

金瑶瑶,陈春棠,朱凌飞,等.浙江省括苍山自然保护区蛾类多样性研究[J].湖北农业科学,2018,57(9):62-66.

浙江省括苍山自然保护区蛾类多样性研究

金瑶瑶¹,陈春棠²,朱凌飞³,黄志强¹,吴佩妮¹,齐鑫¹

(1.台州学院生命科学院,浙江台州 318000;2.仙居县林业局,浙江仙居 317300;

3.仙居国家公园管理委员会,浙江仙居 317300)

摘要:选取浙江省括苍山自然保护区为样地,对此地蛾类多样性开展了研究。结果表明,采集蛾类共计 14 科 87 种,其中优势种为明后夜蛾 [*Trisuloides nitida* (Butler)];蛾类多样性指数较高,但与均匀度指数不一致,表明不同样地生境的变化导致蛾类群落结构的变化,故减小保护区内人为干扰,维持良好生态极为重要;动物区系分析表明,古北区与东洋区共有种数 74 种,占总种数的 85.06%,综合已有蛾类及其他昆虫记录,支持 Holt 等在更新的世界动物地理区划中提出的“中日区”观点。

关键词:括苍山;蛾类;多样性;动物区系

中图分类号:S763.42;Q968.2

文献标识码:A

文章编号:0439-8114(2018)09-0062-05

DOI:10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2018.09.014

Study on the Diversity of Moths in the Kuocangshan Nature Reserve of Zhejiang Province

JIN Yao-yao¹, CHEN Chun-tang², ZHU Ling-fei³, HUANG Zhi-qiang¹, WU Pei-ni¹, QI Xin¹

(1.School of Life Sciences, Taizhou University, Taizhou 318000, Zhejiang, China; 2.Xianju Forestry Bureau, Xianju 317300, Zhejiang, China;

3.Management Committee of Xianju National Park, Xianju 317300, Zhejiang, China)

Abstract: A biodiversity study of moths has been conducted in the Kuocangshan Nature Reserve of Zhejiang Province, with sampling plots set there. The results showed that, Kuocangshan Nature Reserve had 87 species moths belonging to 14 families, with *Trisuloides nitida* (Butler) as the dominant species. The diversity index of moths was high, but it was not consistent with evenness. The results indicated that the changes of the moth's community structure were caused by the changes of habitat in different sampling plots, so it was very important to reduce the human disturbance and preserve the ecological environment. The fauna analysis showed that 74 species (85.06% of all collected species) were both distributed in Palaearctic and Oriental Region. With the record of moth and other insects, the results supported the viewpoint of "Sino-Japanese" in Holt's dated zoogeographic regionalization.

Key words: Kuocangshan; moths; diversity; fauna

蛾类作为昆虫纲鳞翅目中的最大类群,是生态系统中重要的组成部分。其寿命较短,分布范围广泛,易采样识别,又鉴于其对生存环境的变化相对敏感,具有广谱生物地理学和生态学探针功能,可通过种群数量的波动和群落多样性的程度来反映生境质量的变化^[1-3]。蛾类群落结构及其多样性变化特征已经成为国内外研究的热点^[4-6],但有关括苍山自然保护区内的蛾类尚未见相关报道。为获取浙江省括苍山自然保护区蛾类的种类及群落多样性等信息,为

保护、利用此地资源及监测环境质量提供理论依据,于 2016 年 6-8 月对括苍山自然保护区的蛾类多样性开展了相关的调查研究。

1 研究地区概况与研究方法

1.1 括苍山自然保护区的自然概况

括苍山自然保护区位于浙江省东南部有动植物“基因库”之称的括苍山脉中段^[7],属于亚热带季风性湿润气候,四季分明,夏季高温多雨,冬季温和

收稿日期:2017-11-29

基金项目:浙江省自然科学基金项目(LY17C040001);国家级大学生创新创业训练计划项目(201510350008)

