

长白山北坡阔叶红松林草本植物 物种多样性及其季节动态*

郝占庆 赵士洞 陶大立

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 110015)

摘要 通过对原始阔叶红松林草本植物早春(5月5~20日)、夏季(6月20日~7月10日)和秋季(8月20日~9月10日)的三次调查,结果表明其物种多样性是很丰富的,一年内共有123种(包括6个变种)草本植物在该森林内出现。同时其季节变化也比较明显,早春、夏季和秋季的草本植物物种数分别为:79, 101, 和 98; Shannon 多样性指数分别为:3.1829, 3.3140, 2.9677; Shannon 均匀度指数分别为 0.7284, 0.7181 和 0.6473。早春的草本植物以银莲花(*Anemone* spp.)、延期索(*Corydalis* spp.)、顶冰花(*Gagea lutea*)等为主,夏秋季则美汉草(*Meehanian urticifolia*)和一些苔草(*Carex* spp.)占优势。草本植物一年内的水平及垂直结构也有很大变化。

关键词 阔叶红松林,草本植物,物种多样性,长白山

Species diversity and its seasonal dynamics of herbs in a broad-leaved Korean pine forest on the northern slope of the Changbai Mountain/Hao Zhanqing, Zhao Sidong, Tao Dali//CHINESE BIODIVERSITY. — 1994, 2(3): 125~132

According to 3 times investigations in early spring (5~20 May), Summer (20 June~10 July) and Autumn (20 Aug. ~10 Sept.), the diversity of herbs in broad-leaved Korean pine forest is very rich and has a great change in different seasons. There are about 123 species of herbs (including 6 varieties) in this type of forest. The number of species in early spring, Summer and Autumn is 79, 101 and 98 respectively; the Shannon diversity index is 3.1829, 3.3140 and 2.9677; and the Shannon evenness is 0.7284, 0.7181 and 0.6473. In early spring, the dominant species are the Early-spring-herbs such as *Anemone* spp., *Corydalis* spp., *Gagea lutea*, and so on. In Summer and Autumn, the dominant species are *Meehanian urticifolia* and *Carex* spp. The vertical structure and distribution pattern of herbs are different in different seasons.

Author's address Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015

Key words broad-leaved Korean pine forest, herbs, species diversity, Changbai Mountain

长白山阔叶红松林地处中温带森林地区,一年四季分明,森林中乔灌层存在着明显的季相变化,林下的草本层一年内也发生着一系列变化。虽然过去已有不少学者曾对阔叶红松林下的草本植物做过不少详细的调查^[1,2,3],但缺乏关于草本植物物种多样性及季相变化的有关信息。事实上草本植物在一年内其物种多样性构成、植株的空间分布格局及各个种的个体数量等,变化都是很大的,本研究工作通过对林下草本植物的物种多样性、空间分布格局、及季相变化等研究,一方面可使我们进一步了解森林生态系统结构组成的复杂性,同时对阔叶红松林内的草本植物资源也会有较充分的认识,从而为进一步的科学研究和合理利用提供科学依据。

收稿日期:1993—12—26;接收日期:1994—02—19

* 本文系中国科学院八五重大项目:“生物多样性保护与持续利用的生物学基础”中的第二课题“人类活动对生态系统多样性的影响”的一部分。王战、赵大昌等先生对标本鉴定给予很大帮助,谨致谢意!

1 研究对象的概况

长白山北坡阔叶红松林分布于海拔 500~1100m 的玄武岩台地上,是长白山区的地带性顶极森林生态系统。由于地质史及人类活动等方面的原因,和中温带同纬度其它地区的森林相比,以其组成结构复杂、建群种独特、物种多样性丰富及含有较多的亚热带植物成分而著称于世^[1,4]。

研究样地选自长白山北坡海拔 740~750m 处的长白山自然保护区内,受人类活动的干扰较少,基本上属于原始状态。群落的立木株数(DBH>8cm,)达 542 株/ha,立木组成为:3.5 红松+2.5 紫椴+2 色木+2 组成均小于 1 成的其它阔叶树种。平均胸径 27.37cm,最大胸径 70cm。

