

陕北丘陵沟壑区撂荒地自然恢复植被 的组成结构与数量分类

焦菊英, 张振国, 贾燕锋, 王 宁, 白文娟

(西北农林科技大学 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

摘要: 采用样带调查与 TWINSpan 分类等方法, 对陕北丘陵沟壑区延安、安塞和吴旗 174 个撂荒地样方的物种组成、出现频率与盖度、及群落类型进行了统计与分类。植被组成结构的统计结果表明: 该区自然恢复的植被几乎一半是由禾本科、菊科、豆科和蔷薇科的物种组成, 北温带、旧世界温带、世界与泛热带分布成分占到总物种数近 75%, 且以中旱生、中生和旱生的草本类植物为主, 具有典型的温带地面芽植物气候特征。植被的数量分类表明: 调查样方基本包括了该区自然恢复的主要植被类型, 延安、安塞和吴旗的植被在 1 年生草本群落到多年生蒿禾类草本群落阶段, 依次均以猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、赖草 (*Leymus secalinus*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、达乌里胡枝子 (*Lespedeza davurica*)、铁杆蒿 (*Artemisia gmelinii*)、芨芨草 (*Artemisia giraldii*)、白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*) 等为主要优势物种构成的不同组合的植物群落, 且这些物种具有较高的盖度和频度; 但在植被演替后期, 不同植被带及阴阳坡的演替方向却发生了明显的变化。以延安为代表的森林带, 阴坡可形成黄刺玫 (*Rosa xanthina*)、三角槭 (*Acer buergerianum*)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 等为优势种的群落, 阳坡可形成狼牙刺 (*Sophora viciifolia*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 等为优势种的群落; 以安塞为代表的森林草原带, 阴坡可形成黄刺玫、紫丁香 (*Syringa julianae*)、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*) 等为优势种的群落, 阳坡可形成白羊草 (*Bothriochloa ischaemum*)、狼牙刺等为优势种的群落; 而以吴旗为代表的草原带, 阴阳坡植被分异不明显, 为多年生蒿禾类草本群落。这些演替后期的灌木优势物种均为高位芽植物, 在阴坡为中生, 在阳坡为旱生、中旱生, 虽具有比较高的盖度, 但分布仅仅是零散出现, 并不是目前黄土丘陵沟壑区的主要植被类型。

关键词: 植物分布区类型; 植物生活型; 水分生态型; 植物群落类型; TWINSpan 分类

文章编号: 1000-0933(2008)07-2981-17 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Species composition and classification of natural vegetation in the abandoned lands of the hilly-gullied region of North Shaanxi Province

JIAO Ju-Ying, ZHANG Zhen-Guo, JIA Yan-Feng, WANG Ning, BAI Wen-Juan

Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest A & F University, Yangling 712100, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 2981 ~ 2997.

Abstract: The species composition, frequency and cover of species, and vegetation types of natural vegetation in Yan'an, An'sai and Wuqi in a transect of 174 samples in the abandoned lands in the hilly-gullied region of the North Shaanxi Province were analyzed and classified using TWINSpan. The analysis of species composition shows that almost half of the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40571094; 40771126); 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”资助项目 (01140301)

收稿日期: 2007-07-13; **修订日期:** 2008-04-16

作者简介: 焦菊英 (1965 ~), 女, 博士, 研究员, 从事植被恢复与水土保持环境效应评价研究. E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn

致谢: 中国科学院安塞水土保持生态试验站提供了野外工作条件, 邹厚远研究员提出了宝贵意见, 英国雷丁大学的 Jonathan Mitchley 对英文摘要进行了润色, 在此特表感谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40571094, 40771126) and Northwest of A & F University (No. 01140301)

Received date: 2007-07-13; **Accepted date:** 2008-04-16

Biography: JIAO Ju-Ying, Ph. D., Professor, mainly engaged in vegetation restoration and evaluation on environmental effects of soil and water conservation. E-mail: jyjiao@ms.iswc.ac.cn

species belong to the gramineae, compositae, leguminoseae and rosaceae, and nearly 75% of species belong to the north temperate, old world temperate, cosmopolitan and pantropic groups, the hydro-ecological types are mainly xerophytic-mesophytic, mesophytic and xerophytic, and the main life form is the hemicryptophyte. The TWINSpan analysis shows the main vegetation types of the area. In the earlier stages of succession from annual to perennial herbs in Yan'an, An'sai and Wuyi, the main plant communities include the dominant species *Artemisia scoparia*, *Leymus scalinus*, *Lespedeza davurica*, *Stipa bungeana*, *Artemisia gmelinii*, *Artemisia giraldii* and *Bothriochloa ischaemun* in different combinations, and these species have higher cover and frequency. However, in the later stages of succession, the vegetation of different zones, aspect and slope changes significantly. In the forest zone in the Yan'an area, the vegetation of shady slopes is *Rosa xanthina*, *Acer buergerianum*, *Quercus liaotungensis* dominated communities, and the vegetation of sunny slopes is *Sophora viciifolia* and *Platycladus orientalis* dominated communities. In the forest-steppe zone in the An'sai area, the vegetation of shady slopes is *Rosa xanthina*, *Syringa julianae*, *Ostryopsis davidiana* dominated communities, and on sunny slopes is *Bothriochloa ischaemun* and *Sophora viciifolia* dominated communities. In the steppe zone in the Wuyi area, the vegetation variation between sunny and shady slopes is not obvious and the main vegetation types consist of perennial herbs. The shrub and tree species in the later stages are all phanerophytes, and the species of sunny slopes are mainly xerophytic and mesophytic, and of shady slopes are mainly mesophytic, with higher cover but occurring only sporadically, and are not the main vegetation types in the hilly-gullied region of the North Shaanxi Province.

Key Words: plant areal-types; plant life-form; hydrological ecological types; plant community types; TWINSpan classification

植被恢复是退化生态系统恢复的前提与关键。然而,在我国土壤侵蚀、生态系统退化最为严重的黄土高原地区,植被恢复与建设已有 50 多年的历史,但整体上效果不佳,表现为植被自然恢复缓慢,人工植被物种单一、保存率低下等问题,生态环境恶化状况并没有得到有效遏制,侵蚀产沙仍然威胁着黄河下游的安全^[1,2];而且人工植被掠夺性地利用有限的土壤水资源,出现了明显的土壤干层,影响着生态系统的可持续发展^[3~6]。究其原因是多方面的,但不遵循植被恢复的生态学原则是其重要原因之一^[2,7,8]。植物组分的不同结构是植物生态学的重要研究内容^[9],主要包括科属组成、分布区型、生长型、生活型、生态类型等,是植物组合、地理规律、区域分异、环境变化研究的重要内容,对深入认识植物的起源、分布、群落的结构及其动态均具有重要的参考价值^[10]。同时,群落中生长的各种植物是经过长期的自然选择过程适应了当地的环境条件,以一定的方式有规律地结合在一起,形成一定的群落结构,则不同的植物群落映射着群落的历史和现时环境状况,携带着群落的环境变化及演替趋势的重要信息^[11],反映着当地植被的发育潜力与造林种草条件^[12],因而植被样方的数量分类有助于深入理解研究区物种的空间分布格局及生态适应特性。而在黄土高原地区,对辽东栎群落^[13]、种子植物^[14,15]、珍稀濒危植物^[16]、蕨类植物^[17]、以及晋西黄土丘陵区与土石山区交错地带植物^[18]的区系特征进行了调查研究,并对晋西黄土丘陵与土石山区交错地带灌木植被^[19]、陕北黄土高原森林植被^[20]、山西南部山地白羊草群落^[21]、关帝山亚高山灌丛草甸群落^[22]、黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植被^[23]等也进行了数量分类,但对陕北黄土丘陵沟壑区撂荒地植被自然恢复过程中的植物区系组成、生态特征与群落类型尚未结合起来加以综合分析。为此,本文将对目前陕北丘陵沟壑区不同环境条件下现存撂荒地自然恢复群落的植物组成结构、物种出现的频度与盖度、群落类型与演替方向进行研究,以期为该区人工干预与调控植被恢复进程、评估和预测植被恢复潜力与发展前景提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究是在陕北丘陵沟壑区的延安、安塞和吴旗进行的,分别代表着陕北丘陵沟壑区典型的植被类型区和地貌气候条件。延安属于森林带,但处于森林带的北缘;以梁状丘陵沟壑区为主,海拔变化在 900 ~ 1400m

之间;气候属暖温带半湿润偏干旱季风气候区,多年平均气温 $8.5 \sim 9.5^{\circ}\text{C}$,多年平均降水量 $520 \sim 550\text{mm}$ ^[24]。安塞属于典型的森林草原带;地形复杂,沟壑纵横,海拔在 $997 \sim 1731\text{ m}$ 之间,为典型的梁峁状沟壑区;气候属于暖温带半干旱气候,年均气温 8.8°C ,年均降水量 505.3mm ^[25]。吴旗属草原带,位于草原带的南缘,具有森林草原带与草原带过渡的植被属性;为梁状丘陵沟壑区,间有少数残丘低峁,海拔在 $1233 \sim 1809\text{m}$ 之间;气候属半干旱温带大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季旱涝相间,秋季温凉湿润,冬季寒冷干燥,年平均气温 7.8°C ,多年平均降雨量 483.4mm ^[26]。

