

# 陕西省丹汉江流域退耕地恢复过程中的植被演替\*

王星<sup>1,2,\*</sup> 李占斌<sup>1</sup> 李鹏<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西安理工大学水利水电学院, 西安 710048; <sup>2</sup>陕西省水土保持局, 西安 710004)

**摘要** 以陕西省丹汉江流域退耕地南坡和北坡不同退耕年限的自然恢复植物群落为研究对象,开展群落物种组成调查,并进行物种多样性特征分析和群落极点排序,对该区退耕地恢复过程中的植被演替规律进行研究.结果表明:研究区退耕地植被演替的阶段依次为:一年生草本群落→多年生草本群落→灌草群落→乔灌草群落.形成多年生草本群落需2~5 a,形成灌草群落需7~10 a,形成乔灌草群落需30 a以上.南坡和北坡不同类型退耕地的植被演替阶段相同,物种多样性指数略有差异.随着退耕年限的增加,南坡物种多样性指数总体呈先降后升的趋势;而北坡物种多样性指数呈先波动上升,而后在退耕30 a时略有下降.

**关键词** 丹汉江流域 退耕地 恢复 植被演替

**文章编号** 1001-9332(2012)02-0347-10 **中图分类号** S718.5 **文献标识码** A

**Vegetation succession on retired croplands during their recovery processes in Dan-Han River Watershed of Shaanxi Province, Northwest China.** WANG Xing<sup>1,2</sup>, LI Zhan-bin<sup>1</sup>, LI Peng<sup>1</sup> (<sup>1</sup>College of Water Resources and Hydraulic Power, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; <sup>2</sup>Shaanxi Provincial Bureau of Soil and Water Conservation, Xi'an 710004, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2012, 23(2): 347-356.

**Abstract:** Taking naturally recovering plant communities on the croplands having been retired for different years and distributed on the southern and northern slopes in the Dan-Han River watershed of Shaanxi Province as test objects, an investigation was conducted on their community species composition, diversity characteristics, and community polar ordination. In the study area, the vegetation succession process on the retired croplands followed the stages of annual herb community→perennial herb community→shrub-herb community→arbor-shrub-herb community. The formation period for perennial herb community, shrub-herb community, and arbor-shrub-herb community was about 2-5 a, 7-10 a, and more than 30 a, respectively. On the southern and northern slopes, different types of retired croplands had the same vegetation succession stages, and had small discrepancies in species diversity indices. With increasing retired years, the species diversity indices on the southern slope increased after an initial decrease, while those on the northern slope had a fluctuated increase first, and slightly decreased by the end of the 30 a.

**Key words:** Dan-Han River watershed; retired cropland; recovery; vegetation succession.

明确植物群落的组成和结构可以为进一步揭示群落功能及物种共存机制奠定基础<sup>[1]</sup>.植物群落演替是植物群落动态变化的最重要特征.现代群落生态学研究不只是对群落特征进行简单描述,而是进一步研究其演替和恢复机理<sup>[2-3]</sup>.目前,对退化生态系统恢复方面的研究主要集中在植被自然演替规律、人工恢复的方法、演替与生物多样性的关系等方面<sup>[4-5]</sup>.植被重建必须依赖于对动态原则的理解,并

顺应演替规律.成功的人工植被是在深入认识生态原则和动态原则基础上模拟自然植被的产物.因此,退化生态系统恢复与重建的最有效和最省力的方法是顺应生态系统的演替发展规律来进行<sup>[6]</sup>.

在国外,从20世纪初开始,随着社会发展和劳动生产率的大幅提高,农耕地开始退耕,对退耕地植被恢复的研究已逐渐开展.20世纪80年代之后,我国一些相对恶劣条件下(如干旱、高寒、盐碱等)的耕地出现退耕,90年代末国家开始大力实施退耕还林(还草)工程.目前,对退耕地植被恢复的研究主要集中在植被的自然恢复、植被的人工恢复、微生物

\*国家自然科学基金项目(41071182)、教育部博士点基金项目(20096118110006)和陕西省教育厅重点实验室项目(09JS094)资助.

\* 通讯作者. E-mail: shanxist@163.com

2011-05-31 收稿,2011-11-14 接受.

和其他动物对植被演替的影响等方面<sup>[7]</sup>. 退耕地的植被恢复演替属于次生演替,包括植物繁殖体的传播、定居、群聚、竞争、反应、稳定等阶段. 退耕地植被的自然演替是群落内部关系与外界环境中各种生态因子综合作用的结果<sup>[8]</sup>,也是在种群恢复的基础上种间和种内关系的重建过程<sup>[9]</sup>. 植物种群对有限资源的竞争是决定植物群落种类组成多样性及演替动态的主要因子<sup>[10]</sup>. 在退耕地上,生产力低的立地非生物量和生产力高的立地生物量起决定作用<sup>[11-13]</sup>. 演替过程中植物种类数目的变化具有明显的波动性:演替初期,代表立地特征的种类较少,而代表农田杂草的种类较多;随着演替的发展,地带性指示植物增加,而杂草类植物种类下降<sup>[14]</sup>. 在自然状态下,退耕地植被的演替阶段为草本植物群落阶段→灌丛植物群落阶段→乔木群落阶段,历时约 40~50 a,到达乔木群落则相当稳定<sup>[15]</sup>. 随着演替时间的推移,退耕地植物群落的结构由简单到复杂<sup>[16]</sup>,物种多样性、均匀度和稳定性呈增加趋势<sup>[17]</sup>. 物种总数、丰富度指数均表现出先升后降的“单峰型”变化,而物种均匀度、物种多样性指数则表现出先降后升<sup>[18]</sup>. 经过植被的恢复与重建,退耕地土壤理化性状得到改善,土壤肥力增加,不仅有利于水土保持、降低养分流失,而且能够调节小气候、改善生态环境<sup>[19]</sup>.

