

DOI: 10.5846/stxb202002260344

刘生冬, 吕松瞳, 史佳琦, 孟庆繁, 李燕, 赵红蕊, 高文韬, 靳英华. 长白山高山苔原带蛾类物种组成及其时间动态. 生态学报, 2021, 41(2): 803-814.
Liu S D, Lü S T, Shi J Q, Meng Q F, Li Y, Zhao H R, Gao W T, Jin Y H. Species composition and temporal dynamic of moths in alpine tundra in Changbai Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(2): 803-814.

长白山高山苔原带蛾类物种组成及其时间动态

刘生冬¹, 吕松瞳¹, 史佳琦¹, 孟庆繁^{1,*}, 李 燕¹, 赵红蕊¹, 高文韬¹, 靳英华²

¹ 北华大学林学院, 吉林 132013

² 长白山地理过程与生态安全教育部重点实验室 东北师范大学地理科学学院, 长春 130024

摘要: 长白山高山苔原带环境条件恶劣, 通过对高山苔原带蛾类研究, 揭示蛾类物种组成以及时间变化, 可为研究蛾类对苔原极端生境的适应能力, 以及蛾类在维持苔原带生态平衡中的作用提供依据。2005—2007 年和 2019 年, 每年的 6、7、8 月, 在长白山高山苔原带利用灯诱采集蛾类标本, 分析蛾类的物种组成以及时间动态。共采集蛾类 1585 头, 隶属于 13 科 126 种, 夜蛾科 (Noctuidae) 为优势类群, 绿组夜蛾 (*Anaplectoides prasina*) 和一色兜夜蛾 (*Cosmia unicolor*) 为优势种, 稀有种较多。蛾类的种-多度分布接近生态位优先假说。7 月份蛾类的物种数、个体数最多, 丰富度指数、多样性指数都最高, 但均匀度指数却最低。不同种类对时间的反应表现出一定的差异, 黄绿组夜蛾 (*Anaplectoides virens*) 对 8 月, 厉切夜蛾 (*Euxoa lidia*) 对 6 月的适应力相对较强。各物种的顺序日期存在一定的差异性, 只有 10 种蛾类在 3 个月份都被采集到。研究表明, 长白山高山苔原带蛾类的多样性较低, 成虫活跃期较短; 不同类群的蛾类在苔原环境中显示出差异化的适应性, 夜蛾科的适应能力超过其它类群, 尺蛾科 (Geometridae) 的适应性相对较低, 蛾类对时间的变化反应比较敏感。

关键词: 蛾类; 高山苔原; 长白山; 物种组成; 时间动态

Species composition and temporal dynamic of moths in alpine tundra in Changbai Mountain

LIU Shengdong¹, LÜ Songtong¹, SHI Jiaqi¹, MENG Qingfan^{1,*}, LI Yan¹, ZHAO Hongri¹, GAO Wentao¹, JIN Yinghua²

¹ Forestry College of Beihua University, Jilin 132013, China

² Key Laboratory of Geographical Processes and Ecological Security of Changbai Mountains, Ministry of Education School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

Abstract: The environmental condition was very bad in alpine tundra in Changbai Mountain. The species composition and temporal variation of moths were revealed by the study of moths in alpine tundra. It would provide the basis for moth's adaptive capacity to tundra extreme habitat and the role of moth in maintaining ecological balance in the alpine tundra. The moths specimens were collected by light trap in tundra in June, July, and August, the species composition temporal dynamics were analyzed from 2005 to 2007, and 2019. In total 1585 specimens were collected belong to 13 families, 126 species. Noctuidae was dominant group, *Anaplectoides prasina* and *Cosmia unicolor* were dominant species, and rare species were very rich in this study. The distribution of species-abundance of the moths closed to the niche hypothesis. The species number, individual number, richness index, and diversity index were the highest, but evenness of species was the lowest in July. The reactions of different groups to time showed some differences. The adaptive capacity of *Anaplectoides virens* was

基金项目: 国家自然科学基金 (30271092); 吉林省科技发展计划项目 (20180201059NY); 长白山地理过程与生态安全教育部重点实验室开放课题资助 (GPES202003); 吉林省教育厅“十三五”科学技术研究规划项目 (JJKH20190651KJ)

收稿日期: 2020-02-26; **网络出版日期:** 2020-11-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qingfanmeng@163.com

relative strong in August and *Euxoa lidia* was relative strong in June. The ordinal dates of each species was certain differences. Only 10 species of moths were collected in all 3 months. The environmental conditions were very bad, the diversity of moths were very low, and the activity time of moths adults were short in alpine tundra in Changbai Mountain. The different groups of moth in the tundra environment showed the different adaptability. The adaptability of Noctuidae was stronger than that of other groups, but the adaptability of Geometridae was relative low. The moths were sensitive to time change.

Key Words: moths; alpine tundra; Changbai Mountain; species composition; temporal dynamics

苔原带是极地冷湿型自然景观,主要集中分布在北极地区,昆虫物种多样性较低^[1-4]。在我国长白山高山苔原带是现有发现为数不多、发育完整的高山苔原,为我国增加了新的景观类型,它以长白山天池为中心,分布的面积较大,由于受大陆性气候的影响,其植被组成具有明显的极地特征^[5-7]。由于受自然环境条件的限制,高山苔原带中昆虫研究报道较少。苔原带环境条件恶劣,不但使苔原带昆虫的组成和分布具有一定的特征,也为研究物种对极端环境的反应以及适应能力提供了理想的场所^[8-10]。大多数蛾类属植食性昆虫,对环境变化比较敏感,因此,蛾类种群数量的变化也可以在一定程度反应植被和其它环境因子变化情况^[11]。通过研究长白山高山苔原带蛾类的物种组成和多样性的时间动态,不仅丰富了我国这一景观昆虫多样性研究,揭示时间变化对不同蛾类的影响,也为评价高山苔原生境在保护昆虫多样性的作用,以及蛾类对高山苔原极端生境的适应能利提供依据。

1 研究地概况

长白山高山苔原带分布在长白山最上部,北坡海拔 2000 m、西坡海拔 2100 m 以上的部分。高山苔原带没有高大的乔木,以矮小的灌木和草本为主,光照充足,紫外线较强。高山苔原带气候寒冷,冬季最冷的月份为 1 月,平均温度只有 -23.2°C ;最热的月份为 7 月,平均气温在 8.6°C 左右。高山苔原带地势开扩,湿度较大、风大而频繁,雾天和大风天全年在 260 d 以上,全年降水丰富,约 1700 mm,植物的生长季较短,生长季降水量年均可达到 958 mm^[5-6, 12]。高山苔原带主要为贫瘠的苔原土,植物种类较少,结构简单,主要植物种类有宽叶仙女木(*Dryas octopetala*)、牛皮杜鹃(*Rhododendron chrysanthum*)、苞叶杜鹃(*R. redowskianum*)、毛毡杜鹃(*R. confertissimum*)、笃斯越橘(*Vaccinium uliginosum*)、高山龙胆(*Gentiana algida*)、高山红景天(*Rhodiola sachalinensis*)、长白米奴草(*Minuartia macrocarpa*)、长白楼斗菜(*Aguilegia amurensis*)等^[13]。