作者简介:金瑶瑶(1996-),女,浙江温州人,在读本科生,科学教育专业,(电话)13456607143(电子信箱)1105540684@qq.com;通信作者,

齐鑫(1981-),男,山东济南人,副教授,博士,主要从事动物系统学研究,(电话)13736667263(电子信箱)qixin0612@tzc.edu.cn。

湿润。此处拥有较大面积的常绿阔叶林,植物种类丰富,并且由于南北过渡带的地理位置,使植物表现出区系过渡性的特点。保护区内共有 1 400 多种维管植物,其中蕨类植物 50 多种,种子植物 1 300 多种^[8]。内部地表起伏较大,其植被呈较明显的垂直分布,海拔 700~800 m 或以下为常绿阔叶林、针阔混交林和暖性针叶林,800~1 000 m 为常绿落叶阔叶混交林和温性针叶林,1 000 m 以上为山地矮林和灌丛^[9]。

1.2 调查时间、地点和方法

根据主导功能性的差异,自然保护区可分为核心区、缓冲区和试验区。核心区内多集中珍稀、濒危动植物,生态系统保持相对天然状态,但是保护区条例明确严禁以任何单位和个人形式进入,故选择位于试验区的样地 1、样地 2 以及缓冲区内的样地 3 作为采集点,未涉及核心区。利用蛾类趋光性的特点,在 3 处样地内通过采取定点灯诱法捕获。2016 年 6~8 月,每月分别在样地各进行 1 次野外采集,采集时间为 20:00~24:00,若遇不良天气,则将采集时间顺延至天气好转时继续。选用 250 W 汞灯和 2.0 m×1.5 m 的白化纤布分别作为诱集灯和幕布,用竹竿将幕布挂在诱集灯后约 15 cm 处,清除幕布附近的杂草,捕获落在幕布前后面的蛾类。将采集的蛾类放入盛有氯仿或乙酸乙酯的毒瓶,并记录采集地点、时间,贴上标签。带回实验室,对其展翅晾干制作成标本后,结合《中国蛾类图鉴》、《中国经济昆虫志》等相关文献资料进行种类鉴定和数量统计。

1.3 数据分析方法^[10-12]

1) 多样性指数(H')。采用 Shannon-Wiener 公式: $H'=-\sum P_i \ln P_i$, $P_i=N_i/N$, 式中, P_i 为第 i 种的个体比

例, N_i 为第 i 种的个体数, N 为全部物种的个体总数。

等级多样性指数 $H'(GS)$ 。公式: $H'(GS)=H'(G)+H'(S)$ 或 $H'(FGS)=H'(F)+H'(G)+H'(S)$, 式中, $H'(F)$ 、 $H'(G)$ 、 $H'(S)$ 分别表示科级、属级和种级的多样性指数。

2) 均匀度指数(J)。采用 Pielou 公式: $J=H'/\ln S=-\sum P_i \ln P_i / \ln S$, 式中, J 为均匀度, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为物种数。

3) 优势度指数(D)。采用 Berger-Parker 公式: $D=N_{max}/N$, 式中, N_{max} 为优势种的种群数量, N 为所有物种的种群数量。

4) 物种丰富度(R)。采用 Margalef 公式: $R=(S-1)/\ln N$, 式中, S 为全部物种数, N 为全部个体。

5) 群落相似性指标(I)。群落相似性系数采用 Jaccard 的相似性系数公式: $I=c/(a+b-c)$ 。

其中,生境 A 的物种数记作 a ,生境 B 的物种数记作 b ,生境 A、B 共有的物种数记作 c 。根据 Jaccard 的相似性系数原理,当 $0 < I < 0.25$ 时,为极不相似; $0.25 \leq I < 0.50$ 时,为中等不相似; $0.50 \leq I < 0.75$ 时,为中等相似; $0.75 \leq I < 1.00$ 时,为极相似。