陕西省丹汉江流域是国家南水北调中线工程的主要水源区. 近年来,随着国家退耕还林(还草)工程和丹江口库区及上游水土保持工程的实施,流域内有大量坡耕地得以退耕. 截至 2009 年底,累计完成退耕地造林  $21.88 \times 10^4 \text{ hm}^2$ . 张海峰等<sup>[20]</sup>对陕西省宁陕县寨沟小流域退耕地草本植被恢复过程的研究表明,退耕地在弃耕初期发生着剧烈的恢复演替,草本植被恢复的演替方向是由以田间杂草为主到多年生根茎植物为主,退耕时间超过 3 a 时草本群落结构已趋于稳定,多样性、均匀度均有大幅上升,草本植被基本上得到恢复. 但其研究内容仅是单个小流域短时段内草本植被的演替过程. 目前,针对整个陕西省丹汉江流域长时段内植被恢复演替的研究仍然偏少. 本研究分析了陕西省汉丹江流域退耕地植被恢复演替的规律,对于合理配置植物品种、构建稳定群落结构、提高退耕还林工程效益、改善该地区的生态环境、实现可持续发展等都具有重要意义.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

陕西省丹汉江流域包括汉江干流和丹江支流两

条流域,土地总面积  $62731 \text{ km}^2$ ,其中,汉江流域  $55180 \text{ km}^2$ 、丹江流域  $7551 \text{ km}^2$ . 该区地貌格局为两山夹一川,地貌类型有高山、中山、低山、丘陵和河谷盆地、阶地等. 土壤类型以黄褐土、棕壤、黄棕壤、紫色土为主. 降水丰沛,水热条件良好,年均降水量  $700 \sim 1000 \text{ mm}$ ,无霜期  $170 \sim 250 \text{ d}$ . 该区生物多样性丰富,是我国物种资源宝库之一. 植物群落地带分布自北向南为暖温带落叶阔叶林和北亚热带落叶阔叶林,森林分布广,森林覆盖率约 36%. 流域内山大沟深,地形破碎,坡耕地面积较大. 2000 年,流域内有耕地面积  $100.37 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , $5^\circ$  以上坡耕地面积  $68.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , $25^\circ$  以上陡坡耕地面积  $29.49 \times 10^4 \text{ hm}^2$ .

1.2 植物群落调查

2006 年 7—8 月,以陕西省略阳县、镇巴县、紫阳县、平利县、商州区和山阳县的不同退耕年限的自然恢复植物群落为研究对象,结合相关资料和调查农户确认恢复前的土地利用状况,以空间代替时间的方法,在南坡和北坡不同坡向的立地上,根据群落实际分布情况,运用典型抽样方法选取 22 个样地,每个样地面积  $500 \text{ m}^2$  (图 1). 其中,略阳县有样地  $S_5, S_9, S_{11}$  和  $N_5$ ,镇巴县有样地  $S_2, S_8, N_9$  和  $N_{10}$ ,紫阳县有样地  $S_3, S_7, N_7$  和  $N_8$ ,平利县有样地  $N_1, N_3$  和  $N_{11}$ ,商州区有样地  $S_6, N_2, N_4$  和  $N_6$ ,山阳县有样地  $S_1, S_4$  和  $S_{10}$ . 在样地内随机选取 3~4 个样方进行植被调查,其中乔木样方  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ ,灌木样方  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ ,草本样方  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ . 调查内容包括退耕时间、地理位置、坡度、坡向、群落基本特征(植物的种类、盖度、数量、频度等)和群落生长发育情况. 南坡和北坡不同退耕地的植物群落基本概况分别见表 1 和表 2.

1.3 物种多样性指数的计算

物种数(S)指群落中主要植物的种类.



图 1 研究区分布示意图

Fig. 1 Distribution of study area.

表 1 南坡退耕地植物群落概况  
Table 1 Survey of plant community on retired croplands on southern slope

样地 Plot	群落名称 Community name	恢复年份 Restoration year	退耕年限 Abandoned years	地点 Location	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude ( m )	坡度 Slope degree ( ° )	坡向 Slope direction	坡位 Slope position
S <sub>1</sub>	狗尾草+一年蓬 <i>Setaria viridis</i> + <i>Eri- geron annuus</i>	2005	1	山阳县 Shanyang County	109°52'50"	33°36'37"	1010	30	南偏东 8° South by east 8°	上部 Upside
S <sub>2</sub>	小酒花+一年蓬 <i>Humulus lupulus</i> + <i>Erigeron annuus</i>	2004	2	镇巴县 Zhenba County	107°52'57"	32°39'49"	1123	26	东偏南 2° East by south 2°	中部 Middle
S <sub>3</sub>	一年蓬+小酒花 <i>Erigeron annuus</i> + <i>Humulus lupulus</i>	2003	3	紫阳县 Ziyang County	108°35'27"	32°31'40"	800	17	南偏东 45° South by east 45°	下部 Under
S <sub>4</sub>	铁杆蒿+一年蓬 <i>Artemisia gmelinii</i> + <i>Erigeron annuus</i>	2002	4	山阳县 Shanyang County	109°52'50"	33°36'38"	1012	32	南偏东 2° South by east 2°	上部 Upside
S <sub>5</sub>	一年蓬+小酒花 <i>Erigeron annuus</i> + <i>Humulus lupulus</i>	2001	5	略阳县 Lueyang County	106°12'09"	33°22'20"	747	20	南偏西 10° South by west 10°	下部 Under
S <sub>6</sub>	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	2000	6	商州区 Shangzhou County	109°50'49"	33°55'35"	1048	18	东偏南 33° East by south 33°	中下部 Under- middle
S <sub>7</sub>	白茅草甸 <i>Imperata cylindrica</i> meadow	1999	7	紫阳县 Ziyang County	108°35'17"	32°31'53"	934	23	东偏南 41° East by south 41°	中部 Middle
S <sub>8</sub>	白茅草甸 <i>Imperata cylindrica</i> meadow	1998	8	镇巴县 Zhenba County	107°59'38"	32°20'39"	837	31	西偏南 10° West by south 10°	中部 Middle
S <sub>9</sub>	白茅草甸 <i>Imperata cylindrica</i> meadow	1996	10	略阳县 Lüeyang County	106°12'00"	33°22'23"	816	32	南偏东 5° South by east 5°	中上部 Upper- middle
S <sub>10</sub>	白茅草甸 <i>Imperata cylindrica</i> meadow	1990	16	山阳县 Shanyang County	109°52'46"	33°36'29"	889	27	西偏南 35° West by south 35°	中部 Middle
S <sub>11</sub>	大齿栎+栓皮栎 天然林 <i>Quercus acutissima</i> + <i>Q. variabilis</i> forest	1975 年前 Before 1975	>30	略阳县 Lüeyang County	106°11'59"	33°22'24"	839	25	南偏东 26° South by east 26°	中上部 Upper- middle

$$H = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$
式中: $H$  为香农指数, $P_i$ 为物种  $i$  所占面积的比例.

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$
式中: $D$  为辛普森指数, $N$  为所有物种的个体总数, $n_i$ 为第  $i$  个物种的个体数.

$$E = H / \ln S = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) / \ln S^{[21]}$$
式中: $E$  为物种均匀度指数.