2 研究方法

根据长白山高山苔原带植物的分布特点,在长白山西坡海拔 2300 m 设置 1 个样地。在样地中,利用 250 W 白织汞灯诱集蛾类成虫标本,诱集时间为 19:00—23:30,在 2005 至 2007 年和 2019 年,每年的 6、7、8 月中旬各调查 1 次,每次灯诱 1 d。利用北华大学林学院昆虫实验室现有的蛾类分类资料进行标本鉴定,部种类邀请东北林业大学韩辉林博士帮助鉴定,所有标本现保存在北华大学林学院昆虫实验室。

数据分析采集以下指数:(1)物种丰富度指数采集 Margalef 指数, $D = (S - 1) / \ln N$;(2)物种多样采用 Shannon-Wiener 指数, $H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$;(3)均匀度采用 Pielou 指数, $E = H' / \ln S$;(4)优势种(类群)是物种个体数量占个体总数量的 10% 以上,常见种(类群)是物种个体数量占个体总量数的 1%—10%,物种个体数量占个体总数量的比重少于 1% 时为稀有种(类群)。其中, S 是物种数; N 是所有物种的个体数之和; P_i 是第 i 个物种所占总个体数的比重。数据利用 SPSS19 进行统计,蛾类物种与 3 个月份的对应分析(Correspondence Analysis, CA)利用 Canoco 4.5 软件进行计算与制图。

3 结果与分析

3.1 高山苔原带蛾类物种组成

在长白山高山苔原带共采集蛾类 1585 头,隶属于 13 个科,126 种,蛾类组成见表 1。在高山苔原带,夜蛾科和尺蛾科的物种数超过了总数的 10%,分别为 62.19%和 15.75%。在 13 个科中,夜蛾科的个体数达到了总数的 86.44%,为优势类群;尺蛾科、舟蛾科和灯蛾科为常见类群;枯叶蛾科、波纹蛾科、螟蛾科、虎蛾科、毒蛾科、蚕蛾科、长角蛾科、天蛾科、卷蛾科为稀有类群。单齿翅蚕蛾(*Oberthueria caeca*)、小黄长角蛾(*Nemophora staudingerella*)、槲银带小卷蛾(*Pammene nitidiana*)、葡萄天蛾(*Ampelophaga rubiginosa rubiginosa*)只采集到 1 个个体。绿组夜蛾(*Anaplectoides prasina*)和一色兜夜蛾(*Cosmia unicolor*)为优势种,常见种 20 种,其它 104 种为稀有种。

表 1 高山苔原带蛾类物种组成

Table 1 The species composition of moths in alpine tundra zone

科 Families	物种数 Species number	%	个体数 Individual number	%
夜蛾科 Noctuidae	78	62.19	1370	86.44
尺蛾科 Geometridae	20	15.75	80	5.05
舟蛾科 Notodontidae	9	7.09	55	3.47
灯蛾科 Arctiidae	5	3.94	41	2.59
枯叶蛾科 Lasiocampidae	4	3.15	11	0.69
波纹蛾科 Thyatiridae	2	1.57	11	0.69
螟蛾科 Pyralidae	2	1.57	7	0.44
虎蛾科 Agaristidae	1	0.79	4	0.25
毒蛾科 Lymantridae	1	0.79	2	0.13
蚕蛾科 Bombycidae	1	0.79	1	0.06
长角蛾科 Adelidae	1	0.79	1	0.06
天蛾科 Sphingidae	1	0.79	1	0.06
卷蛾科 Tortricidae	1	0.79	1	0.06
合计 Total	126	100	1585	100

3.2 高山苔原带蛾类种-多度分布

利用以 2 为底对数的倍程对采集到的 1585 头标本按 Preston 的方法处理,拟合曲线为 $Y = -19.547 \ln(x) + 41.804$, ($R = 0.984$, $P < 0.001$),蛾类种-多度分布如图 1。高山苔原带蛾类个体数较少的种类占多数,而数量较多的种类占少数,其种-多度分布比较接近对数级数曲线,即生态位优先占领假说。按照这一假说,昆虫群落中,蛾类对资源的占有多少按照如下方式分配,即第一位优势种占据有限资源的一部分,第二位优势种又占剩余资源的一部分,以此类推,按照此方式分配资源多出现在物种数较少,群落所处的生境条件比较严酷^[14]。

3.3 高山苔原带不同月份蛾类群落组成

高山苔原带 6、7、8 月蛾类的组成有较大差异,见表 2。在各月份中,夜蛾科、尺蛾科和舟蛾科在 3 个月中都有分布,夜蛾科在各时间都占绝对优势。6 月份只有夜蛾科、尺蛾科、舟蛾科和虎蛾科,共 23 种 100 个个体。7 月份共 10 个科,是科数最多的月份,蛾类的物种数和个体数远高于其它 2 个月份,分别占物种总数的 84.13%和个体总数的 79.50%,尺蛾科、夜蛾科物种数超过

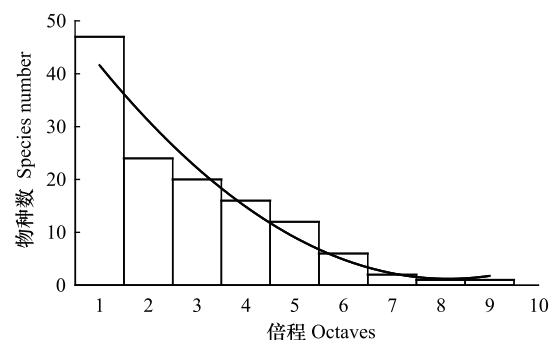


图 1 高山苔原带昆虫种-多度分布

Fig. 1 The distribution of species abundance of the moths in alpine tundra tundra zone

了总数的 10%, 夜蛾科个体数占总数的 87.62%。8 月份共 6 个科, 尺蛾科、夜蛾科物种数超过了总数的 10%, 夜蛾科个体数占总数的 85.07%。不同月份的优势也有较大差异, 6 月份的优势种为厉切夜蛾(*Euxoa lidia*)、寒切夜蛾(*Euxoa sibirica*)、夜蛾(*Mniotype batheusis*), 7 月份的优势种为绿组夜蛾和一色兜夜蛾, 8 月份的优势种为黄绿组夜蛾(*Anaplectoides virens*)。