2 研究方法

2.1 样地设置及取样方法

调查工作在毗邻的 2 个 1 ha(100×100m)的森林样地内进行,在每个样地内对草本植物进行 25 个 1×1m 的随机样方调查,共调查样方 50 个。在样方内记载草本植物的种类、个体数、平均高及物候等。

调查工作分别于 1993 年 5 月 5~20 日、6 月 20 日~7 月 10 日及 8 月 20 日~9 月 10 日分三次进行,每次调查方法相同。

2.2 多样性指数的选择与测定

本研究首先选用了 Margalef, Menhinick, Simpson, Shannon 及 Brillouin 等 5 个多样性指数^[5],对阔叶红松林的草本植物物种多样性进行了测定,然后就每个多样性指数对群落中的物种数、个体总数及均匀度的敏感性进行综合评价,最后选用效果最佳的 Shannon 多样性指数来讨论群落的物种多样性。

Shannon 指数 $H = - \sum P_i \ln P_i$ ^[5~7]

其中: n_i 是第 i 种的个体数; N 为所有种的个体总数; P_i 是第 i 种的个体数 n_i 占总个体数 N 的比例,即 $P_i = n_i/N$ 。

Shannon 指数以各个种的相对多度来反映群落的物种多样性,可较好地反映群落的物种丰富度。

2.3 均匀度的计算

均匀度系指样方中各个种的多的度的均匀程度,即每个种个体数间的差异。其计算通常用观察多样性和最高多样性的比来表示。最高多样性即为:所有种的多度都相等时,该样方的多样性。据此来导出均匀度的计算公式:

如 Shannon 指数 H 是确定的, S 个种的总体中,当所有种都以相同比例 $1/S$ 存在时,将有最大的多样性,因此 $H_{\max} = \ln S$

于是群落的均匀度为: $J_s = H/\ln S$ ^[7]

3 结果与讨论

3.1 草本植物的物种多样性及其季节变化

各季节草本植物的物种特征及物种多样性见表 1。

表 1 阔叶红松林各季节草本植物物种多样性(50 个 1×1m 样方)

Tab. 1 The diversity of herbs of broad-leaved korean pine forest in different seasons(50 1×1m plots).

物 种 名 Species	早 春 Early spring		夏 季 Summer		秋 季 Autumn	
	频数 F*	株数 N*	频数 F	株数 N	频数 F	株数 N
	木贼 <i>Hippochaete hyemale</i>	11	106	10	86	11
分株紫萁 <i>Osmunda cinnamomea</i>	2	2	6	8	3	5
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>					1	3
掌叶铁线蕨 <i>Adiantum pedatum</i>			2	27	3	15
猴腿蹄盖蕨 <i>Athyrium brevifrons</i>	5	5	9	13	8	15
鳞毛羽节蕨 <i>Gymnocarpium dryopteris</i>					1	5
假冷蕨 <i>Pseudocystopteris spinulosa</i>			5	12	5	17
荚果蕨 <i>Matteuccia struthiopteris</i>	2	2	18	90	14	24
间断球子蕨 <i>Onoclea sensibilis</i> var. <i>interrupta</i>			1	3	1	4
粗茎鳞毛蕨 <i>Dryopteris crassirhizoma</i>			5	7	6	6
三叉耳蕨 <i>Polystichum braunii</i>					1	2
银线草 <i>Chloranthus japonicus</i>			2	59	5	78
阴地冷水花 <i>Pilea hamaoi</i>			1	18	2	23
狭叶荨麻 <i>Urtica angustifolia</i>	2	3	3	13	4	12
戟叶蓼 <i>Polygonum thunbergii</i>			1	4	1	4
大花剪秋萝 <i>Lychnis cognata</i>			1	2	2	2
莫石竹 <i>Moehringia lateriflora</i>	2	9	5	49		
森林假繁缕 <i>Pseudostellaria sylvatica</i>	13	50	15	112	2	15
两色乌头 <i>Aconitum albo-violaceum</i>			2	3	1	1
草乌头 <i>Aconitum kusnezoffii</i>	33	472	4	33		
宽叶蔓乌头 <i>Aconitum sczukinii</i>			8	16	4	9
类叶升麻 <i>Actaea spicata</i>			2	18	2	3
侧金盏花 <i>Adonis amurensis</i>	27	302				
多被银莲花 <i>Anemone raddeana</i>	32	710				
黑水银莲花 <i>Anemone amurensis</i>	44	2704				
毛果银莲花 <i>Anemone baicalensis</i>	13	97				
小银莲花 <i>Anemone rossii</i>	29	1354				
尖萼耧斗菜 <i>Aquilegia oxypetala</i>	6	10	2	3	1	2
驴蹄草 <i>Caltha palustris</i> var. <i>sibirica</i>	6	47	2	11	2	5
升麻 <i>Cimicifuga dahurica</i>	4	7	2	18	2	5
东北假扁果草 <i>Enemion raddeanum</i>	16	121	19	106	8	10
菟葵 <i>Eranthis stellata</i>	30	85				
东北扁果草 <i>Isopyrum manshuricum</i>	5	29				
山芍药 <i>Paeonia lactiflora</i>	2	3	1	2	1	1
深山毛茛 <i>Ranunculus franchetii</i>	21	175	5	7	1	2
毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>			3	11	1	3
匍枝毛茛 <i>Ranunculus repens</i>	1	1	3	10		
翼果白蓬草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i>			7	26	3	9
深山白蓬草 <i>Thalictrum tuberiferum</i>	3	5	13	84	4	5
鲜黄连 <i>Jeffersonia dubia</i>	11	74	15	31	5	14
类叶牡丹 <i>Caulophyllum robustum</i>	1	1	2	2	1	1
东北延胡索 <i>Corydalis ambigua</i>	33	208				
线叶延胡索 <i>Corydalis ambigua</i> f. <i>linearilob</i>	36	152				
栉截叶延胡索 <i>Corydalis ambigua</i> f. <i>pectinata</i>	12	61				

