

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.06.9

台湾和日本拟步甲在纬度分布上的比较研究

李迪, 任国栋*

(河北大学生命科学学院, 河北省动物系统学与应用实验室, 河北保定 071002)

摘要: 台湾和日本处在不同的地理纬度上, 同属岛屿海洋性气候, 前者地域面积远小于后者, 拟步甲的物种多样性却大于后者。为弄清楚这些科学问题, 作者采用 $G-F$ 指数对从台湾到日本不同纬度梯度上的拟步甲多样性分布格局进行了比较分析, 得到如下初步结论: (1) $G-F$ 指数从大到小依次是: 台湾 ($21^{\circ}\text{N} - 25^{\circ}\text{N}$) (0.826) > 日本 ($24^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (0.824) > 日本 II 纬度区 ($30^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$) (0.792) > 日本 I 纬度区 ($24^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{N}$) (0.765) > 日本 III 纬度区 ($35^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$) (0.761) > 日本 IV 纬度区 ($40^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (0.603); (2) 台湾拟步甲属的多样性 (D_c)、族的多样性 (D_f) 和 $G-F$ 指数 (D_{G-F}) 均最高, 分别是 4.263、24.464 和 0.826; (3) 各纬度上拟步甲的物种分布情况: 台湾 ($21^{\circ}\text{N} - 25^{\circ}\text{N}$) (541 种) > 日本 ($24^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (489 种) > 日本 I 纬度区 ($24^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{N}$) (257 种) > 日本 II 纬度区 ($30^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$) (231 种) > 日本 III 纬度区 ($35^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$) (172 种) > 日本 IV 纬度区 ($40^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (60 种)。研究数据显示, $G-F$ 指数能较好地反映台湾和日本各地拟步甲族、属的多样性。其物种多样性在纬度上的分布表现为从南向北递减的趋势, 并对其基本原因进行分析。作者首次基于台湾和日本两个岛屿拟步甲物种多样性的比较分析, 对现有岛屿生物多样性的有关理论提出个人看法, 认为岛屿生物地理学的“物种-面积关系理论”中的“岛屿面积越大, 物种数量就越多”可能存在一定的局限性, 不一定能客观地反映种类众多的现生岛屿昆虫物种多样性的实际情况。

关键词: 鞘翅目; 拟步甲科; 物种多样性; 区系比较; 纬度分布; 台湾; 日本

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 06-1134-11

Comparison of darkling beetles in latitudinal distribution between Taiwan and Japan (Tenebrionidae, Coleoptera)

LI Di, REN Guo-Dong* (College of Life Sciences, Hebei University, The Key Laboratory of Invertebrate Systematics and Application of Hebei Province, Baoding 071002, Hebei Province, China)

Abstract: Taiwan and Japan are in different geographic latitudes but share the same island marine climate. The former region has a much smaller size than the latter, while has a greater species diversity of darkling beetles. To clear these scientific problems, we used $G-F$ index to compare and assess darkling beetles species diversity and distribution patterns in different latitudinal gradients among Taiwan and the regions of Japan. The preliminary results showed as followed: 1. $G-F$ index of all study regions decreased from large to small: Taiwan ($21^{\circ}\text{N} - 25^{\circ}\text{N}$) (0.826) > Japan ($24^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (0.824) > II latitude area of Japan ($30^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$) (0.792) > I latitude area of Japan ($24^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{N}$) (0.765) > III latitude area of Japan ($35^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$) (0.761) > IV latitude area of Japan ($40^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (0.603); 2. The results showed that the genus diversity (D_c), tribe diversity (D_f) and $G-F$ index (D_{G-F}) in Taiwan is the highest, 4.263, 24.464 and 0.826 respectively; 3. The quantity of species distribution of each latitude region: Taiwan ($21^{\circ}\text{N} - 25^{\circ}\text{N}$) (541 species) > Japan ($24^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (489 species) > I latitude area of Japan

基金项目: 国家自然科学基金重大项目子课题 (31093430); 河北省无脊椎动物系统学与应用实验室资助项目 (HBI2014010)

作者简介: 李迪, 女, 1989 年生, 吉林人, 硕士研究生, 昆虫系统进化方向, E-mail: ld0910217@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: gdren@hbu.cn

收稿日期: 2015-12-28; 接受日期: 2016-03-19

(24°N – 30°N) (257 species) > II latitude area of Japan (30°N – 35°N) (231 species) > III latitude area of Japan (35°N – 40°N) (172 species) > IV latitude area of Japan (40°N – 45°N) (60 species). *G-F* index can reflect the tribe diversity and genus diversity of darkling beetles among Taiwan and the regions of Japan. It has been discovered that the species diversity of latitudinal distribution showed a decreasing trend from south to north, and this analysis made the basic reasons clear. Based on the analysis of the species diversity of Taiwan and Japan, we put forward personal opinions on the theory of presented island biological diversity. The theory of the species – area relationship of island biogeography holds that the larger island has more species. This theory may have some limitations, which may not be able to explain the really situations of the extant insect species diversity objectively.

Key words: Coleoptera; Tenebrionidae; species diversity; fauna comparison; latitudinal distribution; Taiwan; Japan

地球上的生物种类从热带到两极以不对称形式分布。受纬度差异的影响,生物物种分享热量和参与生物能量转换的能力不同,表现为随纬度的增加物种多样性呈逐渐减少的趋势,通常生物群落发展时间越久的地区,其定居的物种就越多,进化出的新种也就越多。由于生物的区系多样性是进化的产物,故生物分布格局的形成与生物进化的历史紧密联系。通常生物区系的环境越复杂,提供的生态位就越多,表现出从高纬度的寒带到低纬度的热带,环境的复杂性增加,生境异质性程度也随之加强,生物区系也就越复杂,物种多样性指数也就越高,即生境复杂多样的地方,物种丰富度高;从生物的气候分布来看,适宜的气候允许较多的物种共存,稳定的气候为物种的分化创造了条件,表现为热带地区比更高纬度的地区经历了更高的物种形成速度或更低的物种灭绝速率,拥有更多的物种;生物环境不同影响其物种多样性的形成和生态分布的宽度;从生境角度来看,它影响物种之间的竞争和生态位的分割,故生物分布的纬度不同,其食物能量的分配限制其物种的丰富度。学术界对这方面的研究,大多基于哺乳动物,很少涉及物种数量庞大的昆虫。

