

广东鹤山人工林蚯蚓群落结构季节变化及其与环境的关系

张卫信^{1,3}, 李健雄^{2*}, 郭明昉², 廖崇惠²

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 广东省昆虫研究所, 广州 510260; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:2000 年 5 月至 2001 年 5 月, 对鹤山 3 种人工林下蚯蚓群落连续调查约 1a, 比较不同林型蚯蚓群落结构以及季节和环境变化对蚯蚓群落的作用。结果表明: ①各林型内蚯蚓均以西土寒蛭蚓(*Ocnerodrilus occidentalis* Eisen) 为最多, 年龄构成以幼体为主。豆科林蚯蚓个体数最多, 荷木林蚯蚓生物量最大。几乎所有蚯蚓种类的个体生物量都以荷木林为最大。②3 林型下, 蚯蚓个体数与生物量的季节变化差异有相同的变化趋势, 但不同步。蚯蚓个体数的季节变异: 针叶林>豆科林>荷木林, 林型之间蚯蚓个体数以豆科林与针叶林差异最显著; 蚯蚓生物量的季节变异: 豆科林>荷木林>针叶林, 林型之间蚯蚓生物量荷木林与针叶林差异最显著。寒蛭蚓个体数季节变化与总体的变化一致, 但其生物量变化趋势与总体相反: 针叶林>荷木林>豆科林, 说明蚯蚓群落生物量的季节变化很可能受寒蛭蚓以外的其他蚯蚓种类生物量变化的控制。③在一定范围内, 蚯蚓个体数和蚯蚓生物量与空气相对湿度和土壤平均含水量显著相关。土壤平均温度在 20~22℃ 左右, 蚯蚓个体数最高, 土壤平均温在 23~25℃ 左右时, 蚯蚓生物量最高, 各林型蚯蚓个体数量和生物量最高时的土壤平均温度不同。降雨对蚯蚓群落的影响很大, 对水分条件较差的豆科林和针叶林尤为明显。通常蚯蚓都是在水分条件较好的时候生长和繁殖, 土壤水分过多和过少, 都不适宜。蚯蚓的繁殖, 受降雨的影响, 3 种林型下蚯蚓繁殖期基本一致。

关键词:鹤山; 人工林; 蚯蚓群落; 季节变化

文章编号: 1000-0933(2005)06-1362-09 中图分类号: Q143. Q958. 1, S714. 3 文献标识码: A

Seasonal variation of earthworm community structure as correlated with environmental factors in three plantations of Heshan, Guangdong, China

ZHANG Wei-Xin¹, LI Jian-Xiong^{2*}, GUO Ming-Fang, LIAO Chong-Hui² (1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650; 2 Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260, China; 3. Graduate School of CAS, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1362~1370.

Abstract: An investigation was performed from May, 2000 to May, 2001 in three plantations of *Acacia confusa* (or *A. auriculaeformis*), *Scheme superba* and *Pinus elliotii* Engelm (or *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) in Heshan to examine seasonal variation of earthworm community structure and the corresponding environmental factors. Our results showed that *Ocnerodrilus occidentalis* Eisen was the dominant species in all three forests, and the age structure was characterized by having more juveniles than adults. The numbers of earthworm individuals in *Acacia* forest is greater than other two forests whereas the worm biomass in *Scheme superba* forest was the largest among the three plantation forests. Seasonal changes of earthworm abundance in the three forests differed with those of biomass. Annual change in earthworm density was greatest for the coniferous forest and least for the *Scheme superba* forest. Annual variation in earthworm biomass

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39970140); 广东省科技厅计划资助项目(C20403); 中国科学院鹤山丘陵综合试验站开放基金资助项目
收稿日期:2004-01-15; **修订日期:**2004-09-20

作者简介:张卫信(1979~), 男, 江西上饶人, 博士生, 主要从事土壤动物生态学研究。E-mail: zwxjxyu@etang.com
致谢:上海交大邱江平教授指导蚯蚓鉴定, 本文得到 Dr. Xiaoming Zou 帮助, 鹤山丘陵试验站提供相关气候资料, 在此表示感谢!

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lijx62@21cn.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 39970140); the plan item of the Department of Science and Technology of Guangdong Province(No. C20403) and the Opening Foundation of Heshan Station of the CAS

Received date: 2004-01-15; **Accepted date:** 2004-09-20

Biography: ZHANG Wei-Xin, Ph. D. candidate, mainly engaged in soil fauna ecology. E-mail: zwxjxyu@etang.com

was the greatest in the *Acacia* forest and the least in the coniferous forest. However, seasonal variation in biomass of the dominant species, *Ocnodrilus occidentalis*, was inverse to that of total earthworm community. A relative humidity or soil mean water content were correlated with the numbers and biomass of earthworm. Earthworm abundance reached the highest when soil temperature ranged from 20 ~ 22℃, while earthworm biomass was highest within the range of 23 ~ 25℃. Furthermore, earthworm numbers peaked at different temperatures in the three forests. The reproduction of earthworms occurred between March and May in all three forests when precipitation and other environmental factors were optimum during the year.

