

The Compatibility Experimental Studies on the Vines and GFRP Bars

Syun-Yu Chen¹, Yeou-Fong Li¹, Hsin-Yi Lin², Kuang-Hui Peng²

¹Department of Civil Engineering, National Taipei University of Technology, Taipei

²Graduate Institute of Architecture and Urban Design, National Taipei University of Technology, Taipei

Email: keepfordream@gmail.com, yfli@ntut.edu.tw, 22171111@yahoo.com.tw, khpeng@ntut.edu.tw

Received: Sep. 13th, 2013; revised: Sep. 30th, 2013; accepted: Oct. 12th, 2013

Copyright © 2013 Syun-Yu Chen et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: In this paper, the application of anti-corrosion and weather resistant glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite members to replace similar green facades made of metal materials is presented. Experiment was conducted on the plant-compatibility of the GFRP components. In the plant-compatibility experiments, 2 species of vines—*Pyrostegia venusta* and *Ficus pumila*—were supported by two kinds of GFRP rods (threaded and smooth rods). Both kinds of the GFRP rods were then divided into three groups depending on the coating applied (i.e. epoxy coating, paint coating or no coating) and bamboo rods, composed of 7 kinds of experiments member, which mixed into 14 kinds of combinations with the 2 species of vines. 3 plant pots were allocated making it a total of 42 specimens in the experiment. With a weekly record of the growth of vines height, growth rate calculations and experimental observation of specimens photographed, the text compared vines with different surfaces between components of the GFRP rods through exclusion, climb performance and aesthetics. From the experimental results, the application of FRP composites in vegetation greening system as a support structure material for Taiwan's development of the vegetation greening technology can be useful.

Keywords: Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP); Green Vegetation; Vines; Plant-Compatibility

藤蔓植物于 GFRP 棒构件上之兼容性实验研究

陈巽煜¹, 李有丰¹, 林欣仪², 彭光辉²

¹国立台北科技大学土木与防灾研究所, 台北

²国立台北科技大学建筑与都市设计研究所, 台北

Email: keepfordream@gmail.com, yfli@ntut.edu.tw, 22171111@yahoo.com.tw, khpeng@ntut.edu.tw

收稿日期: 2013 年 9 月 13 日; 修回日期: 2013 年 9 月 30 日; 录用日期: 2013 年 10 月 12 日

摘要: 本文系将藤蔓植物生长攀附之支撑物, 以具备耐腐蚀性与耐候性佳等特性的玻璃纤维强化高分子复合材料(Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP), 进行施作为藤蔓植物生长攀附于 GFRP 棒构件之植物兼容性实验。本实验方法系以 GFRP 螺纹棒与 GFRP 光滑棒 2 种构件, 进行表面不加工、涂布油漆与环氧树脂(Epoxy), 外加竹竿构件共施作成 7 种实验构件, 与炮仗花与薜荔 2 种藤蔓植物搭配成 14 种组合, 每种组合为 3 盆共 42 盆植栽试体进行实验。本实验藉由每周一次纪录藤蔓植物的生长高度、计算生长速率以及实验试体拍照观察, 利用排斥性、攀附性与美观性将藤蔓植物与不同表面 GFRP 棒构件间进行比较。实验结果显示, 应用 FRP 复合材料于植生壁面绿化系统做为支撑结构材, 将对于发展植生壁面绿化技术能有所帮助。

关键词: 玻璃纤维强化高分子复合材料; 植生绿化; 藤蔓植物; 植物兼容性

1. 引言

目前植生壁面绿化技术于欧美亚等地已发展了数十年之久，然而采用垂直绿化支撑结构体作为植生壁面绿化之技术，大多依旧采用金属材料，伴随而来之问题系必须抵抗因植物生长，其分泌的化学物质所造成的生物侵蚀，而且亦极易受到气候环境影响而发生锈蚀情形，金属结构若未定期维护，将造成使用上的安全性不足而导致意外发生。为克服垂直绿化结构体金属材料劣化问题，并降低维护成本、提升耐久性，采用纤维强化高分子复合材料(Fiber Reinforced Plastic, FRP)应用于植生壁面绿化做为支撑结构体，系能发挥耐腐蚀性与耐候性佳之特性，后续维护费用更远低于金属材料，亦可减少对现地环境之破坏。