本文以昆虫纲中比较大型的类群——拟步甲科 Tenebrionidae 为研究对象,通过对其在台湾和日本的物种多样性比较分析,试图对该类群在地域和纬度上的分布有所认识和诠释。

首先看台湾和日本的地理位置。台湾位于中国东南沿海的大陆架上,地处西太平洋群岛的枢纽地带,是中国的第一大岛,纬度跨越约 5°。受地壳变动与造山运动影响,台湾形成了复杂多样的地形,包括山地、丘陵、盆地、平原、台地等五大地形。其四面环海,海洋性季风作用加强,

又因北回归线穿过台湾岛中部的嘉义县及花莲县,将台湾分割为北部的亚热带东北季风和南部的热带西南季风两大气候区,中部则为这两种气候区的过度地带。冬季温暖,夏季炎热,雨量充沛,是我国降水量最多的地方之一。台湾特殊的地理位置和久远的地质演化历史为昆虫多样性的产生创在了绝佳条件,成为拟步甲等昆虫丰富多样性形成的天堂。日本位于亚欧大陆东部、太平洋西北部,以山多岛多著称。地形以山地和丘陵为主,平原狭小。气候以温带和亚热带季风气候为主,北海道与本州的东北地区、高原地带属温带季风气候区,本土大部地区及冲绳等南方诸岛则为亚热带季风气候区。气候温和、四季分明,降水充沛,具有海洋性典型特征。日本全国横跨纬度近 25°,南北气温差异十分显著。

台湾和日本同处一个岛链,但纬度差别相对较大。前者位于北纬 21°至北纬 25°之间,后者位于北纬 24°至北纬 45°之间,两地相差近 25°。这两个地区拟步甲的物种多样性在不同纬度上或在地理上跨越性分布的异质性和特殊性有哪些呢?台湾的区域面积明显小于日本,但为何拥有比日本丰富的拟步甲昆虫种类?本文采用 *G-F* 指数对台湾与日本各岛的拟步甲多样性进行比较研究,以便从中寻找相关证据,并对有关问题做出比较合理地解释。

1 材料与方法

1.1 数据统计

台湾、日本拟步甲的种类统计主要来自 Löbl & Smetana (2008) 和 *Zoological Record* 等相关文献及著作,也参考了学者近期发表的作品;分类参考

Bouchard 等 (2011) 的体系编排, 分别形成完整的台湾和日本拟步甲系统分类名录。到目前为止, 台湾拟步甲已知 6 亚科 29 族 134 属 541 种 (亚种), 日本拟步甲已知 7 亚科 31 族 118 属 489 种 (亚种)。

1.2 纬度区划分

根据日本拟步甲的地理分布信息, 应用 Arc GIS 10.2 和 DIVA-GIS 7.5.0 软件绘得日本拟步甲各属的地理分布图 (图 1)。从图 1 中可以大致看出日本拟步甲物种随纬度增加有减少的趋势, 又由于台湾与日本纬度差别相对较大, 因此作者将日本以每 5° 划分为一个纬度区, 规定如下: 日本 I 纬度区 (24°N - 30°N)、日本 II 纬度区 (30°N - 35°N)、日本 III 纬度区 (35°N - 40°N)、日本 IV 纬度区 (40°N - 45°N); 台湾纬度跨越约 5°, 在这里不做划分, 以整体考虑。通过计算 $G-F$ 指数比较台湾和日本两个地区的拟步甲物种多样性。

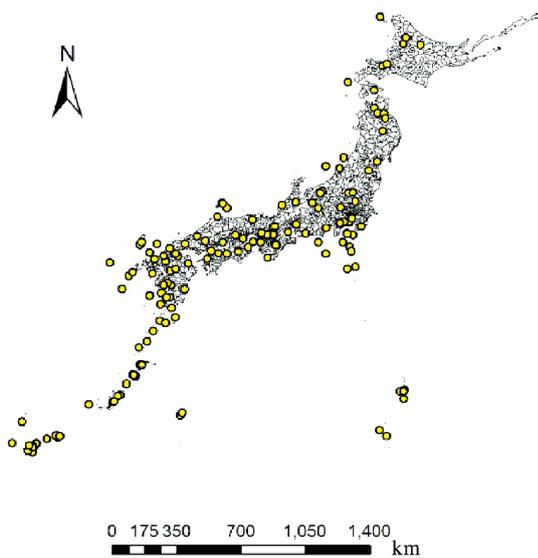


图 1 日本拟步甲的地理分布

Fig. 1 Distribution of the darkling beetles of Japan

1.3 统计方法

采用蒋志刚和纪力强 (1999) 提出的基于信息测度的 Shannon-Wiener 指数物种多样性测度 $G-F$ (genus-family index) 指数方法, 分析不同分布地区拟步甲物种的多样性。分析对象为科内族、属级分类阶元的多样性, D_C 是 D_F 次一级分类阶元的多样性, 依次计算属的多样性 D_C 、族的多样性 D_F 以及标准化的 $G-F$ 指数。

F 指数 (族的多样性):

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk}$$

其中, D_{Fk} 为 k 族中的物种多样性, 其计算公式为:

$$D_{Fk} = \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

其中: p_i 为群落中 k 族 i 属中的物种数占 k 族物种总数的比值, 公式为 $p_i = S_{ki}/S_k$, S_k 为 k 族中的物种数, S_{ki} 为 k 族 i 属中的物种数, n 为 k 族中的属数, m 为科级单元的族数。