1.4 极点排序

采用 Bray-Curtis 相异系数进行极点排序,这种方法可使丰富种在测度中占优势,而稀有种在测度中作用较小<sup>[22]</sup>. 群落间相异系数采用下式计算<sup>[22-24]</sup>:

$$D(j,k) = \frac{\sum_{i=1}^n |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^n |X_{ij} + X_{ik}|}$$
式中: $D(j,k)$  为群落  $j$ 、 $k$  之间的相异系数; $n$  为参加排序的群落类型数; $X_{ij}$ 、 $X_{ik}$  分别为植物种群  $i$  在群落  $j$  和  $k$  中的频度(群落中某种植物出现的样方数占整个群落样方数的百分比).

选择相异系数最大的 2 个群落作为  $x$  轴的 2 个端点,其他群落在  $x$  轴上的坐标根据下式计算:

$$X_i = \frac{L_x^2 + D_{ia}^2 - D_{ib}^2}{2L_x} \quad (i \neq a, b)$$
式中: $L_x$  为  $x$  轴两端点的距离; $D_{ia}$  和  $D_{ib}$  分别为群落  $i$  与 2 个端点群落  $a$ 、 $b$  的相异系数.

偏离值  $h = \sqrt{D_a^2 - \bar{X}^2}$

表 2 北坡退耕地植物群落概况  
Table 2 Survey of plant community on retired croplands on northern slope

样地 Plot	群落名称 Community name	恢复年份 Restoration year	退耕年限 Abandoned years	地点 Location	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Altitude ( m )	坡度 Slope degree ( ° )	坡向 Slope direction	坡位 Slope position
N <sub>1</sub>	一年蓬+狗娃花 <i>Erigeron annuus</i> + <i>Heteropappus hispidus</i>	2005	1	平利县 Pingli County	109°18'46"	32°23'26"	619	17	北偏东 7° North by east 7°	中部 Middle
N <sub>2</sub>	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	2004	2	商州区 Shangzhou County	110°00'10"	33°48'37"	760	23	北偏东 8° North by east 8°	中下部 Under- middle
N <sub>3</sub>	鸡眼草+野艾蒿 <i>Kummerowia striata</i> + <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	2003	3	平利县 Pingli County	109°18'67"	32°23'32"	544	17	北偏西 33° North by west 33°	下部 Under
N <sub>4</sub>	野菊花+一年蓬 <i>Chrysanthemum indi- cum</i> + <i>Erigeron annuus</i>	2002	4	商州区 Shangzhou County	109°50'51"	33°35'40"	1046	15	西偏北 20° West by north 20°	中下部 Under- middle
N <sub>5</sub>	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulae- folia</i>	1999	7	略阳县 Lüeyang County	105°54'11"	33°21'23"	930	17	北偏东 11° North by east 11°	下部 Under
N <sub>6</sub>	黄背草 <i>Themeda triandra</i>	1996	10	商州区 Shangzhou County	110°00'05"	33°48'33"	839	37	东偏北 31° East by north 31°	中上部 Upper- middle
N <sub>7</sub>	悬钩子 <i>Rubus irritans</i>	1995	11	紫阳县 Ziyang County	108°32'05"	32°30'35"	375	30	北偏西 7° North by west 7°	中部 Middle
N <sub>8</sub>	二色胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	1991	15	紫阳县 Ziyang County	108°35'20"	32°31'56"	972	35	西偏北 43° West by north 43°	中上部 Upper- middle
N <sub>9</sub>	野棉花 <i>Anemone vitifolia</i>	1990	16	镇巴县 Zhenba County	107°52'51"	32°40'03"	1246	21	东偏北 3° East by north 3°	中部 Middle
N <sub>10</sub>	苔草草甸 <i>Carex dispalata</i> meadow	1981	25	镇巴县 Zhenba County	107°52'57"	32°39'48"	1129	29	东偏北 14° East by north 14°	中部 Middle
N <sub>11</sub>	山杨林 <i>Populus davidiana</i> forest	1975 年前 Before 1975	>30	平利县 Pingli County	109°18'42"	32°23'24"	640	17	北偏西 33° North by west 33°	中上部 Upper- middle

第二排序轴  $y$  的一个端点选取与  $x$  轴偏离值最大的群落,另一个端点选取与前者(与  $x$  轴偏离值最大的群落)距离系数最大的群落,两端点确定后,其他点的坐标根据下式计算:

$$Y_j = \frac{L_y^2 + D_{ja}^2 - D_{jb}^2}{2L_y} \quad (j \neq a, b)$$

式中: $L_y$ 为  $y$  轴两端点的距离; $D_{ja}$ 和  $D_{jb}$ 分别为群落  $j$  与 2 个端点群落  $a$ 、 $b$  的相异系数。

2 结果与分析

2.1 植被恢复演替过程及物种分布特征

南坡退耕地中,各年限的植被覆盖度都很高,基本在 70% 以上(表 3)。退耕后的 1~3 a,植被处于恢复初期,首先形成以田间杂草为主的一年生草本植物群落,狗尾草(*Setaria viridis*)、小酒花(*Humulus lupulus*)、一年蓬(*Erigeron annuus*)等为该阶段的代表

性物种,群落物种相对较少;同时,一些传播能力较强的多年生草本植物也迅速侵入并定居,如野菊花(*Chrysanthemum indicum*)、小薊(*Cephalanoplos segetum*)等。退耕后的 4~6 a,形成以铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)等为优势种的多年生草本群落。退耕后的 7~15 a,由于对水热条件的适应,白茅(*Imperata cylindrica*)逐渐成为优势种,同时群落中出现了零星的马桑(*Coriaria nepalensis*)、胡枝子(*Lespedeza*)等灌木,形成以白茅为主的灌草群落。退耕后的 30 a,随着演替时间的延长,一些地带性植物种逐渐占据优势,如大齿栎(*Quercus acutissima*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、十大功劳(*Mahonia fortunei*)、菝葜(*Smilax glaucochina*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)幼苗等,形成了以大齿栎、栓皮栎为优势种的落叶阔叶林群落,此群落为多年没有扰动的自然



表 3 南坡退耕地植物群落物种组成  
Table 3 Composition of plant community on retired croplands on southern slope

