

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.03.023

## 白龙江干旱河谷地区典型灌木群落结构分析

李玉<sup>1,2</sup>, 齐昊<sup>1,2</sup>, 王飞<sup>1,2\*</sup>, 向玫<sup>1,2</sup>, 申英<sup>1,2</sup>, 权丽<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省白龙江林业管理局林业科学研究所, 甘肃 兰州 730070;

2. 甘肃白龙江森林生态系统国家定位观测研究站, 甘肃 舟曲 746300)

**摘要:**通过对白龙江干旱河谷地带初步调查研究表明,该地带灌木和草本植物总计173种,其中灌木植物130种,分属于55科、93属,种类最多的科是蔷薇科,总共19种植物,占有干旱河谷灌木种类的14.6%。草本共计43种,总计21科,37属,菊科最多为10种,占有草本种类的25.6%;主要灌木物种数是草本植物物种数的3.02倍。主要灌木前18个物种重要值的总和占总重要值的70.87%,主要优势树种有河朔茺花、西南野丁香、胡枝子、酸枣和红花岩黄蓍等;不同坡面坡向的物种数和生物多样性指数也不相同。凸面灌木物种数最多,Simpson指数和Shannon-Wiener最大,平面的Gleason指数最大,而对于草本植物和灌木具有相似性,物种数凸面和平面最多。半阴半阳坡的灌木物种数为最多,占总物种数的70.77%,Shannon-wiener指数、Simpson指数和Margalef指数均是半阴半阳坡的最大,只有Gleason指数阳坡最大。

**关键词:**白龙江;干旱河谷;不同坡向;群落结构;灌木

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2018)03-0110-06

## Structural Analysis of the Typical Shrub Community in the Arid Valley of the Bailong River

LI Yu<sup>1,2</sup> QI Hao<sup>1,2</sup> WANG Fei<sup>1,2\*</sup> XIANG Mei<sup>1,2</sup> SHEN Ying<sup>1,2</sup> QUAN Li<sup>1,2</sup>

(1. Institute of forestry Science, Bailongjiang Forestry Management Bureau of Gansu province, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. Gan Su Bailongjiang National Forest Ecosystem Research Station, Zhouqu 746300, Gansu, China)

**Abstract:** A preliminary investigation on the arid valley of the Bailong River showed that there were 173 species of shrubs and herbs in this area, among which 130 species were shrub plants belonging to 93 genera and 55 families. The largest number of species belonged to the Rosaceae with a total of 19 species, accounting for 14.6% of all shrub species in arid valleys. There were 43 species of herbs, belonging to 37 genera and 21 families, of which 10 species belonged to Compositae, accounting for 25.6% of all herbs. The main ecological vegetation in the arid valley of the Bailong River was shrub, the number of shrub species was 3.02 times that of herbaceous plants. The sum of the important values of the first 18 species of main shrubs accounted for 70.87% of the sum of the important values. The main dominant species were *Wikstroemia chamaedaphne*, *Leptodermis potanini*, *Lespedeza bicolor*, *Ziziphus jujube* and *Hedysarum multjugum*. The species number and biodiversity index of different slope directions were also different. The species number of convex shrub was the highest, Shannon-Wiener index and Simpson index were the largest, Gleason index of the plane was the largest, and it was similar to herbaceous plants

收稿日期:2018-01-26

基金项目:甘肃省林业科技项目(2016kj058,2016kj062)

作者简介:李玉(1985-),男,甘肃永登人,主要从事林业生态研究,e-mail:173763825@qq.com。

\*通讯作者:王飞(1986-),男,甘肃定西人,主要从事林业生态研究,e-mail:1336190642@qq.com

and shrubs. The number of species was most convex and plane. The number of shrub species was the most in the semi-cloudy and semi-sunny slope, accounting for 70.77% of the total species. The Shannon-Wiener index, Simpson index and Margalef index were the largest in the semi-cloudy and semi-sunny slope, and only the Gleason index was the largest in the sunny slope.