2 结果与分析

2.1 括苍山蛾类群落的种类组成

经鉴定,仙居括苍山自然保护区有蛾类 14 科 87 种,其数量特征见表 1。其中 6 月 13 科 68 种,7 月 14 科 87 种,8 月 14 科 80 种。在各类群中,以尺蛾科(15 种)和夜蛾科(12 种)为优势,分别占总种数的 17.24%和 13.79%。天蛾科(9 种)、灯蛾科(8 种)、舟

表 1 浙江括苍山蛾类群落的数量特征

科名	属数				种数				个体数				种比例//%
	6月	7月	8月	总计	6月	7月	8月	总计	6月	7月	8月	总计	
尺蛾科(Geometridae)	10	13	12	13	11	15	14	15	398	575	650	1 623	17.24
刺蛾科(Limacodidae)	3	3	3	3	3	3	3	3	78	125	164	367	3.45
大蚕蛾科(Saturniidae)	4	4	4	4	4	4	4	4	98	164	199	461	4.60
带蛾科(Eupterotida)	3	3	3	3	3	3	3	3	67	42	91	200	3.45
灯蛾科(Arctiinae)	5	7	6	7	6	8	7	8	143	186	264	593	9.20
毒蛾科(Lymantriidae)	5	6	6	6	5	7	7	7	123	213	251	587	8.05
箩纹蛾科(Brahmaeidae)	1	1	1	1	1	1	1	1	7	14	27	48	1.15
螟蛾科(Pyralidae)	4	4	4	4	4	4	4	4	179	332	441	952	4.60
天蛾科(Sphingidae)	6	7	5	7	7	9	7	9	324	541	689	1 554	10.34
夜蛾科(Noctuidae)	12	12	12	12	12	12	12	12	517	846	1 106	2 469	13.79
舟蛾科(Notodontidae)	5	8	6	8	5	8	6	8	109	176	221	506	9.20
钩蛾科(Drepanidae)	2	4	4	4	2	4	4	4	37	30	52	119	4.60
枯叶蛾科(Lasiocampidae)	5	7	6	7	5	8	7	8	79	136	169	384	9.20
裳蛾科(Erebidae)	0	1	1	1	0	1	1	1	0	4	15	19	1.15
合计	65	80	73	80	68	87	80	87	2 159	3 384	4 339	9 882	

蛾科(8种)和枯叶蛾科(8种)的种类也比较多。从各类群的个体数量来看,以夜蛾科的数量最多(2469头),其次为尺蛾科(1623头)和天蛾科(1554头)。

2.2 括苍山蛾类群落的多样性

2.2.1 括苍山蛾类群落的优势种类 从表2可知,6-8月的优势种分别是江浙垂耳尺蛾 [*Pachyodes iterans* (Prout)]、缺角天蛾 [*Acosmeryx castanea* (Rothschild & Jordan)]和明后夜蛾 [*Trisuloides nitida* (Butler)]。它们分别属于尺蛾科、天蛾科和夜蛾科。而这3个月的优势种是明后夜蛾,属于夜蛾科。

表2 浙江括苍山各月份蛾类优势种的优势度

种名	优势度指数			
	6月	7月	8月	总计
江浙垂耳尺蛾(<i>Pachyodes iterans</i>)	0.0403	0.0272	0.0205	0.0271
缺角天蛾(<i>Acosmeryx castanea</i>)	0.0287	0.0408	0.0304	0.0336
明后夜蛾(<i>Trisuloides nitida</i>)	0.0333	0.0257	0.0445	0.0356

表3 浙江括苍山蛾类群落的等级多样性指数

月份	科数	属数	种数	个体数	多样性指数			均匀度(J)	物种丰富度(R)
					H'(GS)	H'(G)	H'(S)		
6月	13	65	68	2159	7.9363	3.9427	3.9936	0.9465	8.7269
7月	14	80	87	3384	8.0675	3.9881	4.0794	0.9135	10.5823
8月	14	73	80	4339	8.0750	3.9830	4.0920	0.9338	9.4324
总计	14	80	87	9882	8.1979	4.0526	4.1453	0.9282	9.3494