G 指数 (属的多样性):

$$D_G = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j$$

其中: q_j 为科级单元中 j 属的物种数与总的物种数之比, 公式为 $q_j = S_j/S$, S 为科级单元的物种数, S_j 为科级单元中 j 属的物种数, p 为科级单元中的属数。

$G-F$ 指数:

$$D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F}$$

并规定: 如果该地区仅有 1 个物种, 或仅有几个分布在不同族的物种, 则定义该地区 $G-F$ 指数为零, 即 $D_{G-F} = 0$ 。

用 Jacard 相似性系数来衡量不同地区的相似程度。其公式为:

$$S_j = c / (a + b - c)$$

其中: S_j 为两地理单元的相似性系数, c 为两地共有属数, a 为 A 地属数, b 为 B 地属数。

2 结果与分析

2.1 物种组成

对 2015 年 10 月为止掌握的相关文献资料进行整理, 分别得到台湾和日本的拟步甲种类组成数量, 前者 541 种 (亚种), 隶属于 6 亚科 134 属 29 族 (表 1), 其物种组成上从多到少依次是: 树甲亚科 Stenochiinae 196 种 (36.23%) > 拟步甲亚科 Tenebrioninae 159 种 (29.39%) > 菌甲亚科 Diaperinae 89 种 (16.45%) > 朽木甲亚科 Alleculinae 47 种 (8.69%) > 伪叶甲亚科 Lagriinae 48 种 (8.87%) > 三叶甲亚科 Phrenapatinae 2 种 (0.37%); 后者 489 种 (亚种), 隶属于 7 亚科 118 属 31 族 (表 2), 其物种组成上从多到少依次是: 拟步甲亚科 Tenebrioninae 167 种 (34.08%) > 树甲亚科 Stenochiinae 116 种 (23.67%) > 菌甲亚

科 Diaperinae 97 种 (19.80%) > 朽木甲亚科 Alleculinae 58 种 (11.84%) > 伪叶甲亚科 Lagriinae 45 种 (9.18%) > 三叶甲亚科 Phrenapatinae 5 种 (1.02%) > 漠甲亚科 Pimeliinae 2 种 (0.41%) 。由上述数据可知, 台湾的拟步甲组成以树甲亚科和拟步甲亚科占比较明显的优势, 日本的则以拟步甲亚科占优势 (图 2、图 3) 。

表 1 台湾拟步甲的属、种组成

Table 1 Genera and species composition of darkling beetles from Taiwan

亚科 Subfamilies	族 Tribes		属 Genera		种 Species	
	百分比 (%)	数量 (个)	百分比 (%)	数量 (个)	百分比 (%)	数量 (个)
	Percentage	Quantity	Percentage	Quantity	Percentage	Quantity
伪叶甲亚科 Lagriinae	4	13.79	19	14.18	48	8.87
三叶甲亚科 Phrenapatinae	1	3.45	2	1.49	2	0.37
拟步甲亚科 Tenebrioninae	13	44.83	43	32.10	159	29.39
朽木甲亚科 Alleculinae	2	6.90	10	7.46	47	8.69
菌甲亚科 Diaperinae	7	24.13	21	15.67	89	16.45
树甲亚科 Stenochiinae	2	6.90	39	29.10	196	36.23
合计 Summation	29	100	134	100	541	100

表 2 日本拟步甲的属、种组成

Table 2 Genera and species composition of darkling beetles from Japan

亚科 Subfamilies	族 Tribes		属 Genera		种 Species	
	百分比 (%)	数量 (个)	百分比 (%)	数量 (个)	百分比 (%)	数量 (个)
	Percentage	Quantity	Percentage	Quantity	Percentage	Quantity
伪叶甲亚科 Lagriinae	3	9.68	11	9.32	45	9.20
三叶甲亚科 Phrenapatinae	2	6.45	3	2.54	5	1.02
漠甲亚科 Pimeliinae	1	3.22	1	0.85	2	0.41
拟步甲亚科 Tenebrioninae	13	41.94	46	38.98	167	34.16
朽木甲亚科 Alleculinae	2	6.45	10	8.47	58	11.86
菌甲亚科 Diaperinae	8	25.81	24	20.34	96	19.63
树甲亚科 Stenochiinae	2	6.45	23	19.50	116	23.72
合计 Summation	31	100	118	100	489	100

2.2 区系特征

Holt 等 (2013) 将全球动物地理分成 11 个界, 张荣祖 (2011) 将中国动物地理区划分为 7 个区。按照上述观点, 台湾隶属于东洋界华南区, 拟步甲的区系成分东洋界和华南区性质突出。中日界囊括地域广大的中国华中区、华北区、西南区、青藏区和东北区, 也包括日本全境。故台湾拟步甲区系组成表现出以中日界 + 东洋界为主体, 共计 117 属, 占已知总属数的 87.31% (附表 1); 日本隶属于中国日本界, 处于古北界和东洋界的

过渡地带, 其拟步甲组成也表现出以中日界 + 东洋界为主体, 共计 107 属, 占已知总属数的 90.68% (附表 2) 。两地拟步甲均表现出以中日界物种和东洋界物种相互渗透的区系特征。

2.3 纬度分布

台湾和日本纵跨近 25 个纬度, 其中台湾占 5 个纬度, 日本占 20 个纬度。以每 5° 为 1 个单位, 比较其由南向北各纬度上拟步甲的物种分布情况, 得出以下基本数据 (表 3), 台湾 (21°N - 25°N) (541 种) > 日本 (24°N - 45°N) (489 种) > 日本

