应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2014, 51(5): 1310–1319. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2014.155

山西历山国家级自然保护区不同演化阶段林型蛾类多样性*

侯沁文[1] 白海艳[1,2**] 铁 军[1,2] 边高鹏[1] 史宝忠[1]

（1. 长治学院生物科学与技术系，长治 046011；2. 太行山生态与环境研究所，长治 046011）

摘 要 **【目的】** 本文旨在揭示山西历山国家级自然保护区次生红桦林、次生针阔混交林和原始辽东栎林 3 种不同演替阶段林型蛾类多样性及群落结构特征。**【方法】** 在保护区内次生红桦林、次生针阔混交林和原始辽东栎林 3 种林型中分别设置 3 块样地，每块样地到林缘的距离≥100 m；于 2012 年 7—8 月采用灯诱法在不同林型中采集蛾类标本，并对 3 种林型分别进行蛾类群落组成、多样性指数比较分析。**【结果】** 山西历山国家级自然保护区 3 种林型共采集蛾类标本 6 090 只，隶属 23 科 221 种，其中卷蛾科物种数和个体数最多，有 41 种 1 217 只，分别占总种数和总个体数的 18.6%和 20.0%。从不同演替阶段林型的蛾类群落组成来看，次生红桦林和原始辽东栎林蛾类种数显著高于次生针阔混交林（P=0.001，P=0.006），次生红桦林与原始辽东栎林蛾类种数差异不显著（P=0.080）。对数正态分布模型拟合结果表明，3 种林型中蛾类种-多度均为对数正态模型（P>0.050）。对 3 种林型中蛾类物种丰富度、多样性、均匀度和α-指数进行了计算和分析，结果表明：蛾类群落均匀度与α-指数一致，与多样性指数不一致。从多样性指数来看，次生红桦林最高（2.971），次生针阔混交林次之（2.958），原始辽东栎林最小（2.472）；前两者之间差异不显著，前两者与后者差异均显著。从α-指数来看，稀有蛾类种数次生红桦林>原始辽东栎林>次生针阔混交林。采用 Jaccard 相似系数和 Bray-Curtis Measure 系数矩阵两种方式进行蛾类相似性比较，演替阶段相近蛾类群落结构不一定相似。**【结论】** 森林由次生林向顶级群落演替过程中，蛾类的优势类群、物种数和稀有种数均不完全一样；蛾类多样性降低，稀有种减少，优势种数量变化明显。蛾类所处环境中植被演替速度是决定蛾类群落演替进程快慢的主要因素。蛾类群落结构除了与演替阶段有关外，还与林型的植被情况有着密切的关系。

关键词 不同林型，蛾类多样性，群落结构，历山国家级自然保护区，演化阶段

Moth diversity in different forest successional stages in Lishan National Nature Reserve, Shanxi

HOU Qin-Wen[1] BAI Hai-Yan[1,2**] TIE Jun[1,2] BIAN Gao-Peng[1] SHI Bao-Zhong[1]

(1. Department of Biological Sciences and Technology, Changzhi University, Changzhi 046011, China;
2. Ecological and Environmental Research Institute of Taihang Mountain, Changzhi 046011, China)

Abstract **[Objectives]** To reveal moth diversity and community structure characteristics in the three forest types: secondary red birch forest, secondary conifer and broad-leaved mixed forest and original liaodong oak forest in Lishan

* 资助项目：山西省自然科学基金项目（2011011033-3; 2012011034-6）和山西省高校人文社科重点研究基地项目（2012331）

***通讯作者，E-mail: haiyanbai@163.com

收稿日期：2014-03-15，接受日期：2014-04-29

National Nature Reserve, Shanxi Province, China. **[Methods]** The three sample plots were set up > 100 m from the forest edge in each of the three forest types. Moths were collected by light trapping in each plot in July and August 2012, and their community composition and diversity index analyzed. **[Results]** A total of 6 090 moth specimens were collected and 221 species from 23 families were identified. The Tortricoidae were the dominant family, with the most species (41) and individuals (1 217), comprising 18.6% of all species and 20.0% of all individual moths. Moth community composition and species abundance were both significantly higher (P=0.001, P =0.006, respectively) in the secondary red birch and original Liaodong oak forest than in secondary conifer and broad-leaved mixed forest, but moth species number did not differ significantly between secondary red birch and original Liaodong oak forest (P=0.080). The species-abundance curves of moths conformed to the lognormal distribution in all three forest types (P >0.050). Species abundance, diversity, evenness and alpha index of moths in the three forest types were calculated and analyzed. The results show that moth community evenness and alpha index were consistent and contrary to the diversity index. The diversity index was highest in the secondary red birch forest (2.971), followed by the secondary conifer and broad-leaved mixed forest (2.958) and lowest in the original Liaodong oak forest (2.472), however, only the last difference was statistically significant. The Alpha index indicates that rare species were highest in secondary red birch forest followed by original Liaodong oak forest and least in secondary conifer and broad-leaved mixed forest. The Jaccard similarity coefficient and Bray-Curtis Measure coefficient matrix were used to compare moth community structure in the different forest types. The results show that moth community structure is not necessarily similar in each forest type. **[Conclusion]** Dominant taxa, species and rare species differed in forest of different successional stages. Moth diversity decreased, rare species decreased, and the number of dominant species Change significantly from early successional to climax forest, presumably reflecting changes in habitat suitability. Moth community structure is related to forest successional stage and has a close relationship to forest vegetation conditions.