**Key words:** The Bailong River, Arid valley, Different slope direction, Community structure, Shrubs

群落结构是植物群落的基本属性,也是认识群落的组成、变化和发展趋势的基础<sup>[1]</sup>,主要特征表现在种类物种组成,外貌和生活型等的组成<sup>[2]</sup>,反映了群落对环境的适应、动态和机能,认识群落结构有助于群落的分类和保护<sup>[3]</sup>。群落物种多样性是群落结构和功能复杂性的量度<sup>[4]</sup>,是反映群落结构特征的重要指标之一<sup>[3]</sup>,对群落物种多样性的研究不仅能更好地描述种群结构的组成、结构、功能、动态以及特征等方面的异质性,也可以反映出不同自然地理条件与群落的相互关系及其发展动态变化<sup>[5]</sup>。尤其在干旱半干旱地区,环境对植被群落的影响更为敏感,分析植物群落的结构特征,对揭示群落的变化、更新、稳定性与演替规律具有极为重要的意义<sup>[6]</sup>。

灌木种群是白龙江干旱河谷区域植被的主要组成部分,对维持白龙江干旱河谷生态系统的生态服务功能、物种多样性及稳定性等方面具有重要意义。白龙江干旱河谷地带主要以灌木、半灌木为优势种,研究灌木群落的组成和结构,既可以了解群落内物种之间的相互作用和关系,又可以认识环境因子对物种生长的影响<sup>[7]</sup>,是分析灌木层植物生物学和生态学特性的基础<sup>[8]</sup>。在对白龙江干旱河谷地区物种群落调查的基础上,分析主要群落结构,探讨主要灌木植物在干旱区、半干旱区群落物种组成和多样性变化规律,揭示灌木群落特征与环境间的相互关系,旨在加深对本地区植物群落性质的认识,为该地区的生态恢复及生物多样性保护提供科学依据和实践基础。

## 1 研究区概况

白龙江为长江水系北部的主要二级支流,发源于甘、青、川3省交界处的甘肃郎木寺附近,全长约600 km。由于坡陡谷深、降水量偏少、峡谷地貌对太阳辐射的反复折射和地面强烈辐射造成的增温作用及焚风效应<sup>[10]</sup>,加之樵采、垦荒、放牧、筑路、开矿等人为干扰的强度和频度相对较大,在沿江海拔2 100

m的迭部县尼傲乡至海拔760 m的文县口头坝乡,以及阿夏沟、岷江、拱坝河、北峪河、羊汤河、白水江主要支流两岸的河谷及浅山地带,形成以气候干燥少雨、植被稀疏残败、地形破碎、土地石漠化及岩漠化为主要特征的河谷景观,泛称为干旱河谷<sup>[11]</sup>。该区域植被主要以小叶落叶具刺灌木及耐旱草本(禾草为主)植物组成。根据气候要素并参考植被特征,白龙江干旱河谷主要为干暖河谷类型,局部为干温河谷类型<sup>[9]</sup>。白龙江干旱河谷地区的土壤特征表现为土层浅薄、土壤结构差、土壤石质、粗骨性强或表土紧实、土壤干旱等。土壤干旱是土壤水分性质恶化的结果,土壤水分特性是影响该区植被恢复的重要因素<sup>[10-11]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 外业样方调查

采用典型取样法,样地主要设置在植物分布均匀、人为因素干扰较少且以天然植被为主的区域,采用GPS定位样地坐标,设置5 m×5 m的样方调查灌木,并在样方内设置3个1 m×1 m的小样方调查草本。调查内容包括植物种类、植株基径、植株冠幅、植株株数、株高、盖度;样方生境因子包括海拔高度、坐标、坡向、坡度、土壤类型等。根据不同的地形、海拔、坡向、土壤类型以及植物类型在白龙江干旱河谷地区共设置植物样方67个。