Key words: Heshan; plantations; earthworm community; seasonal variation

人工森林生态系统的形成和发育是地上植被系统和地下土壤系统矛盾运动的过程。土壤动物是两系统间的重要联系点。植被类型不同,土壤动物群落结构时空变化及其对土壤的作用往往不同。蚯蚓是少数几种能够对许多决定土壤肥力的过程产生重要影响的大型土壤无脊椎动物(主要是蚯蚓、螨和蚂蚁)之一,被称为“土壤工程师”^[1]。它通过排泄(蚯蚓粪),掘穴,取食和消化等对土壤过程作贡献^[2]并由此而影响地上植被。同时,蚯蚓群落的组成也受植物群落的强烈影响。Grizelle 等在热带湿润森林的研究显示,植物群落间植物种类组成和土壤特性的变化能引起其中蚯蚓多度和分布格局的显著差异^[3]。M. G. Paoletti 等研究了农田生态系统中不同土地管理和耕作措施对蚯蚓群落的影响,认为蚯蚓可以作为评价农田生态系统可持续能力的十分有用的生物指示者^[4]。乔玉辉等对华北盐渍区的研究也发现蚯蚓群落的次生演替与生产投入关系密切^[5]。可见,蚯蚓在生态系统中的地位十分重要。但到目前为止,国内对蚯蚓的种类,分布尚缺乏系统的研究,对其功能的研究更是凤毛麟角。在我国南亚热带地区,虽然森林土壤动物群落结构方面的研究已有不少^[6~9],但也都极少直接涉及蚯蚓。从这些研究中人们只知道,蚯蚓是土壤动物群落中生物量较高的类群,对土壤动物群落生物量的变化起主要作用^[10],在人工林土壤动物群落的早期演替中生物量增幅最大^[7]。为深入探讨土壤动物在森林生态系统中的作用,有必要对蚯蚓这一特殊类群进行单独研究。本文对豆科林、荷木林和针叶林这 3 种人工林植被蚯蚓的密度、生物量及其季节动态进行了调查,以为进一步研究蚯蚓的凋落物分解功能提供基础资料。问题有:3 种林型下蚯蚓群落组成、结构有无显著差别,有何差别?3 种林型下蚯蚓的季节动态有何不同?蚯蚓群落组成及动态与土壤环境、气候条件的关系?

1 样地概况^[11]

研究样地在中国科学院鹤山丘陵综合试验站试验林区(东经 112°54′,北纬 22°41′)。所在地属亚热带季风常绿阔叶林气候,年平均温度 21.7℃,年均降雨量 1700mm。土壤为赤红壤,成土母质是砂页岩,土壤质地以粘壤土类和壤质粘粒为主。土壤 pH 值约在 4.0~4.8 之间。试验区原本植被除部分地方为人工马尾松疏林外,绝大部分为亚热带草坡。所选择的豆科林、非豆科林和针叶林分别位于 3 个小山窝,林龄为 14a。豆科林内植物优势种有台湾相思(*Acacia confusa*)、大叶相思(*A. auriculaeformis*)等,林下有芒萁(*Dicranopteris dichotma*)及禾本科草本覆盖。非豆科林只选择以乡土树种荷木(*Scheme superba*)为主的林地(故简称为荷木林),林下只有部分草本植被。针叶林上部为湿地松(*Pinus elliotii Engelm*),下部为杉木(*Cunninghamia lanceolata*(Lamb.)Hook.),地表无植被。荷木林郁闭度最高,豆科林次之,针叶林最末(但其中的小片杉木林因为林龄较长之故,郁闭度亦较高)。

2 研究方法

从 2000 年 5 月 22 日至 2001 年 5 月 17 日将近 1a 的时间内,对上述 3 种林型的蚯蚓群落进行不定期调查,共 16 次(通常为半月 1 次,冬季休眠期或超过 1 月)。每次于各林内随机放置 6 个约 0.41m×0.41m 的铁框,以福尔马林(0.5%)法配合手拣法采取蚯蚓,置于 4%的福尔马林溶液内固定。带回实验室用清水将蚯蚓洗净,以滤纸吸干,初步鉴定后分别称取各种蚯蚓的成体和幼体鲜重,并记录个数。同时,每个林内各取 6 个 0~0.15m 的土样,分 3 层取,充分混匀合成 1 个土样后,连铝盒称足 100g,置于 105℃烘箱内 48h,称重,计算土样含水量。对各林型下蚯蚓个体数和生物量进行单因素方差分析以考察季节变化的影响。对蚯蚓个体数、生物量和土壤温度、土壤含水量、空气相对湿度进行简单线性相关分析。统计分析时,所有以百分数表示的数据均作反正弦转换。蚯蚓生物量数据作平方根转换,蚯蚓个体数作对数转换^[12]。

3 结果

3.1 3 种林型下土壤环境变化

如表 1 所示,土壤的含水量大小,荷木林>豆科林>针叶林。土壤有机质和全氮含量,豆科林>荷木林>针叶林。土壤含水量的季节变异为豆科林>针叶林>荷木林,变异系数(CV)分别为 0.0773、0.0694 和 0.0388。荷木林与豆科林及针叶林间差异显著($p=0.000$),豆科林与针叶林土壤含水量无显著差异($p=0.281$)或差异被季节变化掩盖。土壤平均温的季节变异为针叶林>豆科林>荷木林,变异系数(CV)分别为 0.2199、0.2167 和 0.2118,3 林型土壤平均温无显著差异或已被季节变异所掩盖。

可见,荷木林受外界影响最小,土壤含水量和土壤平均温度相对稳定,而豆科林和针叶林土壤水分和温度的季节波动要大得多。

3.2 3 种林型下蚯蚓群落结构及多样性变化

表 1 3 种林型的土壤参数比较*

Table 1 Comparison of several soil parameters between the three plantation forests				
林型 Type of forest	土壤含水量(±标准误)(%) Soil water content (±Standard error)	有机质(%) Organic matter	全氮(%) Total N	土壤温度(%) Soil temperature
豆科林 Leguminous forest	26.28±0.508	3.28	0.155	21.96±1.189
荷木林 Scheme superba forest	28.57±0.277	2.72	0.126	22.45±1.188
针叶林 Coniferous forest	25.63±0.445	2.41	0.096	22.17±1.218

* 土壤(0~0.15m)含水量是 1a 内所有数据的平均值,土壤温度是采样日之前 15 天土壤温度(0~0.15m 土壤温度的平均数)的平均数,除土壤含水量外,其他原始数据由中国科学院鹤山丘陵综合试验站提供,土壤(0~0.10m)有机质、全氮数据引自李志安等^[13]The data of soil water content is the mean of all in one year, soil temperatures(mean of 0~0.15 m soil) are the averages of all values of 15 days before sampling dates, raw data come from HeShan station of Chinese Academy of Sciences, information of soil (0~0.10 m) organic matter, total nitrogen quoted from Li Z A, *et al*^[13]

