



Formosan Entomologist

Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

不同林相中金花蟲（鞘翅目：金花蟲科）物種多樣性與棲境之相關性：以溪頭自然教育園區為例

李怡儂¹、柯俊成¹、李奇峰²、楊智凱³、葉信廷^{3*}

¹ 國立臺灣大學昆蟲學系 10617 台北市大安區羅斯福路四段 113 巷 27 號

² 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組 41362 台中市霧峰區萬豐里中正路 189 號

³ 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處 55750 南投縣竹山鎮前山路一段 12 號

* 通訊作者 email: htyeh@ntu.edu.tw

收件日期：2017 年 8 月 28 日 接受日期：2018 年 1 月 8 日 線上刊登日期：2018 年 2 月 23 日

摘要

金花蟲（鞘翅目：金花蟲科）為完全植食性昆蟲，與植物關係密切且普遍存在於各種植被環境中。本研究主要目的為分析不同林相中的金花蟲物種多樣性與其棲地植被組成、環境因子之間的相關性。本試驗於國立臺灣大學實驗林管理處所轄之溪頭自然教育園區內，選定 4 條人工林穿越線（紅檜林、柳杉林、孟宗竹林和闊葉林），及 1 條原生闊葉林穿越線，每條穿越線各 500 m，從 2014 年 11 月至 2016 年 6 月，每個月採沿途掃網的方式採集樣本，而後將金花蟲挑出後鑑定至種，前經 Shannon-Wiener 多樣性指數 (H') 以及 Pielou 均勻度指數 (E) 分析，發現不同人工林中之金花蟲物種多樣性差異大，再調查 5 條穿越線的地面植被組成、平均海拔高度、全天光空域 (Whole Light Sky Space, WLS)，以及樹冠下可見天空比 (Diffuse Non-interceptance, DIFN) 等環境因子，使用重複分析 (Redundancy Analysis, RDA) 比較各林相中金花蟲多樣性與環境因子的相關性。結果顯示地面植被種類數、環境光照程度（包括全天光空域和樹冠下可見天空比）以及海拔高度均對金花蟲的群聚組成有顯著的影響。本研究證實森林生態系中的棲境因子會影響其內的金花蟲多樣性，以適當的森林撫育方式來增加人工林中的生物多樣性，是未來森林管理與經營須探討的議題。

關鍵詞：金花蟲、森林昆蟲學、物種多樣性、環境因子、森林經營。

前 言

行政院農業委員會林務局在 2014 年公布了第 4 次全國森林資源調查成果，臺灣全島森林面積約為 2,197,090 ha，佔全島土地面積約 60%。其中天然林計有 1,675,000 ha，其餘則為人工林 (339,000 ha) 及竹林 (183,000 ha)。森林生態系當中除了優

勢樹種之外，其內的灌木層植物、地被覆蓋層植物等，亦為食物網當中不可或缺的重要角色。不同森林生態系內的植群組成會影響植食性生物的存在與否，以及影響雜食及肉食性生物的物種多樣性 (Wagner, 1998; Charles and Basset, 2005; Ohsawa and Nagaike, 2006; Sen and GÖK, 2014)。生物多樣性保育是臺灣森林經營歷年來之主

要工作目標之一，林業經營活動不僅會改變植物群聚，也連帶影響了生態系中的其他生物群聚組成 (Hsieh et al., 2006; Lee et al., 2017)。

金花蟲科 (Chrysomelidae) 的昆蟲屬於完全植食性昆蟲，國外已有不少關於在不同棲地環境的金花蟲物種多樣性之相關研究，Ohsawa and Nagaike (2006) 在日本中部山區的研究結果顯示，日本落葉松 (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr) 人工林中的金花蟲物種豐富度高於原生及次生闊葉林，造林年代較久的人工林中金花蟲豐富度亦高於造林年代較短的人工林，於原生、次生天然林和人工林內皆有特定出現的金花蟲種類，在金花蟲組成與環境因子相關性的分析結果中，則發現地面植被的豐富度是影響金花蟲的物種豐富度非常重要的環境因子，寄主植物的存在與否與數量多寡更會顯著影響金花蟲個體數目，此研究認為不同森林型態及森林撫育方式均會影響棲地內植物的組成及豐富度，以及影響金花蟲群聚組成 (Ohsawa and Nagaike, 2006)。Ścibior and Dunus (2006) 和 Ścibior (2010) 在波蘭的 Kozłowiecki Landscape Park 和 Poleski National Park 中濕地生境 (wet biotope) 的金花蟲群聚研究中指出，在數種不同植群的濕地生境中，原始環境保存越完整的區域，金花蟲的物種豐富度較高，且有狹分布種類 (stenotopic species) 存在，並建議此結果可應用於評估棲地性質以及保育的規劃。但 Ścibior et al. (2014) 在波蘭的 Bug River 沿途對金花蟲種類組成和植群的研究中，發現在受干擾後回復 (ruderal) 的植群中有最高的金花蟲種類多樣性，但其中廣幅種 (eurytopic species) 的比例較高。在 Şen and GÖK (2014) 於土耳其境內兩座國家公園的研究當中，分析不同棲地型態內 (草原、有豐富灌木層之成熟林以及較少灌木層之成熟林) 金花蟲群聚組成與森林中植被環境的相關性 (包括草本植物層覆蓋面積比例、灌木層覆蓋面積比例、喬木覆蓋面積比例、樹木高度、樹木直徑、樹冠層面積)，結果顯示環境中草本植物層以及灌木層的覆蓋面積比例對金花蟲的群聚組成具有一定程度的影響。另外往昔研究也指出其他環境因子，例如光照程度 (Ścibior et al., 2014) 及海拔高度 (Lee and Bezděk, 2016) 等亦是影響金花蟲分布的環境因子。

許多國外研究顯示金花蟲的群聚組成以及物種多樣性與其棲地型態密切相關，而相關的前人研究在臺灣並不多；本研究團隊之前在國立臺灣大學實驗林管理處所轄之溪頭自然教育園區選定 4 條人工

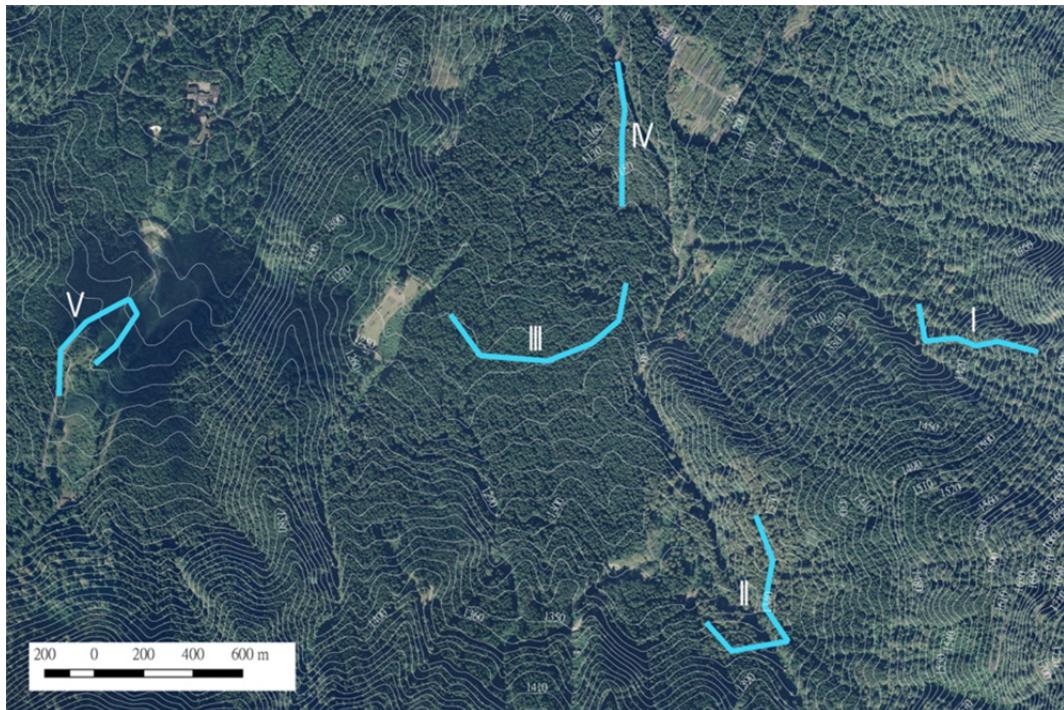
林穿越線 (紅檜林、柳杉林、孟宗竹林和闊葉林) 及 1 條原生闊葉林穿越線，從 2014 年 11 月至 2016 年 6 月，以沿穿越線掃網的方式採集並分析不同林相中的金花蟲物種多樣性，結果為人工柳杉林的多樣性指數最低，而人工闊葉林及天然闊葉林的多樣性指數較高，顯示不同林相中金花蟲多樣性差異大 (Lee et al., 2017)。本研究遂假設不同林相中金花蟲物種多樣性的差異是受到其棲息環境的影響，故欲以之前研究的結果為基礎，分析在不同穿越線所代表的林相中，金花蟲物種多樣性與其棲地環境中的植群組成、光照程度與海拔高度等環境因子的相關性。

