莜麦(*Avena chinensis*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)等杂粮一年一熟作物,分布在晋北;群系 105 是小麦、玉米、谷子(*Setaria italica*)为主的杂粮两年三熟农作物,主要分布在晋东南一带。群系 107 和群系 106 是棉或麦为主的一年两熟农作物,主要分布在晋南一带。森林植被中,油松林占较高的比例;在落叶灌丛中,沙棘、虎榛子灌丛占较高的比例;在草丛植被中,白羊草草丛和蒿类草丛占较大比例。

结合地形图与植被类形图,清晰地揭示了山西植被的水平地带性分布规律。以恒山为界分为 2 个植被带<sup>[12-14]</sup>;即北部为温带草原带,南部为暖温带落叶阔叶林带。

温带草原主要分布在恒山以北范围,为温带半干旱气候区,地带性土壤为栗钙土。草原植被类型以旱生和旱中生草原区系的植物种类为优势。该地带较常见的群系是铁杆蒿草原(*Artemisia gmelinii*)、百里香(*Thymus mongolicus*)草原、针茅(*Stipa bungeana* + *S. guandis*)草原、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)草原。农作物以玉米、莜麦、马铃薯等杂粮一年一熟作物为主。

恒山以南的广大地区,属暖温带半干旱和暖温带半湿润气候区,为暖温带落叶阔叶林植被地带。该带以河津禹门口-霍州-陵川县城东南-壶关-平顺为界又可分为南北两个暖温带落叶阔叶林亚带<sup>[9]</sup>,恒山以南至该分界线以北为北暖温带落叶阔叶林带亚带,该分界线以南为南暖温带落叶阔叶林带亚带。

南暖温带落叶阔叶林带亚带内植被为半常绿及落叶阔叶栎林,栓皮栎(*Quercus variabilis*)和槲子栎(*Quercus baronii*)林为该区域的地带植被,落叶灌丛以白刺花(*Sophora davidii*)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、酸枣(*Ziziphus jujuba*)、毛黄栌(*Cotinus coggygria*)、连翘(*Forsythia suspensa*)为优势种;农业栽培植被则以棉花、小麦为主,为一年两熟为主。北暖温带落叶阔叶林亚带则为恒山以南,南暖温带以北的省境中部广大地区。该地带植被以油松林和辽东栎林为主的地带性植被,落叶灌丛以虎榛子、沙棘、蚂蚱腿子(*Myriopholis dioica*)、土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)为优势种,

农业作物以小麦、玉米、谷子、高粱(*Sorghum bicolor*)等杂粮为主两年三熟制作物。

### 3.2 植被缀块单元规模特征

景观要素缀块规模是景观中环境资源特征、干扰状况和群落演替共同作用的结果。从植被缀块规模测度分析中看出:118个群系中群系104、群系102和群系105是以玉米为主的农作物,玉米在全省范围内种植较为广泛,3个群系合计占植被景观总面积的44.00%;群系101、106和107是以棉、麦为主的农作物,主要种植在省境内南部,即运城盆地和临汾盆地,三者合计8.44%。山西省农作物种类繁多,组成农作物群落的主要建群种有:玉米、小麦、谷子、高粱、马铃薯、莜麦、水稻(*Oryza sativa*)、红薯(甘薯 *Ipomoea batatas*)、棉花(*Gossypium hirsutum*)、大豆(*Glycine max*)、胡麻(*Linum usitatissimum*)、向日葵(*Helianthus annuus*)以及小杂粮等。农作物群系面积所占比例较大,缀块平均面积也比较大,但缀块数所占比例较小,表明农作物群系在整个景观中粒度相对较大,是山西省植被景观中分布最广、面积最大的类型。

从各群系缀块数所占的比例表明,较高比例的群系即为山西高原分布较为广泛的物种,乔木树种中油松、小叶杨、山杨、白桦和辽东栎等,灌木中主要有荆条、酸枣、沙棘、虎榛子,草本主要是白羊草和蒿草等。从这些物种的生物学特性上也有共性,属于中生或旱生植物。

自然植被中,白羊草群系面积所占比例和缀块数所占比例均为最大,分别为5.16%和11.47%,这一现象与白羊草的生态习性以及山西高原的自然条件有关,白羊草耐干旱瘠薄,而山西高原的年平均降水量不足400 mm,在许多干旱瘠薄的生境下只适合白羊草的生长与分布。说明白羊草群系粒度较小,在整个植被景观中连通性较好,分布范围较广。