表 2 高山苔原带 3 个月份蛾类组成

Table 2 The composition of moths in 3 months in alpine tundra zone

科 Families	6 月 June				7 月 July				8 月 August			
	S	%	N	%	S	%	N	%	S	%	N	%
夜蛾科 Noctuidae	16	69.57	95	76.61	68	63.56	1104	87.62	32	74.42	171	85.07
尺蛾科 Geometridae	3	13.04	17	13.71	15	14.03	49	3.89	5	11.63	14	6.97
舟蛾科 Notodontidae	3	13.04	8	6.45	9	8.41	44	3.49	2	4.65	3	1.49
灯蛾科 Arctiidae					5	4.67	36	2.86	1	2.33	5	2.49
枯叶蛾科 Lasiocampidae					4	3.74	11	0.87				
波纹蛾科 Thyatiridae					2	1.87	11	0.87				
螟蛾科 Pyralidae									2	4.65	7	3.48
虎蛾科 Agaristidae	1	4.35	4	3.23								
毒蛾科 Lymantridae					1	0.93	2	0.16				
蚕蛾科 Bombycidae					1	0.93	1	0.08				
长角蛾科 Adelidae					1	0.93	1	0.08				
天蛾科 Sphingidae					1	0.93	1	0.08				
卷蛾科 Tortricidae									1	2.33	1	0.5
合计 Total	23	100	124	100	107	100	1260	100	43	100	201	100

3.4 高山苔原带不同月份蛾类多样性

不同月份高山苔原带蛾类物种丰富度指数、多样性指数、均匀度各月份变化较大(图 2), 丰富度指数、多样性指数都是 7 月份最高, 6 月份最低, 均匀度指数的变化与多样性变化相反, 为 6 月份最高, 7 月份最低, 不同月份间蛾类多样性指数与均匀度呈负相关($R = -0.895, P > 0.05$), 丰富度指数与均匀度呈显著负相关($R = -0.9985, P < 0.05$)。

3.5 高山苔原带不同月份蛾类种、个体数累积分布

6 月份, 高山苔原带蛾类的物种数和个体数较低, 不足各自总数的 20%, 到 7 月份时, 物种数和个体数增长较快, 都超过了总数的 80%, 这两个月份物种累积数量比重略高于个体数。3 个月份所采集蛾类的物种和个体数量累积比重见图 3。3 个月份蛾类种、个体数呈正相关($R = 1.000, P < 0.001$)。夜蛾科、尺蛾科、舟蛾科在 3 个月份都有分布, 3 个类群的物种数、个体数累积数量比重, 见图 3。

夜蛾科在 6 月份时物种累积数所占比重超过个体数, 到 7 月份时, 种、个体累积数量所占比重超过了各自总数的 90%, 物种数高于个体数, 在 3 个月份中, 种、个体累积数比重呈正相关($R = 0.996, P > 0.05$)。尺蛾科在 6 月份和 7 月份时, 种、个体累积数比重比较接近, 个体累积数比重略超过物种数, 3 个月份中, 尺蛾科种、个体累积数量呈正相关($R = 1.000, P < 0.01$)。舟蛾科在 3 个月份中种、个体累积数量与夜蛾科相似, 6 月、7 月物种累积数比重超过了个体数, 7 月时, 物种数累积已经达到 100%, 种、个体累积数呈正相关($R = 0.975, P > 0.05$)。

3.6 高山苔原带蛾类与月份对应分析

对应分析能够从图中明显看到物种与环境(时间)的相互关系, 对高山苔原带优势种和常见种共 22 种蛾类与 3 个月份进行对应分析, 结果见图 4。在这 22 种蛾类中, 夜蛾科 18 种, 尺蛾科 2 种, 灯蛾科 1 种, 舟蛾科 1 种。其中, 黄绿组夜蛾、椴裳夜蛾(*Catocala lara*)、仓狭翅夜蛾(*Hermonassa arenosa*)对 8 月份的适应性更强; 夜蛾(*Mniotype batheusis*)、康维尺蛾(*Venusia cambrica*)、厉切夜蛾对 6 月份的适应性较强。而其它大多数种类

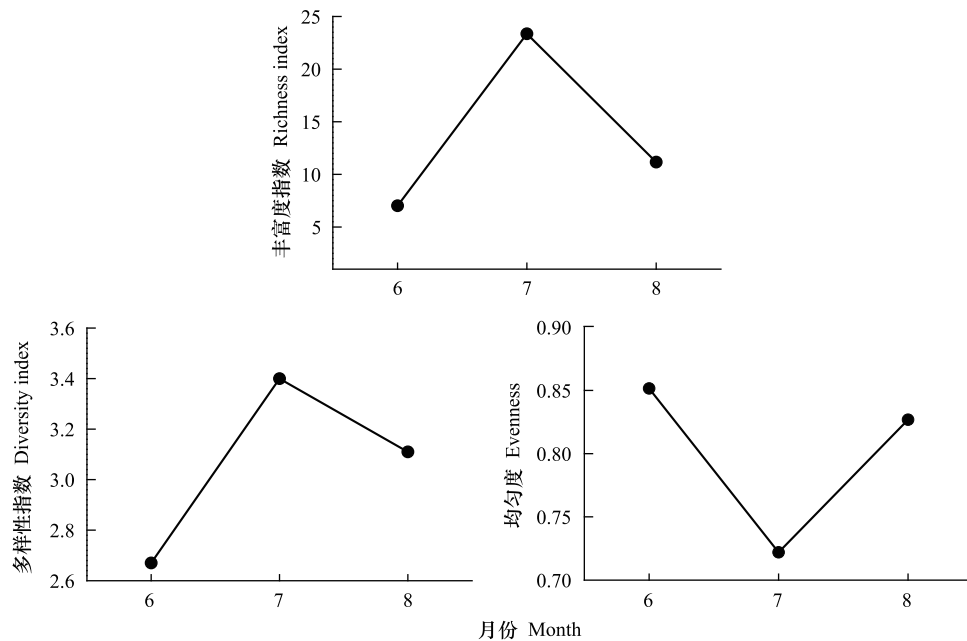


图2 高山苔原带3个月份物种丰富度指数、多样性指数、均匀度

Fig.2 The richness index, diversity index, evenness of species in 3 months in alpine tundra zone