Key words forest type, moths diversity, community structure, Lishan National Natural Reserves, succession stages

自然保护区生活着种类众多、数量巨大的昆虫，它们是自然保护区森林生态系统中多样性的重要组成部分，对森林采伐、干扰以及植被演替都十分敏感。森林演替影响到昆虫的组成和分布以及群落结构和多样性（Siemann *et al.*，1999；Koivula *et al.*，2002；Fiedler and Schulze，2004；Waltz and Covington，2004；汤春梅等，2010）。不同昆虫对森林演替的反映不同。鳞翅目是森林昆虫的主要优势类群之一，其多样性变化与植被类型、生境郁闭度、植被密度都紧密相关（Koivula *et al.*，2002；Yu *et al.*，2008；Choi *et al.*，2009；贾玉珍等，2009）。目前，人类很难控制森林生态系统的演替过程，但通过比较各演替阶段蛾类昆虫的物种组成和数量差异，可以更好地估测森林演替的阶段和评价演替质量（Moon *et al.*，1999）。

地处中条山东段的山西历山国家级自然保护区始建于 1983 年，1985 年晋升为国家级自然保护区。保护区内有金钱豹 *Panthera pardus*、金雕 *Aquila chrysaetos*、黑鹳 *Ciconia nigra* 和大鸨 *Otis tarda* 4 种国家一级保护动物，有勺鸡 *Pucrasia macrolopha*、大鲵 *Andrias davidianus* 和猕猴 *Macaca mulatta* 等 34 种二级保护动物。多年来，不同学者主要针对保护区内的植物，从植物区系、植物资源、植物群落结构等方面开展了全面、深入的研究（茹文明和张峰，2000；张建民等，2002；钟海秀等，2003；张峰和张金屯，2003；李豪等，2013），而对保护区内动物的研究从深度、广度等方面均远远落后于对植物的研究，现有为数不多的报道也只是针对保护区内脊椎动物如猕猴、勺鸡等进行了研究（王毅琴和薛印平，1997；刘荣等，2002；张旭强等，2003），与昆虫资源及昆虫生态学等相关的研究基本处

于停滞状态。

鉴于此，在调查山西历山国家级自然保护区昆虫资源的基础上，以鳞翅目蛾类昆虫为研究对象，着重分析了蛾类群落结构及种类组成与林型、森林演替阶段等因素之间的联系，为深入探讨蛾类群落结构变化及种类组成变化对生境变化的生态响应，为筛选有效的指示昆虫监测和评估森林生态系统的健康状况，为保护区相关职能部门的决策等提供重要的科学依据。

1 研究地概况

山西历山国家级自然保护区地处山西省中条山东段，111°51′10″~112°05′35″E，35°16′30″~35°27′20″N。行政区划包括垣曲县、沁水县、阳城县和翼城县等县，主峰（舜王坪）海拔 2 358 m，相对高差 2 058 m。为暖温带大陆性气候，夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥，盛行西北风；年平均气温为 12.3℃，无霜期 180~200 d，年降水量 600~800 mm（张峰和张金屯，2003）。地带性土壤为褐土，土壤类型随海拔高度、地形、坡度、水文和植被类型的变化，由山顶到山基依次为山地草甸土、棕色森林土、山地淋溶褐土和山地褐土（茹文明和张峰，2000；李豪等，2013）。

保护区处于暖温带落叶阔叶林地带，地形复杂，水热资源丰富，植被覆盖完好，主要植被有侧柏（*Platycladus orientalis*）、油松（*Pinus tabuliformis*）、栓皮栎（*Quercus variabilis*）、华山松（*Pinus armandii*）、辽东栎（*Quercus wutaishanica*）、白桦（*Betula platyphylla*）、红桦（*Betula albo-sinensis*）、荆条（*Vitex negundo* var. *heterophylla*）、酸枣（*Ziziphus jujube* var. *spinosa*）、连翘（*Forsythia suspensa*）、六道木（*Abelia biflora*）、三裂绣线菊（*Spiraea trilobata*）、白羊草（*Bothriochloa ischaemum*）、苔草（*Carex* spp.）和五花草等（张建民等，2002；张峰和张金屯，2003）。

2 研究方法

2.1 调查方法

选择典型次生红桦林、次生针阔混交林和原始辽东栎林为样地，构成一个由次生林逐渐向顶级植被类型过渡的典型演替系列。在每个样地内设立 100 m×100 m 有代表性的样地作为本研究调查标准地，各样地概况见表 1。

2012 年 7—8 月，采用灯诱法在不同林型中采集蛾类标本。每 2 d 调查一次，若遇不良天气，顺延一日。在各林型地各设置 3 块样地，每块样地到林缘的距离≥100 m，以保证各点之间的独立以及防止其他林型的干扰。使用变频汽油发电机（HS1000IS）发电，光源为白色 160 W 高压汞灯，幕布为 210 cm×150 cm 的白化纤布，灯诱时间为 20:00—24:00。用支架把幕布挂于诱集灯后方约 15 cm 处，清除幕布四周 4~5 m 范围内的杂草，采集所有落于幕布上的蛾类。为了方便鉴定，大小蛾类分开采集，大型蛾类使用三角纸袋，中型蛾类使用大号指形管，小型蛾类使用小号指

表 1 研究样地概况
Table 1 General situation of the forest plots

林型 Forest type	海拔（m） Altitude	坡向 Aspect	主要乔木组成 Tree composition	原始植被 Primary vegetation