### 2.2 数据分析与处理

采用以下指数对物种多样性进行测定,数据处理采用Excel和Spss18.0软件完成。

生物多样性指数H(Shannon-Wiener指数),  $H = - \sum (P_i \ln P_i)$

优势度指数SP(Simpson指数),  $SP = 1 / (\sum p_i^2)$

均匀度指数Sw(Pielou指数),  $Sw = (\sum P_i \ln P_i) / \ln S$ , S为样地内的物种数

丰富度指数D(Margalef指数),  $D = (S - 1) /$

$\ln N$ ,  $N$  为观察到的个体数总数;  $S$  为群落中的总数目;  $P_i$  为物种的相对重要值<sup>[12]</sup>

$$\text{重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}) / 3$$

### 3 结果与分析

#### 3.1 灌丛植物群落物种组成和区系特征

白龙江干旱河谷调查结果表明:灌木植物共计 130 种,分属 55 科、93 属。从科的角度而言,白龙江干旱河谷灌木种类最多的科是蔷薇科,总计 19 种灌木,占有所有干旱河谷灌木种类的 14.6%,分属于 13 属,占总属的 14.0%,主要灌木种包括细枝栒子 (*Cotoneaster tenuipes*)、西北栒子 (*C. zabelii*)、柳叶栒子 (*C. salicifolius*)、蒙古绣线菊 (*Spiraea mongolica*)、小叶绣球绣线菊 (*Spiraea blumei* var. *microphylla*)、西康扁桃 (*Amygdalus tangutica*)、西藏悬钩子 (*Pcubus tibethanus*)、金露梅 (*Potentilla fruticosa*)、火棘 (*Pyracantha fortuneana*)、山桃 (*Prunus davidiana*)、平枝栒子 (*C. horizontalis*)、黄蔷薇 (*Rosa hugonis* Hemsl)、中华绣线梅 (*Neillia sinensis*) 等。豆科有 13 个种,占总灌木种类的 10.0%,隶属 10 属,占有所有属的 10.8%,主要有红花锦鸡儿 (*Caragana rosea*)、河北木兰 (*Indigofera bungeana*)、杭子梢 (*Campulotropis macrocarpa*)、兴安胡枝子 (*Lespedeza daurica*)、红花岩黄耆 (*Hedysarum multjugum*) 等。菊科有 7 个种,占总灌木物种的 5.4%,隶属 4 属,主要有川甘亚菊 (*Ajania potaninii*)、小舌紫菀 (*Aster albescens*) 等;木犀科和茜草科 5 种,醉鱼草科 4 种,唇形科、槭树科、鼠李科、大戟科、桦木科、马鞭草科、毛茛科、忍冬科、瑞香科、小檗科各 3 种;其他的每科两种或 1 种灌木。从属的角度而言,最多是野丁香属 5 种,占有所有属的 5.4%,其次是醉鱼草属 4 种,占总属的 4.3%,小檗属、栒子属、木蓝属各 3 种,占总属的 3.2%,其他的 1 属 1 种或两种。草本植物共计 43 种,隶属 21 科,37 属,其中菊科最多 10 种,占有所有草本的 25.6%,主要菊科有山艾蒿 (*Artemisia argyi*)、苦苣菜 (*Sonchus oleraceus*)、抱茎小苦苣 (*Ixeridium sonchifolia*) 等;其次是禾本科 9 种,占 20.9%,主要是白茅 (*Imperata cylindrica*)、芸香草 (*Cymbopogon distans*)。

在 130 个灌木种中,中国特有种 10 种,占总灌木的 7.7%,其中茜草科两种,分别是甘肃野丁香 (*Leptodermis purdomii*) 和伞花野丁香 (*Leptodermis umbellata*);豆科悬垂黄耆 (*Astragalus dependens*)、菊

科乳白香青 (*Anaphalis lactea*)、忍冬科毛药忍冬 (*Lonicera serreana* Hand)、白长母科小蓝雪 (*Cerastostigmaminus*)、玄参科毛泡桐 (*Paulownia tomentosa* var. *tsinlingensis*)、柏科柏木 (*Cupressus funebris*)、三尖杉科粗榧 (*Cephalotaxus sinensis*)、芸香科川陕花椒 (*Zanthoxylum piasezkii*) 各 1 种。百合科 3 种,唇形科和紫葳科各两种,其他都是 1 科 1 种。最多的属是蒿属总共 4 属,占草本总属的 10.8%,黄精属和角蒿属各两种,占总属的 5.4%,其他属都是 1 属 1 种(见表 1)。