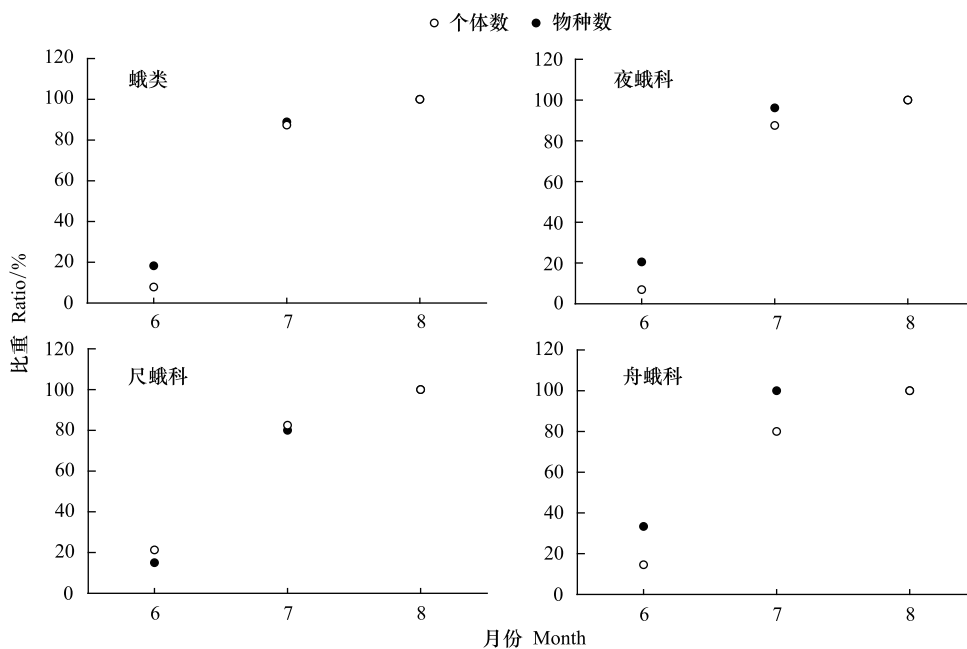


图3 高山苔原带3个月份蛾类、夜蛾科、尺蛾科、舟蛾科的物种、个体累积数量

Fig.3 The cumulative number of species and individual of moths, Noctuidae, Geometridae, Notodontidae in 3 months in alpine tundra zone

都集中在7月附近,对7月份有更强的适应性,尤其鹏灰夜蛾(*Polia goliath*)和三角鲁夜蛾(*Xestia triangulum*)只在7月被采集到,优势种绿组夜蛾和一色兜夜蛾都对7月有较强的选择倾向。

3.7 高山苔原带蛾类时间分布

为了描述各蛾类的时间分布,把各物种的分布时间进行数量化,用顺序日期进行处理,1年按360 d 计算,

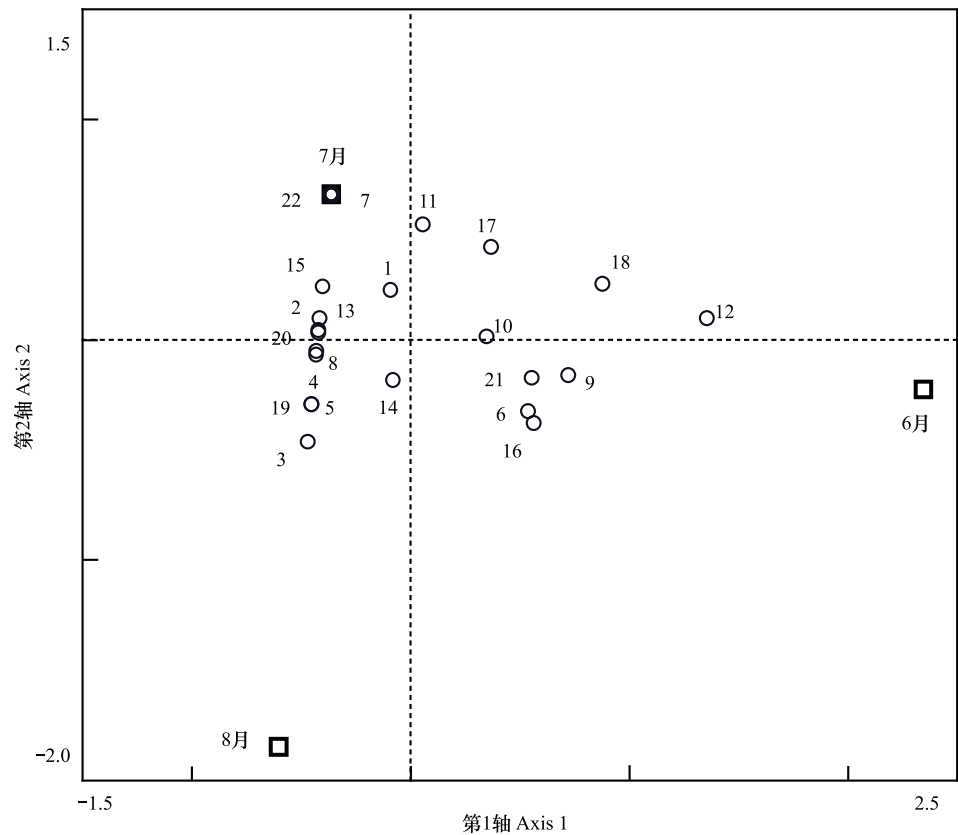


图4 高山苔原带主要蛾类与3个月份的对应分析

Fig.4 The corresponding analysis between main moths and 3 months in alpine tundra zone

1:绿组夜蛾 *Anaplectoides prasina*;2:一色兜夜蛾 *Cosmia unicolor*;3:黄绿组夜蛾 *Anaplectoides virens*;4:异灿夜蛾 *Aucha variegata*;5:椴裳夜蛾 *Catocala lara*;6:寒切夜蛾 *Euxoa sibirica*;7:鹏灰夜蛾 *Polia goliath*;8:四点苔蛾 *Lithosia quadra*;9:夜蛾 *Mniotype batheusis*;10:旋秀夜蛾 *Apamea crenata*;11:美金翅夜蛾 *Caloplusia hohenwarthi*;12:厉切夜蛾 *Euxoa lidia*;13:淡折线金翅夜蛾 *Autographa buraetica*;14:白夜蛾 *Chasminodes albonitens*;15:狄歹夜蛾 *Diarsia dewitzi*;16:岛切夜蛾 *Euxoa islandica*;17:紫棕扇夜蛾 *Sineugraphe exusta*;18:康维尺蛾 *Venusia cambrica*;19:伞狭翅夜蛾 *Hermonassa arenosa*;20:东方双齿光尺蛾 *Triphosa dubitata amblychiles*;21:细羽齿舟蛾 *Ptilodon capucina*;22:三角鲁夜蛾 *Xestia triangulum*