次生红桦林 Secondary red birch forest	1 500-1 900	阴坡、半阴坡	红桦 *Betula albo-sinensis*、白桦 *Betula platyphylla*、山杨 *Populus davidiana*、侧柏 *Platycladus orientalis*、青榨槭 *Acer davidii*、元宝槭 *Acer truncatum* 等	原始辽东栎林
次生针阔混交林 Secondary conifer and broad-leaved mixed forest	1 500-1 750	阳坡、半阳坡	华山松*Pinus armandii*、油松 *Pinus tabuliformis*、侧柏、栓皮栎 *Quercus variabilis*、红桦、鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii* 等	原始华山松林
原始辽东栎林 Original Liaodong oak forest	1 700-1 860	阳坡、半阳坡	辽东栎 *Quercus wutaishanica*、华山松、油松、栓皮栎、鹅耳枥等	原始辽东栎林

形管，次日用乙酸乙酯毒杀采集的蛾类，制成针插标本，干燥后置于昆虫标本盒内，并注明采集时间、地点及采集人，按科分类整理带回实验室进一步鉴定。

种类鉴定主要依据朱弘复等（1964）、陈一心（1985，1999）、韩红香和薛大勇（1999）、方承莱（2000）、武春生和方承莱（2003，2010）、赵仲苓（2003）、刘友樵和武春生（2006）等。所有蛾类标本均保存在长治学院昆虫标本室内。

2.2　数据分析

2.2.1　多样性分析

多样性分析采用以下参数：

物种丰富度（Specific richness，S）：每个样地中出现的物种数。

多度（Individual number，N）：个体总数。

多样性指数分别采用 Shannon-Wiener 指数（H'）。

Shannon-Wiener 指数公式：

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln(P_i) \qquad (1)$$

式中 P_i 是第 i 种的个体比例，即 $P_i = N_i / N$，N_i= 第 i 种的个体数，N=全部物种的个体总数（尤平和李后魂，2006）。

均匀度（Evenness，J'）采用 Pielou 公式：

$$J' = H' / \ln S \qquad (2)$$

式中 H'为 Shannon-Wiener 多样性指数，S 为群落中物种数（尤平和李后魂，2006）。

2.2.2　对数正态模型参数估计

对数正态分布模型为：

$$S_{(R)} = S_0 \exp(-\alpha^2 R^2) \qquad (3)$$

式中 $S_{(R)}$是第 R 倍频程中的物种数量，S_0 是对数正态分布的众数倍频程物种数，α是与分布有关的参数（唐启义和冯明光，2006）。

2.2.3　群落相似性指标

群落系数（Coefficient of community，C）采用 Sorensen 或 Zekanovski 系数，其公式为：

$$C=2W/(a+b) \qquad (4)$$

式中 C 为群落系数，W 为样地 A 和 B 共有种的种数，a 为样地 A 的全部种数，b 为样地 B 的全部种数（尤平和李后魂，2006）。

Bray-Curtis Measure 距离系数（Bray-Curtis Measure distance coefficient，B），其公式为：

$$B = \sum \left| x_{ij} - x_{ik} \right| \Big/ \sum \left| x_{ij} + x_{ik} \right| \qquad (5)$$

式中 B 为距离系数，式中 n 为样本物种数量，x_{ij}，x_{ik} 为样本 j 和样本 k 中第 i 中物种的个体数（唐启义和冯明光，2006）。

3 结果与分析

3.1 蛾类群落物种组成

在 3 种林型样地中共采集蛾类 6 090 只，隶属 23 科 221 种。其中卷蛾科（Tortricoidae）物种数和个体数最多，41 种 1 217 只，分别占总种数和总个体数的 18.6%和 20.0%；其次为夜蛾科（Noctuidae），28 种 919 只，所占比例分别为 12.7%和 15.1%；螟蛾科（Pyralidae）物种数仅次于夜蛾科，有 20 种 771 只，尺蛾科 18 种 681 只，草螟科（Crambidae）和舟蛾科（Notodontidae）均为 15 种，但前者个体数量远远高于后者，灯蛾科（Noctuidae）有 14 种 250 只，其他科物种数低于 10 种，其中网蛾科（Thyrididae）和斑蛾科（Zygaenidae）仅有 1 种（表 2）。

从蛾类的群落组成来看，次生红桦林中种类最多，有 22 科 174 种，显著高于次生针阔混交林（P=0.001），其中卷蛾科占优势；次生针阔混交林中有 19 科 129 种，卷蛾科和尺蛾科占优势，其次是夜蛾科；原始辽东栎林中有 23 科 159 种，以卷蛾科为主，夜蛾科次之，蛾类种数显著高于次生针阔混交林（P=0.006）。次生红桦林与原始辽东栎林蛾类种数差异不显著（P=0.080）。

从科级阶元来看，3 种林型中物种数和个体数最高的均为卷蛾科，其中，次生红桦林中卷蛾科种类最多，有 37 种 384 只，次生针阔混交林中最少，有 25 种 295 只；其次为夜蛾科，原始辽东栎林中夜蛾科种类最多（25 种），次生针阔混交林中最少（15 种）；第 3 为螟蛾科，种数及个体数最多的为次生针阔混交林，有 22 种 280 只；尺蛾科、草螟科、舟蛾科和菜蛾科（Plutellidae）