1.2 样地调查

在延安燕沟流域的杨家畔、张桥、稍塬梁、南庄河、鸡蛋峁、赵庄,安塞县南沟流域的朱凤台和砖窑沟、纸坊沟流域、真武洞的马家沟和镰刀湾的郭阳湾,以及吴旗吴旗镇的刘区和金佛坪村、薛岔乡的南沟和湫滩村、白豹乡的吴河村等地沿流域宽度方向选择由分水岭至分水岭的断面样带,随植被沿样带的变化并结合退耕年限选择样地,对不同自然恢复的植物群落特征进行调查,样方大小草本为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$,灌木为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$,乔木为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。共计调查样方 174 个,其中延安 45 个样方(阴坡半阴坡 24 个,阳坡半阳坡 21 个),安塞 89 个样方(阴坡半阴坡 48 个,阳坡半阳坡 41 个),吴旗 40 个样方(阴坡半阴坡 16 个,阳坡半阳坡 24 个),样方的具体情况见表 1。

1.3 分析方法

在对样地物种进行调查与鉴定的基础上,进行植物生活型、生态型、区系地理成分以及主要植物群落的划分。生活型分析是根据丹麦学者 Raunkiaer 的划分方法^[27]进行的;植物生态型分析是根据《中国植被》^[28]与《陕西植被》^[29]中的描述进行;植物物种区系地理成分分析是根据《陕西种子植物名录》^[30]来统计分析的;同时,利用 VESPAN III FOR WINDOWS NT/95 软件,以物种盖度作为样地的物种信息,分为 6 级: $0.1\% \sim 4.0\%$, $4.1\% \sim 10\%$, $10.1\% \sim 25\%$, $25.1\% \sim 33\%$, $33.1\% \sim 50\%$, $50.1\% \sim 100\%$ ^[31],即分割水平为 0.1% 、 4.1% 、 10.1% 、 25.1% 、 33.1% 和 50.1% ,各级分割水平的权重依次采用 1、1、2、2、3 和 3,对植物群落进行 TWINSpan(Two-way Indicator Species Analysis)分类,划分植被自然恢复过程中的主要群落类型。

表 1 调查样方的基本情况

Table 1 The basic conditions of sampling plots

地点 Site	样号 Plot No.	时间 Time (a)	坡度 Slope ($^{\circ}$)	盖度 Cover (%)	物种数 Species number	有机质 Organic matter (g/kg)	土壤水分 Soil water 0~2m(%)
延安阳坡 Sunny slope in Yan'an	1	3~4	21	25	6	7.3	9.1
	2	4	26	35	7	6.1	10.6
	3	4	21	45	7	7.5	10.4
	4	5	25	40	11	6.7	12.2
	5	5~6	21	35	12	10.4	9.8
	6	11	16	30	15	7.4	9.9
	7	10	20	40	22	6.6	10.1
	8	14	13	70	11	7.4	7.4
	9	15~16	26	55	12	6.2	6.9
	10	25	27	50	14	11.2	5.4
	11	17~18	25	65	21	8.1	6.6
	12	20	22	40	14	8.7	6.5
	13	20	30~40	45	25	4.4	13.1
	14	20	19	45	31	8.7	7.9
	15	15	25~30	50	17	9.9	8.4
	16	18	35	55	18	8.4	9.2
	17	21~22	25	55	20	11.0	7.3
	18	55	35	70	13	16.5	5.0
	19	>40	25	70	15	10.4	4.8
	20	荒坡 Badlands	25~30	90	16	27.5	5.6

续表

地点 Site	样号 Plot No.	时间 Time(a)	坡度 Slope (°)	盖度 Cover (%)	物种数 Species number	有机质 Organic matter (g/kg)	土壤水分 Soil water 0~2m(%)
延安阴坡 Shady slope in Yan'an	21		22	80	22	26.5	7.6
	22	1	20	15	7	8.1	14.3
	23	5	15	20	23	8.4	13.9
	24	6~7	22	40	12	6.9	14.3
	25	10~12	15	25	16	7.2	11.4
	26	5	15	90	24	22.3	7.4
	27	15	35	40	29	9.5	12.7
	28	16	18~19	40	27	9.7	10.7
	29	25	25	50	26	13.7	10.1
	30	25	18~20	30	31	9.3	11.0
	31	27~28	26	60	16	15.7	6.3
	32	27~28	27	50	16	12.8	6.8
	33	35	25	50	35	13.0	11.0
	34	45	22	20	17	15.4	8.1
	35	60	28	50	29	10.0	9.0
	36	20	23	20	25	10.9	6.7
	37	20~21	12	40	16	10.0	11.2
	38	21~22	27	85	17	8.8	8.7
	39	45	18	85	14	18.8	8.9
	40	35	35	70	20	13.8	7.9
	41	25~26	25	85	18	7.3	7.7
安塞阳坡 Sunny slope in An'sai	42	荒坡 Badlands	35	75	25	28.0	6.0
	43		20~25	90	14	34.2	6.1
	44	60~70	15	95	12	25.0	5.4
	45	60~70	22	90	13	32.3	5.6
	46	6	30~35	15	13	5.8	10.8
	47	25~26	23	15	11	6.7	11.8
	48	4	0~5	45	11	6.3	7.5
	49	8	0~2	30	12	6.6	11.7
	50	1	28	20	7	5.6	6.3
	51	4	5~10	30	14	5.6	8.3
	52	5	30~35	20	9	5.4	13.4
	53	5~6	20	20	9	5.9	11.5
	54	6	28	25	14	5.0	11.1
	55	6	25	25	12	5.3	12.9
	56	8	30~35	30	15	5.1	10.7
	57	9	20	25	22	7.9	13.3
	58	10	0~5	25	16	8.9	13.4
	59	10	20	40	12	7.3	13.1
	60	10	30~35	45	21	5.6	6.8
	61	21	26	35	17	7.5	11.8
	62	2	30	10	8	3.1	15.0
	63	14~15	28	40	23	5.5	8.5
	64	15	24	60	21	5.9	7.8
	65	17	0~5	60	34	6.2	4.7
	66	22	31	75	22	6.0	6.1
	67	30	25	40	33	6.2	6.0
	68	40	20	60	29	8.8	5.7
	69	10	26	20	15	5.4	11.5
	70	16~17	21	45	18	5.4	9.8
	71	20	30	30	17	7.7	9.8
	72	21~22	28	40	27	7.8	9.6
	73	25~26	23	45	26	6.0	9.9

续表

地点 Site	样号 Plot No.	时间 Time(a)	坡度 Slope (°)	盖度 Cover (%)	物种数 Species number	有机质 Organic matter (g/kg)	土壤水分 Soil water 0~2m(%)
	74	13	30	65	21	7.4	10.7
	75	20	30	35	23	5.0	13.6
	76	22	35	50	26	6.4	8.6
	77	30	25	70	20	16.8	13.7
	78	30	30	80	35	10.9	9.3
	79	20	25	65	13	6.9	9.4
	80	29	30	60	16	12.8	8.0
	81	荒坡 Badlands	20	45	19	10.0	13.8
	82		25	85	14	23.7	8.3
	83		30	80	15	17.5	8.1
	84		42	55	11	14.4	5.1
	85		38	50	17	14.3	5.2
	86		35~40	55	21	19.7	12.8
安塞阴坡 Shady slope in An'sai	87	2	20	30	6	7.2	12.7
	88	2	8	25	7	3.2	10.1
	89	4	11	25	7	6.2	10.9
	90	5	20	30	8	6.8	20.4
	91	6	24	30	12	5.0	10.6
	92	10	25	10	10	6.3	11.7
	93	10	6	25	11	7.6	11.0
	94	10	17	20	18	5.1	10.4
	95	15	25~30	25	15	8.9	18.1
	96	3	26	30	8	6.4	7.7
	97	10	15	40	13	10.9	12.9
	98	10	6	50	17	5.7	7.9
	99	11	20	30	18	5.2	12.4
	100	14	18	55	16	6.1	9.7
	101	15	9	55	19	8.1	8.2
	102	19	28	40	26	7.0	7.9
	103	30	21	85	24	11.3	7.3
	104	15~16	25	25	21	5.0	8.2
	105	23	20	90	23	19.4	6.1
	106	5		30	9	7.6	10.5
	107	10	10~15	25	17	7.9	14.3
	108	12	30	35	18	5.4	9.7
	109	15	12	25	21	5.9	9.9
	110	16	13	45	16	8.2	9.5
	111	19	35~40	50	23	16.5	16.8
	112	19	20	75	26	10.4	11.2
	113	20	30~35	20	18	6.1	9.7
	114	20	10	35	16	11.9	12.9
	115	20	25	45	21	17.0	16.4
	116	20	25	45	26	11.9	15.5
	117	22	27	35	15	6.6	9.4
	118	24~25	21	35	17	7.6	9.2
	119	17~18	10~15	65	26	13.4	5.5
	120	25	30	40	17	7.8	12.3
	121	27~29	25	60	29	10.9	7.8
	122	28	25	70	33	13.6	7.4
	123	30	35	35	18	6.8	11.7
	124	30		65	31	9.4	5.3
	125	40	37	65	26	12.5	12.7
	126	荒坡 Badlands	30	30	19	5.7	8.7