每月30天,将6月、7月、8月分别赋值为165、195、225^[15-16]。对高山苔原带126种蛾类的顺序日期进行统计,计算出均值和标准差,这在一定程度上能够反映物种的活跃期的早晚,各物种顺序日期和个体数均值见表3。

表3 高山苔原带蛾类各物种时间分布(均值±SD)

Table 3 The temporal distribution of species of moths (Mean±SD) in alpine tundra zone

类群(种) Taxonomy	平均顺序日期 Ordinal dates (Mean±SD)	蛾类分布顺序日期 Month and beginning ordinal date			个体数 Individual number (Mean±SD)
		6月 June	7月 July	8月 Aug.	
		165 种	195 种	225 种	
夜蛾科 Noctuidae					
皱地老虎 <i>Agrotis clavis</i>	195		+		2
亚兔夜蛾 <i>Amphipoea asiatica</i>	225			+	1
大红裙杂夜蛾 <i>Amphipyra monolitha</i>	210±21		+	+	7±6
果红裙杂夜蛾 <i>Amphipyra pyramidea</i>	210±21		+	+	4±2
绿组夜蛾 <i>Anaplectoides prasina</i>	195±30	+	+	+	113±180
黄绿组夜蛾 <i>Anaplectoides virens</i>	210±21		+	+	58±17

续表

类群(种) Taxonomy	平均顺序日期 Ordinal dates (Mean±SD)	蛾类分布顺序日期 Month and beginning ordinal date			个体数 Individual number (Mean±SD)
		6 月 June 165 种	7 月 July 195 种	8 月 Aug. 225 种	
毁秀夜蛾东方亚种 <i>Apamea aquila oriens</i>	225			+	1
旋秀夜蛾 <i>Apamea crenata</i>	195±30	+	+	+	11±12
异秀夜蛾 <i>Apamea farva</i>	180±21	+	+		5±6
灵秀夜蛾 <i>Apamea unanimitis</i>	210±21		+	+	2±1
异灿夜蛾 <i>Aucha variegata</i>	210±21		+	+	42±42
沙杰夜蛾 <i>Auchmis saga</i>	195		+		4
丫纹夜蛾 <i>Phytometra pulchrina</i>	195		+		1
淡折线金翅夜蛾 <i>Autographa buraetica</i>	210±21		+	+	13±16
袜纹夜蛾 <i>Autographa excelsa</i>	210±21		+	+	4±4
满丫纹夜蛾 <i>Autographa mandarina</i>	195±30	+	+	+	5±6
V 纹金翅夜蛾 <i>Autographa v-minus</i>	195		+		1
夜蛾 <i>Blepharita batheusis</i>	195±30	+	+	+	11±7
樱毛眼夜蛾 <i>Blepharita satura</i>	195		+		1
美金翅夜蛾 <i>Caloptilia hohenwarthi</i>	180±21	+	+		16±21
白斑兜夜蛾 <i>Calymnia restituta</i>	195		+		3
白夜蛾属 <i>Chasminodes aino</i>	195		+		3
白夜蛾 <i>Chasminodes albonitens</i>	195±30	+	+	+	9±10
白夜蛾属 <i>Chasminodes bremeri</i>	195		+		8
白夜蛾属 <i>Chasminodes sugii</i>	195		+		3
一色兜夜蛾 <i>Cosmia unicolor</i>	210±21		+	+	75±86
八纹夜蛾 <i>Diachrysia leonina</i>	195		+		1
碧金翅夜蛾 <i>Plusia nadeja</i>	195		+		4
青金翅夜蛾 <i>Diachrysia stenochrysis</i>	195		+		2
山红夜蛾 <i>Diarsia brunnea</i>	195		+		1
分歹夜蛾 <i>Diarsia deparca</i>	165	+			1
狄歹夜蛾 <i>Diarsia dewitzi</i>	210±21		+	+	13±17
珠纹夜蛾 <i>Erythroplusia ornatissima</i>	210±21		+	+	7±5
白斑锦夜蛾 <i>Euplexia albivittata</i>	195		+		10
东风夜蛾 <i>Eurois occulta</i>	195		+		2
虚切夜蛾 <i>Euxoa adumbrata</i>	165	+			1
岛切夜蛾 <i>Euxoa islandica</i>	195±30	+	+	+	8±2
厉切夜蛾 <i>Euxoa lidia</i>	180±21	+	+		14±10
白边切夜蛾 <i>Euxoa oberthüri</i>	210±21		+	+	2
寒切夜蛾 <i>Euxoa sibirica</i>	195±30	+	+	+	14±5
斑盗夜蛾 <i>Hadeba variolata</i>	195		+		6
仑狭翅夜蛾 <i>Hermonassa arenosa</i>	210±21		+	+	11±7
熏夜蛾 <i>Hyposerotia cinerea</i>	195		+		1
桦安夜蛾 <i>Lacanobia contigua</i>	195		+		2
甘蓝夜蛾 <i>Mamestra brassicae</i>	195		+		3
乌夜蛾 <i>Melanchra persicariae</i>	195		+		4
绿孔雀夜蛾 <i>Nacna malachites</i>	195		+		4
拱模夜蛾 <i>Noctua chardinyi</i>	195		+		1
红棕狼夜蛾 <i>Ochropleura ellapsa</i>	195		+		7
黑齿狼夜蛾 <i>Ochropleura praecurrens</i>	210±21		+	+	5±5
基角狼夜蛾 <i>Ochropleura triangularis</i>	195±30	+	+	+	4±4