(续表 1)

全叶延胡索 <i>Cordalis repens</i>	46	919				
荷青花 <i>Hylomecon vernalis</i>	14	86	8	34	3	3
白花碎米荠 <i>Cardamine leucantha</i>	45	701	47	307	33	113
落新妇 <i>Astilbe chinensis</i>	1	1	3	9	2	3
华金腰子 <i>Chrysosplenium sinicum</i>	6	65	4	41	4	35
龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i>	2	4	2	9	3	3
假升麻 <i>Aruncus sylvester</i>	2	5	3	5	2	3
蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>	20	53	23	42	10	35
绿叶蚊子草 <i>Filipendula palmata</i> var. <i>glabra</i>	27	111	24	71	14	42
东方草莓 <i>Fragaria orientaris</i>			1	3	1	4
水杨梅 <i>Geum aleppicum</i>	1	1	3	9	1	2
蛇莓委陵菜 <i>Potentilla centigrana</i>			1	1		
两型豆 <i>Amphicar paea trisperma</i>			1	3	1	1
三脉山黧豆 <i>Lathyrus daavidii</i>			3	12		
歪头菜 <i>Vicia unijuga</i>			1	3	1	5
山酢浆草 <i>Oxalis acetosella</i>	1	13	1	22	8	97
鼠掌老鹳草 <i>Geranium sibiricum</i>	1	3	2	4	2	3
林大戟 <i>Euphorbia lucorum</i>	3	8	5	11	1	2
水金凤 <i>Impatiens noli-tangere</i>			12	129	2	31
野风仙花 <i>Impatiens textori</i>					1	1
长柱金丝桃 <i>Hypericum ascyron</i>			2	2	1	2
鸡腿堇菜 <i>Viola acuminata</i>	5	8	7	12	7	10
库页堇菜 <i>Viola saccalinensis</i>	2	5	4	7	3	11
深山露珠草 <i>Circaea alpina</i>			2	12	6	25
水珠草 <i>Circaea quadrisulcata</i>			7	11	2	4
东北土当归 <i>Aralia continentalis</i>			1	1	1	1
东北羊角芹 <i>Aegopodium alpestre</i>	32	529	43	995	42	847
大独活 <i>Angelica gigas</i>	3	6	3	7	4	6
大叶柴胡 <i>Bupleurum longiradiatum</i>	7	11	4	21	2	4
紫花变豆菜 <i>Sanicula rubriflora</i>	18	102	13	95	13	39
大叶芹 <i>Spuriopimpinella brachycarpa</i>	3	17	4	10	9	18
黄连花 <i>Lysimachia davurica</i>			1	1	2	2
樱草 <i>Primura sieboldii</i>	1	1				
潮风草 <i>Cynanchum ascyriifolium</i>			2	6	1	3
腺毛花忍 <i>Polemonium laxiflorum</i>	9	43	5	28	3	5
山茄子 <i>Brachybotrys paridiformis</i>	32	131	33	226	28	139
白花野芝麻 <i>Lamium album</i>	1	7	11	21	3	4
小花地瓜苗 <i>Lycopus parviflorus</i>					1	2
美汉草 <i>Meehanian urticifolia</i>	44	774	42	1021	44	895
尾叶香茶菜 <i>Plectranthus excisus</i>			2	7	2	6
乌苏里黄芩 <i>Scutellaria ussuriensis</i>			3	11		
透骨草 <i>Phryma leptostachya</i>			13	35	12	31
东北猪殃殃 <i>Galium mandshuricum</i>	23	144	31	233	20	101
茜草 <i>Rubia cordifolia</i>			2	4	4	4
林茜草 <i>Rubia sylvatica</i>			2	4	4	8
五福花 <i>Adoxa moschatellina</i>	19	98	11	81		
北缬草 <i>Valeriana fauriei</i>	3	6	6	10	3	4
大花沙参 <i>Adenophora grandiflora</i>	2	4	1	2	1	1
芥尼沙参 <i>Adenophora remotiflora</i>			11	58	4	9
紫斑风铃草 <i>Campanula punctata</i>			1	2	1	1
和尚菜 <i>Adeocaulon himalaicum</i>	5	67	3	11	3	9