续表

地点 Site	样号 Plot No.	时间 Time(a)	坡度 Slope (°)	盖度 Cover (%)	物种数 Species number	有机质 Organic matter (g/kg)	土壤水分 Soil water 0~2m(%)
吴旗阳坡 Sunny slope in Wuqi	127		20	40	23	22.2	9.8
	128		31	35	28	11.4	6.7
	129		25	40	27	14.1	14.5
	130		40	55	35	17.0	9.0
	131		38	90	26	17.7	6.4
	132		20	80	19	29.3	6.7
	133		35	70	14	16.8	8.2
	134		22	70	11	21.4	10.9
	135	4	23	30	6	8.2	13.8
	136	4	29	25	8	5.7	12.0
	137	5		40	8		
	138	7	11	35	11		
	139	7	11	50	13		
	140	9	20	25	15	4.9	12.1
	141	4	29	40	13	5.2	11.1
	142	4	30	30	11	5.0	12.2
	143	6	29	70	14	5.0	8.2
	144	10	8	70	17		
	145	40	0~5	60	24	9.9	12.3
	146	40	28	50	25	13.0	13.0
	147	6	24	75	13	5.2	9.2
	148	8	1	65	16		
	149	9	30	40	19	7.8	10.9
	150	>25	20	85	21		
	151	5	25	85	11	5.9	4.0
	152	6	27	75	16	5.6	9.3
	153	10	20	60	19		
	154	10	3	45	21		
	155	7	5	50	18		
	156	38	30	65	23	5.5	11.1
	157	40	31	50	24	13.2	15.4
	158	40	37	70	25	12.5	8.6
吴旗阴坡 Shady slope in Wuqi	159	4	23	70	7	10.1	13.3
	160	4	29	90	9	7.0	13.0
	161	4	27	30	11	8.9	12.6
	162	9	25	65	14		
	163	15	25	50	16	5.7	13.7
	164		25	85	21		
	165		25	20	19		
	166	9	28	40	18	6.1	9.6
	167	9	18	55	17		
	168	40	30	70	23	11.6	14.6
	169	27	35	95	25		
	170	34	25	35	18		
	171	40	30	25	17	11.0	4.5
	172	40	34	65	23	15.0	12.7
	173		25	75	20		
	174		15	40	21		

2 结果与分析

2.1 物种的组成结构特征

2.1.1 物种的科属成分与分布区类型

在调查的样方中,共有植物 132 种,隶属于 48 个科,102 个属。其中,以禾本科、菊科、豆科和蔷薇科的属

数和物种数较多,属于这四科的属和物种分别占到总数的 45.1% 和 54.5%,可见,陕北丘陵沟壑区自然恢复的植被几乎一半是由禾本科、菊科、豆科和蔷薇科四大科的物种组成(表 2)。

表 2 植物区系各科的属、种组成统计

Table 2 The statistics of genera and species of different families in the flora

科 Family	属 Genera		物种 Species	
	属数 Number of genera	占总属数的% Ratio of total genera	物种数 Number of species	占总物种数的% Ratio of total species
禾本科 Gramineae	14	13.73	21	15.91
菊科 Compositae	13	12.75	23	17.42
豆科 Leguminosae	11	10.78	17	12.88
蔷薇科 Rosaceae	9	8.82	12	9.09
毛茛科 Ranunculaceae	5	4.90	6	4.55
唇形科 Labiatae	3	2.94	3	2.27
萝藦科 Asclepiadaceae	2	1.96	2	1.52
茜草科 Asclepiadaceae	2	1.96	2	1.52
鼠李科 Rhamnaceae	2	1.96	2	1.52
玄参科 Scrophulariaceae	2	1.96	2	1.52
紫草科 Boraginaceae	2	1.96	2	1.52
百合科 Liliaceae	1	0.98	2	1.52
堇菜科 Violaceae	1	0.98	2	1.52
鸢尾科 Iridaceae	1	0.98	2	1.52

注: 柏科 (Cupressaceae), 败酱科 (Valerianaceae), 车前科 (Plantaginaceae), 大戟科 (Euphorbiaceae), 桑科 (Moraceae), 胡颓子科 (Elaeagnaceae), 桦木科 (Betulaceae), 锦葵科 (Malvaceae), 桔梗科 (Campanulaceae), 卷柏科 (Selaginellaceae), 壳斗科 (Fagaceae), 苦木科 (Simaroubaceae), 蓝雪科 (Plumbaginaceae), 藜科 (Chenopodiaceae), 列当科 (Orobanchaceae), 龙胆科 (Gentianaceae), 马钱科 (Loganiaceae), 牻牛儿苗科 (Geraniaceae), 木犀科 (Oleaceae), 木贼科 (Equisetaceae), 葡萄科 (Vitaceae), 槭树科 (Aceraceae), 忍冬科 (Caprifoliaceae), 伞形科 (Umbelliferae), 莎草科 (Cyperaceae), 十字花科 (Cruciferae), 檀香科 (Santalaceae), 旋花科 (Convolvulaceae), 亚麻科 (Linaceae), 怪柳科 (Tamaricaceae), 榆科 (Ulmaceae), 远志科 (Polygalaceae), 芸香科 (Rutaceae), 紫葳科 (Bignoniaceae) 均只有 1 个物种。

植物属在地理成分上有 13 个分布类型、11 个分布变型(表 3)。其中以北温带成分最多,其次依次为世界分布、旧世界温带分布、泛热带分布,这 4 种分布成分占总属数的 70.6%,总物种数的 74.3%。属于北温带和旧世界温带分布的物种大多数为该区植物群落的优势物种或主要伴生种,如蒿属的猪毛蒿、铁杆蒿和茼蒿,针茅属的长芒草和大针茅,隐子草属的糙隐子草和丛生隐子草,委陵菜属的菊叶萎陵菜和二裂萎陵菜,菊属的野菊花,青兰属的香青兰,蔷薇属的黄刺玫,丁香属的紫丁香,绣线菊属的土庄绣线菊,虎榛子属的虎榛子,沙棘属的沙棘,杨属的山杨等。世界分布和泛热带分布的大部分属种在陕北丘陵沟壑区出现频率较高,但不能形成一定的盖度,在样方内只是零星出现;但孔颖草属的白羊草可形成优势群落,且为森林带阳坡重要的草本群落阶段与森林破坏后的主要次生群落、以及森林草原带阳坡比较稳定的群落。东亚和北美洲间断分布有 2 属,为胡枝子属和槐属,其物种如达乌里胡枝子和刺槐在陕北丘陵沟壑区分布广泛,分别为自然恢复群落的优势物种和人工造林的主要树种。属于温带亚洲分布的锦鸡儿属的柠条和延安锦鸡儿的分布也较为广泛,尤其是柠条,生长良好,人工柠条林的盖度可达 50% 以上。其它分布类型的属数在 4 个以下,不能形成一定的盖度。

2.1.2 生态学组成结构

植物对环境从形态和生理上表现出多方面的适应特性,称为生态特征^[10],可划分出诸如生长型、生活型、以及以水、光、温、土壤等为主导因子的各生态类型^[9]。植物的生长型和生活型都是植物对于一定生活环境长期适应所形成的形态外貌特征^[10],植物的生长型可划分为乔木、灌木、草本、藤本、寄生、水生和肉质多浆 7 大类,而生活型目前广泛采用 Raunkier 的分类系统,即以植物休眠或复苏芽所处位置的高低和保护方式为依

表 3 植物区系属的分布区类型统计

Table 3 The statistics of areal-types of genera in the flora

分布区类型 Areal-types	属数 Number of Genera	占总属数 Ratio of total genera %	物种数 Number of species	占总物种数 Ratio of total species(%)
1 世界分布 Cosmopolitan	17	16.67	22	16.67
2 泛热带分布 Pantropic	8	7.84	10	7.58
4-1 热带亚洲、非洲和大洋洲间断分布 Tropical Asia, Africa and Australasia disjuncted	1	0.98	1	0.76
5 热带亚洲至热带大洋洲分布 Tropical Asia to Tropical Australasia	3	2.94	3	2.27
6 热带亚洲至热带非洲分布 Tropical Asia to Tropical Africa	1	0.98	1	0.76
7 热带亚洲(印度-马来西亚)分布 Tropical Asia(Indo-Malesia)	2	1.96	4	3.03
8 北温带分布 North Temperate	22	21.57	35	26.52
8-4 北温带和南温带(全温带)间断分布 North Temperate and South Temperate disjuncted	9	8.82	9	6.82
8-5 欧亚和南美洲温带间断分布 Eurasia and Temperate South American disjuncted	2	1.96	3	2.27
8-6 地中海区、东亚、新西兰和墨西哥到智利 间断分布 Mediterranean, East Asia, New Zealand and Mexico- Chile disjuncted	1	0.98	1	0.76
9 东亚和北美洲间断分布 East Asia and North American disjuncted	2	1.96	3	2.27
10 旧世界温带分布 Old World Temperate	13	12.75	18	13.64
10-1 地中海区、西亚和东亚间断分布 Mediterranean, West Asia and East Asia disjuncted	4	3.92	5	3.79
10-2 地中海区和西马拉雅间断分布 Mediterranean and Himalaya disjuncted	1	0.98	1	0.76
10-3 欧亚和南非分布 Eurasia and South Africa disjuncted	1	0.98	1	0.76
11 温带亚洲分布 Temperate Asia	3	2.94	4	3.03
12 地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranean, West Asia to Central Asia	2	1.96	2	1.52
12-3 地中海区至温带、热带亚洲,大洋洲和 南美洲间断分布 Mediterranean to Central Asia, Australasia and South American disjuncted	2	1.96	2	1.52
13 中亚 Central Asia	1	0.98	1	0.76
13-2 中亚至喜马拉雅 Central Asia to Himalaya	1	0.98	1	0.76
14 东亚分布 East Asia	3	2.94	3	2.27
14-1 中国-西马拉雅 Sino-Himalaya	1	0.98	1	0.76
14-2 中国-日本 Sino-Japan	1	0.98	1	0.76
15 中国特有 Endemic to China	1	0.98	1	0.76