续表

类群(种) Taxonomy	平均顺序日期 Ordinal dates (Mean±SD)	蛾类分布顺序日期 Month and beginning ordinal date			个体数 Individual number (Mean±SD)
		6 月 June 165 种	7 月 July 195 种	8 月 Aug. 225 种	
鹏灰夜蛾 <i>Polia goliath</i>	195		+		40
灰夜蛾 <i>Polia nebulosa</i>	195		+		1
印铜夜蛾 <i>Polychrysia moneta</i>	225			+	1
冬麦异夜蛾 <i>Protexarnis confinis</i>	225			+	1
焰夜蛾 <i>Pyrrhia umbra</i>	195		+		5
棘翅夜蛾 <i>Scoliopteryx libatrix</i>	210±21		+	+	4±1
扇夜蛾 <i>Sineugraphe disgnosta</i>	195		+		4
紫棕扇夜蛾 <i>Sineugraphe exusta</i>	180±21	+	+		13±13
美陌夜蛾 <i>Trachea bella</i>	195		+		1
黑环陌夜蛾 <i>Trachea melanospila</i>	195		+		1
镶夜蛾 <i>Trichosea champa</i>	195		+		1
镶夜蛾属 <i>Trichosea ludifica</i>	195		+		2
八字地老虎 <i>Xestia c-nigrum</i>	225			+	1
兀鲁夜蛾 <i>Xestia ditrapezium</i>	195		+		2
彩色鲁夜蛾 <i>Xestia efflorescens</i>	225			+	12
褐纹鲁夜蛾 <i>Xestia fuscostigma</i>	195		+		3
三角鲁夜蛾 <i>Xestia triangulum</i>	195		+		16
夜蛾 <i>Xestia undosa</i>	195±30	+	+	+	5±3
赭黄髯须夜蛾 <i>Hypena obesalis</i>	225			+	3
豆髯须夜蛾 <i>Hypena tristalis</i>	165	+			1
柳裳夜蛾 <i>Catocala electa</i>	210±21		+	+	7±7
椴裳夜蛾 <i>Catocala lara</i>	210±21		+	+	22±14
裳夜蛾 <i>Catocala nupta</i>	195		+		1
柞光裳夜蛾 <i>Ephesia streckeri</i>	195		+		13
栎刺裳夜蛾 <i>Mormonia dula</i>	195		+		1
庸肖毛翅夜蛾 <i>Thyas junio</i>	195		+		1
尺蛾科 Geometridae					
白斑鹿尺蛾 <i>Alcis albifera</i>	225			+	6
弯弓鹿尺蛾 <i>Alcis repandata</i>	195		+		1
针叶霜尺蛾 <i>Alcis secundaria</i>	195		+		1
新波帷尺蛾 <i>Amnesicoma neoundulosa</i>	195		+		2
尺蛾 <i>Anagoga pulveraria japonica</i>	195		+		1
黑云尺蛾 <i>Apocleora rimosa</i>	225			+	1
黄星尺蛾朝鲜亚种 <i>Arichanna melanaria pracolivina</i>	195		+		2
丝棉木金星尺蛾 <i>Calospilos suspecta</i>	195		+		2
舒涤尺蛾 <i>Dysstroma citrata</i>	195		+		1
前涤尺蛾 <i>Dysstroma korbi</i>	225			+	4
黄灰石尺蛾 <i>Entephria ravaria</i>	225			+	1
淡纹桦色尺蛾 <i>Eupithecia clavifera</i>	195		+		1
齿缘四点尺蛾 <i>Gonodontis bidentata</i>	180±21	+	+		3±3
凌幅尺蛾 <i>Photoscotosia atrostrigata</i>	195		+		1
尺蛾 <i>Rhoptria semiorbiculata</i>	195		+		2
四月尺蛾 <i>Selenia teralunaria</i>	195		+		1
东方双齿光尺蛾 <i>Triphosa dubitata amblychiles</i>	210±21		+	+	10±11

续表

类群(种) Taxonomy	平均顺序日期 Ordinal dates (Mean±SD)	蛾类分布顺序日期 Month and beginning ordinal date			个体数 Individual number (Mean±SD)
		6 月 June 165 种	7 月 July 195 种	8 月 Aug. 225 种	
盛光尺蛾 <i>Triphosa largeauaria</i>	195		+		1
康维尺蛾 <i>Venusia cambrica</i>	180±21	+	+		12±3
黑白汝尺蛾 <i>Rheumaptera lugens</i>	165	+			2
舟蛾科 Notodontidae					
白齿舟蛾 <i>Leucodonta bicotoria</i>	195		+		4
黄斑舟蛾 <i>Notodonta dembowskii</i>	180±21	+	+		4±4
齿舟蛾属 <i>Odontesia patricia marumoi</i>	195		+		3
杨剑舟蛾 <i>Pheosia rimosa</i>	195		+		10
槐羽舟蛾 <i>Pterostoma sinicum</i>	195		+		3
细羽齿舟蛾 <i>Ptilodon capucina</i>	195±30	+	+	+	6±4
粗羽齿舟蛾 <i>Ptilodon robusta</i>	180±21	+	+		4±4
黑条沙舟蛾 <i>Shaka atrovittatus</i>	195		+		1
富金舟蛾 <i>Spatalia plusiotis</i>	210±21		+	+	1
灯蛾科 Arctiidae					
豹灯蛾 <i>Arctia caja</i>	195		+		1
白脉灯蛾 <i>Grammia quenseli</i>	195		+		1
四点苔蛾 <i>Lithosia quadra</i>	210±21		+	+	19±19
斑灯蛾 <i>Pericallia matronula</i>	195		+		1
连星污灯蛾 <i>Spilarctia seriatopunctata</i>	195		+		1
枯叶蛾科 Lasiocampidae					
杨枯叶蛾 <i>Gastropacha populifolia</i>	195		+		2
李枯叶蛾 <i>Gastropacha quercifolia</i>	195		+		5
苹毛虫 <i>Odonestis pruni</i>	195		+		1
牧草毛虫 <i>Philudoria potatoria</i>	195		+		3
螟蛾科 Pyralidae					
白蜡绢野螟 <i>Diaphania nigropunctalis</i>	225			+	1
棉卷叶野螟 <i>Sylepta derogata</i>	225			+	6
波纹蛾科 Thyatiridae					
浩波纹蛾 <i>Habrosyne derasa</i>	195		+		9
波纹蛾 <i>Thyatira batis</i>	195		+		2
毒蛾科 Lymantridae					
柳毒蛾 <i>Stilpnotia salicis</i>	195		+		2
蚕蛾科 Bombycidae					
单齿翅蚕蛾 <i>Oberthüreria caeca</i>	195		+		1
长角蛾 Adelidae					
小黄长角蛾 <i>Nemophora staudingerella</i>	195		+		1
虎蛾科 Agaristidae					
艳修虎蛾 <i>Seudya venusta</i>	165	+			4
卷蛾科 Tortricidae					
榭银带小卷蛾 <i>Pammene nitidiana</i>	225			+	1
天蛾科 Sphingidae					
葡萄天蛾 <i>Ampelophaga rubiginosa rubiginosa</i>	195		+		1

“+”表示物种有分布 (represent distribution of species)

从表 3 中可以看出,不同蛾类的平均顺序日期具有一定的差异,在 3 个月份都被采集的种类共 10 种,其中,夜蛾科 9 种,分别为绿组夜蛾、旋秀夜蛾 (*Apamea crenata*)、满丫纹夜蛾 (*Autographa mandarina*)、白夜蛾

(*Chasminodes albonitens*)、岛切夜蛾(*Euxoa islandica*)、寒切夜蛾、夜蛾(*Mniotype batheusis*)、基角狼夜蛾(*Ochropleura triangularis*)、夜蛾(*Xestia undosa*)、舟蛾科 1 种为细羽齿舟蛾(*Ptilodon capucina*)，显示出这些种类对苔原带的环境有较强的适应能力。