2.3 括苍山蛾类群落的相似性

根据 Jaccard 的相似性系数原理,计算各样地在6-8月的相似性系数,其中6月样地1和2的相似性系数为0.6122,为中等相似;样地1和3的相似性系数为0.4262,为中等不相似;样地2和3的相似性系数为0.3433,为中等不相似。7月样地1和2的相似性系数为0.7541,为极相似;样地1和3的相似性系数为0.4432,为中等不相似;样地2和3的相似性系数为0.4651,为中等不相似。8月样地1和2的相似性系数为0.5690,为中等相似;样地1和3的相似性系数为0.3947,为中等不相似;样地2和3的相似性系数为0.4789,为中等不相似。

2.4 括苍山蛾类群落区系

查阅并参考了《中国昆虫生态地理概述》和《中国农林昆虫地理分布》等资料^[13-15],将括苍山自然保护区的87种蛾类昆虫按中国动物地理区系(古北区:蒙新区、青藏区、东北区和华北区;东洋界:华南区、华中区和西南区)进行划分,各个科的分布以及其占总数的比例情况见表4。根据统计可知,括苍山

2.2.2 括苍山蛾类群落多样性的时间动态 根据6-8月的采集情况,按时间顺序对括苍山蛾类的个体数、物种丰富度(R)、多样性指数(H')、均匀度指数(J)等进行了整理统计(表3)。从表3可以看出,6月捕获蛾类2159只,7月捕获蛾类3384只,8月捕获4339只,个体数在6-8月内呈明显的上升趋势;而各月的物种丰富度依次为8.7269、10.5823和9.4324,呈先增后减的特征;括苍山蛾类多样性指数在6-8月分别为7.9363、8.0675和8.0750,可见多样性指数相对较高;蛾类均匀度指数6-8月分别为0.9465、0.9135和0.9338。

2.2.3 不同样地蛾类群落多样性 根据不同样地采集到蛾类的情况,样地1、样地2、样地3的多样性指数分别为3.9851、3.8523、4.1607;均匀度分别为0.9512、0.9298、0.9317;丰富度分别为8.1810、7.7605、10.3348。

87种蛾类昆虫在中国动物地理区系划分中的分布情况较为复杂,归纳起来共有24个分布类型,其中以青藏区+华北区+华中区+华南区成分最多,总共有21种(其中夜蛾科有6种,尺蛾科有4种,螟蛾科、天蛾科、钩蛾科和枯叶蛾科均为2种,刺蛾科、箩纹蛾科和舟蛾科均为1种),占总数的24.14%。在这87种蛾类中,古北区与东洋区共有种74种,占85.06%;东洋区特有种13种。

表4 括苍山蛾类群落的区系

科名	古北区	东洋区	共有种	科名	古北区	东洋区	共有种
尺蛾科	12	15	12	天蛾科	8	9	8
刺蛾科	3	3	3	夜蛾科	12	12	12
大蚕蛾科	3	4	3	舟蛾科	6	8	6
带蛾科	0	3	0	钩蛾科	4	4	4
灯蛾科	7	7	6	枯叶蛾科	6	7	5
毒蛾科	7	6	6	裳蛾科	1	1	1
箩纹蛾科	1	1	1	合计	74	87	74
螟蛾科	4	4	4				

3 小结与讨论

通过野外采集、整理与鉴定,共记述浙江省括苍山自然保护区的蛾类昆虫 87 种,隶属于 14 科,以尺蠖科为最多(15 种),夜蛾科次之(12 种)。尺蠖科和夜蛾科幼虫寄主植物广泛,主要取食农作物、果树、林木等多种植物,严重危害农林业并给人类带来一定的经济损失^[16,17]。保护区内植被茂盛,主要为林木和部分果树,且周边分布着村落,种植着一定面积的农作物,故能大量吸引危害农林业的尺蠖科和夜蛾科昆虫。