材料與方法

一、金花蟲種類之調查方式和多樣性分析

樣區設定在國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處所轄溪頭自然教育園區內，海拔介於 800~1700 m 之間，園區內林相多元且分界明顯。本研究在樣區內設置 5 條穿越線，包括天然闊葉林穿越線 (登山步道) (natural broad-leaved forest, NBL)、人工紅檜林穿越線 (神木林道+彩虹橋步道) (red cypress plantation, RCP)、人工柳杉林穿越線 (銀杏步道) (Japanese cedar plantation, JCP)、人工孟宗竹林穿越線 (神木步道 + 竹廬) (Meso-bamboo plantation, MBP)、以及人工闊葉林穿越線 (堤頂步道+大學坑步道) (broad-leaved plantation, BLP)，每條穿越線為 500 m (圖一)。人工柳杉林穿越線所在 1950 年栽植之造林地，因造林時間較長，種植密度較高且枝葉型態較緊密，故林下透光程度較低，而人工紅檜林穿越線所在為 1924 和 1988 年之造林地，相對擁有較大的透光度；天然闊葉林的林相結構較完整且物種豐富，而孟宗竹 (造林年代不詳) 因毒害作用使其林下植被種類及個體數均較少 (Hsieh et al., 2006)。人工闊葉林穿越線所在地曾因天災崩塌，在 2004 年以低中海拔原生闊葉樹種復育造林，林冠尚未鬱閉，透光度良好，其餘詳見 Lee et al. (2017)。

從 2014 年 11 月至 2016 年 6 月期間，在溪頭自然教育園區內每月進行一次固定調查，每次調查於日間 8 時至 17 時之間進行，沿著穿越線掃網前行，將掃網所得之昆蟲裝入夾鏈袋帶回，置於 -20°C 冰箱中直到所有昆蟲死亡，再將金花蟲樣本挑出，置於 75% 酒精中，交請第三作者鑑定種類，其餘調查方法細節請參考 Lee et al. (2017)。



圖一 溪頭自然教育園區內 5 條穿越線位置：I. 原生闊葉林（登山步道）、II. 人工紅檜林（神木林道+彩虹橋步道）、III. 人工柳杉林（銀杏步道）、IV. 孟宗竹林（神木步道+竹廬）、V. 人工闊葉林（堤頂步道+大學坑步道）。

Fig. 1. Five transects in the Xitou Natural Education Area: (I) natural broad-leaved forest, (II) red cypress plantation, (III) Japanese cedar plantation, (IV) moso bamboo plantation, and (V) broad-leaved plantation.

以 R 統計軟體進行不同林相之 5 條穿越線內，金花蟲群組成之 Shannon-Wiener 多樣性指數 (Shannon-Wiener diversity index) 以及 Pielou 均勻度指數 (Pielou's evenness index) 等分析，詳細方法請參考 Lee *et al.* (2017)。

二、穿越線之植被種類及環境因子調查

各條穿越線的植被及環境因子調查於 2015 年 10 月進行。每條穿越線於 0、100、200、300、400 及 500 m 處設置取樣區域進行調查，唯人工孟宗竹林因植被組成較單調類似，且調查時期前又經過林農除草，故只於穿越線 0~400 m 處設置 5 個取樣區域。每個樣區為面積 $5 \times 5 \text{ m}^2$ 的正方形，如受地形限制，無法取正方形樣區時，改取同等面積之樣區。

(一) 植被調查及海拔高度紀錄

辨識每個取樣區域內所有植被種類，估算各種類植物覆蓋面積並記錄，再合計各條穿越線所有樣區中同種植物的覆蓋面積，即為該種植物在各條穿越線中的總覆蓋面積。另外以 GPS 定位器 (GARMIN, GPSmap 60CSx) 紀錄各條穿越線取樣區域之海拔高度。最後使用 R 統計軟體進行重複分析 (Redundancy Analysis, RDA) 比較不同林

相的金花蟲物種多樣性與以下數個環境因子的相關性。

(二) 全天光空域 (Whole Light Sky Space, WLS)

以羅盤和傾斜儀 (Ushikata, Model S-28) 量測出四周被山或其他地貌擋住的方位角，計算出未被地貌遮蔽住的空域百分比。於各取樣區域內以每 30° 為一測量數值，每個取樣區域共測量 12 個數值。

(三) 樹冠下可見天空比 (Diffuse Non-interceptance, DIFN)

使用科協儀器股份有限公司 (LI-COR) 所生產的 LAI-2200C 植物樹冠分析儀 (Plant Canopy Analyzer)，以魚眼鏡頭光學感測器拍攝並記錄樣區中無遮蔭處以及樹冠下方被葉片遮蔽的光照程度差異。每個取樣區域量測 3 個未受遮蔽以及 10 個被樹冠遮蔽的光照程度數值，並使用 FV-2000 軟體計算各取樣區域的樹冠下可見天空比 (Diffuse Non-interceptance, DIFN)。參照科協儀器股份有限公司的 LAI-2000 植物樹冠分析儀使用說明書 (LAI-2200 Plant Canopy Analyzer Instruction Manual)，計算結果將介於 0 及 1 之間，數值越接近 0 代表該樣區受樹冠遮蔽程度較大，即光照程度

表一 五條穿越線的金花蟲個體、種類數、Shannon-Wiener 多樣性指數以及 Pielou 均勻度指數

Table 1. Shannon-Wiener diversity index and Pielou's evenness index for number of species and individuals of leaf beetles in five transects

	NBL	RCP	JCP	MBP	BLP
Number of species	31	36	15	17	51
Number of individuals	273	937	171	101	652
Shannon-Wiener diversity index	2.37	1.66	1.48	2.03	2.76
Pielou's evenness index	0.69	0.46	0.55	0.72	0.70

NBL, natural broad-leaved forest, 天然闊葉林；RCP, red cypress plantation, 人工紅檜林；JCP, Japanese cedar plantation, 人工柳杉林；MBP, moso bamboo plantation, 人工孟宗竹林；BLP, broad-leaved plantation, 人工闊葉林。

較低，而數值越接近 1 則代表該樣區光照程度越高，意即該處受樹冠遮蔽的程度越小。

結 果

一、不同林相之穿越線金花蟲調查結果與多樣性

從 2014 年 11 月至 2016 年 6 月的每月調查結果，5 條穿越線共記錄 7 亞科 46 屬 73 種 2,462 隻金花蟲，各穿越線於研究期間採集到的金花蟲個體、種類數、Shannon-Wiener 多樣性指數以及 Pielou 均勻度指數整理如表一，金花蟲名錄及詳細分析請參考 Lee *et al.* (2017)。

二、不同林相之穿越線植被種類與其他環境因子量測結果

(一) 植被種類及覆蓋面積量測結果

五條穿越線的植被調查總共記錄了 173 種灌木及地被植物，其中在天然闊葉林當中有 57 種、人工紅檜林當中 68 種、人工柳杉林中 31 種、人工孟宗竹當中 46 種，以及人工闊葉林當中 88 種，各條穿越線中主要的植物種類與覆蓋面積比例結果統計如表二至表六。

(二) 海拔高度量測結果

於五條穿越線所量測到的海拔高度，分別為天然闊葉林平均 1,402 m、人工紅檜林平均 1,369 m、人工柳杉林平均 1,251 m、人工孟宗竹林平均 1,192 m、人工闊葉林平均 1,267 m。各條穿越線於各樣區所量測到的海拔高度詳細結果如表七。

(三) 全天空光域量測結果

5 條穿越線的全天空光域量測結果，分別為天然闊葉林平均 64.76%、人工紅檜林平均 66.43%、人工柳杉林平均 84.01%、人工孟宗竹林平均

82.95%、人工闊葉林平均 67.35%。各條穿越線於各樣區所量測到的全天光空域詳細結果如表七。

(四) 樹冠下可見天空比量測結果

5 條穿越線的樹冠下可見天空比量測結果，分別為天然闊葉林平均 0.181、人工紅檜林平均 0.128、人工柳杉林平均 0.06、人工孟宗竹林平均 0.078、人工闊葉林平均 0.392。各條穿越線於各樣區量測到的樹冠下可見天空比詳細結果如表七。