表 2 3 种林型中蛾类物种丰富度与多度

Table 2 Richness and abundance of moths in three forest types

科 Family	EPF		MPF		LPF		合计 Total		比例（%） Proportion	
	S	*N*	*S*	*N*	*S*	*N*	*S*	*N*	*S*	*N*
卷蛾科 Tortricoidae	37	384	25	295	32	488	41	1 217	18.6	20.0
夜蛾科 Noctuidae	23	350	15	280	25	289	28	919	12.7	15.1
螟蛾科 Pyralidae	20	255	22	280	15	286	22	771	10.0	12.7
尺蛾科 Geometridae	12	294	14	255	9	132	18	681	8.1	11.2
草螟科 Crambidae	13	168	8	165	9	202	15	535	6.8	8.8
舟蛾科 Notodontidae	10	91	5	77	8	143	15	311	6.8	5.1
菜蛾科 Plutellidae	12	85	6	70	7	95	14	250	6.3	4.1
灯蛾科 Arctiidae	6	58	6	65	8	89	10	212	4.5	3.5
枯叶蛾科 Lasiocampidae	5	54	4	60	7	68	9	182	4.1	3.0
羽蛾科 Pterophoridae	3	27	3	15	5	32	7	74	3.2	1.2
天蛾科 Sphingidae	4	55	3	78	5	72	5	205	2.3	3.4
毒蛾科 Lymantriidae	4	41	4	45	4	44	5	130	2.3	2.1
麦蛾科 Gelechiidae	3	22	2	36	4	33	5	91	2.3	1.5
细蛾科 Gracilariidae	4	25	3	25	5	45	5	95	2.3	1.6
刺蛾科 Limacodidae	3	27	3	20	4	31	4	78	1.8	1.3
大蚕蛾科 Saturniidae	4	40	1	33	1	49	4	122	1.8	2.0

蚕蛾科 Bombycidae	2	30	3	30	2	23	3	83	1.4	1.4
展足蛾科 Heliodinidae	1	4	0	0	2	5	2	9	0.9	0.1
鹿蛾科 Ctenuchidae	2	32	1	8	1	10	2	50	0.9	0.8
潜蛾科 Lyonetiidae	2	10	0	0	1	4	2	14	0.9	0.2
斑蛾科 Zygaenidae	1	4	0	0	1	3	1	7	0.5	0.1
网蛾科 Thyrididae	0	0	0	0	1	4	1	4	0.5	0.1
木蠹蛾科 Cossidae	3	21	1	10	3	19	3	50	1.4	0.8
总计	174	2 077	129	1 847	159	2 166	221	6 090	100.0	100.0

EPF：次生红桦林；MPF：次生针阔混交林；LPF：原始辽东栎林；S：种数；N：个体数。下表同。

EPF: Secondary birch forest; MPF: Secondary conifer and broad-leaved mixed forest; LPF: Original Liaodong oak forest; S: Number of species ; N: Number of individuals. The same below.

蛾类种数在 14~18 之间，次生红桦林中草螟科、舟蛾科和菜蛾科三者种数显著高于次生针阔混交林和原始辽东栎林；其它各科种数在 3 种林型中相当，但网蛾科只出现在原始辽东栎林中，斑蛾科出现在原始辽东栎林和次生红桦林中，二者均为 1 种。

3.2　蛾类群落种-多度曲线

分别对 3 种林型中的蛾类多度进行对数正态分布模型拟合及参数估计，结果见表 3 和图 1。由表 3 可知，次生红桦林群落（P=0.912）、次生针阔混交林（P=0.645）和原始辽东栎林群落（P=0.621）均表现为对数正态模型，其中次生红桦林群落是最优符合，说明这三类群落均环境条件优越、物种丰富度高。其中，次生红桦林处于演替的早期阶段，蛾类丰富度最大，而优势种却最少，处于中间物种较多，经拟合得出次生红桦林群落、次生针阔混交林和原始辽东栎林蛾类种与多度曲线公式分别为 $S_{(R)}$=45exp(−0.768$^2R^2$)，物种估计为 177 种；$S_{(R)}$=29exp(−0.788$^2R^2$)，物种估计为 133 种；$S_{(R)}$=46exp(−0.761$^2R^2$)，物种估计为 163 种。

3.3　不同演替阶段蛾类多样性

蛾类多样性指数采用 Shannon-Wiener 多样性指数（H'），再根据 Shannon-Wiener 信息指数计算出均匀度指数（J'），用对数序列参数估计计算α-指数，结果见表 4。

从表 4 可知，3 种林型蛾类群落均匀度与α-指数一致，而与多样性指数不一致。次生红桦林的多样性指数最高，为 2.971，次生针阔混交林次之，为 2.958，原始辽东栎林最低，为 2.472，前两者之间差异不显著，与原始辽东栎林差异均显著。均匀度指数和α-指数在次生红桦林中均最高，分别为 6.390 和 45.207，原始辽东栎林次之，为 6.043 和 39.538，次生针阔混交林最低，为 5.044 和 31.571，这两个指标在 3 种林型之间两两比较差异均显著。原始辽东栎林蛾类多样性、均匀度与α-指数居中，稀有种数次生红桦林>原始辽东栎林>次生针阔混交林，而富集种情况相反。