3 林型下蚯蚓主要有两类,即寒蛭蚓和环毛蚓,共 9 种。西土寒蛭蚓(*Ocnerodrilus occidentalis* Eisen)在 3 种林型下都占绝对优势,在豆科林、荷木林和针叶林中它的生物量及个体数量分别是总数的 66.39%、51.04%、44.33%和 79.70%、71.43%、73.80%。第二大类群白间腔环蚓(*Metaphire Sims* et Easton spp.)相应的比例仅为 22.01%、23.42%、21.74%和 12.78%、14.74%、13.10%。豆科林、荷木林和针叶林蚯蚓种数依次为 5 种、7 种和 6 种,蚯蚓总个体数(ind/m²)和总生物量(g/m²)分别为 66.5、41.56 和 28.63,和 7.7987、10.1396 和 6.0855。参远环蚓(*Amyntas aspergillum* Perrier 1872)和远环蚓,新种(*Amyntas* sp. n2)仅在荷木林出现,中材远环蚓(*Amyntas medioca* Chen *et* Hsu 1975)和鹤山 09#(*Amyntas Kinberg* sp. n3)仅在针叶林出现。

表 2 鹤山 3 种人工林蚯蚓群落多样性比较*

Table 2 Comparison of earworm community diversity among three plantation in Heshan						
项目 Item	豆科林 Leguminous forest		荷木林 Scheme superba forest		针叶林 Coniferous forest	
	个体数 Individuals (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	个体数 Individuals (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)	个体数 Individuals (ind/m ²)	生物量 Biomass (g/m ²)
	(ind/m ²)	(g/m ²)	(ind/m ²)	(g/m ²)	(ind/m ²)	(g/m ²)
白间腔环蚓(暂定名) ^①	8.5	1.7166	6.13	2.3475	3.75	1.3232
白颈腔环蚓 ^②	3.75	0.7647	0.19	0.1604	0	0
寒蛭蚓 ^③	53	5.1776	29.69	5.1749	21.13	2.6980
异毛远环蚓 ^④	1.06	0.0811	5.25	2.0872	2.69	1.1095
鹤山 21# ^⑤	0.19	0.0587	0.19	0.0991	0.69	0.3570
参远环蚓 ^⑥	0	0	0.06	0.1231	0	0
远环蚓(新种) ^⑦	0	0	0.06	0.1205	0	0
中材远环蚓 ^⑧	0	0	0	0	0.31	0.5505
鹤山 09# ^⑨	0	0	0	0	0.06	0.0473
蚯蚓种数 Number of earthworm species	5		7		6	
总生物量 Total biomass(g/m ²)	7.7987		10.1396		6.0855	
总个体数 Total number of individuals (ind/m ²)	66.5		41.56		28.63	
H' 指数 H' index	0.689		0.852		0.865	
DG 指数 DG index	0.663		0.845		0.548	
DIC 指数 DIC index	0.630		0.961		0.686	

* 表中蚯蚓数和生物量为 2000 年 5 月至 2001 年 5 月期间 16 次采样数据的平均数,数据未经标准化 The value of earthworm numbers and biomass in the table were mean of all of 16 times sampling from May, 2000 to May,2001and are all not normalized. ①*Metaphire Sims* et Easton spp; ②*Metaphire californica* Kinberg 1867; ③*Ocnerodrilus occidentalis* Eisen, 1878; ④*Amyntas fornicata* Gatas1935; ⑤*Amyntas* sp. n1; ⑥*Amyntas aspergillum* Perrier 1872; ⑦*Amyntas* sp. n2; ⑧*Amyntas medioca* Chen et Hsu 1975; ⑨*Amyntas kinberg* sp. n3

根据 1a 中调查所得的蚯蚓群落资料(表 2),分别计算各林型蚯蚓群落的 Shannon-Wierner(*H'*)多样性指数,密度-类群指数(*DG*)和多群落比较的多样性指数(*DIC*)^[8]。不同蚯蚓种类在多样地出现的次数相差很大,有些种类只出现 1、2 次,而有些种类如寒蛭蚓每次调查都有。出现频率较低的种类在群落组成中的重要性显然较低,因此,笔者在密度-类群指数(*DG*)和多群落

比较的多样性指数(DIC)中引入了群落相对频数 E_i/E ,即在本群落各蚯蚓种于多次调查中出现的比率。相应地多样性测度公式演变为:

$$DG = (g/G) \sum_{i=1}^g \left(\frac{D_i C_i E_i}{D_{\max} C E} \right) \text{ 和 } DIC = \frac{g}{G} \left[1 - \left[\frac{|X_{\max} - X_i|}{X_{\max} + X_i} \right] \right] \frac{C_i E_i}{C E}$$

蚯蚓群落多样性的变化错综复杂。 H' 指数以针叶林(0.865)最高,荷木林(0.852)次之,而豆科林最低(0.689)。 DG 指数和 DIC 指数均以荷木林为最高。豆科林的 DG 指数高于针叶林,但 DIC 指数仍然低于针叶林。这一方面是因为在荷木林和针叶林内蚯蚓种数较豆科林为多,另一方面也与各指数的适用条件或局限性有关。 H' 指数着重于群落中种间的关系, DG 等指数则着重于群落间的比较,即群落的总体水平。当群落中有一些种类的数量过大时, H' 值即下降^[14];当一个群落中各个类群的生物量都达到最高(与其他群落同类群比较)时,这个群落的 DG 指数和 DIC 指数最大^[8]。豆科林中寒蛭蚓个体数为该林蚯蚓总数的79.7%,高于荷木林的71.4%和针叶林的73.8%;故其 H' 指数相对低些。荷木林和针叶林内都有两个特有种,其 DG 指数和 DIC 指数自然也就跟着变大。

引入相对频数 E_i/E 前,豆科林、荷木林和针叶林的 DG 指数和 DIC 指数分别为:0.78、1.172、0.957和0.86、1.336、1.107,都以豆科林为最低。显然,未引入频数 E_i/E ,荷木林和针叶林中的偶见种在群落中的重要性被夸大了。频数 E_i/E 的引入,使豆科林蚯蚓群落多样性相对变大,使荷木林和针叶林的群落多样性相对减小,较客观地描述了偶见种对群落多样性的影响。