三、金花蟲物種多樣性與環境因子之相關性

使用重複分析 (Redundancy analysis, RDA) 比較各林相的金花蟲物種多樣性與環境因子 (植被覆蓋面積比例、植被種類數、海拔高度、全天光空域以及樹冠下可見天空比) 的相關性 (表八、表九)，以分析結果中解釋力最好的前二特徵值 RDA1 及 RDA2 做圖如圖二。由表八可看出這 5 個環境因子對金花蟲物種分布的解釋量累積至 RAD4 為 57.89%，而表九當中 RDA1 的結果顯示金花蟲物種分布與植被種類數以及樹冠下可見天空比有強烈的相關，而 RDA2 中最具影響力的則是海拔高度以及全天光空域數值，此分析結果亦可由圖三當中，代表環境因子的箭頭與 RDA1 及 RDA2 軸的投影面積看出(圖二、表九)。而 RDA3 及 RDA4 的解釋力則漸弱，沒有顯示何種環境因子與物種分布最具相關 (表八)。

以蒙特卡羅法 (Monte Carlo method, Number of permutations: 999) 隨機抽樣以檢驗這 5 個環境因子與金花蟲物種分布的相關性，結果顯示為具顯著相關 ($p < 0.001$)，代表綜合此五個環境因子可以顯著解釋金花蟲的物種分布情形。分別檢驗個別環境因子對金花蟲物種分布的相關性 (表九)，檢驗結果顯示全天光空域、海拔高度及植被種

表二 天然闊葉林植被種類與覆蓋面積、覆蓋比例

Table 2. Plant species, coverage area, and coverage proportion of plots in the natural broad-leaved forest

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> Wight. var. <i>majus</i> Wedd.	32.30	40.83
廣葉鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium dilatatum</i> Blume	12.98	16.41
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhizos</i> (L.) G.Don	7.23	9.14
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphylloides</i> Shih & Yang	4.80	6.07
奮起湖冷水麻	<i>Pilea funkikensis</i> Hayata	4.67	5.90
曲莖馬藍	<i>Strobilanthes flexicaulis</i> Hayata	3.19	4.03
臺灣山蘇	<i>Asplenium nidus</i> L.	1.28	1.62
瓦氏鳳尾蕨	<i>Pteris wallichiana</i> Ag.	1.21	1.53
長梗盤花麻	<i>Lecanthus peduncularis</i> (Wall. ex Royle) Wedd.	1.20	1.52
裂葉秋海棠	<i>Begonia palmata</i> D. Don	0.98	1.23
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i> L.	0.95	1.20
黑果馬皎兒	<i>Zehneria mucronata</i> (Bl.) Miq.	0.74	0.94
稀子蕨	<i>Monachosorum henryi</i> Christ	0.69	0.87
膜葉星蕨	<i>Microsorium membranaceum</i> (Don) Ching	0.67	0.85
魚鱗蕨	<i>Acrophorus paleolatus</i> Pic. Serm.	0.64	0.81
華鳳丫蕨	<i>Coniogramme intermedia</i> Heiron.	0.45	0.57
阿里山紫金牛	<i>Ardisia cornudentata</i> Mez ssp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Yuen P. Yang var. <i>stenosepala</i> (Hayata) Yuen P. Yang	0.44	0.56
假糙蘇	<i>Paraphlomis javanica</i> (Blume) Prain	0.44	0.56
蛇根草	<i>Ophiorrhiza japonica</i> Blume	0.43	0.55
長果懸鉤子	<i>Rubus sumatranus</i> Miq.	0.40	0.51
阿里山菝葜	<i>Smilax arisanensis</i> Hayata	0.40	0.51
大冷水麻	<i>Pilea melastomoides</i> (Poir.) Wedd.	0.39	0.49
冇骨消	<i>Sambucus chinensis</i> Lindl.	0.38	0.48
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino	0.25	0.32
長果藤	<i>Aeschynanthus acuminatus</i> Wall. ex A. DC.	0.24	0.30
栗蕨	<i>Histiopteris incisa</i> (Thunb.) J. Sm.	0.18	0.23
烏來麻	<i>Procris laevigata</i> Bl.	0.16	0.20
阿里山青棉花	<i>Pileostegia viburnoides</i> Hook. f. & Thoms.	0.13	0.16
角桐草	<i>Hemiboea bicornuta</i> (Hayata) Ohwi	0.12	0.15
白齒唇蘭	<i>Odontochilus brevistylis</i> Hook. f.	0.11	0.13
薄葉細辛	<i>Asarum caudigerum</i> Hance	0.10	0.13
長葉羊耳蒜	<i>Liparis nakaharai</i> Hayata	0.09	0.11
糙莖菝葜	<i>Smilax bracteata</i> Presl var. <i>verruculosa</i> (Merr.) T. Koyama	0.09	0.11
平柄菝葜	<i>Heterosmilax japonica</i> Kunth	0.09	0.11
咬人貓	<i>Urtica thunbergiana</i> Sieb. & Zucc.	0.08	0.09
杜若	<i>Pollia japonica</i>	0.07	0.09
毛筆天南星	<i>Arisaema grapsospadix</i> Hayata	0.07	0.09
紅花八角	<i>Illicium arborescens</i> Hayata	0.07	0.08
穿鞘花	<i>Amischotolype hispida</i> (Less. & A. Rich.) D. Y. Hong	0.06	0.08
阿里山水龍骨	<i>Polypodium amoenum</i> Wall. ex Mett.	0.04	0.05
青芋	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	0.04	0.05
黃絨蘭	<i>Eria corneri</i> Reichb. f.	0.04	0.05
糯米糰	<i>Gonostegia hirta</i> (Bl. ex Hassk.) Miq.	0.04	0.05

表二 (續)

Table 2. continued.

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
生根卷柏	<i>Selaginella doederleinii</i> Hieron.	0.02	0.03
江某	<i>Schefflera octophylla</i> (Lour.) Harms	0.02	0.03
長梗紫苧麻	<i>Oreocnide pedunculata</i> (Shirai) Masam.	0.02	0.03
風藤	<i>Piper kadsura</i> (Choisy) Ohwi	0.02	0.03
臺灣山黑扁豆	<i>Dumasia villosa</i> DC. ssp. <i>bicolor</i> (Hayata) Ohashi & Tateishi	0.02	0.03
臺灣崖爬藤	<i>Tetrastigma umbellatum</i> (Hemsl.) Nakai	0.02	0.03
全緣卷柏	<i>Selaginella delicatula</i> (Desv.) Alston	0.01	0.02
大花細辛	<i>Asarum macranthum</i> Hook. f.	0.01	0.01
大葉貞蕨	<i>Cornopteris banajaoensis</i> (C. Chr.) K. Iwats. & M. G. Price	0.01	0.01
紅莖椒草	<i>Peperomia sui</i> Lin & Lu	0.01	0.01
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i> Sieb. & Zucc.	0.01	0.01
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboidea</i> (Wall. ex Mett.) Ching	0.01	0.01

表三 人工紅檜林植被種類與覆蓋面積、覆蓋比例

Table 3. Plant species, coverage area, and coverage proportion of plots in the red cypress plantation

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphyloides</i> Shih & Yang	12.55	13.09
曲莖馬藍	<i>Strobilanthes flexicaulis</i> Hayata	9.44	9.85
觀音座蓮	<i>Angiopteris lygodiifolia</i> Rosenst.	8.05	8.40
冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> Wight. var. <i>majus</i> Wedd.	7.85	8.18
稀子蕨	<i>Monachosorum henryi</i> Christ	7.72	8.06
臺灣芒	<i>Misanthus sinensis</i> Andersson	6.73	7.02
廣葉鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium dilatatum</i> Blume	5.57	5.81
島田氏月桃	<i>Alpinia shimadae</i> Hayata	5.22	5.45
方桿蕨	<i>Cyclosorus erubescens</i> (Wall. ex Hook.) C. M. Kuo	3.75	3.91
奮起湖冷水麻	<i>Pilea funkikensis</i> Hayata	3.02	3.15
假毛蕨	<i>Cyclosorus esquirolii</i> (H. Christ) C. M. Kuo	2.83	2.95
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i> L.	2.68	2.80
裂葉秋海棠	<i>Begonia palmata</i> D. Don	1.76	1.83
華鳳丫蕨	<i>Coniogramme intermedia</i> Heiron.	1.70	1.77
長梗盤花麻	<i>Lecanthus peduncularis</i> (Wall. ex Royle) Wedd.	1.48	1.54
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i> (J. König) Stapf.	1.20	1.25
蛇根草	<i>Ophiorrhiza japonica</i> Blume	1.01	1.05
冇骨消	<i>Sambucus chinensis</i> Lindl.	0.95	0.99
糯米糰	<i>Gonostegia hirta</i> (Bl. ex Hassk.) Miq.	0.90	0.94
紅果薹	<i>Carex baccans</i> Nees	0.85	0.89
魚鱗蕨	<i>Acrophorus paleolatus</i> Pic. Serm.	0.73	0.76
臺灣山香圓	<i>Turpinia formosana</i> Nakai	0.72	0.75
全緣卷柏	<i>Selaginella delicatula</i> (Desv.) Alston	0.70	0.73
大冷水麻	<i>Pilea melastomoides</i> (Poir.) Wedd.	0.59	0.62
糙莖菝葜	<i>Smilax bracteata</i> Prest var. <i>verruculosa</i> (Merr.) T. Koyama	0.52	0.54

表三 (續)

Table 3. continued.