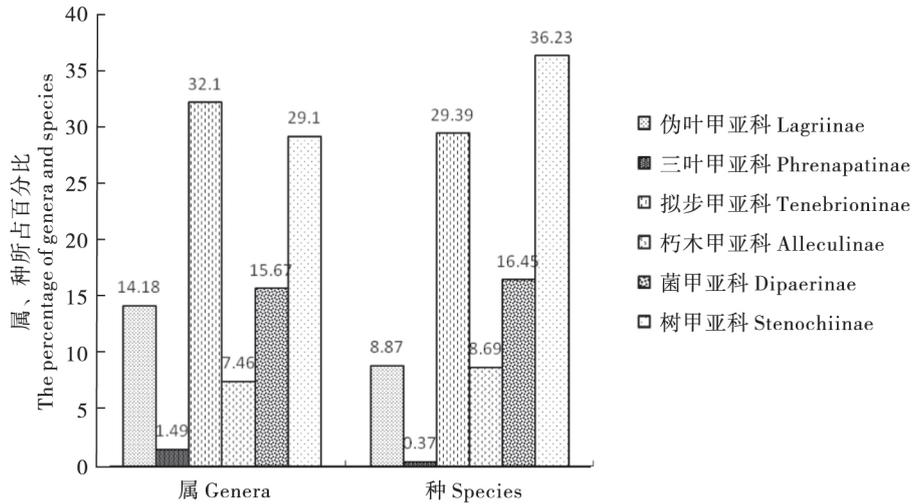


图2 台湾拟步甲优势科的属、种比较

Fig. 2 Comparison on the number of genera and species in dominant of darkling beetles in Taiwan

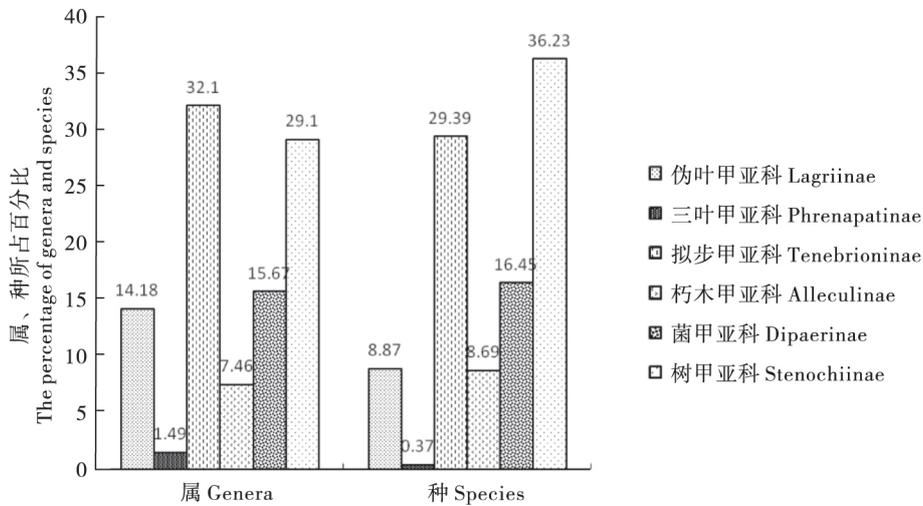


图3 日本拟步甲优势科的属、种比较

Fig. 3 Comparison on the number of genera and species in dominant of darkling beetles in Japan

I 纬度区(24°N - 30°N) (257 种) > 日本 II 纬度区(30°N - 35°N) (231 种) > 日本 III 纬度区(35°N - 40°N) (172 种) > 日本 IV 纬度区(40°N - 45°N) (60 种)。从中看出, 拟步甲的物种多样性分布表现为从低纬度向高纬度递减的趋势, 即随着纬度由南向北的变化, 其物种数量呈现出逐步有规律减少的趋势, 台湾地理位置偏南, 仅纵跨 1 个纬度区(21°N - 25°N), 日本则纵跨 4 个纬度区(24°N - 45°N), 两者的拟步甲物种数量相差 52 种, 即低纬度的台湾比高纬度的日本多 52 种; 日本境内的拟步甲随其从南向北 4 个纬度区的变化也表现出明显的物种数量变化, 纬度每增加 5 度, 拟步甲的物种数量就接近成倍地减少, 如

(30°N - 35°N) 纬度区比 (24°N - 30°N) 纬度区减少 26 种; (35°N - 40°N) 纬度区比 (30°N - 35°N) 纬度区减少 59 种; (40°N - 45°N) 纬度区比 (35°N - 40°N) 纬度区减少 112 种; 日本拟步甲物种数量从最南部的 I 区到最北部的北海道(IV 区) 减少了 197 种, 仅有 60 种。表明台湾和日本的拟步甲物种数量分布表现为由低纬度的热带或偏热地区向高纬度的寒冷或偏冷地区呈现明显减少的趋势, 其 21°N 至 25°N 是该类群物种数量最为丰富的地区, 进一步说明低纬度地区比高纬度地区为拟步甲科昆虫多样性的形成提供了更加优越的自然条件。

2.4 物种多样性

为更好的分析台湾地区与日本各地区拟步甲

的物种多样性, 我们通过计算其 $G-F$ 指数用以比较和分析。计算数据显示 (表 3), 地域狭小和地理纬度偏南的台湾与地域面积相对广大和纬度跨度较大的日本相比, 拟步甲的物种多样性 ($G-F$ 指数) 呈现随纬度由南向北移动, 表现出比较明显的变化, 其 $G-F$ 指数由高到低依次为: 台湾 ($21^{\circ}\text{N} - 25^{\circ}\text{N}$) (0.826) > 日本 ($24^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (0.824) > 日本 II 纬度区 ($30^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$) (0.792) > 日本 I 纬度区 ($24^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{N}$) (0.765) > 日本 III 纬度区 ($35^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$) (0.761) > 日本 IV 纬度区

($40^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (0.603)。同样, 比较台湾与日本各地区拟步甲属级阶元的相似性系数也表现出明显的一致性 (表 3), 即日本 I 纬度区 ($24^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{N}$) (0.517) > 日本 II 纬度区 ($30^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$) (0.444) > 日本 III 纬度区 ($35^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$) (0.362) > 日本 IV 纬度区 ($40^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) (0.172)。从中看出, 两地的拟步甲物种多样性指数随纬度由低向高增加, 均呈现递减趋势。从它们的相似性系数比较看, 日本各地区由南向北随纬度增加表现出与台湾拟步甲相似程度减小的趋势。