表 1 主要植物类型分布

类型	科	属	种	中国特有	优势科
灌木	55	93	130	10	蔷薇科
草本	21	37	43	1	菊科

#### 3.2 灌木林优势树种组成

重要值是一个重要的群落定量指标,并常用于比较不同群落间某一物种在群落中的重要性<sup>[12]</sup>。根据白龙江干旱河谷地带的 74 个样地调查数据计算,重要值排名前 18 的物种重要值占群落总重要值<sup>[13]</sup>的 70.87%,其中重要值最大的 5 个种分别是河朔堯花 (0.080)、川甘亚菊 (0.066)、荆条 (0.055)、小叶香茶菜 (0.041) 和胡枝子 (0.032),在实地调查中出现的频次比较大,说明其分布广泛。白龙江干旱河谷 18 个优势树种,在各标准地内的株(丛)数组成比例和树种组成结构<sup>[14]</sup>计算结果见表 2。

从表 2 可以看出,白龙江干旱河谷灌木群落在物种组成结构方面表现较为单一。优势树种在各灌木林群落类型中所占的株(丛)数比例较大,18 种优势树种平均株(丛)数比例在 5.23% ~ 31.26%,河朔堯花 (*Wikstroemia chamaedaphne*)、西南野丁香 (*Leptodermis purdomii*)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、酸枣 (*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*) 和红花岩黄耆 (*Hedysarum multjugum*) 5 种灌木占株(丛)数比例都在 20% 以上,最大的胡枝子灌丛,在群落标准地内的株(丛)数比例为 100%,形成纯胡枝子灌丛。从物种数量方面分析,标准地内平均物种数在 5 ~ 10.8 之间,大部分标准地的平均物种数量都在 8 种以上,最少的胡枝子灌丛 1 种,最多的川甘亚菊、小叶香茶菜 (*Rabdosia parvifolia*)、多花胡枝子 (*Lespedeza floribunda*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、河朔堯花灌丛都是 14 种。

表 2  
Tab. 2 各灌木林群落类型优势树种组成及物种数  
Dominant species composition and species quantity of shrub communities

群落类型	标准地个数	优势树种(丛)数比例(%)			物种树目(种)		
		最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
河朔莞花	29	1.03	84.81	20.79	4	14	8.28
川甘亚菊	39	0.96	63.21	18.78	4	14	8.48
小叶香茶菜	34	1.43	40.18	13.45	3	14	9.23
西南野丁香	17	0.42	92.31	21.47	4	11	7.47
荆条	16	0.71	75.93	17.58	6	12	9
胡枝子	19	1.06	100	26.8	1	12	7.45
多花胡枝子	25	1.91	50.48	13.75	4	14	9.12
酸枣	13	1.72	60.22	22.9	5	9	6.83
杭子梢	13	0.7	55.3	16.44	3	12	8.5
小叶滇紫草	22	1.72	30.01	10.15	4	11	6.95
小叶石积木	16	0.54	32.99	8.01	5	12	9.81
红花岩黄耆	5	11.76	70.41	31.26	4	6	5
铁杆蒿	12	2.1	41.51	14.56	5	14	9.36
西枝荀子	7	2.86	35.75	11.72	9	12	10.8
马鞍羊蹄甲	4	2.78	19	16.35	7	12	10.25
虎榛子	4	4.91	49.52	16.9	10	14	12
少齿小檗	14	0.71	12.77	5.23	6	12	9.47
刺旋花	4	2.07	28.67	10.65	10	11	10.25

### 3.3 不同坡面和坡向的物种多样性

坡向是重要的地形因子,影响着太阳辐射和降水的空间再分配<sup>[15]</sup>,从而改变边坡土壤中水分和养分分布,造成了不同坡向的水、肥、气、热、光照等基本生境条件的差异<sup>[16]</sup>。坡面是影响植被的基本单元,不同坡面之间植物的种类组成、优势植物分布情况以及个体的大小均有显著差异,微地形各组分之间亦有显著差异,但在植被变化过程中是一种渐变式的而非跃变,即植被变化具有一定的连续<sup>[17]</sup>。通过对白龙江干旱河谷地带灌木和草本物种多样性研究分析可知,白龙江干旱河谷地带是主要以灌木为主的生态植被,灌木物种数是草本植物物种数的 3.02 倍。不同坡面坡向的物种数和生物多样性指数如表 3 所示。凸面灌木物种数最多(68 种),占总灌木物种数的 52.31%,凹面和平面都是 54 种,占