3.3 3种林型下蚯蚓群落个体数和生物量的季节变化比较

蚯蚓个体数和生物量方差分析的结果(表3)表明,蚯蚓群落个体数(或生物量)在3种林型下的季节变化趋势基本一致,但不同步。蚯蚓个体数季节变化在各林型间有差异,按变异大小,针叶林>豆科林>荷木林;林型之间,豆科林与针叶林差异极显著($p=0.000$),荷木林与针叶林间也有显著差异($p=0.023$),而豆科林与荷木林间差异不明显($p=0.097$)或是被季节变化或取样过程引起的差异所掩盖。蚯蚓生物量季节变异大小则为:豆科林>荷木林>针叶林;林型之间,荷木林与针叶林蚯蚓生物量差异显著($p=0.017$),豆科林与荷木林($p=0.150$)及针叶林($p=0.313$)之间均无显著差异,或是已被季节变化或取样过程引起的差异所掩盖。从图1可以看出,荷木林蚯蚓个体数变化走势最为平缓。2000年5月底至8月初,蚯蚓数量除在7月有些下降外,总体上有所升高,于8月上旬达到第一个高峰。其后有一个较长期的下降过程,至2001年2月中旬达到最低点,此后蚯蚓数量开始明显回升,至4月初达最高峰。豆科林和针叶林变化较一致。蚯蚓数量在2000年5月都有所下降,波动一两次后于同年9月中旬达到第1个最低点,继而又都出现1个波峰,于翌年1月份月上旬到达第2个低点,此后蚯蚓数明显回升,于4月底达最高。如图2所示,针叶林蚯蚓生物量变化走势最为平缓。从2000年5月底至2001年3月末,生物量均无大的变化,只出现3个小波谷(6、9、3月份),于3月下旬达最低点。此后,生物量快速回升,至2001年4月底达最高。豆科林和荷木林蚯蚓生物量的变化较一致。都是在第1年的7、8月份达到第1个高峰,经历一个相对平缓期(9月至翌年3、4月份)后开始明显回升,至4、5月份达最高。

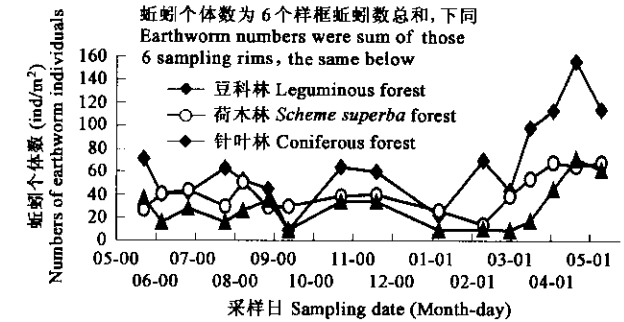


图1 鹤山3林型蚯蚓个体数季节变化比较

Fig. 1 The comparison of seasonal change of numbers of earthworm individuals among three plantation forests in Heshan

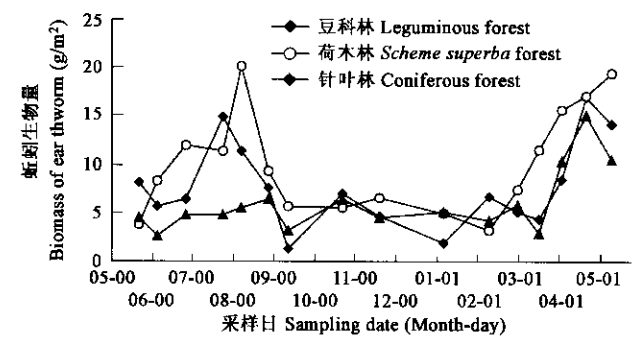


图2 鹤山3种典型林型下蚯蚓生物量变化比较

Fig. 2 The comparison of seasonal changes of earthworm biomass among three plantation forests in Heshan

3.4 寒蛭蚓种群的变化

寒蛭蚓种群个体数和生物量的季节变化与整个蚯蚓群落的变化趋势十分相似,但变化曲线没有后者平缓(图3、图4)。表4中变异系数的值明显大于表3中的变异系数值也说明,单考虑寒蛭蚓,蚯蚓的季节变化要明显的多。各林型内寒蛭蚓个体数和生物量对环境季节变化的反应也与整个蚯蚓群落的反应不尽相同。寒蛭蚓种群个体数的季节变异(CV)与总体蚯蚓群落个体数变化趋势一致:针叶林>豆科林>荷木林;然而其生物量的季节变异(CV)与群落总体生物量变化相反:针叶林>荷木林>豆科

林.说明在这 3 种林型内蚯蚓生物量的季节变异受寒蛭蚓以外的蚯蚓种类生物量季节变化的控制.寒蛭蚓个体数仅在豆科林和针叶林间有显著差异($p=0.002$),豆科林和荷木林($p=0.172$),荷木林与针叶林($p=0.054$)间差异均不显著或已被季节变化或实验过程引起的组内误差所掩盖;寒蛭蚓生物量在豆科林与针叶林($p=0.029$),荷木林与针叶林($p=0.033$)间有显著差异,而在豆科林与荷木林($p=0.946$)间差异不明显或已被季节变化或实验过程引起的组内误差所掩盖。

表 3 鹤山 3 种林型下蚯蚓个体数和生物量季节变化方差分析结果比较 *

Table 3 Comparison of the results of one-way ANOVA analysis for the seasonal change of earthworm numbers and biomass in three plantation forests in Heshan

项目 Item	平均值(±标准误) Mean (± Standard error of Mean)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	显著性概率 Significance probability
蚯蚓个体数 Numbers of earthworm individuals (ind/m ²)				
豆科林 Leguminous forest	1.7448±7.429×10 ⁻²	0.2972	0.1703	0.000(a)
荷木林 <i>Scheme superba</i> forest	1.5855±4.561×10 ⁻²	0.1824	0.1150	0.023(b)
针叶林 Coniferous forest	1.3634±7.499×10 ⁻²	0.2999	0.2198	0.097(c)
蚯蚓生物量 Earthworm biomass(g/m ²)				
豆科林 Leguminous forest	2.6759±0.2063	0.8253	0.0771	0.313(a)
荷木林 <i>Scheme superba</i> forest	3.0742±0.2143	0.8571	0.0697	0.017(b)
针叶林 Coniferous forest	2.3982±0.1497	0.5987	0.0624	0.150(c)