样地 Plot	主要植物种 Main plant species	总盖度 Total coverage (%)	优势物种 Dominant species	优势物种盖度 Dominant species coverage (%)
S <sub>1</sub>	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、小薊 <i>Cephalanoplos segetum</i>	75	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	45
S <sub>2</sub>	小酒花 <i>Humulus lupulus</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、小薊 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i> 、费菜 <i>Phedimus aizoon</i> 、蒿子杆 <i>Chrysanthemum carinatum</i> 、凤毛菊 <i>Saussurea japonica</i> 、缬草 <i>Valeriana officinalis</i> 、千里光 <i>Senecio scandens</i> 、罗摩藤 <i>Graphistemma pictum</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、荩草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 、堇菜 <i>Viola verecunda</i> 、爬山虎 <i>Parthenocissus tricuspidata</i> 、柏树苗 <i>Platycladus orientalis</i> 、杉木苗 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	95	小酒花 <i>Humulus lupulus</i>	60
S <sub>3</sub>	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、小酒花 <i>Humulus lupulus</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、小薊 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、桔梗 <i>Platycodon grandiflorus</i> 、鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> 、鸭趾草 <i>Commelina communis</i>	90	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	80
S <sub>4</sub>	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、千里光 <i>Senecio scandens</i> 、远志 <i>Polygala tenuifolia</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、小薊 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、荩草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、野豌豆 <i>Vicia sepium</i> 、小酒花 <i>Humulus lupulus</i> 、荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> 、博洛回 <i>Macleaya cordata</i> 、猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> 、苦菜 <i>Lobelia davidii</i> 、狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i>	70	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	40
S <sub>5</sub>	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、小酒花 <i>Humulus lupulus</i> 、黄花蒿 <i>Artemisia annua</i> 、龙葵 <i>Solanum nigrum</i> 、狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、小薊 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i>	90	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>	90
S <sub>6</sub>	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 、硬质早熟禾 <i>Poa sphondylodes</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i> 、毛茛菜 <i>Picris hieracioides</i> 、野豌豆 <i>Vicia sepium</i> 、猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、千里光 <i>Senecio scandens</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i>	80	铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i>	78
S <sub>7</sub>	白茅 <i>Imperata cylindrica</i> 、鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i> 、尖叶胡枝子 <i>Lespedeza juncea</i> 、黄背草 <i>Themeda triandra</i> 、荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> 、委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i> 、龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i> 、小薊 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、蒿子杆 <i>Chrysanthemum carinatum</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 、二色胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> 、荩草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、千里光 <i>Senecio scandens</i> 、盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> 、小舌紫苑 <i>Aster albensens</i>	90	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	85
S <sub>8</sub>	白茅 <i>Imperata cylindrical</i> 、野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、野大豆 <i>Glycine soja</i> 、多花胡枝子 <i>Lespedeza floribunda</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 、悬钩子 <i>Rubus irritans</i> 、隐子草 <i>Kengia hancei</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> 、榆树苗 <i>Ulmus pumila</i>	90	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	90
S <sub>9</sub>	白茅 <i>Imperata cylindrical</i> 、荩草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、黄栌 <i>Cotinus coggygia</i> 、马桑 <i>Coriaria nepalensis</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、野刺梨 <i>Rosa roxburghii</i> f. <i>normalis</i> 、苦茶槭 <i>Acer ginnala</i> subsp. <i>theiferum</i> 、狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 、小薊 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、尖叶胡枝子 <i>Lespedeza juncea</i> 、茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	90	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	85
S <sub>10</sub>	白茅 <i>Imperata cylindrical</i> 、铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> 、野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、多花胡枝子 <i>Lespedeza floribunda</i> 、牛至 <i>Origanum vulgare</i> 、野豌豆 <i>Vicia sepium</i> 、白羊草 <i>Bothriochloa ischaemum</i> 、黄背草 <i>Themeda triandra</i> 、荩草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、野棉花 <i>Anemone vitifolia</i> 、悬钩子 <i>Rubus irritans</i> 、野葡萄 <i>Vitis amurensis</i> 、蕨 <i>Caryopteris divaricata</i> 、虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、达乌里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i> 、小柴胡 <i>Bupleurum hamiltonii</i> 、远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	80	白茅 <i>Imperata cylindrical</i>	55
S <sub>11</sub>	大齿栎 <i>Quercus acutissima</i> 、栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i> 、黄栌 <i>Cotinus coggygia</i> 、黄檀苗 <i>Dalbergia hupeana</i> 、铺地栒子 <i>Cotoneaster horizontalis</i> 、十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i> 、拔葜 <i>Smilax glaucochina</i> 、黄连木 <i>Pistacia chinensis</i> 、苔草 <i>Carex dispalata</i>	80	大齿栎 <i>Quercus acutissima</i>	70

群落,基本达到了稳定阶段.南坡植物群落自然恢复演替的趋向是形成阔叶林群落.

北坡退耕地中,各年限的植被覆盖度都在 50% 以上(表 4).退耕后的 1~3 a,植被处于恢复初期,首先形成以田间杂草为主的一年生草本植物群落,如狗娃花 (*Heteropappus hispidus*)、狗尾草、鸡眼草 (*Kummerowia striata*) 等;同时,一些传播能力较强的多年生草本植物也迅速侵入并定居,如小薊、野艾

表 4 北坡退耕地植物群落物种组成变化  
Table 4 Composition of plant community on retired croplands on northern slope