总物种数的 41.54%,Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Margalef 指数都是凸面最大,只有 Gleason 指数平面高于凸面和凹面,对于不同坡面的草本物种,与灌木具有相似性,物种数凸面和平面最多,占总物种数的 74.42%,但是凹面只比凸面和平面少了 1 种,凸面的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数均大于其他坡面,Gleason 指数三个坡面都相等,Margalef 指数凹面最大,通过对不同坡面的物种多样性的分析凸面的物种多样性均大于其他坡面。半阴半阳坡的灌木物种数为 92 种,占总物种数的 70.77%,分别是阳坡和阴坡的 1.24 和 1.64 倍,Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Margalef 指数均是半阴半阳坡的最大,只有 Gleason 指数阳坡最大。不同坡向草本的物种多样性和灌木一样,都是半阴半阳坡最多为 38 种,占总物种数的 88.37%,

表 3  
Tab. 3 不同坡面和坡向物种多样性指数  
Different slope planes and slope aspects to the species diversity index

多样性指数	不同坡面坡向	物种数	占总物种数比例(%)	Shannon-Wiener 指数	Simpson 指数	Gleason 指数	Margalef 指数
灌木	凸面	68	52.31	3.45	0.97	0.01	4.87
	凹面	54	41.54	3.19	0.95	0.01	4.13
	平面	54	41.54	3.11	0.94	0.07	3.86
草本	凸面	32	74.42	2.35	0.88	0.05	2.65
	凹面	31	72.09	2.25	0.84	0.05	2.95
	平面	32	74.42	2.17	0.82	0.05	2.27
灌木	阴坡	56	43.08	3.24	0.96	0.01	3.87
	阳坡	74	56.92	3.47	0.96	0.03	5.73
	半阴半阳坡	92	70.77	3.68	0.97	0.01	6.22
草本	阴坡	24	55.81	1.92	0.77	0.03	1.91
	阳坡	22	51.16	1.84	0.72	0.06	2.17
	半阴半阳坡	38	88.37	2.88	0.92	0.01	4.46

Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Margalef 指数均是半阴半阳坡的最大,只有 Gleason 指数阳坡最大,这 and 不同坡向灌木的多样性变化一样。

#### 4 结论与讨论

种群的物种组成、数量和结构特征是森林植物群落的基本属性,它不仅反映了种群在森林群落中的生存状况,还能揭示种群在森林群落中所起的作用,在深入了解群落的结构、功能、演替动态和群落的稳定性方面具有重要意义<sup>[18]</sup>。

(1)通过对白龙江干旱河谷地带的调查研究,该地带植物 173 种,较岷江干旱河谷多<sup>[19]</sup>。灌木植物 130 种,分属于 55 科、93 属。种类最多的科是蔷薇科,总共 19 种植物,其次是豆科、菊科、木犀科、茜草科、醉鱼草科等。从属的角度而言,最多是野丁香属 5 种,其次是醉鱼草属 4 种,随后是小檗属、栒子属、木蓝属各 3 种,其次都是 1 属 1 种或 2 种,符合多数种属于少数科,少数种属于多数科。草本共计 43 种,隶属 21 科,37 属,其中菊科最多 10 种其次是禾本科 9 种。最多的属是蒿属总共 4 属,黄精属和角蒿属各 2 种,其他属都是 1 属 1 种。

(2)通过对白龙江干旱河谷灌木重要值的计算可得,前 18 个物种重要值的总和占重要值之和的 70.87%,主要优势树种有河朔堇花、西南野丁香、胡枝子、酸枣和红花岩黄蓍等<sup>[13]</sup>。从物种数量方面分析,标准地内平均物种数在 5~10.8 之间,大部分标准地的平均物种数量都在 8 种以上,最少的胡枝子灌丛 1 种,最多的川甘亚菊、小叶香茶菜、多花胡枝子、铁杆蒿、河朔堇花灌丛都是 14 种。

(3)白龙江干旱河谷地带主要以灌木为主的生态植被,灌木物种数是草本植物物种数的 3.02 倍。不同坡面坡向的物种数和生物多样性指数也不相同。凸面灌木物种数最多,Shannon-wiener 指数和 Simpson 指数最大,平面的 Gleason 指数最大,而对于草本植物和灌木具有相似性,物种数凸面和平面最多。半阴半阳坡的灌木物种数为最多,Shannon-wiener 指数、Simpson 指数和 Margalef 指数均是半阴半阳坡的最大,只有 Gleason 指数阳坡最大。不同坡向草本的物种多样性和灌木一样。