表 3 台湾与日本拟步甲多样性指数比较

Table 3 Comparison on darkling beetles diversity index between Taiwan and Japan

	种数 Species	总属数 Total Genera	共有属数 Mutual Genera	相似性系数 Similarity coefficient	F 指数 F -index	G 指数 G -index	$G-F$ 指数 $G-F$ index
台湾 Taiwan	541	134	-	-	24.464	4.263	0.826
日本 Japan	489	118	88	0.537	23.874	4.210	0.824
日本 I 纬度区 ($24^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{N}$) I latitude area of Japan	257	86	75	0.517	17.188	4.047	0.765
日本 II 纬度区 ($30^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$) II latitude area of Japan	231	87	68	0.444	19.360	4.027	0.792
日本 III 纬度区 ($35^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$) III latitude area of Japan	172	73	55	0.362	16.392	3.920	0.761
日本 IV 纬度区 ($40^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$) IV latitude area of Japan	60	36	25	0.172	8.558	3.400	0.603

2.5 地域面积与物种多样性

与东亚其他国家和地区相比, 台湾和日本拟步甲的物种“本底”知道的颇为详尽, 均主要由日本学者历时 50 多年调查研究所致。台湾的面积不足日本国土的 1/10, 但已记录的拟步甲物种多达 541 种 (亚种), 超过后者 (已知 489 种 (亚种)) 52 种, 相当于台湾平均每 1000 km^2 15 种, 而日本每 1000 km^2 1 种。由此看出, 完全隶属于东洋区的台湾是拟步甲的盛产地, 并且仅分布于本地的特有属 7 个, 特有种 249 个, 占该科已知总种数的 46%。

3 结论与讨论

台湾和日本都是岛屿海洋特性气候比较明显的地区, 它们彼此处在不同的地理纬度上, 其环

境均在海洋单一性气候作用下形成。按照岛屿生物地理学的“物种-面积关系理论”(MacArthur & Wilson, 1967): 岛屿面积越大, 物种数量就越多, 岛屿面积每增加 10 倍, 岛屿物种数量就增加 1 倍。该理论对于昆虫这样数量庞大的生物类型是否合适值得商榷, 似乎比较适用于植物和大型动物的区系。从台湾和日本拟步甲物种多样性来看, 台湾的地域面积远远小于日本, 前者仅占后者不到 1/10, 但它所拥有的拟步甲物种多样性却远大于后者, 前者与后者各有拟步甲 541 种和 489 种, 该结果似乎不支持上述理论观点。台湾处在东洋区的东北缘, 其拟步甲的区系起源和多样性分化皆与此密切相关。全球拟步甲的生活类型主要有 2 个来源: 一个是适应于干旱环境的类型, 约占该科物种总数的 40%; 另一个是适应于热带环境的类型, 约占其总种数的 60% (任国栋和于有志,

1999)。台湾拟步甲区系几乎完全属于后一种情况,从其很高的特有种占有率(李迪和任国栋,2015)来看,拟步甲是在东洋区热带气候作用下形成的对丰富异质性环境的适应结果。而日本处在古北区的东中部边缘地带,属于东洋区的过渡地带,受古北区气候作用,拟步甲的古北区成分(64.39%),东洋区成分(90.68%)。由此看出,一类昆虫在某一地区的物种多样性丰富程度从一定角度讲,由它的区系性质和环境异质性所决定,而不取决于它的地域面积大小。

从本文的初步研究结果可以看出,台湾和日本的拟步甲物种多样性从南部热带向北部温带以不对称形式分布,受纬度差异的影响,不同分布区拟步甲分享不同纬度的热量,参与生物能量转换的能力均不同,它们的物种多样性随纬度的增加呈递减趋势。这两个地区差不多都是在数百万年前从欧亚联合大陆脱离出去,分别形成了日本岛和台湾岛上的土著动物;两个地区拟步甲物种数量存在的差异,与它们从欧亚大陆剥离时带去了不同数量的定居种有关,在其逐渐适应新环境的演进中,自然选择压力促使它们分化出了较多的新物种,形成了彼此丰富的岛屿特有种。由此推测,两个岛屿物种多样性及其分布格局的形成是长期历史进化的产物。与日本岛相比,台湾偏南的纬度使生物环境变得相对复杂,为拟步甲类昆虫提供了更多的生态位。日本岛从北部高纬度寒冷气候向南变为低纬度的温暖气候,在毗邻东洋区时生境的复杂性逐步增加,环境异质性程度也随之加强,拟步甲物种多样性指数越发增高。从气候分布来看,适宜的气候允许较多的拟步甲物种共存,稳定的气候为该类昆虫的物种分化创造了条件,表现为热带地区比高纬度地区有更高的物种形成速度或更低的物种灭绝速率,故拥有比较复杂的物种相。从台湾和日本两个地域拟步甲物种分布的宽度来看,尽管两地的土地面积都不很大,但很少有广布于它们整个地区的物种,说明这两个地区的生物环境错综复杂,影响了其物种多样性形成及其生态分布的宽度。

生境的复杂性影响物种之间的竞争及其生态位的分化。从台湾和日本拟步甲分布的不同纬度来看,它们实际上在不同维度上获得食物能量的分配有很大区别,这又限制了拟步甲类昆虫物种在不同纬度上分布的丰富度,使物种在纬度分布上呈现明显的两极分化。