样地 Plot	主要植物种 Main plant species	总盖度 Total coverage (%)	优势物种 Dominant species	优势物种盖度 Dominant species coverage (%)
N <sub>1</sub>	狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、蟋蟀草 <i>Eleusine indica</i> 、鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i> 、野薄荷 <i>Mentha canadensis</i>	95	狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i>	85
N <sub>2</sub>	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、草木犀 <i>Melilotus indica</i> 、谷釉子 <i>Citrus maxima</i> 、小蓟 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、苦菜 <i>Lobelia davidii</i> 、鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> 、地肤 <i>Kochia scoparia</i> 、猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> 、葶菜 <i>Viola verecunda</i> 、野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、野豌豆 <i>Vicia sepium</i> 、青蒿 <i>Artemisia carvifolia</i>	50	狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	45
N <sub>3</sub>	鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i> 、野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、苦菜 <i>Lobelia davidii</i> 、醉鱼草 <i>Buddleja lindleyana</i> 、鸭趾草 <i>Commelina communis</i> 、苅草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、铁苋菜 <i>Acalypha australis</i> 、稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i> 、夏枯草 <i>Prunella vulgaris</i> 、野大豆 <i>Glycine soja</i> 、过路黄 <i>Lysimachia christinae</i>	95	鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i>	70
N <sub>4</sub>	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、小酒花 <i>Humulus lupulus</i> 、铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> 、蒿子杆 <i>Chrysanthemum carinatum</i> 、猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i> 、狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、硬质早熟禾 <i>Poa sphondylodes</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、小蓟 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、山老鹳瓢 <i>Cynanchum atratum</i> 、蛇莓 <i>Duchesnea indica</i> 、蟋蟀草 <i>Eleusine indica</i>	75	野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i>	25
N <sub>5</sub>	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、小酒花 <i>Humulus lupulus</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、千里光 <i>Senecio scandens</i> 、小蓟 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、香青 <i>Anaphalis sinica</i> 、凤毛菊 <i>Saussurea japonica</i> 、小舌紫菀 <i>Aster albescentis</i> 、栓皮栎苗 <i>Quercus variabilis</i> 、白前 <i>Cynanchum glaucescens</i> 、毛莲菜 <i>Picris hieracioides</i> 、马兰 <i>Kalimeris indica</i> 、野棉花 <i>Anemone vitifolia</i> 、臭椿苗 <i>Ailanthus altissima</i> 、狗尾草 <i>Setaria viridis</i> 、杜仲 <i>Eucommia ulmoides</i>	85	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i>	50
N <sub>6</sub>	黄背草 <i>Themeda triandra</i> 、铁杆蒿 <i>Artemisia gmelinii</i> 、草木犀 <i>Melilotus indica</i> 、野豌豆 <i>Vicia sepium</i> 、狗娃花 <i>Heteropappus hispidus</i> 、酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> 、蓝刺头 <i>Echinops latifolius</i> 、苅草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、野菊花 <i>Chrysanthemum indicum</i> 、野棉花 <i>Anemone vitifolia</i> 、苔草 <i>Carex dispalata</i> 、地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i> 、刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	98	黄背草 <i>Themeda triandra</i>	95
N <sub>7</sub>	构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> 、盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> 、栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i> 、悬钩子 <i>Rubus irritans</i> 、荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> 、蒿子杆 <i>Chrysanthemum carinatum</i> 、一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> 、落地生根 <i>Bryophyllum pinnatum</i> 、苅草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、小蓟 <i>Cephalanoplos segetum</i> 、苔草 <i>Carex dispalata</i> 、唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>sibiricum</i> 、蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i>	95	悬钩子 <i>Rubus irritans</i>	35
N <sub>8</sub>	二色胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> 、野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i> 、悬钩子 <i>Rubus irritans</i> 、贯众 <i>Cytomium fortunei</i> 、蒿子杆 <i>Chrysanthemum carinatum</i> 、白茅 <i>Imperata cylindrical</i> 、荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、隐子草 <i>Kengia hancei</i> 、栓皮栎幼树 <i>Quercus variabilis</i> 、野葛藤 <i>Pueraria lobata</i> 、葱木 <i>Aralia chinensis</i> var. <i>glabrescens</i> 、漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i> 、黄背草 <i>Themeda triandra</i>	100	二色胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	60
N <sub>9</sub>	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、野棉花 <i>Anemone vitifolia</i> 、荻 <i>Miscanthus sacchariflorus</i> 、木兰 <i>Indigofera tinctoria</i> 、小酒花 <i>Humulus lupulus</i> 、龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i> 、野胡萝卜 <i>Daucus carota</i> 、鸡眼草 <i>Kummerowia striata</i> 、尖叶胡枝子 <i>Lespedeza juncea</i> 、水杨梅 <i>Adina pilulifera</i> 、金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i> 、香青 <i>Anaphalis sinica</i> 、白花蔷薇 <i>Rosa multiflora</i> var. <i>cathayensis</i> 、野大豆 <i>Glycine soja</i> 、款冬 <i>Tussilago farfara</i> 、葶菜 <i>Viola verecunda</i> 、苅草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、悬钩子 <i>Rubus irritans</i>	100	野棉花 <i>Anemone vitifolia</i>	30
N <sub>10</sub>	锐齿栎 <i>Quercus acutidentata</i> 、生漆 <i>Coriaria nepalensis</i> 、悬钩子 <i>Rubus irritans</i> 、羊奶子 <i>Elaeagnus stellipila</i> 、木兰 <i>Indigofera tinctoria</i> 、构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> 、蕊木 <i>Kopsia arborea</i> 、葱皮忍冬 <i>Lonicera ferdinandii</i> 、野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i> 、鼠李 <i>Rhamnus davurica</i> 、野葡萄 <i>Vitis amurensis</i> 、野葛藤 <i>Pueraria lobata</i> 、八角枫 <i>Alangium chinense</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、苔草 <i>Carex dispalata</i> 、野艾蒿 <i>Artemisia lavandulaefolia</i> 、唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i> var. <i>sibiricum</i> 、苅草 <i>Arthraxon hispidus</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i> 、苔藓 <i>Bryophyta</i> 、野棉花 <i>Anemone vitifolia</i> 、拉拉藤 <i>Galium aparine</i> var. <i>echinospermum</i>	100	苔草 <i>Carex dispalata</i>	20
N <sub>11</sub>	山杨幼苗 <i>Populus davidiana</i> 、栓皮栎幼苗 <i>Quercus variabilis</i> 、杉木幼苗 <i>Cunninghamia lanceolata</i> 、尖叶胡枝子 <i>Lespedeza juncea</i> 、桑树苗 <i>Morus alba</i> 、构树苗 <i>Broussonetia papyrifera</i> 、野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i> 、火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i> 、马桑 <i>Coriaria nepalensis</i> 、木通 <i>Akebia quinata</i> 、盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、苔草 <i>Carex dispalata</i> 、苔藓 <i>Bryophyta</i> 、香青 <i>Anaphalis sinica</i> 、蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	90	山杨 <i>Populus davidiana</i>	60

蒿、苅草 (*Arthraxon hispidus*) 等。退耕后的 4 ~ 10 a, 形成野菊花、野艾蒿、黄背草 (*Themeda triandra*) 等为主的多年生草本群落。退耕后的 11 ~ 25 a, 由于对水热条件的适应, 形成了以灌木植物为优势种的灌

草群落,灌木包括悬钩子(*Rubus irritans*)、二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等,草本有野棉花(*Anemone vitifolia*)、苔草(*Carex dispalata*)、黄背草(*Themeda triandra*)等.在退耕后的 30 a 以上,随着演替时间的延长,一些地带性植物种逐渐占据优势,如山杨(*Populus davidiana*)苗、栓皮栎幼苗、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)幼苗、桑树(*Morus alba*)苗、构树(*Broussonetia papyrifera*)苗等,形成了包括乔木、灌木和草本,并且以山杨林为优势种的落叶阔叶林群落,此群落为多年没有扰动的自然群落,基本达到了稳定阶段.北坡植物群落自然恢复演替的趋向是形成阔叶林群落.