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
粗毛鱗蓋蕨	<i>Microlepia strigosa</i> (Thunb.) Presl	0.45	0.47
桫欓鱗毛蕨	<i>Dryopteris cycadina</i> (Franch. & Sav.) C. Chr.	0.42	0.44
阿里山紫金牛	<i>Ardisia cornudentata</i> Mez ssp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Yuen P. Yang var. <i>stenosepala</i> (Hayata) Yuen P. Yang	0.40	0.41
咬人貓	<i>Urtica thunbergiana</i> Sieb. & Zucc.	0.38	0.40
黑果馬皎兒	<i>Zehneria mucronata</i> (Bl.) Miq.	0.38	0.40
風藤	<i>Piper kadsura</i> (Choisy) Ohwi	0.37	0.39
平柄菝葜	<i>Heterosmilax japonica</i> Kunth	0.36	0.38
何首烏	<i>Polygonum multiflorum</i> Thunb. ex Murray var. <i>hypoleucum</i> (Ohwi) Liu, Ying & Lai	0.36	0.38
角桐草	<i>Hemiboea bicornuta</i> (Hayata) Ohwi	0.36	0.38
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhizos</i> (L.) G. Don	0.36	0.38
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino	0.31	0.33
牛奶榕	<i>Ficus erecta</i> Thunb. var. <i>beecheiana</i> (Hook. & Arn.) King	0.24	0.25
苗栗崖爬藤	<i>Tetrastigma bioritense</i> (Hayata) Hsu & Kuoh	0.23	0.24
玉葉金花	<i>Mussaenda pubescens</i> Ait. f.	0.22	0.22
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i> Sieb. & Zucc.	0.21	0.22
長葉木薑子	<i>Litsea acuminata</i> (Bl.) Kurata	0.20	0.21
臺灣葉長花	<i>Helwingia japonica</i> (Thunb.) Dietr. ssp. <i>taiwaniana</i> Yang & Liu	0.19	0.20
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboidea</i> (Wall. ex Mett.) Ching	0.18	0.19
細柄雙蓋蕨	<i>Diplazium donianum</i>	0.18	0.19
長柄冷水麻	<i>Pilea angulata</i> (Bl.) Bl.	0.16	0.17
德氏雙蓋蕨	<i>Diplazium doederleinii</i> (Luerss.) Makino	0.16	0.17
一葉譚花蘭	<i>Acanthephippium striatum</i> Lindl.	0.13	0.14
穿鞘花	<i>Amischotolype hispida</i> (Less. & A. Rich.) D. Y. Hong	0.13	0.13
紅莖獮猴桃	<i>Actinidia callosa</i> Lindl. var. <i>discolor</i> C. F. Liang	0.09	0.09
臺灣山桂花	<i>Maesa perlaria</i> (Lour.) Merr. var. <i>formosana</i> (Mez) Yuen P. Yang	0.09	0.09
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i> Sieb. & Zucc.	0.08	0.09
青牛膽	<i>Thladiantha nudiflora</i> Hemsl.	0.08	0.08
巴西水竹葉	<i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	0.06	0.07
長行天南星	<i>Arisaema consanguineum</i> Schott	0.06	0.07
長果藤	<i>Aeschynanthus acuminatus</i> Wall. ex A. DC.	0.06	0.07
長梗紫苧麻	<i>Oreocnide pedunculata</i> (Shirai) Masam.	0.06	0.07
楤葉懸鉤子	<i>Rubus parviaraliifolius</i> Hayata	0.06	0.07
短角冷水麻	<i>Pilea aquarum</i> Dunn ssp. <i>brevicornuta</i> (Hayata) C. J. Chen	0.05	0.05
下花細辛	<i>Asarum hypogynum</i> Hayata	0.04	0.04
玉山茄	<i>Solanum pittosporifolium</i> Hemsl.	0.04	0.04
田代氏鐵線蓮	<i>Clematis tashiroi</i> Maxim.	0.04	0.04
亨利氏鐵線蓮	<i>Clematis henryi</i> Oliv.	0.04	0.04
槍刀菜	<i>Hypoestes cumingiana</i> Benth. & Hook.	0.04	0.04
毛果竹葉菜	<i>Rhopalephora scaberrima</i>	0.02	0.02
菁芳草	<i>Drymaria diandra</i> Bl.	0.01	0.01
絨莖樓梯草	<i>Elatostema parvum</i>	0.01	0.01

表四 人工柳杉林植被種類與覆蓋面積、覆蓋比例

Table 4. Plant species, coverage area, and coverage proportion of plots in the Japanese cedar plantation

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphyllumoides</i> Shih & Yang	29.07	32.24
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhizos</i> (L.) G.Don	17.70	19.62
曲莖馬藍	<i>Strobilanthes flexicaulis</i> Hayata	9.69	10.75
觀音座蓮	<i>Angiopteris lygodiifolia</i> Rosenst.	9.58	10.62
奮起湖冷水麻	<i>Pilea funkikensis</i> Hayata	5.03	5.57
巴西水竹葉	<i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	4.78	5.30
山奈	<i>Zingiber kawagoii</i> Hayata	2.65	2.94
針毛鱗蓋蕨	<i>Microlepia trapeziformis</i> (Roxb.) Kuhn	2.41	2.67
德氏雙蓋蕨	<i>Diplazium doederleinii</i> (Luerss.) Makino	1.94	2.15
阿里山紫金牛	<i>Ardisia cornudentata</i> Mez ssp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Yuen P. Yang var. <i>stenosepala</i> (Hayata) Yuen P. Yang	1.46	1.62
方桿蕨	<i>Cyclosorus erubescens</i> (Wall. ex Hook.) C. M. Kuo	1.44	1.60
布朗藤	<i>Heterostemma brownii</i> Hayata	1.03	1.14
蛇根草	<i>Ophiorrhiza japonica</i> Blume	0.68	0.75
穿鞘花	<i>Amischotolype hispida</i> (Less. & A. Rich.) D. Y. Hong	0.65	0.72
牛奶榕	<i>Ficus erecta</i> Thunb. var. <i>becheyana</i> (Hook. & Arn.) King	0.36	0.40
長距根節蘭	<i>Calanthe sylvatica</i> (Thouars) Lindl.	0.36	0.40
剪葉鐵角蕨	<i>Asplenium excisum</i> Presl	0.34	0.37
鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium wichurae</i> (Mett.) Diels	0.25	0.28
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino	0.18	0.20
華鳳丫蕨	<i>Coniogramme intermedia</i> Heiron.	0.16	0.18
假糙蘇	<i>Paraphlomis javanica</i> (Blume) Prain	0.09	0.10
圓果秋海棠	<i>Begonia aptera</i> Bl.	0.09	0.10
冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> Wight. var. <i>majus</i> Wedd.	0.06	0.07
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i> (J. König) Stapf.	0.06	0.07
萊氏線蕨	<i>Colysis wrightii</i> (Hook.) Ching	0.05	0.05
臺灣錐花	<i>Gomphostemma callicarpoides</i> (Yamamoto) Masam.	0.02	0.02
青芋	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	0.02	0.02
小杜若	<i>Pollia miranda</i> (H. Lév.) H. Hara	0.02	0.02
風藤	<i>Piper kadsura</i> (Choisy) Ohwi	0.01	0.01
裂葉秋海棠	<i>Begonia palmata</i> D. Don	0.01	0.01