* 数据经过标准化转换后所得统计结果 a 豆科林与针叶林,b 荷木林与针叶林,c 豆科林与荷木林 The data in the table were normalized before statistical analysis (a) Leguminous forest, (b) Coniferous forest, (c) *Scheme superba* forest

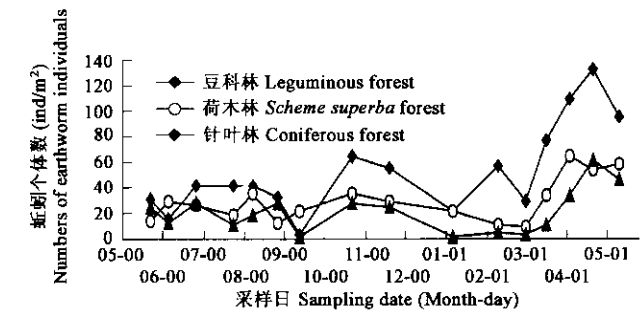


图 3 鹤山 3 种林型下寒蛭蚓个体数季节变化比较

Fig.3 The comparison of seasonal changes of numbers of *Ocnodrilus occidentalis* Eisen among three typical forests in Heshan

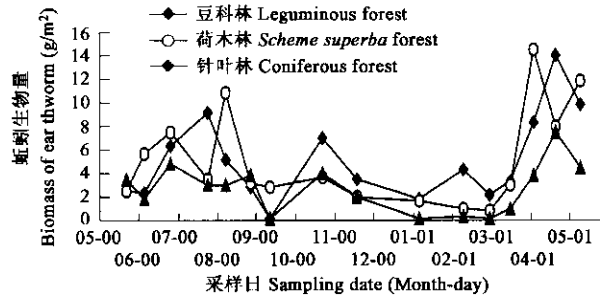


图 4 鹤山 3 种林型下寒蛭蚓生物量季节变化比较

Fig.4 The comparison of seasonal changes of biomass of *Ocnodrilus occidentalis* Eisen among three plantations in Heshan

表 4 鹤山 3 种林型下寒蛭蚓(*Ocnodrilus occidentalis* Eisen)个体数和生物量季节变化方差分析结果比较 *

Table 4 Comparison of the results of one-way ANOVA analysis for the seasonal change of (*Ocnodrilus occidentalis* Eisen) numbers and biomass in three plantations in Heshan

项目 Item	平均值(±标准误) mean(±Standard error of mean)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	显著性概率 Significance probability
蚯蚓个体数 Numbers of individuals (ind/m ²)				
豆科林 Leguminous forest	1.6021±9.877×10 ⁻²	0.3951	0.2466	0.002(a)
荷木林 <i>Scheme superba</i> forest	1.4053±6.351×10 ⁻²	0.2540	0.1807	0.054(b)
针叶林 Coniferous forest	1.1252±0.1280	0.5118	0.4549	0.172(c)
蚯蚓生物量 Biomass(g/m ²)				
豆科林 Leguminous forest	2.1308±0.2061	0.8245	0.3869	0.029(a)
荷木林 <i>Scheme superba</i> forest	2.1113±0.2187	0.8748	0.4143	0.033(b)
针叶林 Coniferous forest	1.4799±0.1840	0.7361	0.4974	0.946(c)

* 此表为数据经过标准化转换后所得统计结果, (a)豆科林与针叶林, (b)荷木林与针叶林, (c)豆科林与荷木林 The data in the table were normalized before statistical analysis (a)Leguminous forest, (b) Coniferous forest, (c) *Scheme superba* forest

4 讨论

土壤环境的变化直接影响着土壤动物的种群结构及个体数量^[15],蚯蚓也不例外。蚯蚓群落个体数量表现出相当大的时空异质性,若条件趋好,它的平均密度和生物量可以从少于 10 个和 1g/m² 增加到超过 1,000 个和 200g/m²^[16]。与蚯蚓生长关系密切的土壤性质主要有土壤湿度、土壤温度、pH、土壤质地及土壤有机质含量^[16]。

这些环境因素对蚯蚓个体数和生物量的影响有一定的规律(表 1、表 2)。在 3 片人工林中,蚯蚓群落总个体数:豆科林>荷木林>针叶林,豆科林的蚯蚓个体数几乎是后两者的总和。这可能与豆科林土壤中储备了更多的有机质和氮素有关。但是,蚯蚓的总生物量却是:荷木林>豆科林>针叶林,并不以豆科林为最。荷木林土壤平均含水量和土壤均温都较豆科林为高且季节变异很小,一些体型大的种类在群落中占的比例明显增大了,其他种类的个体重量也比豆科林和针叶林的大。可见,水热条件的不同,是导致 3 个样地蚯蚓数量变化不一致的重要原因。