### 3.3 植被景观多样性

从植被景观缀块的优势度来看,排在前面的有温性落叶灌丛、温性针叶林和灌草丛等。这比较客观地反映了山西高原植被类型的地域特色,灌丛植被是山西植被的主要组成部分,占山西自然植被的50%。因山西境内气候多样、地形地貌比较复杂,因而组成灌丛的灌木生活型和种类成分多种多样。在省南部是喜暖中生落叶阔叶灌丛,本区域内以荆条、酸枣、毛黄栌、连翘、白刺花、牛奶子(*Elaeagnus umbellata*)、野皂荚(*Gleditsia microphylla*)等灌木为优势种。这些群落一般分布在低中山地段,构成各山地植被的基带,并与农田植被镶嵌分布。其中荆条、酸枣灌丛,在暖温带广泛分布。境内的中部灌丛

在优势种或建群种的构成上发生了一些变化,除上述的荆条灌丛和酸枣灌丛外,以沙棘、虎榛子、蚂蚱腿子、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、绣线菊(*Spiraea blumei*)、二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等为优势种的灌丛分布较为普遍。境内北部及西北部灌丛属温带草原植被地带。这一地带是我国草原植被的南部边缘,灌木植物区系成分相对贫乏。在山地、丘陵海拔1300 m以上,以沙棘、三裂叶绣线菊(*Spiraea trilobata*)、虎榛子为主的灌丛和灌木草原群落;晋西北黄土高原区广泛分布着人工柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)灌丛,在恒山地山地海拔1400 m左右广泛分布着白蜡叶莨花(*Wikstroemia ligustrina*)为优势的灌丛,这就构成了省境北部特有的灌丛植被类型。

在24个植被型中,优势度排在第二位的是温性针叶林。温性针叶林主要分布在暖温带地区中山和低山丘陵。建群种适宜温暖干燥,四季分明的气候条件或石灰性的山地褐色土与棕色森林土。温性针叶林组成种类主要为油松和侧柏,温性针叶林适应性较强,分布较广。

从优势度指数(D)的排序中可以看出:温性落叶灌丛是山西植被景观中占优势的植被型。温性落叶阔叶灌丛是以温性落叶灌丛为建群层片组成的植物群落,广泛分布于山西南北各地及丘陵地区。它们适应环境的能力,一般比落叶阔叶林或温性针叶林强。在其分布区域,凡是森林难以生长之处大都为他们所占据。另外在森林受到强烈破坏后,由于生境条件恶化,恢复森林困难的地段,也可形成相对稳定的次生落叶阔叶灌丛。但这类灌丛只要加强保育,或采取一定人为措施,大部分可以逐渐恢复和演替为森林。

而占比例较大的农田景观的优势度却比较低,这是因为农田景观的空间粒度较大,一般来说,随粒度增加,景观中缀块数、边界长度、缀块形状的复杂性、多样性随之减小,而缀块面积和聚集度将增加<sup>[15]</sup>。这与前面分析较为吻合。

### 参考文献:

- [1] 李星墨,段广德.基于GIS的呼和浩特城市扩展轴上的绿地景观格局梯度分析[J].内蒙古农业大学学报,2010,31(2):89-94.  
LI X M, DUAN G D. Landscape pattern gradient analysis of green space along the extended directions of urbanization in Huihot based on GIS[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2010, 31(2): 89-94. (in Chinese)
- [2] 高国雄,高欣,张彩霞.榆林沙区景观格局特征与动态分析[J].西北林学院学报 2012, 27(1): 54-57.  
GAO G X, GAO X, ZHANG C X. Analysis on the characteris-



tics of landscape structure and dynamics changes in Yulin Sand Land [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27 (1): 54-57. (in Chinese)

[3] 王森,赵鹏祥,孙存举,等. 基于 3S 技术的黄龙山林地时空动态变化及驱动力分析[J]. 西北林学院学报, 2012, 27 (2): 190-196.

WANG M, ZHAO P X, SUN C J, *et al.* Analyses on spatial-temporal characteristics and driving factors of woodland changes in Huanglong Mountain based on 3S echnology[ J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27 (2): 190-196. (in Chinese)

[4] 李佳,邵全琴,刘纪远. 江西省兴国县森林碳储量动态变化特征[J]. 西北林学院学报, 2012, 27 (2): 163-168.