据,把高等植物划分为高位芽植物、地上芽植物、地面芽植物、地下芽植物和1年生植物5大类群^[32]。植物生态类型则是根据植物对某一环境因子的适应特点划分的植物功能型,如对水分因子的适应可划分为水生和陆生植物两大类,陆生植物可进一步划分为湿生、湿中生、中生、中旱生、旱中生和旱生,而对光强度的适应可分为阳性植物、阴性植物和耐阴植物^[33]。所调查植物的生长型、生活型和水分生态型组成结构如表4所示,可以看出:

表 4 植物的生态学组成结构统计
Table 4 The statistics of ecological components of the flora

生长型 Growth form	数量 Number	比例 Ratio%	水分生态型 Water ecological type	数量 Number	比例 Ratio%	生活型 Life form	数量 Number	比例 Ratio%
乔木 Arbor	11	8.3	强旱生 Strong-xerophytic	3	2.3	高位芽植物 Phanerophytes	22	16.7
灌木类 Shrub group			旱生 Xerophytic	31	23.5	地上芽植物 Chamaephytes	20	15.2
灌木 Shrub	10	7.6	中旱生(旱中生) Xerophytic-mesophytic	49	37.1	地面芽植物 Hemicryptophytes	55	41.7
半灌木 Semi-shrub	9	6.8	中生 Mesophytic	46	34.8	地下芽植物 Geophytes	11	8.3
小灌木 small-shrub	5	3.8	湿生 Hygromorphic	3	2.3	1 年生植物 Therophytes	24	18.2
草本类 Herbage groups								
1 年生 Annual	22	16.7						
两年生 Biennial	6	4.5						
多年生 Perennial	68	51.5						

植物生长型包括乔木、灌木、半灌木、小灌木、多年生草本、1 年生、2 年生草本植物,其中,以多年生草本植物为主,占总物种的 51.5%,其次是 1 年生、2 年生植物,占 21.2%,灌木类可占 17.4%,而乔木仅占 8.3%,也有苔藓类物种存在,如中华卷柏。另外,样地中有大量的生物结皮存在,构成生物结皮的为藓类植物,且以较为耐寒的丛藓科植物为主^[34]。

植物的水分生态类型主要有 5 个,即强旱生、旱生、旱中生、中生及湿生等,其中,中旱生(旱中生)型的物种数最多,中生型次之,而强旱生与水生型的物种比例很小。属于旱生、旱中生和中生的植物占总物种的 95.4%,这也反映了陕北丘陵沟壑区的土壤水分条件为中生偏旱,适合于中旱生、中生及早生植物的生长。

植物的生活型有高位芽植物、地上芽植物、地面芽植物、地下芽植物和 1 年生植物,其中以地面芽的种类最多,1 年生植物、高位芽植物、地上芽植物所占比例差异不大,而地下芽植物最少。即陕北丘陵沟壑区的植被具有典型的温带地面芽植物气候特征。

2.2 物种出现的频度和盖度

物种出现频率的分析表明:出现频度大于 25% 的物种有 22 种,占物种总数的 16.7%;而大于 50% 的只有达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿和糙叶黄耆 6 种,且前 5 个物种的出现频率可大于 70%,即这些物种在研究区内分布广泛。在单个样地内出现频率分别大于 50% 和 70% 的物种较多,各有 82 种和 54 种,这些物种为不同植物群落的优势种和主要伴生种。从物种盖度的分析结果可以看出:在单个样地内盖度可达 25% 以上的物种有 23 种,可达 50% 的却只有 14 种,分别占物种总数的 17.4% 和 10.6%;在物种出现的各样方中,平均盖度大于 5% 的物种有 27 种,大于 10% 的物种有 19 种,分别占总物种数的 20.5% 和 14.4%(表 5)。

可见,在陕北黄土丘陵沟壑区自然植被恢复过程中,高频度且高盖度出现的物种并不多,只有达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿、白羊草具有较高的盖度和频度,为该区不同群落的优势物种和主要伴生种,构成了不同恢复阶段的植物群落。然而,这些物种的出现频度与盖度随着植被的恢复演替而发生着变化,如猪毛蒿出现在撂荒 15a 以内的坡地上,在 4~6a 左右具有较高盖度;达乌里胡枝子在 3~40a 均有出现,而在 15~30a 左右出现较大盖度;铁杆蒿在 3~50a 均有出现,而较大盖度则出现在 15~25a 左右;白羊草在 5~30a 均有出现,却在 20~30a 左右出现较大盖度。演替后期的物种如紫丁香、狼牙刺、黄刺玫、水栒子、侧柏、虎榛子、沙棘、辽东栎等,虽在调查样方中具有较高的盖度,但出现频率很低。

表 5 物种的频度和盖度统计

Table 5 The statistic of frequency and coverage of species

	分析内容 Analysis items	物种 Species
频率分析 Frequency analysis	174 样地中出现频度 > 25% 的物种 The species with frequency > 25% in the 174 plots	达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿、糙叶黄耆、糙隐子草、赖草、二裂委陵菜、小薊、山苦荬、狗尾草、猪毛菜、芡蒿、白羊草、硬质早熟禾、丛生隐子草、远志、甘草、菊叶委陵菜、香青兰、柳叶鼠李(共 22 种)
	174 样地中出现频度 > 50% 的物种 The species with frequency > 50% in the 174 plots	达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿、糙叶黄耆(共 6 种)
	174 样地中出现频度 > 70% 的物种 The species with frequency > 75% in the 174 plots	达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿(共 5 种)
	单个样地内出现频度 > 50% 的物种 The species with frequency > 50% in individual plot	达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿、糙叶黄耆、糙隐子草、赖草、二裂委陵菜、甘草、小薊、山苦荬、狗尾草、猪毛菜、芡蒿、苦荬菜、白羊草、硬质早熟禾、丛生隐子草、远志、中华隐子草、尖叶胡枝子、草木樨状黄耆、大针茅、星毛委陵菜、菊叶委陵菜、鹅观草、狭叶米口袋、北京隐子草、杠柳、野豌豆、小花鬼针草、野菊花、异叶败酱、草木樨、沙棘、香青兰、柴胡、紫丁香、茅莓、异燕麦、披针叶苔草、中华卷柏、酸枣、柳叶鼠李、紫花地丁、飞燕草、虎榛子、辽东栎、侧柏、白草、二色棘豆、蒙古蒿、地锦草、砂珍棘豆、裂叶堇菜、蜗牛儿苗、阴行草、抱茎苦麦菜、野谷子、土庄绣线菊、灌木铁线莲、百里香、风毛菊、亚麻、车前、臭草、水榆子、狼牙刺、冷蒿、蓝刺头、黄刺玫、野韭、爬拉藤、翻白草、白头翁、杜梨、百蕊草、山桃、糜子(共 82 种)
	单个样地内出现频度 > 70% 的物种 The species with frequency > 70% in individual plot	达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿、糙叶黄耆、糙隐子草、赖草、二裂委陵菜、甘草、小薊、山苦荬、狗尾草、猪毛菜、芡蒿、苦荬菜、白羊草、硬质早熟禾、丛生隐子草、远志、中华隐子草、尖叶胡枝子、草木樨状黄耆、大针茅、星毛委陵菜、菊叶委陵菜、鹅冠草、狭叶米口袋、北京隐子草、杠柳、野豌豆、小花鬼针草、野菊花、异叶败酱、草木樨、柠条、沙棘、香青蓝、柴胡、紫丁香、茅莓、异燕麦、披针叶苔草、中华卷柏、酸枣、柳叶鼠李、紫花地丁、飞燕草、虎榛子、辽东栎、侧柏、白草、二色棘豆、蒙古蒿(共 54 种)
	单个样地内盖度 > 25% 的物种 The species with coverage > 25% in individual plot	达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿、赖草、芡蒿、白羊草、大针茅、紫丁香、狼牙刺、中华卷柏、黄刺玫、葱皮忍冬、糙隐子草、星毛委陵菜、沙棘、冷蒿、漏芦、延安锦鸡儿、山杨、酸枣、辽东栎(共 23 种)
盖度分析 Coverage analysis	单个样地内盖度 > 50% 的物种 The species with coverage > 50% in individual plot	达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、长芒草、猪毛蒿、铁杆蒿、赖草、芡蒿、白羊草、大针茅、紫丁香、狼牙刺、中华卷柏、黄刺玫、葱皮忍冬(共 14 种)
	出现样地中平均盖度 > 5% 的物种 The species with average coverage > 5% in the appeared plots	猪毛蒿、铁杆蒿、赖草、芡蒿、白羊草、星毛委陵菜、沙棘、丁香、冷蒿、狼牙刺、漏芦、山杨、异燕麦、中华卷柏、黄刺玫、侧柏、酸枣、辽东栎、葱皮忍冬、达乌里胡枝子、长芒草、大针茅、百里香、茅莓、互叶醉鱼草、三角械(共 26 种)
	出现样地中平均盖度 > 10% 的物种 The species with average coverage > 10% in the appeared plots	猪毛蒿、铁杆蒿、赖草、芡蒿、白羊草、星毛委陵菜、沙棘、丁香、冷蒿、狼牙刺、漏芦、山杨、异燕麦、中华卷柏、黄刺玫、侧柏、酸枣、辽东栎、葱皮忍冬(共 19 种)