類數這三個環境因子均對金花蟲的物種分布具高度的顯著相關性 ($p < 0.001$)，而樹冠下可見天空比對於金花蟲物種分布的影響雖然較低，但還是到達 $p < 0.01$ 的顯著差異。植物覆蓋面積比例則甚至沒有達到 $p < 0.05$ 的顯著相關性。

討 論

表一和 Lee et al. (2017) 中各穿越線所記錄之

金花蟲種類名錄、多樣性指數分析結果，顯示人工闊葉林中金花蟲物種多樣性最高，而人工柳杉林則最低。金花蟲為完全植食性昆蟲，其種類的出現與否與林相中是否有其食草存在有關，但除了植物群落組成之外，環境中的其他因子也會是影響金花蟲種類分布於該林相的原因 (Charles and Bassett, 2005; Ohsawa and Nagaike, 2006; Şen and GÖK, 2014; Pimenta and Marco, 2015)。本研究使用重複分析比較不同林相的金花蟲多樣性與環境因子

表五 人工孟宗竹林植被種類與覆蓋面積、覆蓋比例

Table 5. Plant species, coverage area, and coverage proportion of plots in the moso bamboo plantation

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
巴西水竹葉	<i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	48.45	56.46
觀音座蓮	<i>Angiopteris lygodiifolia</i> Rosenst.	13.54	15.78
大冷水麻	<i>Pilea melastomoides</i> (Poir.) Wedd.	4.67	5.44
冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> Wight. var. <i>majus</i> Wedd.	3.32	3.87
裂葉秋海棠	<i>Begonia palmata</i> D. Don	3.06	3.57
曲莖馬藍	<i>Strobilanthes flexicaulis</i> Hayata	2.37	2.76
姑婆芋	<i>Alocasia macrorrhizos</i> (L.) G. Don	1.45	1.69
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i> Sieb. & Zucc.	1.28	1.49
闊葉樓梯草	<i>Elatostema platyphyloides</i> Shih & Yang	1.22	1.42
角桐草	<i>Hemiboea bicornuta</i> (Hayata) Ohwi	1.04	1.21
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i> L.	0.79	0.92
長果藤	<i>Aeschynanthus acuminatus</i> Wall. ex A. DC.	0.64	0.75
德氏雙蓋蕨	<i>Diplazium doederleinii</i> (Luerss.) Makino	0.49	0.57
山奈	<i>Zingiber kawagoii</i> Hayata	0.45	0.52
華鳳丫蕨	<i>Coniogramme intermedia</i> Heiron.	0.38	0.45
稀子蕨	<i>Monachosorum henryi</i> Christ	0.36	0.42
牛奶榕	<i>Ficus erecta</i> Thunb. var. <i>beecheiana</i> (Hook. & Arn.) King	0.26	0.30
蛇根草	<i>Ophiorrhiza japonica</i> Blume	0.18	0.21
魚鱗蕨	<i>Acrophorus paleolatus</i> Pic. Serm.	0.18	0.21
鋸齒雙蓋蕨	<i>Diplazium wichurae</i> (Mett.) Diels	0.18	0.21
生芽鐵角蕨	<i>Asplenium normale</i> Don	0.17	0.19
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i> (J. König) Stapf.	0.15	0.18
斜方複葉耳蕨	<i>Arachniodes rhomboidea</i> (Wall. ex Mett.) Ching	0.14	0.17
糯米糰	<i>Arachniodes rhomboidea</i> (Wall. ex Mett.) Ching	0.14	0.17
石薺寧	<i>Mosla scabra</i> (Thunb.) C. Y. Wu & H. W. Li	0.14	0.16
萊氏線蕨	<i>Colysis wrightii</i> (Hook.) Ching	0.11	0.13
薄葉孔雀鐵角蕨	<i>Asplenium cheilosorum</i> Kunze ex Mett.	0.09	0.10
倒地蜈蚣	<i>Torenia concolor</i> Lindl.	0.09	0.10
花蓼	<i>Polygonum posumbu</i> Buch.-Ham. ex D. Don	0.06	0.07
求米草	<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P. Beauv	0.05	0.06
土牛膝	<i>Achyranthes aspera</i> var. <i>india</i>	0.04	0.05
瓶蕨	<i>Crepidomanes auriculatum</i> (Blume) K. Iwats.	0.04	0.05
普拉特草	<i>Lobelia nummularia</i> Lam.	0.04	0.05
假蹄蓋蕨	<i>Deparia petersenii</i> (Kunze) M. Kato	0.03	0.03
紫花藿香薊	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	0.03	0.03
絞股藍	<i>Gynostemma pentaphyllum</i> (Thunb.) Makino	0.03	0.03
長梗盤花麻	<i>Lecanthus peduncularis</i> (Wall. ex Royle) Wedd.	0.02	0.03
柚葉藤	<i>Pothos chinensis</i> (Raf.) Merr.	0.02	0.03
密毛毛蕨	<i>Cyclosorus parasiticus</i> (L.) Farw.	0.02	0.03
槍刀菜	<i>Hypoestes cumingiana</i> Benth. & Hook.	0.02	0.03
阿里山紫金牛	<i>Ardisia cornudentata</i> Mez ssp. <i>morrisonensis</i> (Hayata) Yuen P. Yang var. <i>stenosepala</i> (Hayata) Yuen P. Yang	0.02	0.02
肉穗野牡丹	<i>Sarcopyramis napalensis</i> Wall. var. <i>bodinieri</i> Lévl.	0.01	0.01
長梗紫苧麻	<i>Oreocnide pedunculata</i> (Shirai) Masam.	0.01	0.01
咬人貓	<i>Urtica thunbergiana</i> Sieb. & Zucc.	0.01	0.01
斜葉鐵角蕨	<i>Asplenium yoshinagae</i> Makino	0.01	0.01
愛玉子	<i>Ficus pumila</i> L. var. <i>awkeotsang</i> (Makino) Corner	0.01	0.01

表六 人工闊葉林植被種類與覆蓋面積、覆蓋比例

Table 6. Plant species, coverage area, and coverage proportion of plots in the broad-leaved plantation

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
紫花藿香薊	<i>Ageratum houstonianum</i> Mill.	17.97	25.42
大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> L. var. <i>radiata</i> Sch.	9.80	13.86
假毛蕨	<i>Cyclosorus esquirolii</i> (H. Christ) C. M. Kuo	9.32	13.18
長梗盤花麻	<i>Lecanthus peduncularis</i> (Wall. ex Royle) Wedd.	4.55	6.44
臺灣芒	<i>Misanthus sinensis</i> Andersson	4.46	6.31
葛藤	<i>Callerya reticulata</i> (Benth.) Schot	3.40	4.81
穗花木藍	<i>Indigofera spicata</i> Forsk.	2.73	3.86
腎蕨	<i>Nephrolepis auriculata</i> (L.) Trimen	1.91	2.69
糯米糰	<i>Gonostegia hirta</i> (Bl. ex Hassk.) Miq.	1.79	2.53
禹毛茛	<i>Nephrolepis auriculata</i> (L.) Trimen	1.13	1.60
車前草	<i>Plantago asiatica</i> L.	0.76	1.08
求米草	<i>Oplismenus hirtellus</i> (L.) P. Beauv	0.73	1.04
桴薹	<i>Sphaerocaryum malaccense</i> (Trin.) Pilg.	0.72	1.02
曲莖馬藍	<i>Strobilanthes flexicaulis</i> Hayata	0.71	1.00
山芋	<i>Colocasia formosana</i> Hayata	0.65	0.92
柔枝莠竹	<i>Microstegium vimineum</i> (Trin.) A. Camus	0.65	0.92
火炭母草	<i>Polygonum chinense</i> L.	0.63	0.89
全緣卷柏	<i>Selaginella delicatula</i> (Desv.) Alston	0.62	0.87
方桿蕨	<i>Cyclosorus erubescens</i> (Wall. ex Hook.) C. M. Kuo	0.57	0.81
大冷水麻	<i>Pilea melastomoides</i> (Poir.) Wedd.	0.47	0.66
何首烏	<i>Polygonum multiflorum</i> Thunb. ex Murray var. <i>hypoleucum</i> (Ohwi) Liu, Ying & Lai	0.47	0.66
煙火薹	<i>Carex cruciata</i> Wahl.	0.40	0.57
闊葉樓梯草	<i>Carex cruciata</i> Wahl.	0.39	0.56
裂葉秋海棠	<i>Begonia palmata</i> D. Don	0.37	0.52
短柄卵果蕨	<i>Phegopteris decursive-pinnata</i> (van Hall) Féé	0.34	0.48
木賊	<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.	0.33	0.46
颱風草	<i>Setaria palmifolia</i> (J. König) Stapf.	0.28	0.39
筆筒樹	<i>Cyathea lepifera</i> (J. Sm. ex Hook.) Copel.	0.26	0.37
華鳳丫蕨	<i>Coniogramme intermedia</i> Heiron.	0.25	0.35
長柄冷水麻	<i>Pilea angulata</i> (Bl.) Bl.	0.23	0.33
假蹄蓋蕨	<i>Deparia petersenii</i> (Kunze) M. Kato	0.22	0.31
紅莖獮猴桃	<i>Actinidia callosa</i> Lindl. var. <i>discolor</i> C. F. Liang	0.22	0.3
奮起湖冷水麻	<i>Pilea funkikensis</i> Hayata	0.21	0.3
戟葉蓼	<i>Polygonum thunbergii</i> Sieb. & Zucc.	0.18	0.25
掌葉毛茛	<i>Ranunculus cheirophyllus</i> Hayata	0.16	0.23
苔一		0.16	0.23
落新婦	<i>Astilbe longicarpa</i> (Hayata) Hayata	0.15	0.22
穗花斑葉蘭	<i>Goodyera procera</i> (Ker Gawl.) Hook. f.	0.13	0.18
小葉桑	<i>Morus australis</i> Poir.	0.12	0.17
虎葛	<i>Cayratia japonica</i> (Thunb.) Gagnep.	0.12	0.17
翼莖水芹菜	<i>Oenanthe pterocaulon</i> Liu, Chao & Chuang	0.11	0.16
耳葉火炭母草	<i>Polygonum chinense</i> L.	0.11	0.16
玉葉金花	<i>Mussaenda pubescens</i> Ait. f.	0.1	0.14