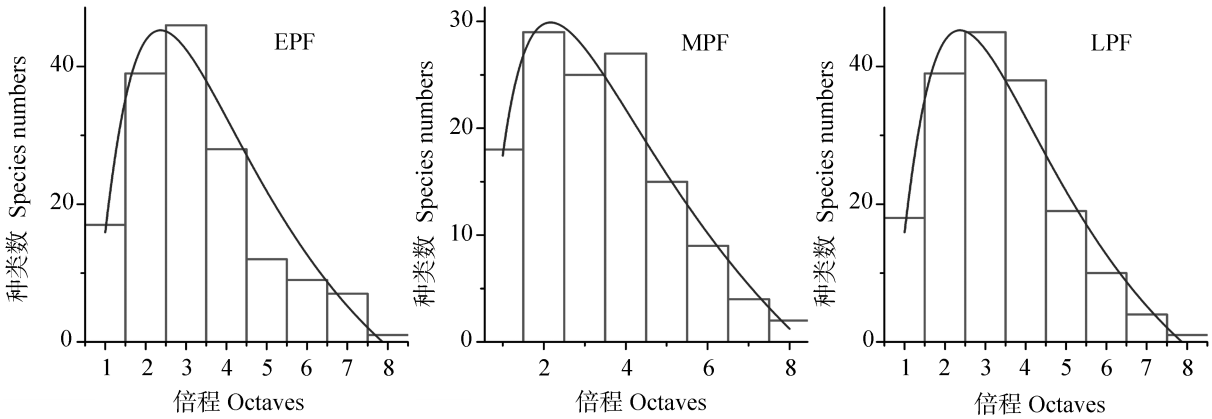

图 1　3 种林型中蛾类群落种-多度曲线

Fig. 1　Species-abundance curves for moths in three forest types

EPF、MPF 和 LPF 代表的意思同表 2。

EPF、MPF and LPF used in this figure has the same meaning as in the Table 2.

表 3　3 种林型中蛾类多度对数正态分布模型参数估计

Table 3　Parameter estimation of the moth abundance lognormal distribution model in three forest types

林型 Forest type	种数 Species number	个数 Number	参数α Parameter α	χ^2值	P值
次生红桦林 Secondary red birch forest	174	2 077	0.768	1.513	0.912
次生针阔混交林 Secondary conifer and broad-leaved mixed forest	129	1 847	0.788	3.356	0.645
原始辽东栎林 Original Liaodong oak forest	159	2 166	0.761	3.572	0.621

表 4　3 种林型中蛾类群落多样性和均匀度

Table 4　Moth community diversity and evenness in three forest types

林型 Forest type	种数 Species number	物种估计 Species estimate	多样性（H'） Diversity	均匀度（J'） Evenness	α-指数 Alpha index
次生红桦林 Secondary red birch forest	174	177	2.971±0.35 a	6.390±0.65a	45.207±5.12 a
次生针阔混交林 Secondary conifer and broad-leaved mixed forest	129	133	2.958±0.32 a	5.044±0.59 c	31.571±4.88 c

* 资助项目：山西省自然科学基金项目（2011011033-3; 2012011034-6）和山西省高校人文社科重点研究基地项目（2012331）

***通讯作者，E-mail: haiyanbai@163.com

收稿日期：2014-03-15，接受日期：2014-04-29

原始辽东栎林 Original Liaodong oak forest	159	163	2.472±0.27 b	6.043±1.02 b	39.538±3.95 b

数值为平均值±标准误，每列中标有相同字母表示处理间差异不显著（Duncan's 多重比较，$P<0.05$）。
Data are mean±SE, and followed by the same letters in the same column are not significant difference at 0.05 level (Duncan's multiple range test, $P<0.05$).

3.4　不同演替阶段蛾类群落相似性比较

采用 Jaccard 相似系数和 Bray-Curtis Measure 系数矩阵两种方法比较不同林型中蛾类相似性，结果见表 5。次生红桦林和原始辽东栎林共有物种最多，有 136 种，次生红桦林和次生针阔混交林共有物种最少，有 104 种。Jaccard 相似系数的结果表明，次生针阔混交林和原始辽东栎林的蛾类群落结构相似性最高（r=0.733），次生红桦林和原始辽东栎林次之（r=0.625），次生红桦林和次生针阔混交林最低（r=0.056）。Bray-Curtis Measure 系数矩阵的结果表明，次生针阔混交林和原始辽东栎林的蛾类群落结构相似性最高（r=0.579），次生针阔混交林和原始辽东栎林的蛾类群落结构相似程度次之（r=0.436），原始辽东栎林与次生红桦林蛾类群落结构相似程度最小（r=0.002）。可见，演替阶段相近蛾类群落结构不一定相似，而是与林型的植被情况有着密切的关系。

4　讨论

4.1　不同林型蛾类群落物种变化

蛾类群落是伴随森林演替而不断发生改变的。在森林演替早期很多先锋物种进入，物种丰富，优势种种群不明显。随着演替进行，在有限的生境资源内物种丰富度趋于稳定，但相似的物种不能完全占有相同的生态位，在长期进化过程中必然导致分化，发展到演替中后期，生境物种组成达到稳定状态，并逐渐出现适应该生境的优势种（Hawes *et al.*，2009；贾玉珍等，2009）。本研究根据采伐和干扰程度的不同，选择比较典型的 3 个林型，它们分别处于演替早期，演替中期和顶级群落。结果表明，蛾类各科在 3 种林型中的比例分配有所不同。次生红桦林中优势种群明显，卷蛾科占绝对优势地位；次生针阔混交林中卷蛾科和螟蛾科占优势地位，其次是夜蛾科；原始辽东栎林中卷蛾科占优势地位，其次是夜蛾科。卷蛾科和夜蛾科在森林由低级向中级演替过程中，种类和数量都减少；由中级向高级演替过程中，种数显著增加，前者数量显著增加，而后者数量变化不明显。螟蛾科和尺蛾科在森林由低级向中级演替过程中种类有增加，由中级向高级演替过程，种数反而减少，其它蛾类的种类数总体趋势在减少。造成这种现象的原因除了与森林演替过程植被类型变化有关外，还可能由于受到诸多外界因素的影响，植物群落结构逐步演化，其内昆虫群落随之不断演化发展，部分优势类群更加明显，而其他类群则可能受抑，其中一部分物种消失（Fahy and Gormally，1998；王珍等，2012）。不同演化阶段各林型内蛾类群落结构差