物种拉丁名见附表 Latin names are in appendix

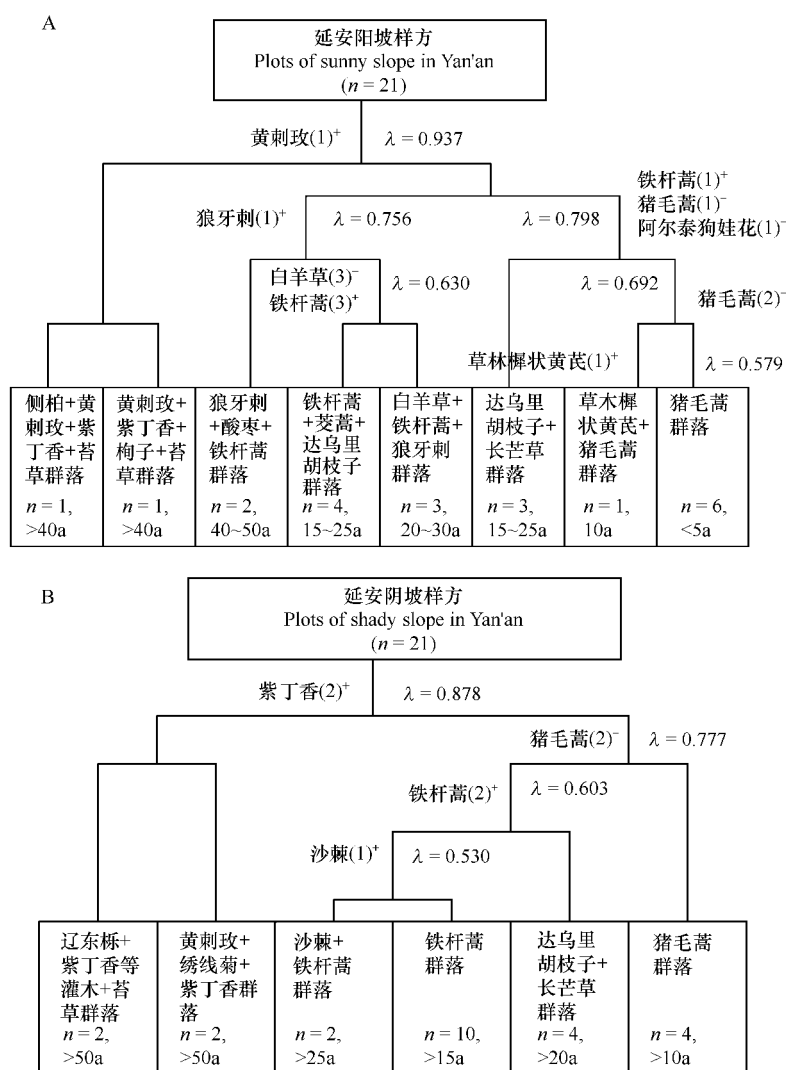
2.3 植物群落划分及演替方向

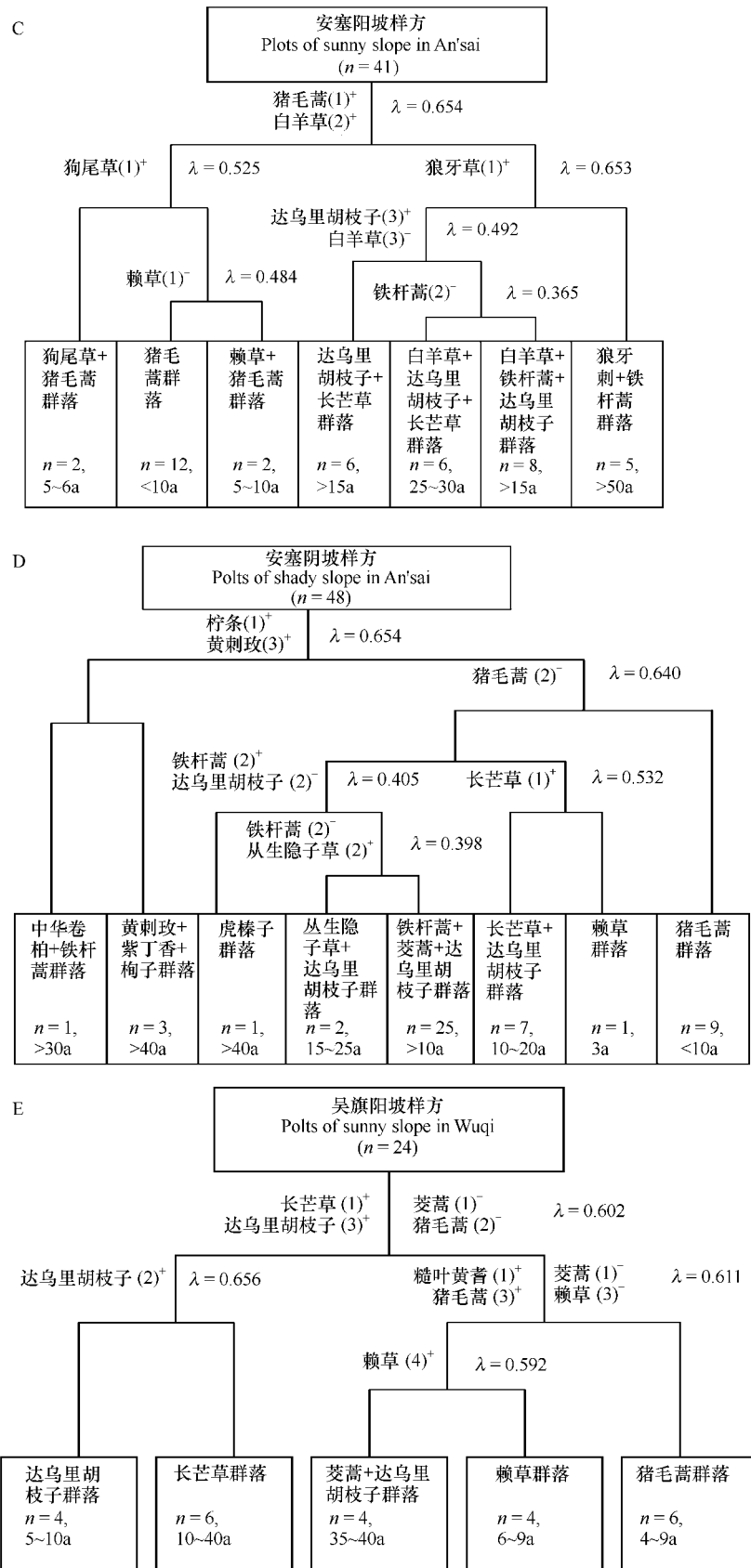
根据样地物种的盖度信息,采取双向指示种分析(TWINSPAN)方法,分别对延安、安塞和吴旗的阴坡和阳坡的植被样方进行了数量分类,具体结果如下:

延安燕沟流域阴坡、阳坡地植被类型的 TWINSPAN 划分结果如图 1A、B 所示,阳坡/半阳坡的植被类型主要有猪毛蒿群落、草木樨状黄芪 + 猪毛蒿群落、达乌里胡枝子 + 长芒草群落、铁杆蒿 + 芡蒿 + 达乌里胡枝子群