2.2 物种多样性特征

由表 5 和图 2a 可以看出,随着植被恢复演替的发展,南坡退耕地不同恢复阶段物种多样性的变化过程表现为:1)退耕初期,物种数较少,物种均匀度和多样性指数都较低;2)随着环境条件的变化,一些多年生根茎类草本植物逐渐侵入,物种数逐渐增加,物种多样性指数和均匀度指数也逐渐增大;3)随着演替的进行,多年生灌木逐渐侵入群落,但由于多年生物种的侵入主要由环境条件决定,限于生境的不均匀性,侵入初期的分布均匀度较差,物种多样性指数也有所降低,退耕 7 a 的物种数接近最大值,而香农指数、辛普森指数和物种均匀度指数均达到最低;4)此后,随着多年生木本植物占据了相应空间,群落物种分布的均匀性提高,物种多样性受到均匀度的影响,也有所增加;5)退耕 30 a 后,当植被发展到阔叶林群落,其物种数量有所下降,但多年生草本植物和灌木占据了一定空间,它们与大齿栎、栓皮栎等乔木共同组成群落,物种均匀度有所提高,物种

表 5 南坡退耕地植物群落物种多样性指数  
Table 5 Species diversity index of plant community on retired croplands on southern slope

样地 Plot	物种数 Species number	香农指数 Shannon index	辛普森指数 Simpson index	均匀度指数 Pielou index
S <sub>1</sub>	3	0.82	0.53	0.74
S <sub>2</sub>	18	0.92	0.42	0.44
S <sub>3</sub>	7	1.40	0.66	0.49
S <sub>4</sub>	15	1.29	0.61	0.48
S <sub>5</sub>	7	0.91	0.41	0.47
S <sub>6</sub>	13	0.51	0.18	0.20
S <sub>7</sub>	17	0.47	0.28	0.17
S <sub>8</sub>	12	0.56	0.29	0.21
S <sub>9</sub>	12	0.99	0.50	0.40
S <sub>10</sub>	18	1.48	0.64	0.51
S <sub>11</sub>	9	1.50	0.69	0.69

多样性也达到了较高值.  
由表 6 和图 2b 可以看出,随植被恢复演替的发展,北坡退耕地不同恢复阶段物种多样性变化过程表现为:1)退耕初期,物种数较少,物种均匀度和多样性指数都较低;2)随着演替的进行,多年生灌木逐渐侵入群落,但由于多年生物种的侵入主要由环境条件决定,限于生境的不均匀性,侵入初期的分布均匀度较差,物种多样性指数也较低;3)当退耕 10 a 左右,随着植被演替的不断进行及物种之间的强烈

表 6 北坡退耕地植物群落物种多样性指数  
Table 6 Species diversity index of plant community on retired croplands on northern slope

样地 Plot	物种数 Species number	香农指数 Shannon index	辛普森指数 Simpson index	均匀度指数 Pielou index
N <sub>1</sub>	5	0.79	0.43	0.49
N <sub>2</sub>	12	1.11	0.48	0.45
N <sub>3</sub>	13	1.04	0.56	0.41
N <sub>4</sub>	13	1.96	0.83	0.76
N <sub>5</sub>	17	1.73	0.72	0.61
N <sub>6</sub>	13	1.11	0.48	0.43
N <sub>7</sub>	14	2.01	0.81	0.76
N <sub>8</sub>	16	1.64	0.69	0.59
N <sub>9</sub>	19	1.98	0.78	0.67
N <sub>10</sub>	23	2.50	0.89	0.80
N <sub>11</sub>	16	1.60	0.68	0.58

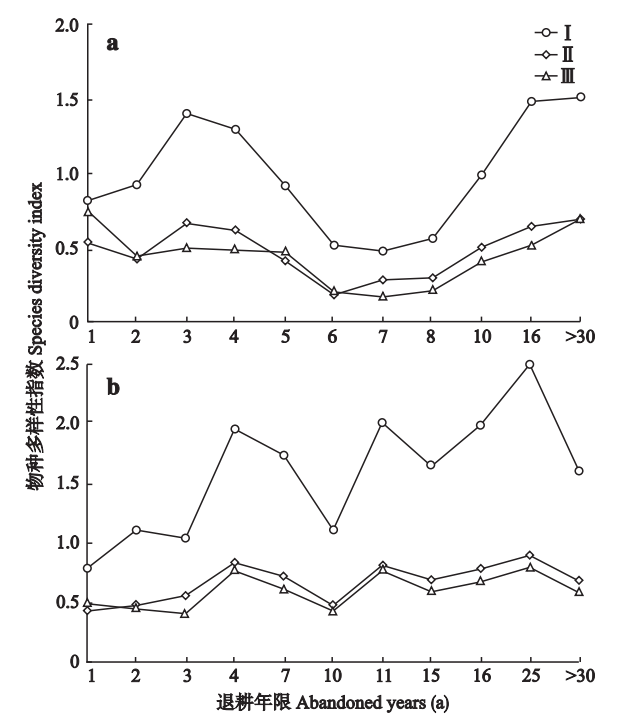


图 2 南坡(a)、北坡(b)退耕地植物群落物种多样性指数  
Fig.2 Species diversity index of plant community on retired croplands on southern slope (a) and northern slope (b).

表 7 南坡退耕地植物群落频度相异系数  
Table 7 Frequency dissimilar coefficients of plant communities on retired croplands on southern slope

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>
S <sub>1</sub>	0										
S <sub>2</sub>	0.5873	0									
S <sub>3</sub>	0.5422	0.4778	0								
S <sub>4</sub>	0.6030	0.5975	0.6055	0							
S <sub>5</sub>	0.5577	0.4660	0.1586	0.5972	0						
S <sub>6</sub>	0.9965	0.9635	0.9866	0.4813	0.9733	0					
S <sub>7</sub>	0.9900	0.9742	0.9900	0.9764	0.9900	0.9884	0				
S <sub>8</sub>	0.9949	0.9819	0.9898	0.9861	0.9898	0.9596	0.1392	0			
S <sub>9</sub>	0.9992	0.9914	0.9992	0.9867	0.9992	0.9942	0.3283	0.3428	0		
S <sub>10</sub>	1	0.9931	1	0.7426	1	0.7224	0.4497	0.4227	0.4546	0	
S <sub>11</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9846	1	0

竞争,物种均匀度有所降低,多样性指数也呈下降趋势;4)退耕 11~16 a,群落中多年生草本植物和灌木占据主导地位,物种之间的竞争减弱,物种的均匀度和多样性指数也呈稳定趋势;5)退耕 25 a,随着多年生木本植物占据了相应空间,群落物种分布的均匀度提高,香农指数和辛普森指数达到最大;6)退耕 30 a 时,植被发展到阔叶林群落,物种数相对较少,这也是物种选择的过程及结果。