LI J, SHAO Q Q, LIU J Y. Characteristics of spatio-temporal dynamic changes of the carbon storage of forest vegetation in Xingguo County [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27 (2): 163-168. (in Chinese)

[5] 张敬莉,毛晓利,张硕新. 基于遥感与 GIS 的岐山县景观空间格局分析[J]. 西北林学院学报, 2011, 26 (2): 167-170.

ZHANG J L, MAO X L, ZHANG S X. Analysis on spatial patterns of Qishan Landscape based on RS and GIS[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26 (2): 167-170.

[6] 肖笃宁,布仁仓,李秀珍. 生态空间理论与景观异质性[J]. 生态学报, 1997, 17 (5): 453-460. (in Chinese)

XIAO D N, BU R C, LI X Z. Spatial ecology and landscape heterogeneity[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17 (5): 453-460. (in Chinese)

[7] 陈利顶,傅伯杰. 黄河三角洲人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例[J]. 生态学报, 1996, 16 (4): 337-34.

CHEN L D, FU B J. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta— a case study of Dongying Region[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16 (4): 337-34. (in Chinese)

[8] 杨国靖,肖笃宁. 森林景观格局分析及破碎化评价——以祁连山西水自然保护区为例[J]. 生态学杂志, 2003, 22 (5): 56-61.

YANG G J, XIAO D N. Forest landscape pattern and fragmentation: a case study on Xishui Natural Reserve in Qilian mountain[J]. Chinese Jounlal of Ecology, 2003, 22 (5): 56-61. (in Chinese)

[9] 马子清. 山西植被[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2001.

[10] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京:科学出版社, 1980.

[11] 胥晓,郑伯川,陈友军. 嘉陵江流域植被景观的空间格局特征[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16 (3): 373-378.

XU X, ZHENG B C, CHEN Y J. Features in pattern of spatial vegetation landscape in Jialing River Basin[J]. Resouces and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16 (3): 373-378. (in Chinese)

[12] 傅子桢. 山西各山地植被垂直地带性分析[J]. 山西林业科技, 1976 (2): 12-16.

[13] 上官铁梁. 山西植被的水平地带性分析[J]. 山西大学学报:自然科学版, 1989, 12 (1): 22-29.

SHANGGUAN T L. Analysis of the horizontal zonality of the vegetation in Shanxi Province, China[J]. Journal of Shanxi University : Natural Science Edition, 1989, 12 (1): 22-29. (in Chinese)

[14] 上官铁梁. 山西主要植被类型及其分布的初步研究[J]. 山西大学学报:自然科学版, 1985, 12 (1): 15-20.

SHANGGUAN T L. A Preliminary study on the main vegetation types and their distribution in Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi University: Natural Science Edition, 1985, 12 (1): 15-20. (in Chinese)

[15] 张雅梅,郭芳. 河南伏牛山宝天曼自然保护区植被景观生态承载力分析[J]. 西北林学院学报, 2011, 26 (5): 224-228.

ZHANG Y M, GUO F. Ecological carrying capacity of vegetation landscape at Baotianman Nature Reserve in Funiu Mountain[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26 (5): 224-228. (in Chinese)

(上接第 173 页)

[11] CEVDET K, ONUR C. Rubber toughening of phenolic resin by using nitrile rubber and amino silane [J]. Polymer Testing, 2006, 25 (3): 296-305.

[12] REGHUNADHAN C P. Advances in addition-cure phenolic resins[J]. Progress in Polymer Science, 2004, 29 (5): 401-498.

[13] 张明珠,文志红,杨德超,等. 聚醋酸乙烯乳液的改性研究[J]. 化学与粘合, 2004 (4): 157-158.

ZHANG M Z, WEN Z H, YANG D C, *et al.* Modification of polyvinyl acetate emulsion[J]. Chemistry and Adhesion, 2004 (4): 157-158. (in Chinese)

[14] 张玉龙. 粘接技术手册[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2001.

[15] 李和平. 木材胶黏剂[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.

[16] 韩书广,那斌,戚佳佳,等. 速生杨木单板高频加热层积弯曲胶合工艺研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26 (6): 141-144.

HAN S G, NA B, QI J J, *et al.* Bending and gluing techniques with high frequency heating of laminated fast-growing poplar veneer[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26 (6): 141-144. (in Chinese)