4.1 土壤性质和空气相对湿度对蚯蚓生物量和个体数的影响

土壤含水量和土壤温度对土壤动物有重要的影响^[10]。水分占蚯蚓体重的 70%~90%,防止身体过度失水对蚯蚓的生存至

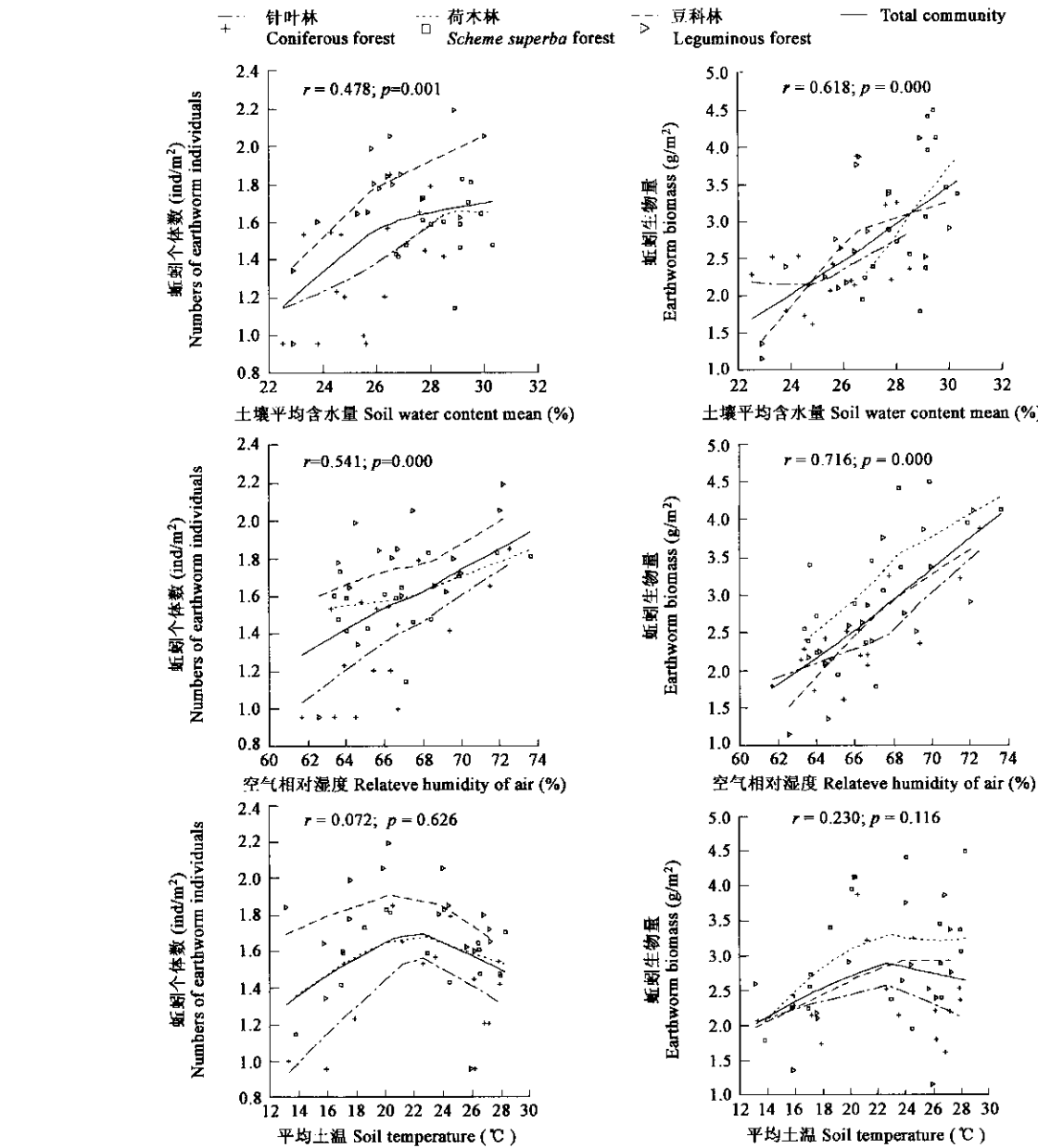


图 5 鹤山 3 种典型林型下蚯蚓个体数(ind/m²)和生物量(g/m²)与空气相对湿度(%),土壤水分含量(%)及土壤温度(°C)相关分析

Fig. 5 Correlation between earthworm density or biomass(fresh weight) and air relative humidity, mean soil water content or mean soil temperature in three plantations in Heshan

关重要^[17]。在湿润的土壤中,蚯蚓的活动能力明显增强,土壤过于干燥,蚯蚓既进入休眠或滞育状态,甚至死亡^[18]。温度超过一定限度,也会引起蚯蚓的死亡^[19],土壤湿度和温度往往共同影响蚯蚓活动^[20],蚓茧的产生和生长和温度、湿度有很好的相关性^[21]。为了切实了解土壤含水量、土壤平均温度及空气相对湿度对蚯蚓生物量和个体数的影响,对它们分别进行了简单的线性相关分析(图 5)。结果,在区间 60%~74%内,蚯蚓个体数与空气相对湿度显著相关($r=0.541$; $p=0.000$),蚯蚓生物量与空气相对湿度亦显著相关($r=0.716$; $p=0.000$);在区间 22%~32%内,蚯蚓个体数与土壤平均含水量显著相关($r=0.478$; $p=0.001$),蚯蚓生物量与土壤含水量亦显著相关($r=0.618$; $p=0.000$),但当含水量超过一定值时,蚯蚓个体数不再增加甚至有减少的趋势;虽然蚯蚓个体数和生物量与土壤平均温度均无显著相关,但是,当土壤平均温在 20~22℃左右,蚯蚓个体数最高;当土壤平均温在 23~25℃左右时,蚯蚓生物量最高。

4.2 降雨对蚯蚓群落季节变化的影响

气候的变化不仅直接影响蚯蚓自身的生物学过程,同时也间接地通过改变其生境和食物供应而产生作用^[15]。鹤山地处南亚热带,具明显的湿润季风气候,降雨是最重要的气候过程之一。Baker 在澳大利亚南部的研究表明,在当地降雨比其他的变量更能解释蚯蚓数量发生的变化^[15]。同样,从图 1、图 2 和图 6 可以确证降雨对蚯蚓群落的重要影响。2000 年 5~8 月初,蚯蚓个体数变化很小,但生物量却大幅上升。期间,雨量相对充沛,但无暴雨,蚯蚓处于快速生长期,故生物量增加。2000 年 8 月底至 9 月末,几乎没有降水,蚯蚓的个体数和生物量都降到了很低水平。到 2000 年 10 月下旬,有几次中小量降雨,蚯蚓的个体数和生物量又有所回升。翌年 3 月,雨量逐渐增加,蚯蚓的个体数和生物量均明显增加,进入又一个生长旺季。图 3、图 4 表明,寒 蚓(*Ocnodrilus occidentalis* Eisen)种群的季节变化也大体如此。