本文之目的系为了解藤蔓植物与玻璃纤维强化高分子复合材料(Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP)之兼容性，探讨 GFRP 棒构件之树脂、纤维是否对植物生长攀附产生危害，并能健康生长攀附于 GFRP 棒构件上。故开发一系列不同表面之 GFRP 棒构件进行与藤蔓植物间的植物兼容性实验，透过排斥性、攀附性与美观性进行比较与探讨，将 FRP 复合材料应用于植生壁面绿化做为支撑结构体，对于发展植生壁面绿化技术能有所帮助。

2. 文献回顾

以下介绍 FRP 复合材料与各其它材料之性质比较，以及国内外学者在植生壁面绿化技术中，针对植物与建筑物壁体间之兼容性关系以及植生绿化支撑材料结构体相关研究与实验。

2.1. FRP 与其它材料之性质比较

由表 1 之 FRP 复合材料与各种材料环境适用性比较，可了解许多材料长期处于酸、碱、盐等严苛的环境下，容易发生劣化、锈蚀等耐久性问题，而 FRP 复合材料皆具有比传统建材优越的耐蚀性，大幅降低结构维护费用并延长使用年限^[1]。而由表 2 将 FRP 复合材料与主要金属结构材料，进行材料强度及弹性模数分别除以材料比重，称为比强度(σ/ρ)以及比弹性模数(E/ρ)作比较，可发现因 FRP 之组成材料均为轻质材料，可减轻结构自重，进而减少地震力的影响，其比强度可较传统金属材料高 2 至 10 倍不等^[1]。

Table 1. The comparisons of the environmental suitability between FRP and other materials
表 1. FRP 与各种材料之环境适用性比较

材料	潮湿	酸性环境	碱性环境	硫酸盐环境	溶剂环境	抗热传导性
FRP	○	○	○	○	○	○
钢	×	×	○	×	○	×
镀锌钢材	×	×	×	○	○	×
铝	○	×	×	×	○	×
不锈钢	×	○	×	×	○	×
混凝土	×	×	×	○	○	○
木材	×	×	×	×	视种类而定	○

资料来源：FRP 桥梁 - 技术とその展望，2004^[1]。

Table 2. The physical properties of the FRP and other materials
表 2. FRP 与其它材料物理性质比较

结构材料种类	比强度(σ/ρ) (MPa·cm ³ /g)	比弹性系数(E/ρ) (MPa·cm ³ /g)
碳钢	51	26.4
铝合金	54.3	25.8
钛合金	195.6	24.4
玻璃纤维	500	21.5

资料来源：FRP 桥梁 - 技术とその展望，2004^[1]。

2.2. 藤蔓植物与建筑物兼容性

表 3 系为国内外学者对于藤蔓植物生长攀附于建筑物壁体表面间关系之参考文献，主要可归纳出植物种类、垂直植生绿化结构与建筑物外壳表体三者项目进行探讨。

2.3. 植生绿化结构体系

表 4 系为国内外学者对于“植生壁面绿化系统”案例，依照结构型式设计与组装材质进行分类与比较之参考文献。

而根据陈佳荣(2010)依壁面绿化系统支撑架的有无为原则，将壁面绿化系统区分成“有支撑”与“无支撑”两类；据该研究调查台湾 17 项“支撑层”案例中，热浸镀锌铁材占总数达 41%的比例最多，防锈涂装铁材占总数 29%的比例为第二；其调查的案例大多使用未达一年，遂发现有 8 个案例，即占总数达 44%比例的支撑层构材已有严重锈蚀情形，且集中在热浸

Table 3. The literature reviews study about vines compatibility with the building
表 3. 藤蔓植物与建筑物兼容性文献研究