地形因子中坡向影响植物接受太阳辐射的强度和时间,因此对温度的影响较大<sup>[25-26]</sup>。坡向是亚热带山地森林中影响水热条件的主要因子,对地表植物分布格局的影响比坡度和坡位大<sup>[27-28]</sup>。陕南地区水热条件充沛,南坡和北坡的气象、土壤、植被类型相似。但由于秦岭、巴山和米仓山为东西走向,受地形的影响,南坡和北坡的立地条件仍存在一定差异。从图 2 可以看出,南坡和北坡的植被恢复演替阶段的物种多样性指数差异不大,但变化趋势略有不同。随着退耕年限的增加,南坡退耕地植物群落物种多样性指数总体呈先降后升的趋势;而北坡退耕地植物群落物种多样性指数呈现先波动上升,而后在退耕 30 a 时略有下降。

2.3 群落极点排序

各群落间的相异系数可以表达群落间的相似程度。由于数据有限,本文仅对南坡群落进行研究。由表 7 可以看出,南坡退耕地植物群落 S<sub>1</sub> 和 S<sub>11</sub> 的相异系数最大,可分别作为 x 轴的两个端点。S<sub>10</sub> 的偏离值最大,S<sub>11</sub> 与 S<sub>10</sub> 的距离系数最大,可分别作为 y 轴的两个端点(表 8)。

从图 3 可以看出,南坡群落的演替从一年生草本群落开始,分别形成多年生草本群落、灌草群落、乔灌草群落。每一个阶段向下一个阶段发展的过程,

都发生剧烈的植被更替。S<sub>2</sub>、S<sub>3</sub>、S<sub>5</sub> 之间的 Bray-Curtis 距离最小,说明退耕约 2~5 a 即可达到稳定的多年生草本植被群落。S<sub>7</sub>、S<sub>8</sub>、S<sub>9</sub> 之间的 Bray-Curtis 距离最小,说明退耕 7~10 a 可演替为灌草群落。S<sub>11</sub> 与

表 8 南坡退耕地植物群落坐标值和偏离值  
Table 8 Coordinates and deviations of plant communities on retired croplands on southern slope

样地 Plot	坐标轴 x Coordinate axis of x	坐标轴 y Coordinate axis of y	相异系数 Dissimilar coefficient	偏离值 Deviation value
S <sub>1</sub>	0	0.5000		
S <sub>2</sub>	0.1725	0.4931	0.5873	0.5614
S <sub>3</sub>	0.1470	0.5000	0.5422	0.5219
S <sub>4</sub>	0.1818	0.2757	0.6030	0.5749
S <sub>5</sub>	0.1555	0.5000	0.5577	0.5356
S <sub>6</sub>	0.4965	0.2609	0.9965	0.8640
S <sub>7</sub>	0.4901	0.1011	0.9900	0.8602
S <sub>8</sub>	0.4949	0.0894	0.9949	0.8631
S <sub>9</sub>	0.5145	0.1186	0.9992	0.8566
S <sub>10</sub>	0.5000	0	1.0000	0.8660
S <sub>11</sub>	1	1		

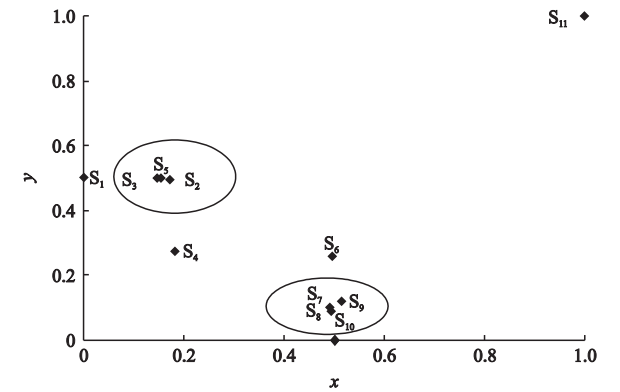


图 3 南坡退耕地植物群落极点排序  
Fig. 3 Polar ordination of plant communities on retired croplands on southern slope.



其他样地之间的 Bray-Curtis 群落均较大,说明退耕 30 a 可演替为乔灌草群落。

3 讨 论

不论是南坡还是北坡,研究区退耕地恢复过程中植被的演替过程均可划分为 4 个阶段:一年生草本→多年生草本→灌草→乔灌草. 第一阶段是以小酒花、一年蓬等占优势的一年生草本群落;第二阶段是以白茅占优势的多年生草本群落,大约需要 2~5 a;第三阶段是以胡枝子、悬钩子等占优势的灌草群落,大约需要 7~10 a;第四阶段是以大齿栎、栓皮栎或山杨林与其他树种共同作为优势种的乔灌草群落,大约需要 30 a 以上. 本研究中植物群落的变化趋势与文献[15,18]揭示的变化规律基本一致。

南坡和北坡退耕地植被演替过程中物种多样性变化基本一致,但略有不同:1)演替初期,基本都具有较高的物种多样性指数;2)随着环境条件的变化及物种对环境的适应,植物群落的物种数和多样性指数均呈上升趋势;3)随着演替时间的推移,物种之间竞争激烈,南坡物种多样性指数先降后升,而北坡物种多样性指数呈波动上升趋势;4)当植被发展到顶极群落时,物种数量有所下降,但物种均匀度有所升高,其物种多样性指数维持在较高水平。

对植物而言,它们出现在各个演替阶段的次序取决于本身的生物学和生态学特性以及繁殖策略,如生活型、种子质量与数量等. 演替的早期和后期,群落不仅物种组成不同,而且在演替不同阶段出现的物种生理生态特性以及对环境的适应性也有很大差异,这些物种的生理生态差异使物种更替现象经常发生,也使演替能够顺利进行<sup>[29]</sup>. 在陕南坡耕地退耕的初期,基本以一年生草本或田间杂草占优势,它们的生活周期短、种子数量多、传播能力强,能够在很短的时间内成为地表优势种,积累了充足的种子库,具有群体优势;退耕中期则以多年生根茎草本植物为主,其个体生活力强、根系发达,随着退耕年限的增加逐渐取代先锋种. 因此,在退耕初期,优势种与伴生种之间的差异十分明显,如南坡退耕第 7 年白茅占群落总覆盖度的 85%,群落物种数接近最大值,而香农指数、辛普森指数和物种均匀度指数均为最低;当发展到后期稳定阶段,物种数量增加,物种间优势度差异降低,均匀度上升,群落结构趋于稳定。

植物群落的演替是群落对其初始阶段异化的过程,不但体现在物种竞争上,也体现在环境条件的改

变上,演替结果最终使生境更适合于后来种的生长发育<sup>[30]</sup>. 要揭示退耕地植被演替的影响因素,需要深入研究植被与环境之间的动态作用方式与作用机理,如植被与土壤之间的相互作用、植被的生理生态特征、人工措施加快演替进程等。