表六 (續)

Table 6. continued.

Plant species		Coverage area (m ²)	*Coverage proportion (%)
莠狗尾草	<i>Setaria geniculata</i> P. Beauv.	0.1	0.13
耳葉鴨跖草	<i>Commelina auriculata</i> Blume	0.09	0.13
長果藤	<i>Aeschynanthus acuminatus</i> Wall. ex A. DC.	0.09	0.13
紅果薹	<i>Carex baccans</i> Nees	0.09	0.13
高山芒	<i>Misanthus sinensis</i> Andersson	0.09	0.13
菁芳草 (荷蘭豆草)	<i>Drymaria diandra</i> Bl.	0.09	0.13
蔓黃菀	<i>Senecio scandens</i> Buch.-Ham. ex D. Don	0.09	0.13
田代氏鐵線蓮	<i>Clematis tashiroi</i> Maxim.	0.08	0.11
伏石蕨	<i>Lemmaphyllum microphyllum</i> Presl	0.07	0.1
粗毛鱗蓋蕨	<i>Microlepia strigosa</i> (Thunb.) Presl	0.06	0.09
單穗水蜈蚣	<i>Kyllinga nemoralis</i>	0.06	0.09
臺灣油點草	<i>Tricyrtis formosana</i> Baker	0.06	0.09
擬德氏雙蓋蕨	<i>Diplazium pseudodoederleinii</i> Hayata	0.06	0.09
山芙蓉	<i>Hibiscus taiwanensis</i> Hu	0.05	0.07
風藤	<i>Piper kadsura</i> (Choisy) Ohwi	0.05	0.07
串鼻龍	<i>Clematis grata</i> Wall.	0.05	0.07
光風輪	<i>Clinopodium gracile</i> (Benth.) Kuntze	0.04	0.06
水麻	<i>Debregeasia orientalis</i> C. J. Chen	0.04	0.06
倒地蜈蚣	<i>Torenia concolor</i> Lindl.	0.04	0.06
杪欓鱗毛蕨	<i>Dryopteris cycadina</i> (Franch. & Sav.) C. Chr.	0.04	0.06
過溝菜蕨	<i>Diplazium esculentum</i> (Retz.) Sw.	0.04	0.06
膜葉星蕨	<i>Microsorium membranaceum</i> (Don) Ching	0.04	0.06
龍葵	<i>Solanum nigrum</i> L.	0.04	0.06
紅腺懸鉤子	<i>Rubus sumatranus</i> Miq.	0.03	0.05
珠芽佛甲草	<i>Sedum bulbiferum</i> Makino	0.03	0.05
黃花酢漿草	<i>Oxalis corniculata</i> L.	0.03	0.05
臺灣山黑扁豆	<i>Dumasia villosa</i> DC. ssp. <i>bicolor</i> (Hayata) Ohashi & Tateishi	0.03	0.04
海州骨碎補	<i>Davallia mariesii</i> Moore ex Bak.	0.02	0.03
過山龍	<i>Lycopodium cernuum</i>	0.02	0.03
卷耳	<i>Cerastium holosteoides</i> Fries var. <i>hallasanense</i> (Nakai) Mizushima	0.02	0.03
阿里山青棉花	<i>Pileostegia viburnoides</i> Hook. f. & Thoms.	0.02	0.03
粗毛小米菊	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	0.02	0.03
蛇莓	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	0.02	0.03
磚子苗	<i>Mariscus sumatrensis</i> (Retz.) J. Raynal	0.02	0.03
龍眼	<i>Euphorbia longana</i> Lam.	0.01	0.02
小葉冷水麻	<i>Pilea microphylla</i> (L.) Liebm.	0.01	0.01
早熟禾	<i>Poa annua</i> L.	0.01	0.01
冷清草	<i>Elatostema lineolatum</i> Wight. var. <i>majus</i> Wedd.	0.01	0.01
阿里山繁縷	<i>Stellaria arisanensis</i> (Hayata) Hayata	0.01	0.01
苦蘵	<i>Physalis angulata</i> L.	0.01	0.01
香附子	<i>Cyperus rotundus</i> L.	0.01	0.01

表七 五條穿越線中各樣區所量測之海拔高度 (公尺)、全天光空域 (%) 和樹冠下可見天空比
Table 7. Altitude (m), whole light space (%) and diffuse non-interceptance of each plot in the five transects

	Altitude (m)					Whole light space (%)					Diffuse non-interceptance				
	NBL	RCP	JCP	MBP	BLP	NBL	RCP	JCP	MBP	BLP	NBL	RCP	JCP	MBP	BLP
0 m	1,331	1,377	1,251	1,214	1,253	66.19	72.32	78.80	82.36	70.03	0.099	0.107	0.138	0.072	0.078
100 m	1,348	1,378	1,256	1,188	1,258	59.88	60.47	84.21	85.57	68.52	0.351	0.126	0.071	0.049	0.475
200 m	1,386	1,358	1,258	1,186	1,274	65.64	62.34	83.76	79.95	70.48	0.397	0.060	0.050	0.083	0.508
300 m	1,417	1,376	1,265	1,190	1,264	66.61	60.87	85.03	84.44	67.03	0.076	0.045	0.035	0.026	0.283
400 m	1,447	1,368	1,261	1,180	1,270	66.11	70.57	88.17	82.41	66.35	0.095	0.357	0.033	0.161	0.081
500 m	1,482	1,357	1,246	-	1,282	64.12	72.01	84.07	-	61.69	0.070	0.071	0.033	-	0.928
Average	1,402	1,369	1,251	1,192	1,267	64.76	66.43	84.01	82.95	67.35	0.181	0.128	0.060	0.078	0.392

NBL, natural broad-leaved forest, 天然闊葉林；RCP, red cypress plantation, 人工紅檜林；JCP, Japanese cedar plantation, 人工柳杉林；MBP, moso bamboo plantation, 人工孟宗竹林；BLP, broad-leaved plantation, 人工闊葉林。

表八 重複分析 (Redundancy analysis, RDA) 中的與約束排序軸所負荷的特徵值百分比 (Cumulative constrained percentage)

Table 8. Eigenvalue and cumulative constrained percentage of redundancy analysis

	RDA1	RDA2	RDA3	RDA4
Eigenvalue	27.037	12.7437	2.1753	0.3033
Cumulative constrained Percentage (%)	37.04	54.49	57.47	57.89