物种地理分布格局是宏观生态学和生物地理学的核心问题之一(罗振华等,2011)。杨道德等(2009)认为, $G-F$ 指数能总结动物区系中物种组成信息,能反映较长时间内一个地区的物种多样性,用于评价物种多样性将更为客观全面。看 $G-F$ 指数测度首先要分别计算属间多样性(D_G)和族间多样性(D_F),再用 D_G 和 D_F 的比值计算得出 D_{G-F} 值(蒋志刚和纪力强,1999)。通常 D_F 值越高或 D_G 值越低, D_{G-F} 值就越高。族内物种数越多,其在属间的分布就越均匀, D_F 值也就越高。在目前已有的研究工作中, $G-F$ 指数主要用于鸟、兽物种多样性的分析,本文将这种思路用于评价拟步甲的物种多样性分析是个初步尝试。台湾和日本的 G 指数差异较小,而 F 指数差异较大(表3)。在所有分析对象中,台湾拟步甲的 G 指数、 F 指数和 $G-F$ 指数均最高,这与其拟步甲的物种数最多是一致的。台湾与日本I纬度区($24^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{N}$)毗邻,二者的拟步甲在属级阶元的相似程度最高,这可能与它们地理位置较接近相关。日本I纬度区虽处于较低纬度,但其中的琉球群岛及小笠原群岛等周围多为水域,且各岛屿较分散,这可能是造成其 $G-F$ 指数较日本II纬度区($30^{\circ}\text{N}-35^{\circ}\text{N}$)小的原因;日本II纬度区($30^{\circ}\text{N}-35^{\circ}\text{N}$)由九州地区、四国地区及本州西南地区构成,且基本全为陆地,为昆虫创造了较好的生存环境,故在日本II纬度区($30^{\circ}\text{N}-35^{\circ}\text{N}$) $G-F$ 指数较大;日本III纬度区($35^{\circ}\text{N}-40^{\circ}\text{N}$)为本州中部及东北部地区,其 G 指数、 F 指数和 $G-F$ 指数适中;日本IV纬度区($40^{\circ}\text{N}-45^{\circ}\text{N}$)为北海道地区,其 $G-F$ 指数最低,仅为0.603,这与其族内属、种的分布有关,该地区的单种族较多(4族),它对 D_F 值的贡献是0,另一方面该地的族数最少(18族)。此外, $G-F$ 指数的大小也可能与该地拟步甲的考察程度有关,随着日后区系分类研究的深入,现有结果可能会发生相应变化。

参考文献 (References)

- Akita K, Masumoto K. New or little-known tenebrionid species from Japan (Part 4) [J]. *Entomological Review of Japan*, 2003, 58 (2): 173-182.
- Akita K, Masumoto K. New or little-known tenebrionid species from Japan (7). Revisional study of *Borboressthes* (Tenebrionidae: Alleculinae) species from the Ryukyu Islands [J]. *Entomological Review of Japan*, 2008, 63 (2): 109-120.
- Akita K, Masumoto K. New or little-known tenebrionid species from