(续表 1)

宽叶山蒿 <i>Artemisia stolonifera</i>	3	5	3	10	5	17
东风菜 <i>Aster scaber</i>			2	8	4	15
紫菀 <i>Aster tataricus</i>					2	6
山尖子 <i>Cacalia hastata</i>	12	28	17	58	8	11
盘果菊 <i>Prenanthes tatarinowii</i>			1	1	3	5
林风毛菊 <i>Saussurea sinuata</i>	4	9	5	10	7	21
兴安一枝黄花 <i>Solidago virgaurea</i> var. <i>dahurica</i>	4	4	8	11	16	28
山牛蒡 <i>Synurus deltooides</i>					2	2
小叶章 <i>Deyeuxia angustifolia</i>	8	54	6	26	2	7
东北龙长草 <i>Diarrhena mandshurica</i>	18	195	12	67	6	16
羊胡子苔草 <i>Carex callitrichos</i>	5	55	6	32	6	30
凸脉苔草 <i>Carex lanceolata</i>			23	233	20	168
毛缘苔草 <i>Carex pilosa</i>	31	531	43	623	36	343
四花苔草 <i>Carex quadriflora</i>	12	208	11	67	7	49
宽叶苔草 <i>Carex siderosticta</i>	2	18	4	15	4	27
乌苏里苔草 <i>Carex ussurensis</i>	20	169	30	462	30	213
东北天南星 <i>Arisaema amurense</i>			7	18	3	5
铃兰 <i>Convallaria keiskei</i>	9	48	13	80	3	6
平贝母 <i>Fritillaria ussuriensis</i>	1	2				
顶冰花 <i>Gagea lutea</i>	40	856				
三花顶冰花 <i>Gagea triflora</i>	23	285				
轮叶百合 <i>Lilium distichum</i>	14	23	8	12		
二叶舞鹤草 <i>Maianthemum bifolium</i>	26	294	32	340	7	20
北重楼 <i>Paris verticillata</i>	29	226	4	5		
兴安鹿药 <i>Smilacina davurica</i>	6	27	8	35	4	6
白花延龄草 <i>Trillium kamschaticum</i>	4	4	4	8	4	5
兴安藜芦 <i>Veratrum dahuricum</i>	13	36	11	19		
穿龙薯蓣 <i>Dioscorea nipponica</i>			4	9	2	6
种数 Number of species	79		101		98	
个体总数 Number of individuals	13795		6682		4001	
Shannon 多样性指数 Shannon diversity index	3.1829		3.3140		2.9677	
Shannon 均匀度, Shannon evenness	0.7284		0.7181		0.6473	