表九 重複分析 (Redundancy analysis, RDA) 中個別環境因子的檢驗結果

Table 9. Results of redundancy analysis for each environmental factor

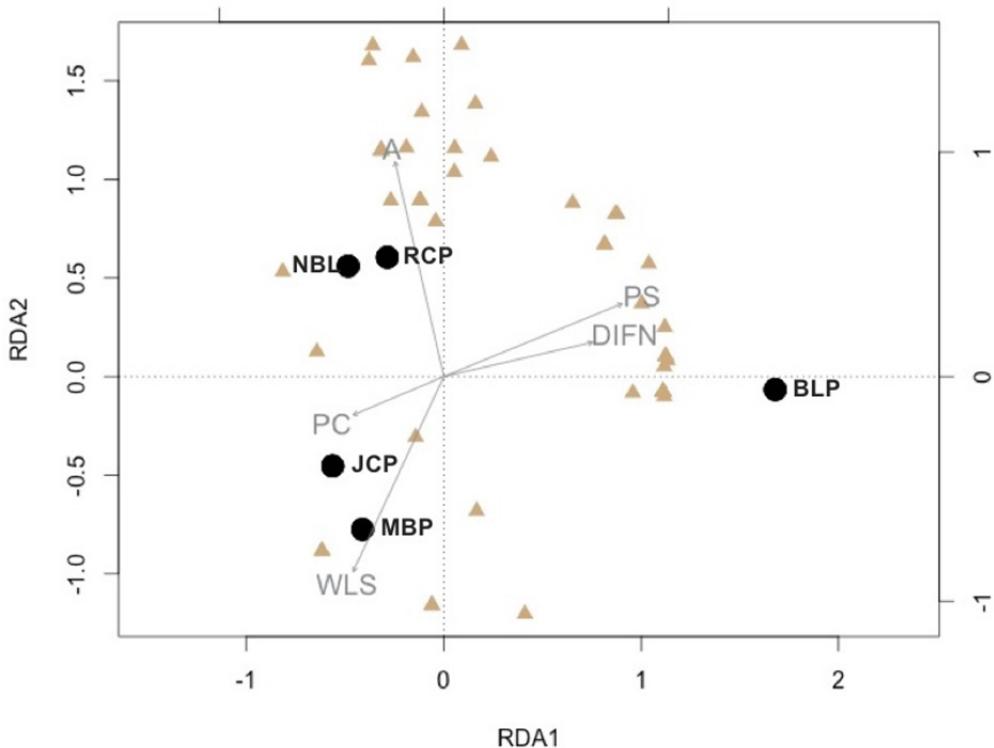
	RDA1	RDA2	r ²	P
A	-0.20	0.96	0.88	<0.0001
PC	-0.39	-0.17	0.14	>0.05
PS	0.80	0.31	0.58	<0.0001
DIFN	0.66	0.14	0.35	<0.05
WLS	-0.42	-0.86	0.82	<0.0001

A = altitude 海拔高度 (m), PC = plant coverage 地下植被覆蓋面積 (m²), PS = plant species 植被種類數 (species), DIFN = diffuse non-interceptance 樹冠下可見天空比, WLS = whole light space 全天光空域數值 (%)。

(植被種類數、地下植被覆蓋面積比例、海拔高度、全天光空域以及樹冠下可見天空比) 的相關性，分析結果顯示樣區的植被種類數、全天光空域、樹冠下可見天空比以及海拔高度 4 項環境因子均對金花蟲物種多樣性具顯著相關性，而植被的覆蓋度則未達到顯著差異相關 (圖二、表九)。蒙特卡羅法的檢驗結果，顯示綜合此 5 個環境因子可以解釋不同林相中的金花蟲物種多樣性，唯此 5 項環境因子的解釋量為 57.89% (表八)，尚待未來研究加入更多環境因子，例如各穿越線的微氣候因子 (氣溫、濕度等)，

期望能對影響金花蟲物種多樣性情形有更高的解釋量。

分析結果顯示全天光空域與海拔高度對於不同林相中金花蟲物種多樣性皆會產生影響 (圖二、表九)。事實上全天光空域的量測結果本來就會受該處地形及海拔影響，越接近谷底低海拔處之量結果越低，越接近山峰高海拔處則越高 (Chen et al., 2002)。以緬甸藍葉蚤 (*Altica birmensis* (Jacoby)) 為例，植群調查結果顯示除了人工柳杉林之外的其他穿越線均存在其食草火炭母草



圖二 2014 年 11 月至 2016 年 6 月各條穿越線的金花蟲數量對應環境因子的重複分析 (Redundancy analysis, RDA) 結果。A=海拔高度 (m)，PC=地下植被覆蓋面積 (m^2)，PS=地下植被種類數 (species)，DIFN=樹冠下可見天空比，WLS=全天光空域數值 (%)。

Fig. 2. Redundancy analysis result for individual leaf beetles and environmental factors in each transects from November 2014 to April 2016. A = altitude (m), PC = plant coverage (m^2), PS = plant species (species), DIFN = diffuse non-interceptance, WLS = whole light space (%).

(*Persicaria chinense* Linn.)，但該種類卻只有在天然闊葉林及人工闊葉林中被採集發現，且以人工闊葉林的記錄為多 (59/65 隻)。因緬甸藍葉蚤是一種對海拔高度敏感的物種，主要分布高度為低於 1,200 公尺的中低海拔區域 (Lee and Bezděk, 2016)，而溪頭自然教育園區的海拔高度正好包含此種金花蟲的主要分布海拔界線，故海拔高度確實會影響金花蟲物種在的分布情形。

植食性的金花蟲分布與環境中是否出現其食草有關，環境因子相關性分析亦說明金花蟲物種多樣性與該穿越線植被種類數呈顯著差異相關 (圖二、表九)，顯示若某地區植群種類越豐富，則越有可能出現以不同植物為食的金花蟲種類。因植食性昆蟲的食草調查一般需要直接觀察到正在進食的個體，才能有較準確的紀錄，故在資料建立上實屬不易。以本研究期間採集數量最多的前三種類金花蟲：黃角卵葉蚤 (*Euphitrea flavigornis* (Chen))、條背長刺葉蚤 (*Aphthonoides beccarii* Jacoby)，以及黃褐縱條葉蚤 (*Manobia lewisi* Jacoby) (Lee et al., 2017) 為例，目前已知條背長刺葉蚤的食草為蕁麻

科 (Urticaceae) 的植物，如冷清草 (*Elatostema lineolatum* Wight. var. *majus* Wedd.)、圓果冷水麻 (*Pilea rotundinucula* Hyata)、闊葉樓梯草 (*Elatostema platyphyllum* Shih & Yang) 等 (Lee and Cheng, 2010)，而此科植物廣泛分布於溪頭自然教育園區；黃褐縱條葉蚤已確認的食草中，蹄蓋蕨科 (Athyriaceae) 的廣葉鋸齒雙蓋蕨 (*Diplazium dilatatum* Blume) 亦在本研究樣區有分布 (Lee, unpublished)。而黃角卵葉蚤目前雖然沒有確定的食草紀錄，但其成蟲曾經被發現停棲於冷清草、藤枝秋海棠 (*Begonia tengchiana* C. I Peng & Y. K. Chen) 以及蓼科 (Polygonaceae) 的戟葉蓼 (*Polygonum thunbergii* Sieb. & Zucc.) 的植株上 (Lee, unpublished)。除了前述的冷清草之外，戟葉蓼在園區內亦有分布，故未來或許可以更加鎖定此幾種植物，作為黃角卵葉蚤的可能食草方向研究。

而植被的覆蓋度則未在影響金花蟲多樣性的分析結果中達到顯著差異相關 (表九)，在植群調查當中 (表二至六)，許多在該林道佔有大量覆蓋面積的

植物，目前在國內外均沒有紀錄為本研究所採集到的任一種金花蟲之可能食草，例如巴西水竹葉 (*Tradescantia fluminensis* Vell.)、觀音座蓮 (*Angiopteris lygodiifolia* Rosenst.) 等。若這些植物遍布該林道，卻不為任何一種該林道出現之金花蟲的食草，其覆蓋面積便有可能影響整體地下植被覆蓋面積對於金花蟲種類分布的相關性。未來研究應加強調查不同種類金花蟲所對應之食草的關係，期望可以更精確地分析金花蟲多樣性與其棲地中植被覆蓋種類與面積的相關性。