在平均顺序日期 195 时,蛾类的物种数最多,共为 81 种。平均顺序日期 165 时物种数最少,只有 5 种,分别为分歹夜蛾(*Diarsia deparca*)、虚切夜蛾(*Euxoa adumbrata*)、黑白汝尺蛾(*Rheumaptera lugens*)、艳修虎蛾(*Seudyra venusta*)、豆髯须夜蛾(*Hypena tristalis*) ,这些种类也只在 6 月被采集到,而在环境条件较好的 7 月却没有采集到,显示出这些种类对 6 月的环境条件有较强的适应性,这可能与这些种类以成虫越冬、或羽化期较早有关。白斑鹿尺蛾(*Alcis albifera*)、黑云尺蛾(*Apocleora rimosa*)、前涤尺蛾(*Dysstroma korbi*)、黄灰石尺蛾(*Entephria ravarica*)、榭银带小卷蛾、白蜡绢野螟(*Diaphania nigropunctalis*)、棉卷叶野螟(*Sylepta derogata*)、亚兔夜蛾(*Amphipoea asiatica*)、毁秀夜蛾东方亚种(*Apamea aquila oriens*)、赭黄髯须夜蛾(*Hypena obesalis*)、印铜夜蛾(*Polychrysia moneta*)、冬麦异夜蛾(*Protexarnis confinis*)、八字地老虎(*Xestia c-nigrum*)、彩色鲁夜蛾(*Xestia efflorescens*) 只在顺序日期 225 时(8 月)被采集到,表明这些种类在苔原带的活跃期较晚,可能与这些种类的蛹需要一定时间的光照,使之达到一定的积温才能羽化有关。

在 22 个优势种和常见种中,绿组夜蛾(113 ± 180)、一色兜夜蛾(75 ± 86)、四点苔蛾(*Lithosia quadra*)(19 ± 19)、美金翅夜蛾(*Caloptilia hohenwarthi*)(16 ± 21)、狄歹夜蛾(*Diarsia dewitzi*)(13 ± 17)、淡折线金翅夜蛾(*Autographa buraetica*)(13 ± 16)、紫棕扇夜蛾(*Sineugraphe exusta*)(13 ± 13)、旋秀夜蛾(11 ± 12)、东方双齿光尺蛾(*Triphosa dubitata amblychiles*)(10 ± 11)、白夜蛾(9 ± 10)、异灿夜蛾(*Aucha variegata*)(5 ± 6) 这 11 种的标准差较大,显示其个体数量在不同时间动态较大,对时间的变化较为敏感,尤其是绿组夜蛾(113 ± 180)、一色兜夜蛾(75 ± 86)。

4 讨论与结论

长白山高山苔原带蛾类的种类和数量都较少,只采集到 13 个科,130 种,1585 头,夜蛾科为优势类群,个体数占到总数的 86.44%,绿组夜蛾和一色兜夜蛾为优势种。长白山高山苔原带蛾类的多样性较低,远低于长白山北坡的 24 科,445 种和小兴安岭凉水保护区的 28 科 598 种^[17-19]。

有研究显示小兴安岭凉水自然保护区、天津湿地七里海、冀西北坝上地区、长白山保护区北坡的蛾类种-多度分布比较接近正态分布,蛾类的群落比较稳定,这与这些区域环境条件较为优越,适合多类蛾类生存有关^[17, 19-21]。而本研究蛾类的种-多度分布,与长白山北坡针叶林带,天津团泊洼和北大港等地的蛾类种-多度分布相近,比较接近对数级数模型的生态位优先占领假说,表明生态环境比较恶劣,优势性种类能够得到相对较好的发展^[22-24]。

蛾类的均匀度、丰富度指数、多样性指数间密切相关,多数情况物种多样性指数与均匀度是一致的^[25-26]。但高山苔原带不同月份间蛾类多样性指数与均匀度变化不一致,主要原因是由于蛾类的种-多度分布接近生态位优先占领假说,表明昆虫所处的生态环境严酷^[24-27],一些种类难以生存和繁殖,使得蛾类的数量较少,多样性低。

植被是蛾类的重要食物资源,是影响蛾类生存、繁殖和种群数量变化的重要生态因素,同时,蛾类种群数量变化也可以在一定程度反应植被和其它环境因子变化情况,植物的多样性与蛾类的多样性呈正相关,当植物多样性高时,往往蛾类的种类和多样性也较高^[28]。高山苔原带植被资源比较匮乏,尤其 9 月份时多数植物已经枯黄,这影响着蛾类的食物来源,制约着昆虫种群数量扩张。高山苔原带海拔高,年平均温度较低,只适合部分种类生存,在长白山保护区其它生境中,蛾类的活跃期分布在 6 月至 9 月^[17, 22]。而在高山苔原带 9 月中旬灯诱时没有采集到蛾类标本,蛾类成虫的活跃期主要集中在 6 月至 8 月。不同月份蛾类的多样性各指数都很低,差异较大。多样性指数和丰富度指数高峰在 7 月份,而均匀度在多样性较高的 7 月是却最低,这主要是 7 月份环境条件相对最好,使绿组夜蛾和一色兜夜蛾的数量激增,各月份差异较大,导致均匀度降低。

将蛾类各物种成虫出现时间进行数量化,有助于分析各物种分布时间的差异性,使其活跃期具有一定的可比性。通过顺序日期可以看出,虽然7月是蛾类种群数量的高峰期,但不同物种对时间的反应具有一定的差异,各物种数量波动较大,即使优势种在各时间多度也相差较多。显示出蛾类对环境变化具有较强的敏感性,这与尤平等人的研究结果相似,把蛾类作为指示性生物来反映环境的变化是可行的^[11,29]。

高山苔原带恶劣的环境条件对各类群蛾类影响的具有一定的差异,在本研究中,只有夜蛾科为蛾类中的优势类群,并且所占比重很高,显示出夜蛾比其它类群对苔原带的恶劣环境有更强的适应能力,或高山苔原带低矮植被能给夜蛾科提供相对较适宜的食物资源。高山苔原带降雨较多,这也影响着昆虫的繁殖,尤其蛾类对降雨较为敏感,频繁的降雨能够降低尺蛾的多样性^[30]。在一些研究中,尺蛾科常为蛾类中的优势类群,但在高山苔原带尺蛾科的数量却较少,只有20种80个个体,显示出尺蛾科对苔原带的环境条件适应能力较差,或与苔原带降雨频繁有关。低温能使高山苔原带昆虫生长期变短,同时,也限制昆虫的生长,这是导致蛾类多样性低的一个重要原因^[31]。当温度升高时,蛾类成虫往往有主动向高海拔扩散的行为,但恶劣的环境条件使部分卵不能正常越冬,导致大多数种类不能存活^[32-33],蛾类对高山苔原生境的适应能力和扩散行为有待进一步研究。