括苍山自然保护区内蛾类以尺蠖科为主,夜蛾科次之的特点在优势种上也得到体现。在 6、7、8 月的优势种分别是江浙垂耳尺蠖、缺角天蛾和明后夜蛾。保护区 3 个月的优势种为夜蛾科的明后夜蛾,这与居峰等^[18]研究江苏南京紫金山夏季的蛾类群落时,发现阔叶林中蛾类优势科为夜蛾科的结论相同。尤平等^[12]等指出蛾类优势种的不同与植物群落结构有关。徐可成等^[19]研究杭州西溪湿地公园蛾类多样性则表明优势种为草螟科的褐萍水螟 [*Nymphula responsalis* (Walker)]。两地都位于浙江省境内,属亚热带季风气候,气候温和,雨量充沛,故相似的气候条件并非导致两者优势种差异的原因。优势种差异的原因一方面在于植物群落的不同:西溪湿地以禾本科、菊科、豆科和蔷薇科为主,而括苍山植被以常绿阔叶林等木本植物为主;另一方面在于蛾类食物来源的不同:褐萍水螟的主要寄主是绿萍,绿萍主要生长在中性或偏酸性,且钙、镁及重金属离子含量低的水中,而明后夜蛾的食物来源主要为植物的蜜糖。上述结果表明,不同生境和植被类型共同决定蛾类群落的优势种,蛾类可作为不同生境的指示生物。

蛾类群落的结构组成和演替是其适应和协调环境的结果^[20,21]。受温度变化和寄主植物的影响,蛾类群落多样性随时间的变化呈现不同水平。在 6-8 月保护区蛾类个体数呈明显的上升趋势,这点与多数研究中,昆虫季节动态的高峰期出现在 7-8 月大致相同^[22,23]。结合实际,7 月气温相对较高,多数植被生长茂盛,利于蛾类取食、繁殖等活动。种类繁多的植物为昆虫提供了多样的生存环境,故其丰富度也相应增加。多样性指数在 6-7 月间相对迅速上升,在 7-8 月较缓慢增加,并于 8 月达最大值。总体而言,在 6-8 月,括苍山保护区蛾类昆虫较为丰富,多样性指数较高,反映出此处生境相对稳定,具备蛾类生存与繁衍的自然条件。

保护区 3 处样地间的相似性系数关系大体呈现:样地 1 与样地 2 表现为中等相似,样地 2 与样地

3 表现为中等不相似,样地 1 与样地 3 表现为中等不相似。分析其原因,采集的样地 3 位于缓冲区,只准进入从事科研活动,使得植物群落和环境质量保持相对良好的自然状态,而丰富的寄主植物组成复杂的生态系统,为不同种类的蛾类提供食物和繁殖场所。但是处在试验区的样地 1 和 2,科研活动、参观和旅游等人为活动较多,人为干扰通过植被群落对蛾类种类的间接影响更大。均匀度和丰富度是与多样性指数联系密切的 2 个参数。括苍山自然保护区不同样地蛾类的多样性指数与均匀度指数不一致,与西溪湿地^[19]、天津七里海湿地^[12]、重庆市^[17]等地的研究结果一致,而与物种丰富度指数一致。样地 1 和 2 虽然同属试验区,但样地 2 处有部分农田,受到人为干扰更大,变化也更大,故样地 2 的均匀度指数明显小于样地 1。多样性指数不受均匀度指数的影响,表明不同样地生境的变化导致群落结构的变化,故减小保护区内人为干扰,维持良好生态极为重要。