除了前述會影響金花蟲群聚結構的因素，林下所受樹冠遮蔽的程度亦呈顯著正相關影響不同林相中金花蟲的多樣性 (圖二、表九)。5 條穿越線當中，人工闊葉林的樹冠下可見天空比值最高，推測是因為該地造林時間較其他造林地為短，林木冠層尚未鬱閉，使得該環境的光照程度高，對照該林相植群種類數及金花蟲多樣性結果均呈正相關。而若比較同為人工針葉林的紅檜林及柳杉林，可能因為兩者樹型與枝條型態等差異 (Hsieh et al., 2006)，造成此二林相所測得的樹冠下可見天空比以紅檜林為高，植被種類數目也以紅檜林為多，連帶影響了環境中的生物多樣性。Ishii et al. (2008) 研究指出經過帶狀疏伐 (line thinning) 的林地中，開闊的樹冠層會使林地的地表溫度較未疏伐的林地高，而林下植物的豐富度和生物量皆比未疏伐的林地高；Ścibior et al. (2014) 的研究指出河岸植群組成的適當密度，可以降低陽光直接曝曬土壤，減緩棲地整體氣溫上升的情形，增加當地金花蟲群聚的豐富度；因此可知林下環境的光照程度，會影響其中的微氣候，進而影響林下植物種類組成與生長，連帶影響棲地中其他昆蟲物種的豐富度。日本的研究中，比較柳杉成熟林中施行帶狀疏伐與未疏伐林地，發現施行疏伐的林地中，鞘翅目及膜翅目昆蟲的豐富度明顯高於未疏伐的林地，並且與林下植物的多樣性與生物量有正相關 (Maleque et al., 2007a; Maleque et al., 2007b)。未來如何提高臺灣的人工林中昆蟲 (和其他生物) 多樣性是一個重點的議題，本研究及前述幾篇日本研究皆發現開闊的森林有較高的昆蟲多樣性，未來對於單一樹種的成熟人工林，或許可考量使用強度的疏伐，增加林地內的開闊度及林下灌叢植物的多樣性，以提供更多樣的棲地環境供不同生物棲息 (Hartley, 2002)。

本研究證實海拔高度、植群種類以及光照程度均會顯著影響金花蟲的分布，雖然重複分析的結果解釋量略低，建議未來的研究策略可以加入各穿越

線的微氣候因子量測；本研究結果亦可以提供林業經營不同的思考方向，如何以適當的森林撫育方式，提高人工林的生物多樣性並維持森林生態的平衡，將是臺灣未來林業經營管理重要的課題。

誌謝

本研究承蒙國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處提供經費 (104-實試 A04、105-實試 A03-1) 得以進行；以及感謝國立臺灣大學森林環境暨資源學系陳忠義博士協助環境因子調查。

引用文獻

- Charles E, Basset Y.** 2005. Vertical stratification of leaf-beetle assemblages (Coleoptera: Chrysomelidae) in two forest types in Panama. *J Trop Ecol* 21: 329-336.
- Chen TY, Hsu HY, Wu SL.** 2002. Study on the Chamaecyparis forest of 170 roads of Chilan Shan. *J Nation Ilan Inst Technol* 9: 259-275. (in Chinese)
- Hartley MJ.** 2002. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests. *For Ecol Manag* 155: 81-95.
- Hsieh HI, Yuan HW, Wang LP, Ding TS.** 2006. Species diversity of terrestrial vertebrates in primary forests and forest plantations in Sitou, Central Taiwan. *Q Jour Chin For* 39: 421-436. (in Chinese)
- Ishii, HT, Maleque MA, Taniguchi S.** 2008. Line thinning promotes stand growth and understory diversity in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. *J For Res* 13: 73-78.
- Lee CF, Bezděk J.** 2016. Revision of the wingless *Sikkimia duvivier* (Coleoptera, Chrysomelidae, Galerucinae) from Taiwan, including a new generic synonymy and four new species descriptions. *Zookeys* 553: 79-106.
- Lee, C.-F. and H.-T. Cheng (editors).** 2010. *The Chrysomelidae of Taiwan 2. Sishou-Hills Insect Observation Network Press, Taipei County*, 191 pp. (in Chinese)

- Lee YN, Ko CC, Lee CF, Yeh HT.** 2017. Species diversities of leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) in different forest types of the central Taiwan: a case study of Xitou Natural Education Area. *Q J Chin Forest* 50: 85-102. (in Chinese)
- Lee YN.** 2016. Species diversity of leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) in the primary forest and plantations in Xitou: a potential bioindicator for forest ecosystems [dissertation]. National Taiwan University. 89 pp.
- Maleque MA, Ishii HT, Maeto K, Taniguchi S.** 2007a. Line thinning enhances diversity of Coleoptera in overstocked *Cryptomeria japonica* plantations in central Japan. *Arthropod-Plant Interact* 1: 175-185.
- Maleque MA, Ishii HT, Maeto K, Taniguchi S.** 2007b. Line thinning fosters the abundance and diversity of understory Hymenoptera (Insecta) in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. *J For Res* 12: 14-23.
- Ohsawa M, Nagaike T.** 2006. Influence of forest types and effects of forestry activities on species richness and composition of Chrysomelidae in the central mountainous region of Japan. *Biodivers Conserv* 15: 1179-1191.
- Pimenta M, De Marco Jr P.** 2015. Leaf beetle (Chrysomelidae: Coleoptera) assemblages in a mosaic of natural and altered areas in the Brazilian Cerrado. *Neotrop Entomol* 44: 242-255.
- Ścibior R.** 2010. The estimation of the preservation degree for wet biotopes of the Poleski National Park based on species richness of Chrysomelid (Coleoptera, Chrysomelidae) communities. *Teka Kom Ochr Kszt Środ Przyr* 7: 410-419.
- Ścibior R, Dunus W.** 2006. Precervation degree of wet biotopes of the Kozłowiecki Landscape Park based on biodiversity of leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae). *Acta Agrophysica* 7: 495-502.
- Ścibior R, Stryjecki R, Pawlega K.** 2014. Ecological structure of leaf-beetle assemblages (Coleoptera, Chrysomelidae) of the Bug Valley plant communities in the Włodawa-Koden section. *Teka Kom Ochr Kszt Środ Przyr* 11: 211-228.
- Şen I, GÖK A.** 2014. Leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) communities of Kovada Lake and Kızıldag National Parks (Isparta, Turkey): assessing the effects of habitat types. *Entomol Res* 44: 176-190.
- Wagner T.** 1998. Influence of tree species and forest type on the Chrysomelid community in the canopy of an Uganda tropical forest. pp 253-269. In: Biondi M, Daccordi M, Furth DG (eds) *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Chrysomelidae*. Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino.

Correlations between Species Diversity of Leaf Beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) and Factors of Different Forest Environments: A Case Study of the Xitou Natural Education Area

Yi-Nung Lee¹, Chiun-Cheng Ko¹, Chi-Feng Lee², Chi-Kai Yang³, and Hsin-Ting Yeh^{3*}

¹ Department of Entomology, National Taiwan University, No. 27, Lane. 113, Sec. 4, Roosevelt Rd., Da-an Dist., Taipei City 10617, Taiwan

² No. 189, Zhongzheng Rd., Wangfeng Vil., Wufeng Dist., Taichung City 10617, Taiwan

³ The Experimental Forest, College of Bio-Resources and Agriculture, National Taiwan University, No. 12, Sec. 1, Qianshan Rd., Zhushan Township, Nantou County 557, Taiwan

* Corresponding email: htyeh@ntu.edu.tw

Received: 28 August 2017 Accepted: 8 January 2018 Available online: 23 February 2018

ABSTRACT

Leaf beetles (Coleoptera: Chrysomelidae) are herbivorous insects, which are a closely related species of plants, and are widespread in various vegetation environments. This study mainly analyzed the correlations between the species diversities of leaf beetles and the factors of different forest environments in the Xitou Nature Education Area, Taiwan. A 500 m transect was set in each of the four plantation types (red cypress, Japanese cedar, moso bamboo, and broad-leaved) and one natural broad-leaved forest. Insects were collected by sweeping along transects once a month from November 2014 to June 2016. In total 2,462 leaf beetles were collected, which belonged to 73 species and 46 genera. The Shannon's diversity index (H') and Pielou's evenness index (E) were applied to compare the number of species and the abundance of leaf beetles in the different transects. The results demonstrated the diverse species of leaf beetles were found in the different transects. Environmental factors related to the species diversity of leaf beetles in different forest systems were analyzed using redundancy analysis. The result showed that the species quantity of understory plants, illumination (including whole light sky space and diffuse non-interceptance), and altitude of transects had a significant influence on chrysomelid species assemblages. This study demonstrated that environmental factors can affect the species diversity of leaf beetles in forest systems, and the results can be taken as a reference for forest management to maintain the biodiversity of insects in forests.

Key words: leaf beetle, forest entomology, species diversity, environmental factors, forestry management