表 5　3 种林型中蛾类群落的相似性比较
Table 5　Moth community similarity coefficient in three forest types

对比样地 Compared sites	共有物种 Shared	Jaccard 相似系数 Jaccard similarity coefficients	Bray-Curtis 系数矩阵 Bray-Curtis coefficient matrix

	species	相异系数 Dissimilarity coefficient	相似系数 Similarity coefficient	距离系数 Distance coefficient	相似系数 Similarity coefficient
EPF&MPF	104	0.435	0.056	0.422	0.002
EPF&LPF	136	0.375	0.625	0.238	0.436
LPF&MPF	128	0.267	0.733	0.189	0.579

异较大，分类阶元越低，蛾的种类、数量、优势种类及优势个体比例受环境影响越大。植物种类与蛾类种类、数量呈正相关，即植物群落越复杂，则蛾类群落越复杂，而优势种数及优势个体比例却越低。

4.2 蛾类群落的种-多度关系及多样性动态

群落的稳定性由种群数量、多样性指数、均匀度等群落指标来衡量。一般，当蛾类群落生境严酷且种数相对较少时，第一位优势种首先占有生态位空间的大部分，第二位的优势种占有余下空间的大部分。以此类推，到末位物种只能占有余下的很小生态位空间，这符合生态位优先占领假说（尤平和李后魂，2006）。在演替过程中，物种组成达到稳定状态，多样性-多度关系常呈对数正态分布，（张红玉和欧晓红，2006；贾玉珍等，2009）。平衡稳定的群落多度曲线通常服从对数正态分布（May *et al.*，1981）。符合对数正态分布，说明该群落所处环境条件优越、物种丰富度高（尤平和李后魂，2006；王建芳和王新谱，2010）。在多样性-多度关系的基础上，再结合昆虫群落的丰富度、多样性指数和均匀度等指标，往往能够提供生态系统偏离健康状态程度的依据。本文也认为 3 种林型都具有较高的蛾类昆虫物种丰富度，蛾类群落的种-多度曲线呈对数正态分布时，说明不同演化阶段的群落环境比较好，生态系统健康状态良好，未出现退化的趋势。

均匀度和多样性指数是与物种多样性密切相关的两个参数。不同学者研究结果不统一，稻田昆虫群落在不同季节均匀度与多样性指数不一致（万方浩和陈长铭，1986）。荒漠草原昆虫群落的均匀度与多样性指数是一致的，表明群落结构是稳定的（贺答汉等，1988）。历山自然保护区不同演替阶段中蛾类的多样性指数与均匀度表现不一致。α-指数反映生境稀有种和富集种的一个重要指标，α大时，稀有种比富集种多，α小时，稀有种比富集种少。本研究认为森林向顶级群落演替过程中，次生红桦林稀有种最多，原始辽东栎林次之，次生针阔混交林最少，而富集种情况相反，说明在演替的初期，植被群落多样，造成蛾类种类较多，尤其是稀有种。随着演替的推移，种间竞争不断加强，一部分物种消失，或者数量锐减，而优势种数量明显增加，进一步说明顶级群落（原始辽东栎林）是最稳定的（贾玉珍等，2009）。随着演替的进行，多样性逐渐降低，其多样性变化除了与植被类型有关外，还与生境郁闭度和植被密度都紧密相关（Koivula *et al.*，2002），对该区域内影响其多样性变化的原因还有待进一步研究。

4.3 蛾类与植物群落的关系

植被是反映保护区生态环境的重要标志，是保护区蛾类生存的重要依据。不同演替阶段植被种类丰富度有所不同，林型丰富度不同，则蛾类种类就不同；植被资源越丰富，种的个体数就越多。蛾类各科在不同林型间的变化导致不同林型

蛾类群落组成的变化（黄忠良，2000；Yu *et al*，2006）。相同气候条件下，植被多样性影响蛾类群落多样性，同时也表明蛾类昆虫对环境的敏感性较高，相反，蛾类群落的变化表明蛾类昆虫所处环境的变迁（Kremen，1992；刘文萍和邓合黎，1997；尤平和李后魂，2006）。有学者在野外调查中也发现，环境破坏较为严重的森林中尺蛾科昆虫多样性明显高于保护较好的森林，这可能是由于毗邻生境的昆虫扩散活动往往使某一类群落数量比例较高而造成的（Brehm and Fiedler，2005）。说明蛾类群落种类与数量和植被有相关性，不同的植被状况和气候条件的各种组成产生了各林带间多样性指数的较大差异，表明了蛾类对微环境的敏感性较高（尤平和李后魂，2006）。另外，贾玉珍等（2009）的研究也表明鳞翅目中某些科的多样性和生境恢复阶段有显著相关性，以上这些结论说明把蛾类作为环境变化的指示物是可行的。

参考文献 (References)

Brehm G, Fiedler K, 2005. Diversity and community structure of geometrid moths of disturbed habitat in a montane area in the Ecuadorian Andes. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 38: 1–14.

Choi SW, Park M, Kim H, 2009. Differences in moth diversity in two types of forest patches in an agricultural landscape in Southern Korea-Effects of habitat heterogeneity. *Journal of Ecology and Field Biology*, 32(3): 183–189.

Fahy O, Gormally M, 1998. A comparison of plant and carabid beetle communities in an Irish oak woodland with a nearby conifer plantation and clear felled site. *Forest Ecology and Management*, 110(1): 263–273.

Fiedler K, Schulze CH, 2004. Forest modification affects diversity (but not dynamics) of speciose tropical pyroloid moth communities. *Biotropica*, 36(4): 615–627.