- Japan (8). Two new species from the Danjo-guntō and Ryukyu Islands [J]. *Entomological Review of Japan*, 2009, 64 (1): 77–82.
- Akita K, Masumoto K. New or little-known tenebrionid species from Japan (9). Two new species and a new distribution record from Japan [J]. *Entomological Review of Japan*, 2009, 64 (2): 247–253.
- Akita K. New or little-known tenebrionid species (Coleoptera) from Japan (10). Four new species and a new distribution record from Japan [J]. *Special Publication of the Japan Society Scarabaeoidology, Tokyo*, 2011, 1: 271–284.
- Akita K, Masumoto K. New or little-known tenebrionid species from Japan (11) [J]. *Elytra*, 2011, 1 (2): 275–294.
- Akita K, Masumoto K. New or little-known tenebrionid species from Japan (12). A revisional study of the genus *Byrsax* Pascoe (Tenebrionidae, Tenebrioninae, Bolitophagini) [J]. *Japanese Journal of Systematic Entomology*, 2012, 18 (1): 57–74.
- Akita K, Masumoto K. New or little-known tenebrionid species from Japan (13). Three new tenebrionid species from Japan, and a replacement of a preoccupied name [J]. *Elytra*, 2012, 2 (2): 207–216.
- Ando K, Sakai M. A new *Tetraphyllus* from Taiwan (Coleoptera, Tenebrionidae) [J]. *Japanese Journal of Systematic Entomology*, 1999, 5 (1): 157–160.
- Ando K. A new tenebrionid beetle from Taiwan (Coleoptera, Tenebrionidae) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1984, 39 (1): 69–71.
- Ando K. Two new species of the genus *Euhemicera* Ando occurring in Taiwan (Coleoptera, Tenebrionidae) [J]. *Japanese Journal of Systematic Entomology*, 1997, 3 (1): 105–112.
- Ando K. A new *Strongylium* species (Coleoptera, Tenebrionidae) occurring in Japan [J]. *Entomological Review of Japan*, 2003, 58 (1): 7981.
- Ando K. A new genus of Tenebrionidae (Coleoptera) from Japan, with description of a new species [J]. *The Japanese Journal of Systematic Entomology*, 2003, 9 (1): 135–141.
- Ando K. A new *Ischnodactylus*-species from Japan (Coleoptera, Tenebrionidae) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1978, 32 (1/2): 81–84.
- Bouchard P, Bousquet Y, Davies AE, et al. Family-group names in Coleoptera (Insecta) [J]. *ZooKeys*, 2011, 88: 1–972.
- Chen XR, Xu DM, Bao YX, et al. Mammalian species diversity in Baishanzu National Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32 (6): 1421–1427. [陈小荣, 许大明, 鲍毅新, 等. *G-F* 指数测度百山祖兽类物种多样性 [J]. *生态学杂志*, 2013, 32 (6): 1421–1427]
- Chûjō M. Five new species of the Tenebrionidae from Japan and her adjacent regions, with a new record of *Gonocephalum coenosum* Kaszab from the Senkaku island (Coleoptera) [J]. *Esakia*, 1973, 8: 13–23.
- Chûjō M. Eine neue *Basanus*-Art aus Japan (Coleoptera, Tenebrionidae) [J]. *Kontyû (Tokyo)*, 1968, 36 (4): 398–399.
- Chûjō M, Imasaka S. Five new species of *Misolampidius* Solsky from Japan and Korea (Coleoptera, Tenebrionidae) [J]. *Esakia*, 1982, 19: 123–134.
- Chûjō M. Notes on the Japanese Tenebrionidae (Coleoptera) [J]. *Esakia*, 1985, 23: 61–66.
- Chûjō M. *Gonocephalum ficifolium*, a new species of Tenebrionidae from Japan (Coleoptera) [J]. *Esakia*, 1995, 35: 113–116.
- Holt BG, Lessard JP, Borregaard MK, et al. An update of Wallace's zoogeographic regions of the world [J]. *Science*, 2013, 339: 74–77.
- Huang ZH, Liu B. *G-F* index of reptiles in Jiangxi province [J]. *Journal of Jinggangshan University (Natural Science Edition)*, 2011, 32 (3): 124–127. [黄族豪, 刘宾. 江西省爬行动物 *G-F* 指数分析 [J]. 井冈山大学学报 (自然科学版), 2011, 32 (3): 124–127]
- Jiang ZG, Ji LQ. Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China [J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7 (3): 220–225. [蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 *G-F* 指数方法 [J]. *生物多样性*, 1999, 7 (3): 220–225]
- Kaszab Z. Tenebrioniden aus Formosa (Coleoptera) [J]. *Stettiner Entomologische Zeitung*, 1941, 102: 51–72.
- Kôno H. Einige *Alleculiden*-Arten aus Japan and Formosa (Coleoptera) [J]. *Insecta Matsumurana*, 1930, 4 (3): 95–99.
- Lewis G. On the Tenebrionidae of Japan [J]. *Annals and Magazine of Natural History*, 1894, 13 (6): 377–399.
- Li ZQ, Jiang ZG, Li CW, et al. Bird diversity and avian *G-F* index of the Laoxiancheng Nature Reserve, Shaanxi [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, 41 (1): 32–42. [李志秋, 蒋志刚, 李春旺, 等. 陕西老县城自然保护区的鸟类多样性及 *G-F* 指数分析 [J]. *动物学杂志*, 2006, 41 (1): 32–42]
- Li D, Ren GD. Diversity and faunal composition of darkling beetles (Tenebrionidae, Coleoptera) Taiwan, China [J]. *Journal of Environmental*, 2015, 37 (2): 224–233. [李迪, 任国栋. 台湾拟步甲多样性及区系研究 [J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37 (2): 224–233]
- Löbl I, Smetana A. Catalogue of Palaearctic Coleoptera, Vol. 5. Tenebrionoidea [M]. Apollo Books, Stenstrup, 2008: 105–352.
- Luo ZH, et al. Do rapoport's rule, mid-domain effect or environmental factors predict latitudinal range size patterns of terrestrial Mammals in China? [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (11): 1–9.
- MacArthur RH, Wilson E. O. The Theory of Island Biogeography [M]. Princeton: Princeton University Press, 2001.
- Masumoto K. Study of Asian *Strongyliini* (Coleoptera, Tenebrionidae) I. Six new *Strongylium* species from Thailand, Laos and Taiwan, together with a new replacement name [J]. *Elytra*, 1996, 24 (1): 131–140.
- Masumoto K. New or little-known Tenebrionidae from Formosa (I) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1981, 36 (1): 15–26.
- Masumoto K. Tenebrionidae of East Asia (III). A new genus and three new species from Taiwan [J]. *Elytra*, 1986, 14 (2): 61–68.
- Masumoto K. Tenebrionidae of Formosa (1) [J]. *Elytra*, 1981, 8 (2): 37–53.