参考文献

[1] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, *et al.* Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenge. *Science*, 2001, **294**: 804–808

[2] Li J-H (李金花), Pan H-W (潘浩文), Wang G (王刚). Reproductive strategy of grassland plant. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2004, **24**(2): 352–355 (in Chinese)

[3] Wang S-Z (王顺忠), Chen G-C (陈桂琛), Sun J (孙菁), *et al.* Primary study on vegetation succession of saline land in the Bird Island of Qinghai Lake. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2004, **23**(4): 550–553 (in Chinese)

[4] Shen J-L (沈景林), Meng Y (孟 杨), Hu W-L (胡文良), *et al.* Experimental study of degenerated grassland improvement in alpine area. *Grassland Science* (草业科学), 1999, **16**(3): 4–7 (in Chinese)

[5] Gaynor V. Prairie restoration on a corporate site. *Restoration and Reclamation Review*, 1990, **1**: 35–40

[6] Peng S-L (彭少麟), Lu H-F (陆宏芳). Some key points of restoration ecology. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(7): 1249–1257 (in Chinese)

[7] Ma C-M (马长明), Yuan Y-X (袁玉欣). The review of vegetation restoration on old field at home and abroad. *World Forestry Research* (世界林业研究), 2004, **17**(4): 24–27 (in Chinese)

[8] Rong Y-P (戎郁萍). Review of the grassland restoration and reconstruction of the abandoned land. *Journal of Sichuan Grassland* (四川草原), 2004(5): 1–4 (in Chinese)

[9] Zhang H-F (张海峰). Study on Abandoned Farmland Vegetation Community Characteristics and Soil Erosion and Non-point Source Pollution at Water Catchment Region of Middle Route for South-to-North Water Diversion Project. Master Thesis. Yangling, Shaanxi: Northwest A & F University, 2005 (in Chinese)

[10] Mclendon T, Tedente EF. Nitrogen and phosphorus effects on secondary succession dynamics on a semiarid sagebrush site. *Ecology*, 1991, **72**: 2016–2024

[11] Foster BL. Establishment, competition and the distribution of native grass among Michigan old-field. *Journal of Ecology*, 1999, **87**: 476–489

[12] Singleton R, Gardescu S, Marks PL, *et al.* Forest herb colonization of postagricultural forests in central New York State, USA. *Journal of Ecology*, 2001, **89**: 325–338

[13] Kosola KR, Gross KL. Resource competition and suppression of plants colonizing early successional old fields. *Oecologia*, 1999, **118**: 69–75

- [14] Bekker RM, Verweij GL, Bakker JP, *et al.* Soil seed bank dynamics in hayfield succession. *Ecology*, 2000, **88**: 594–607
- [15] Zhang J-T (张金屯), Qiu Y (邱 扬), Chai B-F (柴宝峰), *et al.* Succession analysis of plant communities in Yancun low-middle hills of Lüliang Mountains. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), 2000, **9**(2): 34–39 (in Chinese)
- [16] Wan X-Q (万雪琴). Vegetation Restoration and Its Effects on Soil after Converting Agricultural Lands to Forest. Master Thesis. Ya'an, Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2003 (in Chinese)
- [17] Xie J-Y (谢晋阳), Chen L-Z (陈灵芝). Species diversity characteristic of deciduous forests in the warm temperate zone of North China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1994, **14**(4): 337–344 (in Chinese)
- [18] Wang X (王 玺), Lü J-Y (吕进英). The natural succession and artificial renewal of the restored grassland. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning* (中国农业资源与区划), 2000, **21**(4): 51–55 (in Chinese)
- [19] Li Y (李 艳), Li P (李 鹏), Zhao Z (赵 忠), *et al.* Advances of the ecological environment effects of vegetation restoration and succession. *Journal of Northwest A & F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2007, **35**(8): 155–159 (in Chinese)
- [20] Zhang H-F (张海峰), Peng H (彭 鸿), Chen C-G (陈存根), *et al.* A preliminary study of herbaceous vegetation succession on the abandoned farm land at water catchment region of central route for South-to-North Water Diversion Project. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 2005, **25**(5): 973–978 (in Chinese)
- [21] Guo L-P (郭利平), Ji L-Z (姬兰柱), Wang Y (王 瑶), *et al.* Dynamic changes of dominant tree species in broad-leaved Korean pine forest at different succession stages in Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(4): 866–872 (in Chinese)
- [22] Bray JR, Curtis JT. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 1957, **27**: 325–349
- [23] Huai H-Y (淮虎银), Hou F-J (侯扶江). Two-dimensional polar ordination of communities in southern part of Qinghai Lake basin. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 1997, **6**(2): 19–21 (in Chinese)
- [24] Liu J-J (刘建军), Lei R-D (雷瑞德), Shang L-B (尚廉斌), *et al.* Polar ordination and classification of the primary forest vegetation at Huoditang forest region. *Journal of Northwest Forestry College* (西北林学院学报), 1996, **11**(suppl.): 37–42 (in Chinese)
- [25] Shen Z-H (沈泽昊), Zhang X-S (张新时), Jin Y-X (金义兴). Gradient analysis of the influence of mountain topography on vegetation pattern. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2000, **24**(4): 430–435 (in Chinese)
- [26] Hutchinson TF, Boerner REJ, Iverson LR, *et al.* Landscape patterns of understory composition and richness across a moisture and nitrogen mineralization gradient in Ohio (U. S. A.) *Quercus* forests. *Plant Ecology*, 1999, **144**: 177–189
- [27] Ou Y-D (区余端), Su Z-Y (苏志尧), Li Z-K (李镇魁), *et al.* Effects of topographic factors on the distribution patterns of ground plants with different growth forms in montane forests in North Guangdong, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(5): 1107–1113 (in Chinese)
- [28] Olivero AM, Hix DM. Influence of aspect and stand age on ground flora of southeastern Ohio forest ecosystems. *Plant Ecology*, 1998, **139**: 177–187
- [29] Zou H-Y (邹厚远), Cheng J-M (程积民), Zhou L (周 麟). Natural recovery succession and regulation of the prairie vegetation on the Loess Plateau. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 1998, **5**(1): 126–138 (in Chinese)
- [30] Odum EP. The strategy of ecosystem development. *Science*, 1969, **164**: 262–270

---

作者简介 王 星,男,1978 年生,博士研究生.主要从事水文学及水资源和水土保持研究. E-mail: shanxist@163.com

责任编辑 杨 弘

---