括苍山坐落在浙江省东南部,总体气候较为温和,雨量充足。其植物种类各异,有着明显的东亚植物区系的区域特征。在动物地理学研究上,浙江省的归属争议较大。杨惟义^[24]根据蜻类研究,将长江以北至 40°N 之间的地带列为混合区,长江南岸即划入东洋界;马世骏^[25]参考前人工作,并分析国内各方面所积累的经济昆虫区系资料,认为在 28°N 左右较为合适;章士美^[26]根据近千种农业昆虫在秦岭以东分布的交叉复杂情况,提出分界线位于 32°N 附近;吴鸿等^[27]在分析浙江西天目山昆虫区系的基础上,也认为分界线位于 32°N 附近比较合理。按照传统动物地理区划分析,87 种蛾类中,古北区与东洋区共有种 74 种,占 85.06%;东洋区特有种 13 种,占 14.94%。与福建省(传统东洋区)共有种 37 种,占 42.53%;与日本(传统古北区)共有种 33 种,占总数 37.93%。参考以往浙江已有莫干山^[15]、天目山^[27]蛾类记录,其区系特征为东洋、古北两大地理大区交叉重叠,反映出浙江省更像是古北与东洋界的一个过渡地带。由于浙江省与日本蛾类区系成分相似度很高,本文研究结果更支持 Holt 等^[28]在更新的世界动物地理区划中提出的中日区。虽然 Holt 等^[28]依据是以陆生脊椎动物来推断世界动物地理区划,但是相类似的结果在昆虫中得到支持。Heiser 等^[29]根据蜻蜓目昆虫分析其区系成分后认为中国南部与喜马拉雅山以南为东洋界,中国北方、东北地区与日本为东洋界与古北界的过渡地带,也未将日本归入传统的古北区。由此看来,将日本与浙江归入同一动物地理大区是较为理想的。

参考文献:

- [1] NEW T R. Are Lepidoptera an effective 'umbrella group' for biodiversity conservation[J]. *Journal of Insect Conservation*, 1997, 1: 5-12.
- [2] SAMWAYS M J. Insects in biodiversity conservation: some perspectives and directives[J]. *Biodiversity and Conservation*, 1993, 2(3): 258-282.
- [3] 刘佳敏, 张 慧, 黄秀凤, 等. 浙江 3 个自然保护区昆虫多样性及森林健康评价[J]. *浙江农林大学学报*, 2013, 30(5): 719-723.
- [4] PATRICK B H. Conservation of New Zealand's tussock grassland moth fauna[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2004, 8(2-3): 199-208.
- [5] BREHM G, FIEDLER K. Diversity and community structure of geometrid moths of disturbed habitat in a montane area in the Ecuadorian Andes[J]. *Journal of Research on the Lepidoptera*, 2005, 38: 1-14.
- [6] BECK J, SCHULZE C H, LINSSENMAIR K E, et al. From forest to farmland: Diversity of geometrid moths along two habitat gradients on Bomeo[J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2006, 18(1): 629-637.
- [7] 徐慧君, 顾莹秋, 凌培骏, 等. 浙江省临海市括苍山自然保护区蜘蛛名录[J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(14): 3303-3307.
- [8] 张汝忠, 王坚娅, 翁钱塘, 等. 括苍山省级自然保护区重点保护野生植物调查研究[J]. *农业科技与信息*, 2015(4): 78-80.
- [9] 彭佳龙, 史小华, 张汝忠. 浙江括苍山自然保护区种子植物区系分析[J]. *林业科学研究*, 2008, 21(5): 713-718.
- [10] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 α 多样性的测度方法(下)[J]. *生物多样性*, 1994(4): 231-239.
- [11] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 β 多样性的测度方法[J]. *生物多样性*, 1995(1): 38-43.
- [12] 尤 平, 李后魂, 王淑霞, 等. 天津七里海蛾类多样性[J]. *昆虫学报*, 2003, 46(5): 617-621.
- [13] 赵东芳. 雁鸣湖自然保护区灯下蛾类多样性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- [14] 田 奥, 王少山, 王佩玲, 等. 新疆蛾类区系初步分析[J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37(6): 1149-1157.
- [15] 方志刚. 莫干山蛾类昆虫区系研究[J]. *浙江林学院学报*, 1992, 9(4): 7-12.
- [16] 于思勤, 黄元炯, 殷花娥. 河南省夜蛾科、尺蛾科和天蛾科昆虫区系研究[J]. *河南农业大学学报*, 1989, 23(1): 65-72.
- [17] 刘文萍, 李爱民, 李 健, 等. 重庆市蛾类资源调查及区系(夜蛾科)[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2010, 32(8): 97-103.
- [18] 居 峰, 宋伙林, 陈 希, 等. 南京紫金山夏季蛾类群落结构及其动态分析[J]. *林业科技开发*, 2009, 23(3): 66-74.
- [19] 徐可成, 王薛婷, 张美玲, 等. 杭州西溪国家湿地公园蛾类多样性研究[J]. *浙江农业学报*, 2014, 26(2): 388-392.
- [20] 刘江伟, 汪小越, 陈 希, 等. 南京市主要植被群系毒蛾科昆虫群落结构及其多样性[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(6): 7-12.
- [21] 居 峰, 董丽娜, 陈 希, 等. 不同森林植被类型蛾类群落结构及其多样性研究[J]. *江苏林业科技*, 2011, 38(1): 1-6, 11.
- [22] 高书晶, 庞保平, 周晓榕, 等. 麦田昆虫群落结构及多样性的季节动态[J]. *昆虫知识*, 2006, 43(3): 295-299.
- [23] 贾玉珍, 张春雨, 赵秀海, 等. 长白山红松阔叶林不同恢复阶段蛾类组成和多样性研究[J]. *应用与环境生物学报*, 2008, 14(5): 630-634.
- [24] 杨惟义. 中国昆虫之分布[J]. *科学*, 1937, 21(3): 205-216.
- [25] 马世骏. 中国昆虫生态地理概述[M]. 北京: 科学出版社, 1959.
- [26] 章士美. 从某些农业昆虫的分布来讨论古北东洋两界在我国秦岭以东的分布线问题[J]. *昆虫学报*, 1965, 14(4): 411-419.
- [27] 吴 鸿, 潘承文. 天目山昆虫[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [28] HOLT B G, LESSARD J P, BORREGAARD M K, et al. An update of Wallace's zoogeographic regions of the world[J]. *Science*, 2013, 339(6115): 74-78.
- [29] HEISER M, SCHMITT T. Tracking the boundary between the Palaearctic and the Oriental region: New insights from dragonflies and damselflies (Odonata)[J]. *Journal of Biogeography*, 2013, 40(11): 2047-2058.