Hawes J, Motta CS, Overal WL, Barlow J, Gardner TA, Peres CA, 2009. Diversity and composition of Amazonian moths in primary, secondary and plantation forests. *Journal of Tropical Ecology*, 25(3): 281–300.

Kremen C, 1992. Assessing indicator species assemblages for natural areas monitoring: guidelines from a study of rain forest butterflies in Madagascar. *Ecological Applications*, 2(2): 203–217.

Koivula M, Kukkonen J, Niemel J, 2002. Boreal carabid-beetle (Coleoptera, Carabidae) assemblages along the clear-cut originated succession gradient. *Biodiversity and Conservation*, 11(7): 1269–1288.

May RM, 1981. Theoretical Ecology: Principles and applications. Oxford: Blackwell. 98–110.

Moon DC, Stiling P, Cattell MV, 1999. Experimental tests of trophic dynamics: Taking a closer look. *Oecologia*, 119(2): 275–280.

Siemann E, Haarstad J, Tilman D, 1999. Dynamics of plant and arth ropod diversity during old field succession. *Ecography*, 22(4): 406–414.

Waltz AEM, Covington WW, 2004. Ecological restoration treatments increase butterfly richness and abundance: Mechanisms of response. *Restoration Ecology*, 12(1): 85–96.

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2006. Distribution of carabid beetles among regenerating and natural forest types in southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 231(1): 169–177.

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2008. Distribution of carabid beetles among 40-year-old regenerating plantations and 100-year-old naturally regenerated forests in southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2617–2625.

陈一心, 1985. 中国经济昆虫志（第三十二册，鳞翅目夜蛾科）(四). 北京：科学出版社. 1–167.[CHEN YX, 1985. Economic Insect Fauna of China, vol. 32. Lepidoptera: Noctuidae(4th part). Beijing: Science Press. 1–167.]

陈一心, 1999. 中国动物志昆虫纲（第十六卷，鳞翅目夜蛾科). 北京：科学出版社. 1–1596.[CHEN YX, 1999. Fauna Insects of China, vol. 16. Lepidoptera: Noctuidae. Beijing: Science Press. 1–1596.]

方承莱, 2000. 中国动物志昆虫纲（第十九卷，鳞翅目灯蛾科). 北京：科学出版社. 1–589.[FANG CL, 2000. Fauna Insects of China, vol. 19, Lepidoptera: Noctuidae. Beijing: Science Press. 1–589.]

韩红香，薛大勇, 2011. 中国动物志昆虫纲（第五十四卷，鳞翅目尺蛾科尺蛾亚科). 北京：科学出版社. 1–787.[HAN HX, XUE DY, 2011. Fauna Insects of China, vol. 54. Lepidoptera: Geometridae Geometrinae. Beijing: Science Press. 1–787.]

贺答汉，田畴，任国栋，郝峰茂，马世渝, 1988. 荒漠草原昆虫的群落结构及其演替规律初探. 中国草地, 10(6): 24–28.[HE DH, TIAN C, REN GD, HAO FM, MA SY, 1988. A preliminary study on the community structure of desert forage grassland. *Grassland of China*, 10(6): 24-28.]

黄忠良, 2000. 樟翠尺蛾种群动态与植物群落结构及气候因子的关系. 生态学杂志, 19(3): 24–27. [HUANG ZL, 2000. The interactions of population dynamics of Thalassodes quadraria and the plant community structure and climate factors in Dinghushan. *Chinese Journal of Ecology*, 19(3): 24-27.]

贾玉珍, 赵秀海, 孟庆繁, 2009. 长白山针阔混交林不同演替阶段的昆虫多样性. 昆虫学报, 52(11): 1236–1243.[JIA YZ, ZHAO XH, MENG QF, 2009. Insect diversity along a successional gradient in conifer and broad-leaved mixed forests in Changbai Mountain. *Acta Entomologica Sinica*, 52(11): 1236-1243.]

李豪, 张钦弟, 苗艳明, 杨兆静, 毕润成, 2013. 历山自然保护区秃山白树天然种群生命表. 生态学杂志, 32(1): 52–58.[LI H, ZHANG QD, MIAO YM, YANG ZJ, BI RC, 2013. Life table of natural *Sinowilsonia henryi* var. *glabrescens* population in Lishan Nature Reserve , Shanxi Province, *Chinese Journal of Ecology*, 32(1): 52–58.]

刘荣, 贾红卫, 宁建友, 2002. 山西历山黑脸噪鹛的生态习性观察. 动物学杂志, 37(1): 43–45.[LIU R, JIA HW, NING JY, 2002. Observation on ecology and habits of the spectacled laughing thrush at Lishan of Shanxi Province. *Chinese Journal of Zoology*, 37(1): 43–45.]

刘文萍, 邓合黎, 1997. 木里蝶类多样性的研究. 生态学报, 17(3): 266–271.[LIU WP, DENG HL, 1997. The butterfly diversities in MuLi SiChuan province. *Acta Ecologica Sinica*, 17(3): 266-271.]

刘友樵, 武春生, 2006. 中国动物志昆虫纲 (第四十七卷, 鳞翅目枯叶蛾科). 北京: 科学出版社. 1–385.[LIU YJ, WU CS, 2006. Fauna Insects of China, vol. 47. Lepidoptera: Lasiocampidae. Beijing: Science Press. 1–385.]

茹文明, 张峰, 2000. 中条山东段植被垂直带的数量分类研究. 应用与环境生物学报, 6(3): 201–205.[RU WM, ZHANG F, 2000. Study on vertical zonation of vegetation in the eastern part of the Zhongtiao Mountains,Shanxi. *Chin J Appl Environ Biol*, 6(3): 201–205.]