- Masumoto K. Tenebrionidae of Formosa (2) [J]. *Elytra*, 1981, 9 (1): 15–52.
- Masumoto K. Tenebrionidae of Formosa (3) [J]. *Elytra*, 1981, 9 (2): 79–99.
- Masumoto K. Tenebrionidae of Formosa (4) [J]. *Elytra*, 1982, 10 (1): 17–32.
- Masumoto K. Tenebrionidae of Formosa (5) [J]. *Elytra*, 1982, 10 (2): 53–72.
- Masumoto K. Tenebrionidae of Formosa (6) [J]. *Elytra*, 1984, 11 (1/2): 16–24.
- Masumoto K, Nishikawa N. A revisional study of the species of the genus *Uloma* from Japan, Korea and Taiwan (Tenebrionidae, Coleoptera) [J]. *Insecta Matsumurana New Series*, 1986, 35: 17–43.
- Masumoto K. Tenebrionidae of East Asia (VIII): Three new species of *Campsiomorpha* and *Strongylium* from Taiwan [J]. *Elytra*, 1992, 20 (1): 89–94.
- Masumoto K. A new *Plesiophthalmus* species (Coleoptera, Tenebrionidae) from Taiwan [J]. *Elytra*, 2005, 33 (1): 76–78.
- Masumoto K. Study of Asian Strongyliini (Coleoptera, Tenebrionidae) XVI. Eight new *Strongylium* species from Taiwan [J]. *Elytra*, 2005, 33 (1): 193–209.
- Masumoto K. A study of the Taiwanese Lagriidae [J]. *Entomological Review of Japan*, 1988, 43 (1): 33–52.
- Masumoto K. Notes and descriptions of Japanese Tenebrionidae (I) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1981, 35 (1/2): 29–32.
- Masumoto K. Notes and descriptions of Japanese Tenebrionidae (II) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1983, 38 (1): 81–92.
- Masumoto K. Notes and descriptions of Japanese Tenebrionidae (III) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1983, 38 (2): 173–176.
- Masumoto K. Notes and descriptions of Japanese Tenebrionidae (IV) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1985, 40 (1): 21–27.
- Masumoto K. Notes and descriptions of Japanese Tenebrionidae (V) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1987, 40 (2): 87–94.
- Masumoto K. Notes and descriptions of Japanese Tenebrionidae (VI) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1993, 48 (2): 127–136.
- Masumoto K. Notes and descriptions of Japanese Tenebrionidae (VII) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1994, 49 (2): 41–46.
- Masumoto K, Akita K. New or little-known tenebrionid species from Japan (Part 1) [J]. *Entomological Review of Japan*, 2001, 56 (1): 15–22.
- Masumoto K, Akita K. New or little-known tenebrionid species from Japan (Part 2) [J]. *Entomological Review of Japan*, 2001, 56 (2): 75–79.
- Masumoto K, Akita K. New or little-known tenebrionid species from Japan (Part 3) [J]. *Entomological Review of Japan*, 2002, 57 (2): 147–153.
- Masumoto K, Akita K. New or little-known tenebrionid species from Japan (Part 5) [J]. *Entomological Review of Japan*, 2002, 57 (2): 147–153.
- Masumoto K, Akita K. New or little-known tenebrionid species from Japan (6). Two new species from Honshu and Ishigaki-jima Island [J]. *Entomological Review of Japan*, 2008, 63 (1): 35–41.
- Masumoto K, Akita K. Two New tenebrionid species from Japan [J]. *Special Publication of the Japan Coleopterological Society Osaka*, 2001, 1: 247–250.
- Masumoto K. A study of the Japanese Lagriidae [J]. *Entomological Review of Japan*, 1987, 42: 37–46.
- Miyatake M. The tribe Leiochrini of Japan (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. *Transactions of the Shikoku Entomological Society*, 1961, 7: 33–40.
- Miyatake M. Notes on the tribe bolitophagini of Japan, with the descriptions of four new genera and two new species (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. *Transactions of the Shikoku Entomological Society*, 1964, 8: 59–64.
- Nakakita T. Two new species of the genus *Addia* from Taiwan (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1987, 42: 61–64.
- Nomura S. Two new *Cteniopinus*-species from Japan and Formosa (Alleculidae) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1961, 12: 38–40.
- Nomura S, Yamazaki H. A new species and two new subspecies of the genus *Strangylium* from Japan (Tenebrionidae) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1960, 12 (1): 14–16.
- Ren GD, Yu YZ. The Darkling Beetles from Deserts and Semideserts of China [M]. Baoding: Hebei University Press, 1999. [任国栋, 于有志. 中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫 [M]. 河北大学出版社, 1999]
- Shao GZ, Peng JY, Wu WZ. Catalogue of Life in Taiwan 2010 [M]. Taiwan: Forestry Bureau, COA Press, 2010. [邵广昭, 彭镜毅, 吴文哲. 台湾物种名录 2010 [M]. 台湾: 行政院农业委员会林务局, 2010]
- Shibata T. Notes on Tenebrionidae from Taiwan and Japan, I. (Coleoptera) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1978, 32 (1/2): 19–27.
- Shibata T. Notes on Tenebrionidae from Taiwan and Japan, II. (Coleoptera) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1979, 33 (1/2): 67–73.
- Shibata T. Notes on Tenebrionidae from Taiwan and Japan, III. (Coleoptera) [J]. *Entomological Review of Japan*, 1980, 34 (1/2): 63–74.
- Zhu FS, Liao XR. Mechanism of latitudinal patterns of species diversity [J]. *Information of Science and Technology*, 2009, 11: 214–215. [朱富寿, 廖昕荣. 物种多样性纬度梯度分布格局的形成机制 [J]. 科技资讯, 2009, 11: 214–215]

附表 1 台湾拟步甲在世界动物区系中的区系组成
Attached table 1 Composition of darkling beetles from Taiwan within the world fauna

世界动物地理区系成分 Composition of the world animal geographical fauna												属数(个) Genera	占总数的 百分比(%) Percentage
古北界 Palaeartic	中日界 Sino-Japanese	东洋界 Oriental	新北界 Nearctic	澳洲界 Australian	大洋洲界 Oceanian	新热带界 Neotropical	埃塞俄比亚界 Afrotropical	马达加斯加界 Madagascan	撒哈拉-阿拉伯界 Saharo-Arabian	巴拿马界 Panamanian			
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		6	4.47
+	+	+	+	+			+	+	+			1	0.75
+	+	+	+	+			+		+			1	0.75
+	+	+	+	+					+			1	0.75
+	+	+	+				+		+			1	0.75
+	+	+	+						+			1	0.75
+	+	+	+	+	+		+		+			4	2.98
+	+	+	+	+	+		+					1	0.75
+	+	+	+	+	+				+			3	2.23
+	+	+	+	+	+							1	0.75
+	+	+	+	+	+		+		+			1	0.75
+	+	+	+	+	+		+		+			5	3.72
+	+	+	+	+	+				+			15	11.19
+	+	+	+	+	+							23	17.16
+		+					+		+			1	0.75
	+	+		+			+					1	0.75
	+	+		+					+			1	0.75
	+	+		+			+		+			1	0.75
	+	+		+								1	0.75
	+	+		+			+		+			1	0.75
	+	+		+								1	0.75
	+	+		+					+			4	2.98
	+	+		+								43	32.08
	+	+		+					+			1	0.75
	+	+		+								15	11.19
	+	+		+								134	100

合计 Summation

附表 2 日本拟步甲在世界动物区系中的区系组成
Attached table 2 Composition of darkling beetles from Japan within the world fauna

		世界动物地理区系成分 Composition of the world animal geographical fauna										属数(个) Genera	占总数的 百分比(%) Percentage
古北界 Palaeartic	中日界 Sino-Japanese	东洋界 Oriental	新北界 Nearctic	澳洲界 Australian	大洋洲界 Oceanian	新热带界 Neotropical	埃塞俄比亚界 Afrotropical	马达加斯加界 Madagascan	撒哈拉-阿拉伯界 Saharo-Arabian	巴拿马界 Panamanian			
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	8	6.77	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		4	3.38	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		3	2.54	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		4	3.38	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		17	14.41	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		19	16.10	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		3	2.54	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		8	6.77	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		25	21.19	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		1	0.85	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		10	8.47	
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		118	100	

合计 Summation