对白龙江干旱河谷地区不同坡向典型灌丛群落结构的初步分析,主要是为白龙江干旱河谷树种选

育和植被恢复提供理论基础数据。

#### 参考文献:

- [1] SHI Z M(史作民),CHEN R H(程瑞海),LIU SH R(刘世荣), et al. Study on species diversity of plant communities in Bao Tian-man[J]. Scientia Silvae Sinicae(林业科学),2002,38(60):17~23(in Chinese).
- [2] JIN H J(靳虎甲),MA Q L(马全林),ZHANG D K(张德魁), et al. Analysis on typical shrub plant community characteristics and quantitative characteristics in Ulanbuh Desert[J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. sin. (西北植物学报),2012,32(3):0579~0588(in Chinese).
- [3] YUAN L(袁蕾),ZHOU H R(周华荣),ZONG Z L(宗召磊), et al. Structural characteristics and diversity of typical shrub plant community in the Urumqi Region[J]. Acta Bot. Boreal.-Occident. sin. (西北植物学报),2014,34(3):0595~0603(in Chinese).
- [4] YUE M(岳明),REN Y(任毅),DANG G D(党高弟), et al. Species Diversity of higher plant community in Foping National Reserve[J]. Chinese Biodiversity(生物多样性),1999,7(4):263~269(in Chinese).
- [5] RU W M(茹文明),ZHANG J T(张金屯),ZHANG F(张峰), et al. Species diversity and community structure of forest communities in Lishang Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报),2006,17(4):561~566(in Chinese).
- [6] PANGDEY S K, SHUKLA R P. Plant diversity in managed sal (*Shorea robusta* Geamn.) forests of Gorakhpur, India: species composition regeneration and conservation[J]. Biodiversity and Conservation,2003,12:2295~2319.
- [7] BAI X J(白雪娇),LI B H(李步杭),ZHANG J(张健), et al. Species composition, structure, and spatial distribution of shrubs in broad-leaved Koreanpine(*Pinus koraiensis*) mixed forest in Changbai Mountains[J]. Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报),2010,21(8):1899~1906(in Chinese).
- [8] HE Y(贺宇),DING G D(丁国栋),LIANG W J(梁文俊), et al. Study on structural characteristics of shrub community in typical natural secondary forest in Hebei Piovince[J]. Forest Resource Management(林业资源管理),2011,8(4):89~93(in Chinese).
- [9] YANG Z P(杨兆平),CHANG Y(常禹),BU R C(布仁仓), et al. Long-term dynamics of dry valleys in the upper reaches of Mingjiang River, Chain[J]. Acta Ecologica Sinica(生态学报),2007,27(8):3250~3256(in Chinese).
- [10] SUN X G(孙学刚),FENG Z C(冯自诚),ZHANG C W(张承维), Shelter-forest floristic studies Bailong river[J]. Journal of Gansu agricultural university(甘肃农业大学学报),1993,28(专辑):65~78(in Chinese).
- [11] KANG Y X(康永祥), The characteristics of the woody plants flora in Bailongjiang watershed[J]. Acta Bot. Boreal.-Occident.