* 注: F 频数(即在 50 个样方中某个种出现的样方数), N 即某个种的个体总数

Note: F is Frequency; N is number of individuals

表 1 可见, 草本植物一年内各季节的变化是很大的, 尤其是早春的草本植物与夏秋有很大差异。早春期草本层占优势的主要是一些早春植物(即在早春乔灌层展叶之前就完成其年生活史, 到夏季则地上部分全部死亡的植物)如银莲花、延胡索、顶冰花及侧金盏花等。早春期草本层中共有草本植物 74 种 5 变种, 隶属于 29 科 65 属。其中早春植物 13 种 2 变种, 隶属于 4 科 8 属, 主要是一些毛茛科植物, 其次为罂粟科。个体数最多的 5 种植物为: 黑水银莲花、小银莲花、全叶延胡索、顶冰花、美汉草, 即除美汉草一种之外其它四种都是早春植物。

到夏季时林内大多数草本植物都已出现, 这时共有草本植物 98 种 3 变种, 隶属于 42 科 85 属, 是一年中种类最多的季节, 但这时的早春植物都已死亡。夏季草本层个体数最多的前 5 种植物为: 美汉草、东北羊角芹、毛缘苔草、乌苏里苔草、二叶舞鹤草。

秋季共有草本植物 94 种 4 变种, 隶属于 42 科 82 属, 虽科、属、种的数目都与夏季差异不大, 但种类还是有一些差异的。这时一些春夏季的种类已经死亡, 如北重楼、轮叶百合、兴安藜芦等, 而一些菊科植物却在此时出现, 如紫菀、山牛蒡等。秋季草本植物层个体数最多的前 5 种植物为: 美汉

草、东北羊角芹、毛缘苔草、乌苏里苔草、凸脉苔草,与夏季几乎相同。

从多样性指数来看,夏季的草本植物具有最大的多样性值,其次为早春,秋季最小。这是因为多样性指数是物种数、个体总数与群落均匀度的综合反映^[5,6]。夏季的草本植物虽个体总数不如早春多,但其物种数最多,均匀度也较大,所以多样性值也最大;而早春的草本植物虽物种数最少,但其个体总数最多,而且均匀度也比较大,所以多样性指数值接近于夏季,二者的 Shannon 指数值分别为 3.3140 和 3.1829;对于秋季的草本植物,虽其物种数目与夏季接近,但个体总数和均匀度都小于春夏季,所以多样性指数值也较小,其 Shannon 指数值为 2.9677。

从个体总数的变化也可看出,从早春到秋季草本植物的株数急剧减少,其原因一方面是由于一些植物(如早春植物因长期的生态适应,只能在早春上层林冠展叶前完成其年生活史,到夏秋时地上部分大量死亡,从而使植株数大量减少;另一方面则是草本植物个体之间的生长竞争所导致的自然稀疏。