(上接第 44 页)

- [10] DI LEO P, PIZZIGALLO M D R, ANCONA V, et al. Mechanochemical degradation of pentachloro-phenol onto birnessite[J]. *Journal of hazardous materials*, 2013, 244-245: 303-310.
- [11] LU S, HUANG J, PENG Z. Ball milling 2,4,6-trichlorophenol with calcium oxide: Dechlorination experiment and mechanism considerations[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2012, 195-196: 62-68.
- [12] 韩方岸, 胡 云, 吉文亮, 等. 长江江苏段主要城区水源有机污染物分布研究[J]. *实用预防医学*, 2009, 16(1): 3-8.
- [13] 高 鹏, 孙清芳, 张照韩. 2,4-二氯苯酚在松花江沉积物上的吸附解析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2010, 42(6): 967-971.
- [14] 张 雪, 张承龙, 杨义晨, 等. 机械化学法降解聚氯乙烯实验研究[J]. *环境科学与学术*, 2015, 38(11): 190-193.
- [15] 李金花, 庄慧生. 环境中荷尔蒙类化合物 2,4-二氯苯酚的紫外光谱法研究及应用[J]. *工业水处理*, 2004, 24(5): 57-58.
- [16] 解天民. 水中氯代酚类化合物的直接测定[J]. *中国环境监测*, 1987, 3(1): 147-152.
- [17] DELOGU F, ORR R, CAO G. A novel macrokinetic approach for mechanochemical reactions[J]. *Chemical Engineering Science*, 2003, 58(3): 815-821.
- [18] ABDELLAOUI M, GARRET E. The physics of mechanical alloying in a planetary ball mill-mathematical treatment[J]. *Acta Metallurgica et Materialia*, 1995, 43(3): 1087-1098.