- sin. (西北植物学报),1999,19(2):337~342(in Chinese).
- [12] FANF J Y(方精云),WANG R P(王襄平),SHEN Z H(沈泽昊),et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. Chinese Biodiversity(生物多样性),2009,17(6):533~538(in Chinese).
- [13] WANG F(王飞),GUO X(郭星),CHEN G P(陈国鹏),et al. The niche of shrub populations located in the dry river valley of Bailong river in Gansu[J]. Shanxi Forest Science and Technology(陕西林业科技),2015,(4):1~7(in Chinese).
- [14] HUANG Q L(黄清麟),ZHANG CH(张超),ZHANG X H(张晓红). Study on structural characteristics of shrub communities in Tibet [J]. Journal of Mountain Science(山地学报),2010,28(5):566~570(in Chinese).
- [15] Cantón Y, Del Barrio G, Solé-Benet A, Lázaro R. Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain[J]. Catena, 2004, 55:341~365.
- [16] Hara K, Fujihara M, Oono K. Vegetation structure in relation to micro-land form in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima Island, South-West Japan [J]. Ecological Research, 1996,11:325~337.
- [17] Dai N, Yoshihiko H, Yukira M. Influence of micro-landforms on forest structure, tree death and recruitment in a Japanese temperate mixed forest [J]. Ecological research, 2003, 18(5):533~547.
- [18] 简敏菲,游海,朱笃,等. 江西九连山森林群落灌木层的物种组成与多样性分析[J]. 江西师范大学学报:自然科学版,2008,32(4):494~499.
- [19] GUAN W B(关文彬),YE M M(冶民生),MA K M(马克明),et al. Vegetation Classification and the Main Types of Vegetation of the Dry Valley of Minjiang River[J]. Journal of Mountain Science(山地学报),2004,22(6):679~686(in Chinese).

(上接第 92 页)

#### 参考文献:

- [1] Pichersky E, Gershenzon J. The formation and function of plant volatiles: Perfumes for pollinator attraction and defense [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2002, 5(3):237~243.
- [2] Hsiao T H. Feeding behavior [C]//Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology. Oxford: Pergamon Press, 1985.
- [3] Schneider D. Plant recognition by insects: A challenge for neuroethological research [M]. Dordrecht: Dr W Junk Publisher, 1987.
- [4] Visser JH. Host odor perception in phytophagous insects [J]. Annual Review of Entomology, 1986, 31:121~144.
- [5] 杜家纬. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制 [J]. 植物生理学报, 2001, 27(3):193~200.
- [6] 王红伟, 杨伟, 杨桦, 等. 横坑切梢小蠹对植物挥发物的电生理和行为反应 [J]. 生态学杂志, 2014, 33(5):1260~1266.
- [7] 钦俊德, 王琛柱. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系 [J]. 昆虫学报, 2001, 44(3):360~365.
- [8] 卓志航, 杨伟, 徐丹萍, 等. 云斑天牛寄主核桃树皮及树叶的挥发性成分 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(5):205~214.
- [9] Schoonhoven L M, Jermy T, Van Loon J J A. Insect plant biology: From Physiology to Evolution [M]. London: Chapman and Hall, 1998, 136~138, 144.
- [10] Verkerk R H J, Wright D J. Multitrophic interactions and management of the diamondback moth: a review [J]. Bulletin of Entomological Research, 1996, 86(3):205~216.
- [11] 丁建红, 郭予元, 吴才宏. 胡萝卜挥发油中棉铃虫信息化合物的分离、鉴定及行为测定 [J]. 昆虫学报. 1997, 40(增刊):73~77.
- [12] Mitchell E R, Tignle P C, Heath R R. Ovipositional response of three *Heliothis* species (Lepidoptera: Noctuidae) to allelochemicals from cultivated and wild host plants [J]. Journal of Chemical Ecology, 1990, 16(6):1817~1827.
- [13] 殷蕙芬, 黄复生, 李兆麟. 中国经济昆虫志 [M]. 第二十九册, 小蠹科. 北京: 科学出版社. 1984:54~55, 142~144.
- [14] 蒋丽, 王雪莹, 杨洲, 等. 自然发酵与接种发酵泡菜香气成分分析 [J]. 食品科学, 2011, 32(22):276~279.
- [15] 殷彩霞, 高竹林, 吕军, 等. 纵坑切梢小蠹对云南松枝梢提取物趋性测试 [J]. 昆虫知识, 2002, 39(5):384~386.
- [16] 杨燕, 杨茂发, 杨再华, 等. 云南松松针的挥发性化学成分 [J]. 林业科学, 2009, 45(5):173~177.
- [17] 伍苏然, 周平阳, 李正跃, 等. 云南松健康松与衰弱松针叶挥发物化学成分比较 [J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22(6):1048~1052.
- [18] 闫争亮, 泽桑梓, 马惠芬, 等. 健康和受虫害云南松及云南切梢小蠹后肠挥发性物质的分析与比较 [J]. 西部林业科学, 2009, 38(4):70~73.