落、白羊草 + 铁杆蒿 + 狼牙刺群落、狼牙刺 + 酸枣 + 铁杆蒿群落、黄刺玫 + 紫丁香 + 栒子 + 苔草群落和侧柏 + 紫丁香 + 苔草群落等;而阴坡/半阴坡植被的主要类型有猪毛蒿群落、达乌里胡枝子 + 长芒草群落、铁杆蒿群落、沙棘 + 铁杆蒿群落、黄刺玫 + 紫丁香 + 绣线菊 + 三角械 + 苔草群落、辽东栎 + 紫丁香 + 绣线菊 + 延安锦鸡儿 + 苔草群落等。可见,在延安的燕沟流域植被的主要演替阶段可为 1 年生草本群落阶段→多年生蒿类、多年生禾草与达乌里胡枝子混合形成多年生草本阶段→灌丛阶段→乔木林阶段。阴阳坡植被恢复在多年生禾草阶段与多年生蒿类演替之间并没有表现出严格的先后顺序,而是形成由长芒草、白羊草、铁杆蒿、达乌里胡枝子等物种组合而成的不同群落类型的过渡阶段,构成了不同微环境下分别以不同物种为优势种的多种植被类型,且阴、阳坡植被变化差异不是很明显;但在多年生草本阶段以后,阴、阳坡植被演替的方向则发生了改变,阴坡植被可发展为黄刺玫 + 绣线菊 + 紫丁香 + 三角械 + 苔草群落、辽东栎 + 紫丁香等灌木 + 苔草群落等,阳坡植被则发展为白羊草 + 铁杆蒿 + 狼牙刺群落、狼牙刺 + 酸枣 + 铁杆蒿群落、黄刺玫 + 紫丁香 + 水栒子 + 苔草群落、侧柏 + 紫丁香等灌木 + 苔草群落等不同的植被类型。

依据安塞延河湾镇县南沟流域、延河湾镇纸坊沟流域、真武洞镇马家沟与镰刀湾郭阳湾的植被调查数据,得到 TWINSpan 分类的结果见图 1C、D:阳坡/半阳坡的主要植被类型有狗尾草 + 猪毛蒿群落、猪毛蒿群落、赖草 + 猪毛蒿群落、达乌里胡枝子 + 长芒草群落、白羊草 + 达乌里胡枝子 + 长芒草群落、白羊草 + 铁杆蒿 + 达乌里胡枝子群落和狼牙刺 + 铁杆蒿群落等;阴坡/半阴坡的主要植被类型有猪毛蒿群落、赖草群落、长芒草 + 达乌里胡枝子群落、丛生隐子草 + 达乌里胡枝子群落、铁杆蒿 + 芡蒿 + 达乌里胡枝子 + 长芒草群落、中华卷柏





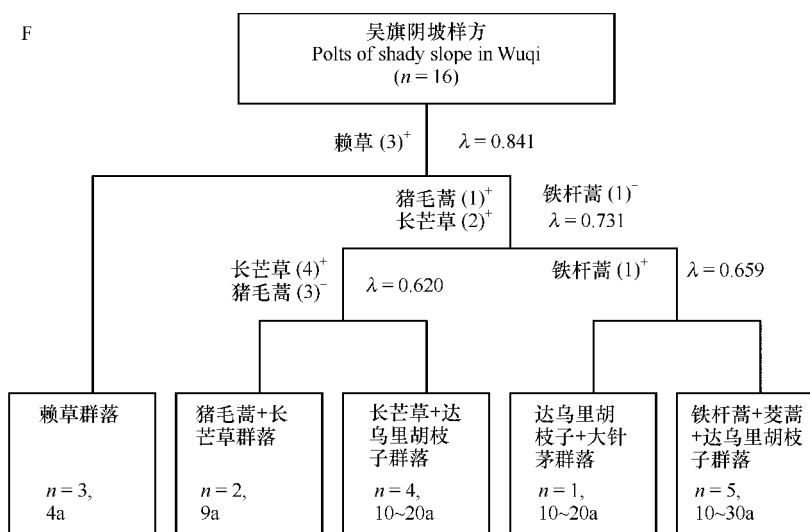


图1 撂荒地植被的 TWINSpan 分类图

Fig. 1 Dendrogram of the TWINSpan classification of vegetation types on abandoned cropland

A 为延安阳坡, B 为延安阴坡, C 为安塞阳坡, D 为安塞阴坡, E 为吴旗阳坡, F 为吴旗阴坡; λ 为特征值; + 为正指示种; - 为负指示种; () 内的数字表示分级水平; n 为物种数; a 为退耕年限; 物种拉丁名见附表 A stands for the sunny slope vegetation in Yan'an, B stands for the shady slope vegetation in Yan'an, C stands for the sunny slope vegetation in An'sai, D stands for the shady slope vegetation in An'sai, E stands for the sunny slope vegetation in Wuqi, F stands for the shady slope vegetation in Wuqi; λ is Eigenvalue; + represents for positive indicator species; - represents for negative indicator species; the number in () is cut level; n is the number of plots; a means years since abandonment; and Latin name of these species are shown in the appendix table)

+ 铁杆蒿群落、虎榛子群落、紫丁香 + 黄刺玫 + 水榆子群落等。在植被演替初期, 优势种为未能被耕耘消灭的杂草, 当耕种停止时, 首先形成优势种为猪毛蒿的群落, 该演替阶段存留时间决定于后期群落繁殖体的来源和数量, 一般 1 ~ 10a; 其次, 随着植物群落演替的进行, 其它物种开始侵入, 其主要侵入种有赖草、长芒草、达乌里胡枝子等, 长芒草和达乌里胡枝子为该阶段的优势群落, 一般可持续 10 ~ 30a; 之后, 铁杆蒿、芨蒿等多年生蒿类为优势的群落代替了禾草群落, 同时也有白羊草群落的出现; 最后是灌木草原阶段, 植被类型在阴坡和阳坡也出现了明显的变化, 阴坡半阴坡的演替可发展为虎榛子、紫丁香、黄刺玫、绣线菊等为建群种的灌木群落, 而阳坡半阳坡的演替可发展为白羊草、铁杆蒿、狼牙刺等为优势种的群落。

吴旗 TWINSpan 的植被分类结果如图 1E、F 所示, 退耕地首先侵入的物种或群落主要以一年生草本植物为主, 其中以猪毛蒿群落为代表, 随着植被的发展, 赖草、长芒草、达乌里胡枝子、阿尔泰狗娃花、糙叶黄耆等物种不断侵入, 猪毛蒿群落可演变为赖草 + 猪毛蒿群落、赖草群落, 这一阶段可持续 5 ~ 10a; 随着演替的进行, 将会形成长芒草群落、达乌里胡枝子群落、铁杆蒿群落、芨蒿群落等不同的植被类型, 且阴阳坡植被变化不明显。

总之, 在陕北丘陵沟壑区植被演替均经历了大体相近的 1 年生草本群落阶段到多年生蒿禾类草本群落阶段, 主要物种为猪毛蒿、赖草、长芒草、达乌里胡枝子、铁杆蒿、芨蒿、白羊草等, 具有比较高的盖度与频度, 构成了依次为优势种且以其它为主要伴生种的群落; 然而, 随着植被的恢复演替, 不同植被带和阴阳坡后期的演替方向却发生了明显的差异, 这与所处的气候条件有着密切的关系。在以延安为代表的森林带, 年平均降水量与气温相对较高, 阴阳坡均可发展为灌木和乔木林, 阴坡可形成黄刺玫、辽东栎等为优势种的群落, 在阳坡可形成狼牙刺、侧柏等为优势种的群落; 在以安塞为代表的森林草原带, 年平均降水量与气温较低, 阴阳坡只可演替为灌木群落, 如阴坡可形成黄刺玫、丁香、虎榛子等为优势种的群落, 在阳坡可形成白羊草、狼牙刺等为优势种的群落, 却难以形成乔木林, 虽在安塞纸坊沟流域调查中偶见地边有杜梨出现, 但具有明显的灌木化特征, 而在延安燕沟流域的杜梨则可长成高大的乔木; 而在以吴旗为代表草原带, 年平均降水量与气温相对更

低,难以演替到灌木和乔木群落,阴阳坡植被分异不显著,可形成长芒草群落、达乌里胡枝子群落、铁杆蒿群落、芨芨群落等为优势种的草本植被类型,伴随有草原带旱生物种如冷蒿、百里香、星毛萎陵菜等的出现。

3 结论

(1)在调查的 174 撂荒地样方中,共有植物 132 种,隶属于 48 个科,102 个属;属于禾本科、菊科、豆科和蔷薇科四大科的属和物种分别占总数的 45.1% 和 54.5%;植物属在地理成分上有 13 个分布类型和 11 个分布变型,其中北温带、世界分布、旧世界温带分布和泛热带分布成分占总属数的 70.6%,总物种数的 74.3%。

(2)植物生长型以多年生草本植物为主,占总物种的 51.5%;植物的水分生态类型以旱生、旱中生和中生植物为主,占总物种的 95.4%;植物生活型以地面芽的种类最多,占总物种的 41.7%;这反映了陕北丘陵沟壑区的土壤水分条件中生偏旱,适合于旱生、中旱生及中生植物的生长,且植被具有典型的温带地面芽植物气候特征。

(3)在陕北丘陵沟壑区自然植被的恢复演替过程中,1 年生草本群落阶段到多年生蒿禾类草本阶段的主要优势物种有猪毛蒿、赖草、长芒草、达乌里胡枝子、铁杆蒿、芨芨、白羊草等,这些物种的水分生态型为旱生、中旱生,具有较高的盖度和频度,为该区的主要优势物种,构成了不同组合的植物群落类型;随着植被的恢复演替,阴坡的优势物种主要为中生,如丁香、虎榛子、沙棘、黄刺玫、三角槭、辽东栎等,阳坡则主要为旱生、中旱生,如狼牙刺、白羊草等,而这些演替后期的物种虽可具有较高的盖度,但只是零散出现,不是目前陕北黄土丘陵沟壑区的主要植被类型。