3.2 草本植物的结构动态

3.2.1 各季节草本植物的垂直结构

如将各季节草本植物按高度细分为 5 个亚层,间距为 10cm,并用图标出各季节不同亚层的植物株数如图 1。

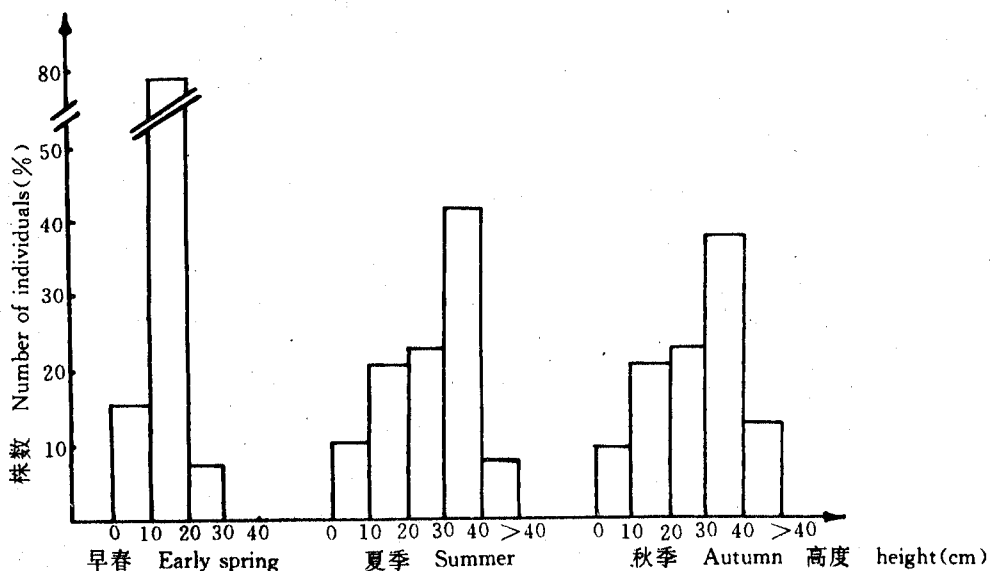


图 1 不同季节草本植物株数按高度的分布图

Fig. 1 Distribution of the height of herb individuals in different seasons.

由图 1 明显可以看出:早春的草本植物主要集中在 10~20cm,夏秋间差异不大,以 30~40cm 高的植株为最多。即早春的草本植物多数比较矮小,而夏秋季比较高大,同时各季节的草本层都有明显垂直层次。

3.2.2 各季节草本植物的水平结构

由表 2 可见,就样方的平均种数及个体数来看,都是早春的最大,夏季次之,秋季最小,同时标准差也是如此。由此说明一方面早春草本植物分布比较密集(样方中有较多的物种数和个体数),而夏秋则相对较稀疏;另一方面从标准差的大小说明,早春的草本植物植株的水平分布较不均匀,有些地方很密,而有些地方较稀,而夏秋季则相对均匀一些。

从物种的出现频度来看,早春的物种平均频度较大,即物种的分布相对较均匀(这一点和植株的分布正好相反),夏季次之,秋季最小。早春有 16.46% 的种其频度达到 60%,有 6.32% 的种其频度达到 80%,即在早春期有些种几乎遍布于整个林地,而仅在一个样方中出现的种相对较少,仅占 11.39%。而到夏季时频度较高的种则相对减少,到秋季时则更少,有不少种仅在少数样方中出现,秋季时仅在一个样方中出现的种达 23.47%,较春夏都高。分析其原因是因为:早春时,上层林冠尚未展叶,林地各样方面的光照条件差异较小,其生态条件的异同主要来源于微地形等的差异。到夏秋时,因林冠层的疏密不同,各样方面的光热等条件也会有较大差异,从而导致了物种水平分布的不均,有些种适应范围较广而分布较均匀,而许多种只适合于一定的环境条件,所以只在局部存在。有些个体数相同或相近的种,其频度却有很大差异,如夏季草本层的蚊子草和华金腰子,个体数分别为 42 和 41,但前者频度为 46%,后者只有 8%。即在该森林类型中,前者属广布种,后者属狭布种。

表 2 各季节草木植物的水平分布特征

Tab. 2 Horizontal patterns of herbs in different seasons.

	早春 Early Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn
样方平均种数 Average of species in 1 plot	20±5.6	15±3.6	11±2.7
样方平均个体数 Average of individuals in 1 plot	276±118.6	134±47.3	80±20.1
物种平均频度(%) Average of frequency	26.94±26.00	16.84±20.36	12.28±17.18
频度≥60%的种种 Number of species for frequency≥60%	13(16.46%)	8(7.92%)	5(5.1%)
频度≥80%的种种 Number of species for frequency≥80%	5(6.32%)	4(3.96%)	2(2.04%)
仅在一个样方中出现的种种 Number of species exist only in 1 plot	9(11.39%)	15(14.85%)	23(23.47%)