总之,高山苔原带环境条件非常恶劣,植被资源匮乏、温度寒冷和频繁的降雨制约着蛾类的生长和繁殖,蛾类的多样性较低,成虫活跃期较短;不同类群的蛾类在高山苔原环境中显示出差异化的适应性,夜蛾科的种类和数量都比较丰富,其对高山苔原带的适应能力超过其它类群,尺蛾科的适应性相对较低,蛾类对时间的变化反应比较敏感。

致谢: 东北林业大学韩辉林教授帮助鉴定部分蛾类标本,特此致谢。

参考文献 (References):

- [1] Franks F. Biophysics and Biochemistry at Low Temperatures. Cambridge: Cambridge University Press, 1985: 25-38.
- [2] Jacobs J D, Hermanutz L, Anions M. Climate Change and Tundra/Taiga Ecosystems in the Mealy Mountains of Labrador. St. John's: Memorial University of Newfoundland, 2002: 7-9.
- [3] Downes J A. What is an Arctic insect?. The Canadian Entomologist, 1962, 94(2): 143-162.
- [4] Hyøe T H, Culler L E. Tundra arthropods provide key insights into ecological responses to environmental change. Polar Biology, 2018, 41(8): 1523-1529.
- [5] 黄锡畴. 长白山高山苔原研究的进展——献给中华人民共和国建国50周年. 地理科学, 1999, 19(1): 1-9.
- [6] 钱宏. 长白山高山冻原植被. 森林生态系统研究, 1992, 6: 72-95.
- [7] 孙广友. 再论青藏高原苔原: 地球第三极地理极性之确认. 地球科学与环境学报, 2013, 35(3): 97-105.
- [8] 孙晓玲, 任炳忠, 高长启. 中国长白山北坡蝗虫生态适应特性的研究. 东北师大学报: 自然科学版, 2006, 38(1): 95-99.
- [9] 杨金宽. 长白山北坡昆虫种类和群落组成调查初报. 森林生态系统研究, 1980, (1): 85-95.
- [10] 刘生冬, 孟昕, 尚军烨, 杨明玥, 孟庆繁, 高文韬, 王戈戎. 长白山苔原带昆虫群落组成与时间动态. 昆虫学报, 2019, 62(2): 233-240.
- [11] 尤平, 李后魂. 天津湿地蛾类丰富度和多样性及其环境评价. 生态学报, 2006, 26(3): 629-637.
- [12] 宗盛伟. 长白山亚高山苔原带植被变化与机理研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2014.
- [13] 钱家驹, 张文仲. 长白山高山冻原植物的调查研究简报(I). 吉林师大学报: 自然科学版, 1980, (1): 49-65.
- [14] 赵志模, 郭依泉. 群落生态学原理与方法. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1990.
- [15] 刘生冬, 孟庆繁, 高文韬, 李燕. 张广才岭南段阔叶红松林天牛科昆虫物种多样性与成虫出现期时间动态. 林业科学, 2016, 52(2): 74-81.
- [16] Hanks L M, Millar J G. Field bioassays of cerambycid pheromones reveal widespread parsimony of pheromone structures, enhancement by host plant volatiles, and antagonism by components from heterospecifics. Chemoecology, 2013, 23(1): 21-44.
- [17] 刘生冬, 孟庆繁, 高文韬. 长白山自然保护区北坡蛾类的多样性. 东北林业大学学报, 2007, 35(10): 51-53.
- [18] 问荣荣, 马玲, 刘哲强, 焦玥, 顾伟, 满子源, 刘雪英. 小兴安岭森林恢复期不同植被区域蛾类组成及其多样性. 生态学报, 2016, 36(15): 4816-4823.
- [19] 李天芳, 王强, 顾伟, 孙虎, 王利东. 小兴安岭凉水自然保护区云杉人工林蛾类多样性及季节动态. 中南林业科技大学学报, 2016, 36

- (9): 57-61.
- [20] 尤平, 李后魂, 王淑霞. 天津北大港湿地自然保护区蛾类的多样性. 生态学报, 2006, 26(4): 999-1004.
- [21] 杨向东, 董建臻, 李瑞军, 张立峰, 黄亚群. 冀西北坝上地区灯下蛾类群落结构特征. 生态学报, 2010, 30(15): 4234-4240.
- [22] 孟庆繁, 高文韬, 刘生冬. 长白山北坡针叶林带蛾类多样性. 东北林业大学学报, 2008, 36(3): 60-62.
- [23] 贾玉珍, 张春雨, 赵秀海, 孟庆繁, 夏富才. 长白山红松阔叶林不同恢复阶段蛾类组成和多样性研究. 应用与环境生物学报, 2008, 14(5): 630-634.
- [24] 尤平, 李后魂, 王淑霞, 徐家生. 团泊洼鸟类自然保护区蛾类及其多样性的研究. 南开大学学报: 自然科学版, 2003, 36(4): 93-99.
- [25] 刘文萍, 邓合黎. 木里蝶类多样性的研究. 生态学报, 1997, 17(3): 266-271.
- [26] 万方浩, 陈长铭. 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, 1986, 6(2): 159-170.
- [27] 贺达汉, 田畴, 任国栋, 郝峰茂, 马世渝. 荒漠草原昆虫的群落结构及其演替规律初探. 中国草地, 1988, (6): 24-28.
- [28] Ford W M, Odom R H, Hale P E, Chapman B R. Stand-age, stand characteristics, and landform effects on understory herbaceous communities in southern Appalachian cove-hardwoods. Biological Conservation, 2000, 93(2): 237-246.
- [29] 顾伟, 马玲, 张子龙, 孙虎, 孙美欧, 李琳. 凉水自然保护区原始阔叶红松林蛾类群落结构及季节动态. 东北林业大学学报, 2016, 44(5): 73-77.
- [30] Choi S W. Effects of weather factors on the abundance and diversity of moths in a temperate deciduous mixed forest of Korea. Zoological Science, 2008, 25(1): 53-58.
- [31] Strathdee A T, Bale J S. Life on the edge: insect ecology in Arctic environments. Annual Review of Entomology, 1998, 43: 85-106.
- [32] Tenow O, Nilssen A. Egg cold hardiness and topoclimatic limitations to outbreaks of *Epirrita autumnata* in northern Fennoscandia. Journal of Applied Ecology, 1990, 27(2): 723-734.
- [33] Virtanen T, Neuvonen S. Performance of moth larvae on birch in relation to altitude, climate, host quality and parasitoids. Oecologia, 1999, 120(1): 92-101.