(4)研究表明陕北丘陵沟壑区具有恢复或构建乔木林的条件,但却主要限于南部森林带,中北部则主要以中生、旱中生灌木林和草地为主。同时,由于丘陵地形复杂多变,在森林草原带水分条件较好的阴坡半阴坡部位可以恢复或构建中生、旱中生乔木林和灌木林,草原带的阴坡半阴坡可以恢复或构建旱中生灌木林。

(5)研究还表明,本区演替后期出现的乔灌群落,分布并不广泛,比较零散,说明植被演替经历的时间还不长久,演替后期所需的土壤条件并不具备^[35],且后期群落的种源也不充足甚或缺乏^[36],植被还需经历很长时间才能逐渐恢复到后期乔灌群落。因此,只能根据植被演替规律,通过土壤改良,及植入(或播种)后期群落的优势种等途径,以逐渐推进植被的恢复过程,而不可违背自然规律,超前营造乔灌木林。

References:

- [1] Tian J L. Restoring the eco-environment in conformity natural law - Some considerations on the vegetation restoration on the Loess Plateau. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2003, 17(2): 101-106.
- [2] Jing K, Zheng F L. Experiential lesson and construction on perspective of vegetation on the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(4): 25-27.
- [3] Mu X M, Xu X X, Wang W L, *et al.* Impact of artificial forest on soil moisture of the deep soil layer on the Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 210-217.
- [4] Li Y S. Effect of forest on land water circulation on the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 427-432.
- [5] Li Y Y, Shao M A. Climatic change, vegetation evolution and low moisture layer of soil on the Loess Plateau. *Journal of Arid Land Resources and Environment*. 2001, 15(1): 73-77.
- [6] Hou Q C, Han R L, Han S F. The issue of 'dried soil layer' in planting tree and grass lands on the Loess Plateau. *Soil and Water Conservation in China*, 1999, (5): 11-14.
- [7] Zou H Y, Guan X Q, Han R L, *et al.* The Probe of Ecological Basis of Vegetation-renewing in the Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 9(4): 1-4.
- [8] Zhu J Z, Zhou X C, Hu J Z. Discussion on some directional problems about vegetation rehabilitation on the Loess Plateau. *Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences)*, 2003, 2(3): 1-4.
- [9] Li J D. A study on the basic life forms of the northeast grassland. *Journal of Jilin Normal University*, 1979 (2): 143-155.
- [10] Li J D, Yang Y F. Analysis on structures of ecological and areal types for plant species in *Leymus chinensis* meadow in the Songnen Plains of China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(4): 10-20.
- [11] Li J D, Yang Y F. Structure types of plant species of ulmus woodland in China's Songhua-Nenjiang Plains. *Acta Agrestia Sinica*, 2003, 11(4):

277—282,300.

- [12] Wang H S, Wang Q N. Discrimination on opinions related to vegetation attributes of the Loess Plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(5): 149—154.
- [13] Zhang S J, Li D W, Yan W H. A study of *Quercus liaotungensis* community flora in the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(1): 22—25.
- [14] Zhang W H, Li D W, Liu G B, *et al.* The Characteristics of the seed plant flora in the Loss Plateau. *Bulletin of Botanical Research*, 2002, 22(3): 373—379.
- [15] Zhang X B, Shangguan Z P. Floristic characteristics of seed plants in Ziwuling of the Loess Plateau. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(8): 872—877.
- [16] Li D W, Dang K L, Wen Z M, *et al.* Research of rare and endangered plants of seed plant flora in the Loess Plateau. *Acta Bot. Boreol. -Occident. Sin.*, 2004, 24(12): 2321—2328.
- [17] Guo X S, Li B, Li J C. Preliminary study on the characteristics of pteridophyte flora in the Loess Plateau. *Acta Bot. Boreol. -Occident. Sin.*, 2005, 25(7): 1116—1151.
- [18] Dong L S, Zhang X D, Zhou J X. The characteristics of flora of seed plants in the ecotone between the bedrock area and loess area of western Shanxi Province. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(8): 157—162.
- [19] Dong L S, Zhang X D, Zhou J X, *et al.* Quantitative classification and ordination of shrub species and communities in a loess landscape of western Shanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 3072—3080.
- [20] Xiang H, Yue M. Quantitative classification and environmental interpretation on forest communities in the Loess Plateau of the north of Shaanxi Province. *Acta Bot. Boreol. -Occident. Sin.*, 2001, 21(4): 726—731.
- [21] Zhang G L, Zhang J T, Cheng L M. Quantitative classification and ordination of *Bothriochloa ischaemum* communities in mountain area of south Shanxi. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(3): 63—69.
- [22] Xi Y X, Zhang J T, Li J L. Quantitative classification and sorting of subalpine shrub and meadow land communities on Guandi Mountain. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(1): 15—20.
- [23] Bai W J, Jiao J Y, Ma X H, *et al.* Classification and ranking of the forae naturally recuperating on the farming — withdrawn land in the hilly and gully regions of the Loess Plateau. *Acta Bot. Boreol. -Occident. Sin.*, 2005, 25(7): 1317—1322.
- [24] Hou Q C, Han R L, Li H P. On the problem of vegetation reconstruction in the Yan' an experimental Area I. conditions of soil water and division of vegetation reconstruction. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7(2): 102—110.
- [25] Gao W S, Dun X B. Evaluation on the services of fragile agricultural ecology system in the hilly and gully region on the Loess Plateau — Case study in An' sai. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 182—188.
- [26] Ren H Y, Wen Z M, Yang Q K. Vegetation restoration and variation of species diversity in the loess hilly-gullied region—case study on the vegetation restoration in Wuqi County. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(2): 154—158.
- [27] Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical plant geography. New York: Oxford University Press, 1932.
- [28] The editor committee of the vegetation in China. *The Vegetation in China*. Beijing: Science Press, 1980
- [29] Lei M D. *The vegetation in Shaanxi Province*. Beijing: Science Press, 1999.
- [30] Zhang Z Y, Li J Z, Cheng Y S. The list of seed plant in Shaanxi Province. Xi'an: Shaanxi Tour Press, 2000.
- [31] Rodwell, J. S. Ed. *British Plant Communities*. Volume 1. Cambridge University Press, 1991.
- [32] Wen Y G, Lai J Y, Liang H W, *et al.* Study on the physiognomic features of community of degraded ecosystem in Darning Mountain, Guangxi. *Journal of Guangxi Agricultural University*, 1998, 17(2): 154—159.
- [33] Yang L M, Han M, Lin H M. Study on biomass changes of plant ecological type groups in the *Leymus chinensis* communities along northeast China transect. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2005, 27(5): 514—518.
- [34] Zhao Y G, Xu M X, Wang Q J, Shao M A. Impact of biological soil crust on soil physical and chemical properties of rehabilitated grassland in the hilly Loess Plateau, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1429—1434.
- [35] Jiao J Y, Ma X H, Bai W J, *et al.* Correspondence analysis of vegetation communities and soil environmental factors on abandoned cropland on hilly-gullied the Loess Plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(5): 744—752.
- [36] Bai W J, Jiao J Y, Zhang Z G. Characteristics of soil seed banks in abandoned croplands at Ansai County on the Hilly-gullied the Loess area. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(2): 65—72.

参考文献:

- [2] 景可, 郑粉莉. 黄土高原植被建设的经验教训与前景分析. *水土保持研究*, 2004, 11(4): 25—27.