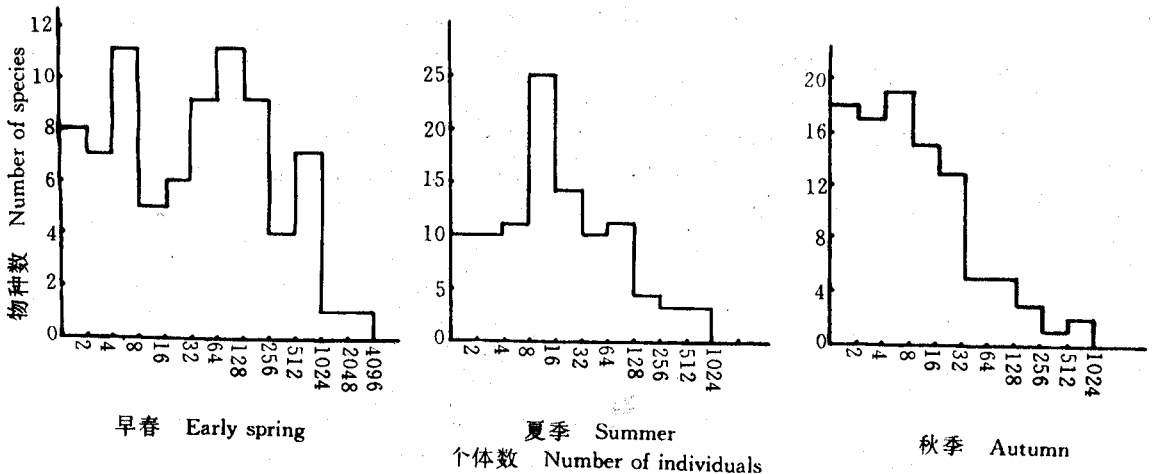


图 2 不同季节不同多度级的种数分布图

Fig. 2 Distribution of species abundance in different seasons.

3.2.3 物种多度的分布

如果各草本植物种的多度级用个体数目的逐步倍加值来表示(即取以 2 为底的对数作为每一

个多度级),则多度级序列为:2,4,8,16,……1024,……,每一级包含的个体数分别为:1~2,3~4,5~8,9~16,……,513~1024,……,那么物种数按多度级的分布如图2。

由图2可以看出,早春的草本植物物种多度有二个峰值,即个体数在5~8株与个体数在65~128株的物种较多,夏季的草本植物则以个体数在9~16株的物种为最多,而到秋季则为个体数在1~8株的物种最多。

早春的草本植物,各多度级的物种数分布比较均匀,而夏秋季则相对差一些,夏季主要以中多度级的物种占多数,到秋季则以低多度级的物种占多数(即多数物种的个体数都比较少)。这和均匀度的计算结果是一致的,即春季最大,夏季次之,秋季相对较小。

4 结 语

阔叶红松林作为长白山区地带性顶极森林生态系统,具有较高的草本植物的物种多样性,仅本研究调查记载的草本植物就达123种,隶属于43科98属。丰富的草本植物资源其在生态系统中的功能是不容忽视的。概括地可归为以下几个方面:①是森林生态系统得以维持平衡的保证。从早春到夏秋,有大量的草本植物死亡,这些死掉的草本植物尤其是早春植物较枯枝落叶更易分解,因而加快了森林生态系统的物质循环,利于促进生产力的提高;②是可供人类开发利用的宝藏。许多草本植物是珍贵的药用植物、食用植物或观赏植物,它们是森林生态系统的的一个重要输出部分,具有较高的经济价值;③丰富的草本植物是各种动物、微生物等取食、栖息的源泉,从而保证了动物和微生物的多样性;④草本植物发达的根系及其对林地的覆盖,有利于保持水土、涵养水源。

所以应深入开展阔叶红松林草本植物层的研究,从而为合理经营和利用草本植物资源提供科学依据。

参 考 文 献

- 1 王战等,长白山北坡主要森林类型及其群落结构特点. 森林生态系统研究,1980, I :25~42
- 2 邵国凡等,长白山阔叶红松林早春草本层生物量初报. 森林生态系统研究,1992, IV :24~30
- 3 钱宏等,长白山阔叶红松林早春草本层的群落生态学初步研究,森林生态系统研究,1992, VI :31~44
- 4 阳含熙等,长白山北坡阔叶红松林数量分类. 森林生态系统研究,1985, V :15~32
- 5 Magurran A E, Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, 1988
- 6 彭少麟,王伯荪,鼎湖山森林群落数量分析-物种多样性. 生态科学,1983,1:11~17
- 7 Solbrig O T, From genes to ecosystems: Aresearch Agenda for biodiversity. *Report of a IUBS-SCOPE-UNESCO workshop*. Harvard forest. Petersham, Ma. USA