4.3 不同林型对蚯蚓群落组成和季节动态的影响

森林植被是多数土壤动物赖以生存的重要条件之一,不同的植被类型及其群落结构,使得其中的土壤动物的群落结构和数量特征产生显著的差异^[14]。针叶林内蚯蚓个体数受季节变化的影响最明显,豆科林其次,荷木林最稳定,受影响最小;当雨量充沛,环境适宜时,针叶林蚯蚓的生物量增加最少,而豆科林生物量增加最为明显。针叶林内土壤相对贫瘠,几乎无植被覆盖,保水保肥能力差,故受外界影响相对要大,而利用外界有利条件(如降雨)的能力却差。豆科林恰恰相反,除能固氮外,豆科植物的凋落物碳氮比较低,易于分解,故其土壤相对肥沃。其林内蚯蚓体小量大,当外界水热条件较好时蚯蚓很快生长,故其蚯蚓生物量增加相对明显。荷木林为乡土林,郁闭度最高,水热条件也最好,受外界环境的制约最小,故其蚯蚓群落多样性最高,群落也相对稳定,蚯蚓个体数变化最小,而生物量变化也不如豆科林大。

4.4 寒蛭蚓的繁殖期

种群重/数比值的变化可以用来研究动物种群的繁殖状况^[22]。为了增加可比较性,将各林型蚯蚓的重/数比与其生物量的平均数相除,得到的比值权且称为标准重/数比。根据标准重/数比及个体数的季节变化,可以推算出大体的种群繁殖期。豆科林、荷木林和针叶林中蚯蚓群落都以幼体为主,分别占总数的 92.8%、89.0%和 88.9%。当蚯蚓个体数明显增加时,蚯蚓很可能处于繁殖阶段。同时,当蚯蚓群落进入繁殖期时,其标准重/数比值也必然显著变小。则当标准重/数比值显著变小而蚯蚓个体数又显著增加时,蚯蚓必处于繁殖期;当标准重/数比值趋于最小时,蚯蚓处于繁殖期末;当标准重/数比值趋于升高,而蚯蚓个体数仍明显上升时,蚯蚓繁殖期和生长期重叠;当标准重/数比值趋于最大亦即幼体最少时,蚯蚓处于繁殖低谷期。

如图 3,图 7,在荷木林中,3 月下旬至 5 月上旬达到全年种群数量的最高水平,同时标准重/数比值仍处于较低水平,即种群出现大量的幼体,表明此前即进入繁殖的高峰期。6、7 月份标准重/数比升至全年最高水平,幼体比例小,而种群数量又处于较低水平,显示出繁殖水平较低。6、7 月份有较大的降雨量出现(图 6),可能对繁殖及幼体的生存有较大的影响。8、9 月份以后,标准重/数比处于最低水平,出现种群数量的回升,种群繁殖水

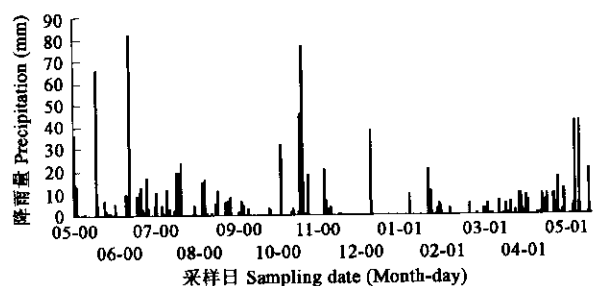


图 6 广东鹤山实验站降雨量(2000 年 5 月~2001 年 5 月)

Fig. 6 The precipitation at the experimental station of Heshan (May, 2000~May, 2001)

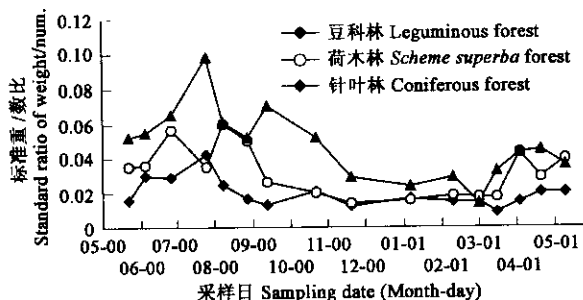


图 7 鹤山 3 种林型下寒蛭蚓标准重/数比季节变化比较

Fig. 7 The comparison of the seasonal changes of standard of ratio weight/number of *Ocnodrilus occidentalis* Eisen among three plantations in Heshan

平亦有所升高。此外,在 12 月份到翌年 2 月份期间,蚯蚓个体数和标准重/数比都处于很低的水平,显示其可能以幼体状态越冬。

表 5 鹤山 3 种林型下寒蛭蚓(*Ocnerodrilus occidentalis* Eisen)标准重/数比季节变化方差分析结果比较 *

Table 5 Comparison of the results of one-way ANOVA analysis for the seasonal change of the standard ratio between earthworm (*Ocnerodrilus occidentalis* Eisen)biomass and numbers in three forests in Heshan

标准重数比 The standard ratio of weight/num.	平均值(±标准误) Mean(±Standard error of mean)	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	显著性概率 Significance probability
豆科林 Leguminous forest	0.6087±3.398E-02	0.1359	0.2233	0.000(a)
荷木林 <i>Scheme superba</i> forest	0.6926±4.881E-02	0.1952	0.2819	0.021(b)
针叶林 Coniferous forest	0.8389±4.521E-02	0.1751	0.2087	0.171(c)

* 此表为数据经过标准化转换后所得统计结果 a 豆科林与针叶林,b 荷木林与针叶林,c 豆科林与荷木林 The data in the table were normalized before statistical analysis (a) leguminous forest, (b) coniferous forest, (c) *Scheme superba* forest

寒蛭蚓标准重/数比的季节变化按变异大小,荷木林>豆科林>针叶林。林型间,豆科林与针叶林间差异最显著($p=0.000$),荷木林与针叶林亦有显著差异($p=0.021$),而豆科林与荷木林间无显著差异($p=0.171$)或是已被季节变化或实验过程引起的组内误差所掩盖。尽管如此(表 5),3 林型内寒蛭蚓标准重/数比季节变化的总趋势仍是基本一致的(图 7),豆科林和针叶林与荷木林蚯蚓的繁殖期大体相同。鹤山蚯蚓的繁殖,主要受降雨的影响,土壤水分过多或过少,都不适宜。但水分因素并不能完全解释蚯蚓繁殖期的变化。2 月上旬,豆科林蚯蚓标准重/数比仍处于低水平,但个体数明显上升,显示蚯蚓已开始进入繁殖盛期。然而,水分条件稳定的荷木林却与针叶林一样,蚯蚓个体数并无明显增加。

References:

[1] Thibaud Decaens, Lucero Mariani, Patrick Lavelle. Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. *Appl. Soil Ecol.*, 1999, **13**:87~100.