- [3] 穆兴民,徐学选,王文龙,等. 黄土高原人工林对区域深层土壤水环境的影响. 土壤学报,2003,40(2):210~217.
- [4] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究. 自然资源学报,2001,16(5):427~432.
- [5] 李裕元,邵明安. 黄土高原气候变迁、植被演替与土壤干层的形成. 干旱区资源与环境,2001,15(1):73~77.
- [6] 侯庆春,韩瑞莲,韩世峰. 黄土高原人工草地“土壤干层”问题初探. 中国水土保持,1999,(5):11~14.
- [7] 邹厚远,关秀琦,韩蕊莲,等. 关于黄土高原植被恢复的生态学依据探讨. 水土保持学报,1995,9(4):1~4.
- [8] 朱金兆,周心澄,胡建忠. 黄土高原植被建设几个方向性问题的探讨. 北京林业大学学报(社会科学版),2003,2(3):1~4.
- [9] 李建东. 东北草原草本植物基本生活型的探讨. 吉林师大学报自然科学版,1979,(2):143~155.
- [10] 李建东,杨允菲. 松嫩平原羊草草甸植物的生态及分布区型结构分析. 草业学报,2002,11(4):10~20.
- [11] 李建东,杨允菲. 松嫩平原榆树疏林植物组分的结构型. 草地学报,2003,11(4):277~282,300.
- [12] 王哈生,王青宁. 黄土高原植被属性有关论点辨析. 林业科学,2005,41(5):149~154.
- [13] 张树杰,李登武,温仲明,等. 黄土高原地区辽东柞群落区系研究. 水土保持研究,2005,12(1):22~25.
- [14] 张文辉,李登武,刘国彬,等. 黄土高原地区种子植物区系特征. 植物研究,2002,22(3):373~379.
- [15] 张希彪,上官周平. 黄土高原子午岭种子植物区系特征研究. 生态学杂志,2005,24(8):872~877.
- [16] 李登武,党坤良,温仲明,等. 黄土高原地区种子植物区系中的珍稀濒危植物研究. 西北植物学报,2004,24(12):2321~2328.
- [17] 郭晓思,黎斌,李军超. 黄土高原蕨类植物区系特点的初步研究. 西北植物学报,2005,25(7):1116~1151.
- [18] 董林水,张旭东,周金星. 晋西黄土丘陵区与土石山区交错地带植物区系特征分析. 干旱区资源与环境,2007,21(8):157~162.
- [19] 董林水,张旭东,周金星,等. 晋西黄土丘陵与土石山区交错地带灌木种的数量分类与排序. 生态学报,2007,27(7):3072~3080.
- [20] 相辉,岳明. 陕北黄土高原森林植被数量分类及环境解释. 西北植物学报,2001,21(4):726~731.
- [21] 张桂莲,张金屯,程林美. 山西南部山地白羊草群落数量分类和排序. 草业学报,2003,12(3):63~69.
- [22] 席跃翔,张金屯,李军玲. 关帝山亚高山灌丛草甸群落数量分类与排序研究. 草业学报,2004,13(1):15~20.
- [23] 白文娟,焦菊英,马祥华,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地自然恢复植物群落的分类与排序. 西北植物学报,2005,25(7):1317~1322.
- [24] 侯庆春,韩蕊莲,李宏平. 关于黄土丘陵典型地区植被建设中有问题的研究——土壤水分状况及植被建设区划. 水土保持研究,2000,7(2):102~110.
- [25] 高旺盛,董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价——以安塞县为例. 自然资源学报,2003,18(2):182~188.
- [26] 任洪玉,温仲明,杨勤科. 黄土沟壑区植被恢复及其物种多样性的变化——以吴旗县植被恢复为例. 干旱区农业研究,2003,21(2):154~158.
- [28] 中国植被编辑委员会编著. 中国植被. 北京:科学出版社,1980.
- [29] 雷明德. 陕西植被. 北京:科学出版社,1999.
- [30] 张志英,李继瓚,陈彦生. 陕西种子植物名录. 西安:陕西旅游出版社,2000.
- [32] 温远光,赖家业,梁宏温,等. 大明山退化生态系统群落的外貌特征研究. 广西农业大学学报,1998,17(2):154~159.
- [33] 杨利民,韩梅,林红梅. 中国东北样带羊草群落植物水分生态类型功能群生物量变化研究. 吉林农业大学学报,2005,27(5):514~518.
- [34] 赵允格,许明祥,王全九,等. 黄土丘陵区退耕地生物结皮理化性状初报. 应用生态学报,2006,17(8):1429~1434.
- [35] 焦菊英,马祥华,白文娟,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植物群落与土壤环境因子的对应分析. 土壤学报,2005,42(5):744~752.
- [36] 白文娟,焦菊英,张振国. 安塞黄土丘陵沟壑区退耕地的土壤种子库特征. 中国水土保持科学,2007,5(2):65~72.

附表 132 个物种的拉丁名

Appendix Latin names of the 132 species

物种 Species	物种 Species	物种 Species
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	山杨 <i>Populus davidiana</i>
艾蒿 <i>Artemisia argyi</i>	互叶醉鱼草 <i>Buddleia alternifolia</i>	山苦卖 <i>Ixeris chinensis</i>
白草 <i>Pennisetum flaccidum</i>	画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	山野豌豆 <i>Vicia amoena</i>
白头翁 <i>Pulsatilla chinensis</i>	黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	三裂叶蛇葡萄 <i>Ampelopsis delavayana</i>
白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i>	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>
百里香 <i>Thymus mongolicus</i>	灰叶黄芪 <i>Astragalus discolor</i>	水栒子 <i>Cotoneaster multiflorus</i>
百蕊草 <i>Thesium chinensis</i>	火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	酸枣 <i>Zizyphus spinosa</i>
抱茎苦卖菜 <i>Ixeris sonchifolia</i>	尖叶胡枝子 <i>Lespedeza juncea</i>	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>
瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	芫蒿 <i>Artemisia giraldii</i>	土庄绣线菊 <i>Spiraea pubescens</i>
北京隐子草 <i>Cleistogenes hancei</i>	角蒿 <i>Incarvillea sinensis</i>	蟋蟀草 <i>Eleusine indica</i>
糙叶黄芪 <i>Astragalus scaberrimus</i>	节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i>	细弱隐子草 <i>Cleistogenes gracilis</i>

续表

物种 Species	物种 Species	物种 Species
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	菊叶萎陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i>	细叶鸢尾 <i>Iris tenuifolia</i>
草木樨 <i>Melilotus suaveolens</i>	苦卖菜 <i>Sonchus denticulata</i>	狭叶米口袋 <i>Gueldenstedtia stenophylla</i>
草木樨状黄芪 <i>Astragalus melilotoides</i>	赖草 <i>Leymus secalinus</i>	细叶韭 <i>Allium tenuissimum</i>
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	蓝刺头 <i>Echinopsis latifolius</i>	香青兰 <i>Dracocephylum moldavica</i>
狭叶柴胡 <i>Bupleurum scorzonerifolium</i>	狼牙刺 <i>Sophora viciifolia</i>	小薊 <i>Cirsium segetum</i>
长芒草 <i>Stipa bungeana</i>	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	小红菊 <i>Dendranthema charetii</i>
车前 <i>Plantago asiatica</i>	辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>	小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i>
臭草 <i>Ruta graveolens</i>	列当 <i>Orobancha coerulescens</i>	星毛萎陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	裂叶堇菜 <i>Viola dissecta</i>	旋花 <i>Calystegia sepium</i>
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	柳叶鼠李 <i>Rhamnus erythroxylon</i>	鸦葱 <i>Scorzenera austriata</i>
丛生隐子草 <i>Cleistogenes caespitosa</i>	琉璃草 <i>Cynoglossum zeylanicum</i>	亚麻 <i>Linum usitatissimum</i>
达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	漏芦 <i>Rhaponticum uniflorum</i>	延安锦鸡儿 <i>Caragana purdomii</i>
大麻 <i>Cannabis sativa</i>	芦苇 <i>Phragmites communis</i>	野谷子 <i>Setaria italica</i>
大针茅 <i>Stipa grandis</i>	麻花头 <i>Serratula centauroides</i>	野菊花 <i>Dendranthema indicum</i>
地黄 <i>Rehmannia glutinosa</i>	茅莓 <i>Rubus parvifolius</i>	野棉花 <i>Anemone hupehensis</i>
地锦草 <i>Euphorbia humifusa</i>	牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	野韭 <i>Allium ramosum</i>
杜梨 <i>Pyrus betulaeifolia</i>	蒙古蒿 <i>Artemisia mongolica</i>	野西瓜苗 <i>Hibiscus trionum</i>
短尾铁线莲 <i>Clematis brevicaudata</i>	糜子 <i>Panicum miliaceum</i>	异燕麦 <i>Helictotrichon Schellianum</i>
鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i>	苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	异叶败酱 <i>Patrinia heterophylla</i>
二裂萎陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>	柠条 <i>Caragana intermedia</i>	益母草 <i>Leonurus japonica</i>
二色补血草 <i>Limonium bicolor</i>	牛皮消 <i>Cynanchum auriculatum</i>	阴行草 <i>Siphonostegia Chinensis</i>
二色棘豆 <i>Oxytropis bicolor</i>	爬拉藤 <i>Galium aparina</i>	茵陈蒿 <i>Artemisia capillaris</i>
翻白草 <i>Potentilla discolor</i>	披针叶苔草 <i>Carex lancifolia</i>	虻果芥 <i>Torularia humilis</i>
飞燕草 <i>Consolida ajacis</i>	蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	硬质早熟禾 <i>Poa sphondylodes</i>
风毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	榆树 <i>Ulmus pumila</i>
葱皮忍冬 <i>Lonicera ferdinandii</i>	三角槭 <i>Acer buergerianum</i>	远志 <i>Polygala tenuifolia</i>
甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	泡沙参 <i>Adenophora Potaninii</i>	獐牙菜 <i>Swertia bimaculata</i>
杠柳 <i>Periploca sepium</i>	沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	中华卷柏 <i>Selaginella sinensis</i>
高粱 <i>Sorghum vulgare</i>	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	中华隐子草 <i>Cleistogenes chinensis</i>
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	沙生冰草 <i>Agropyron desertorum</i>	猪毛菜 <i>Salsola collina</i>
拐轴鸦葱 <i>Scorzonera divaricata</i>	砂珍棘豆 <i>Oxytropis gracillima</i>	猪毛 <i>Artemisia scoparia</i>
灌木铁线莲 <i>Clematis fruticosa</i>	山桃 <i>Amygdalus davidiana</i>	紫丁香 <i>Syringa julianae</i>
鹤虱 <i>Lappula myosotis</i>	山杏 <i>Armeniaca sibirica</i>	紫花地丁 <i>Violaceae philippica</i>