唐启义, 冯明光, 2006. DPS 数据处理系统—实验设计、统计分析及模型优化. 北京: 科学出版社. 420–449.[TANG QY, FENG MG, 2006. DPS Data Processing System-Experimental Design, Statistical Analysis and Modeling. Beijing: Science Press. 420–449.]

万方浩, 陈长铭, 1986. 综防区和化防区稻田害虫天敌群落组成及多样性的研究. 生态学报, 6(2): 159–164.[WANG FH, CHEN CM, 1986. Studies on the structure of the rice pest-natural enemy community and diversity under IPM area and chemical control area. *Acta Ecologica Sinica*, 6(2): 159-164.]

王建芳, 王新谱, 2010. 宁夏水洞沟湿地昆虫群落多样性分析与评价. 昆虫知识, 47(5): 962–967.[WANG JF, WANG XP, 2010. Analysis and evaluation of insect community diversity in Shuidonggou wetland of Ningxia. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(5): 962–967]

王毅琴, 薛印平, 1997. 历山自然保护区勺鸡栖息地调查. 动物学杂志, 32(6): 34–36.[WANG YQ, XUE YP, 1997. Preliminary study on ecology of Ruddy Shelduck in winter. *Chinese Journal of Zoology*, 32(6): 34–36.]

王珍, 姬兰柱, 张悦, 易雪梅, 2012. 长白山三种林型对蛾类群落结构和多样性的影响. 生态学杂志, 31(5): 1214–1220.[WANG Z, JI LZ, ZHANG Y, YI XM, 2012. Moth community structure and diversity in three forest types in Changbai Mountains of Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 31(5): 1214-1220.]

汤春梅, 杨庆森, 蔡继增, 2010. 甘肃小陇山林区不同生境类型蝶类多样性研究. 昆虫知识, 47(3): 563–567.[TANG CM, YANG QS, CAI JZ, 2010. The butterfly diversity of different habitat types in Xiaolongshan forest area, Gansu Province. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(3): 563–567.]

武春生, 方承莱, 2003. 中国动物志昆虫纲 (第三十一卷, 鳞翅目舟蛾科). 北京: 科学出版社. 1– 952.[WU CS, FANG CL, 2003. Fauna Insects of China, vol. 31. Lepidoptera: Notodontidae. Beijing: Science Press. 1– 952.]

武春生, 方承莱, 2010. 河南昆虫志 (刺蛾科、枯叶蛾科、舟蛾科、灯蛾科、毒蛾科、鹿蛾科). 北京: 科学出版社. 1–592.[WU CS, FANG CL, 2010 Insects of Henan. Lepidoptera: Limacodidae, Lasiocampidae, Notodontidae, Noctuidae, Liparidae, Amatidae. Beijing: Science Press. 1–592.]

尤平, 李后魂, 2006. 天津湿地蛾类丰富度和多样性及其环境评价. 生态学报, 26(3): 629–637.[YOU P, LI HH, 2006. Species richness and diversity of moth communities in Tianjin Wetlands; implications for environmental management. *Acta Ecologica Sinica*, 26(3): 629-637.]

张峰, 张金屯, 2003. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. 生态学报, 23(3): 421–427.[ZHANG F, ZHANG JT, 2003. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 23(3): 421–427.]

张建民, 张峰, 樊龙锁, 2002. 山西历山种子植物区系研究. 植物研究, 22(4): 444–452.[ZHANG JM, ZHANG F, PAN LS, 2002. On the flora of seed plants in Lishan Mountains,Shanxi Province. *Bulletin of Botanical Research,* 22(4): 444–452.]

张旭强, 史荣耀, 郎彩勤, 2003. 山西历山自然保护区鸟类资源的变迁及保护. 四川动物, 22(4): 244–251.[ZHANG XQ, SHI RY, LANG CQ, 2003. Changes and protection of birds resources in Lishan Nature Reserve, Shanxi Province. *Sichuan Journal of*

Zoology, 22(4): 244–251.]

张红玉, 欧晓红, 2006. 以昆虫为指示物种检测和评价森林生态系统健康初探. 世界林业研究, 19(4): 22–25.[ZHANG HY, OU XH, 2006. Using insect for indicator to monitor and assess forest ecosystem health. *World Forestry Research,* 19(4): 22-25.]

赵仲苓, 2003. 中国动物志昆虫纲 (第三十卷, 鳞翅目毒蛾科). 北京: 科学出版社. 1–484.[ZHAO ZL, 2003. Fauna Insects of China, vol. 30. Lepidoptera: Lymantriidae. Beijing: Science Press. 1–484.]

钟海秀, 杨宇霞, 石瑛, 谢树莲, 2003. 历山自然保护区苔藓植物的初步研究. 山西大学学报(自然科学版), 26(1): 55–58.[ZHONG HX, YANG YX, SHI Y, XIE SL, 2003. A Preliminary Study on Broyphytes from Lishan Nature Reserve, *Shanxi. Journal of Shanxi University*(*Nat. Sci. Ed.*), 26(1): 55–58.]

朱弘复, 杨集昆, 陆近仁, 陈一心, 1964. 中国经济昆虫志 (第六册, 鳞翅目夜蛾科) (二). 北京: 科学出版社. 1–183.[ZHU HF, YANG JK, LU JR, CHEN YX, 1964. Economic Insect Fauna of China, vol. 6. Lepidoptera: Noctuidae (2th part). Beijing: Science Press. 1–183.]