[2] Tian G,Olimah J A,Adeoye G O,*et al.* Regeneration of earthworm populations in a degraded soil by natural and planted fallows under Humid Tropical Conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, **64**:222~228.

[3] Grizelle González, Zou X M, Alberto Sabat, *et al.* Earthworm abundance and distribution pattern in contrasting plant communities within a tropical wet forest in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, 1999, **35**:93~100.

[4] Paoletti M G,Sommaggio D,Favretto M R, *et al.* Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Appl. Soil Ecol.*, 1998, **10**:137~150.

[5] Qiao Y H, Wu W L, Xu Q, *et al.* Relationship between production and secondary succession of earthworm population in Salinity transforming region of North China——A case study in Quzhou county. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, **12**(3):414~416.

[6] Liao C H. Soil animals of tropical artificial forest ecosystem in XiaoLiang: community composition, development and function. *Tropic and Subtropical Forest Ecosystem* 1990, (7):143~146.

[7] Li J X, Liao C H, Lin S M, *et al.* Initial succession of soil animal communities under varied artificial forests. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**, (Supp. A):183~189.

[8] Liao C H, Li J X, Huang H T. Soil animal community diversity in the forest of the southern subtropical region ,China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5):549~555.

[9] Liao C H, Li J X, Yang Y P, *et al.* The community of soil animal in tropical rain forest in Jianfeng Mountain, Hainan Island, China: Relationship between seasonal change of community structure and climatic factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(1): 139~147.

[10] Yin W Y, *et al.* *Soil animals of China*. Beijing: Science Press, 2000. 92~93.

[11] Yu Z Y, Peng S L. Ecological studies on vegetation rehabilitation of tropical and subtropical degraded ecosystems. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1996. 4.

[12] Tian G, Olimah J A, and Kang B T. Regeneration of earthworm populations in a degraded soil by natural and planted fallows under humid tropical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, **64**:222~228.

[13] Li Z A, Yu Z Y, Weng H, *et al.* The relationship between the soil fertility and artificial vegetation recovery in tropics and subtropics. In: Yu Z Y, Peng S L. *Ecological studies on vegetation rehabilitation of tropical and subtropical degraded ecosystems*. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 1996. 155~171.

[14] Liao C H, Li J X. The succession and function of animal communities in the process of rehabilitation in tropical and subtropical degraded ecosystem. In: Yu Z Y, Peng S L. *Ecological studies on vegetation rehabilitation of tropical and subtropical degraded ecosystems*.

Guangzhou:Guangdong Science & Technology Press,1996. 192~214.

[15] Deng X B,Zou S Q, Fu X H,*et al.* The impacts of land use practices on the communities of soil fauna in the Xishuangbanna rainforest, Yunnan, China. *Acta Ecologica Sinica*,2003,**23**(1):130~138.

[16] Curry J P. Factors affecting earthworm abundance in soils. In:Clive A,Edwards. *Earthworm ecology*. St.Lucie Press. , 1998. 38~64.

[17] Edwards C A & Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworms* (Third edition). London: Chapman & Hall, 1996. 135.

[18] Edwards C A & Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworms* (Third edition). London: Chapman & Hall, 1996. 136.

[19] Edwards C A & Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworms* (Third edition). London: Chapman & Hall, 1996. 140.

[20] Edwards C A & Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworms* (Third edition). London: Chapman & Hall, 1996. 137.

[21] Edwards C A & Bohlen P J. *Biology and Ecology of Earthworms* (Third edition). London: Chapman & Hall, 1996. 53.

[22] Liao C H, Chen M Q, *et al.* The population and their impact on decomposition of fallen leaves of two terrestrial isopod species. *Acta Zoologica Sinica*, 1992,**38**(1):23~30.

参考文献:

[5] 乔玉辉,吴文良,徐芹,等. 华北盐渍化改造区蚯蚓种群次生演替与生产投入的关系——以河北省曲周试区为例. *应用生态学报*,2001,**12**(3):414~416.

[6] 廖崇惠. 小良热带人工林生态系统的土壤动物——群落组成、发展及其功能. *热带亚热带森林生态系统研究*,第7集,1990. 143~146.

[7] 李健雄,廖崇惠,林少明,等. 不同类型人工林土壤动物群落结构与功能研究 I. 群落的早期演替动向. *生态学报*,1995(增刊 A 辑):183~189.

[8] 廖崇惠,李健雄,黄海涛. 南亚热带森林土壤动物群落多样性研究. *生态学报*,1997,**17**(5):549~555.

[9] 廖崇惠,李健雄,杨悦屏,等. 海南尖峰岭热带林土壤动物群落——群落结构的季节变化及其气候因素. *生态学报*,2003,**23**(1):139~147.

[10] 尹文英,等. *中国土壤动物*. 北京:科学出版社,2000. 92~93.

[11] 余作岳,彭少麟. *热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究*. 广州:广东科技出版社,1996. 4.

[13] 李志安,余作岳,翁轰,等. 热带亚热带人工植被恢复与土壤肥力发育的关系. 见:余作岳,彭少麟主编. *热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究*. 广州:广东科技出版社,1996. 155~171.

[14] 廖崇惠,李健雄. 热带亚热带退化生态系统恢复过程中动物群落的演替与功能. 见:余作岳,彭少麟主编. *热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究*. 广州:广东科技出版社,1996. 192~214.

[15] 邓晓保,邹寿青,付先惠,等. 西双版纳热带雨林不同土地利用方式对土壤动物个体数量的影响. *生态学报*,2003,**23**(1):130~138.

[22] 廖崇惠,陈茂乾,等. 两种陆栖等足类的种群及其分解落叶的作用. *动物学报*,1992,**38**(1):23~30.