研究学者	主要内容						
Lisci 等人 ^[2] (2002)	<ul style="list-style-type: none"> ● 探讨地衣(Lichens)与高等植物(Higher Plants)在古迹墙体、雕像等之生长模式 ● 与墙体间之生长关系可分为 14 种, 在古迹建筑中所造成破坏的地衣和植物种类共 58 种 ● 植物根部生长深入结构体后, 会分泌物含有攻击建材的化学物质 ● 植物根部生长膨胀会对结构体造成破坏 						
关键项目一: 藤蔓植物的种类(type of vine)							
Stoneman ^[3] (2008)	<ul style="list-style-type: none"> ● 自行攀附之藤蔓植物: 为施行绿化于建筑物表面最有效的, 因为不需绑扎或支撑, 但不该被视为临时性栽种的植物, 一旦已既定生长, 则需显著的劳动力从建物表面上移除具黏性的卷须与根。 ● 需要支撑物攀附之藤蔓植物: 对于建筑绿化而言, 由建筑物主体分离出来, 施作一支撑结构体供藤蔓植物生长, 藉由空隙中之空气流动, 可提供绿化以及阳光屏蔽等好处, 且可不用与建筑物进行接触。 						
关键项目二: 建筑物的种类(type of building)							
	<ul style="list-style-type: none"> ● 不推荐将藤蔓植物栽种生长攀附于木材、墙板表面上 ● 木材受到藤蔓植物之遮阴覆盖且保有水分湿气的影响, 容易变形软化, 易受到藤蔓之须根或卷须进行沿着木纹的破坏 ● 藉由日益生长膨胀的茎导致墙板向外侧变形 ● 若灰泥、砂浆、砖或石砌之间的状况不佳, 藤蔓的气根将从中尝试提取湿气, 无疑会削弱结构的强度 ● 随着现代砂浆含有硅酸盐水泥和少许石灰, 只要该结构是健全和防潮的, 藤蔓于墙体上之攀附反倒可减少紫外线破坏建筑物与减缓温度变化对建物的影响 						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">植物</th> <th style="width: 33%;">结构系统</th> <th style="width: 33%;">建筑物外壳表体</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 植物种类 ● 栽植方式 ● 维护方式 ● 适用时机 ● 限制条件 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 直接攀爬 ● 盆状 ● 网状 ● 版状 ● 面状 </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> ● 建筑种类 ● 绿化部位 ● 影响因素 ● 维护方式 ● 灾害等 </td> </tr> </tbody> </table>	植物	结构系统	建筑物外壳表体	<ul style="list-style-type: none"> ● 植物种类 ● 栽植方式 ● 维护方式 ● 适用时机 ● 限制条件 	<ul style="list-style-type: none"> ● 直接攀爬 ● 盆状 ● 网状 ● 版状 ● 面状 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建筑种类 ● 绿化部位 ● 影响因素 ● 维护方式 ● 灾害等
植物	结构系统	建筑物外壳表体					
<ul style="list-style-type: none"> ● 植物种类 ● 栽植方式 ● 维护方式 ● 适用时机 ● 限制条件 	<ul style="list-style-type: none"> ● 直接攀爬 ● 盆状 ● 网状 ● 版状 ● 面状 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建筑种类 ● 绿化部位 ● 影响因素 ● 维护方式 ● 灾害等 					
彭光辉 ^[4] (2012)							

Table 4. The classification table of the vertical green vegetation system
表 4. 植生壁面绿化系统分类整理表

研究学者	分类项目	主要内容
	植生绿墙系统	成本较高但可快速达到绿覆的效果
王铭琪 ^[5] (2009)	维护绿帷幕绿墙系统	通常需要几年时间才能达到全面绿覆的效果, 但维护管理成本较低
	金属框架嵌入植栽型绿墙系统	依附于原金属围墙补强的支撑架构, 或以站立之方式, 施力于墙体锁定支点
	墙面自然攀爬型	利用具有吸盘附着能力的藤蔓植物沿墙面攀爬
尹道镗 ^[6] (2010)	独立支撑架攀爬型	在墙上或墙前安装攀爬支撑材, 利用植物攀附
	墙面前植栽槽型	利用与墙面一体成型的植栽基础, 以达到绿化
	无土栽培型	直接将植物安插在毛毡层上, 提供植物所需的水份与矿物质沿不织布自然生长
	传统的自然植生绿墙	利用植物自然攀爬于墙体上以达到绿化
	模块化网格	
Pérez 等人 ^[7] (2011)	双层植生绿墙	利用金属材料所组成的不同造型, 安装在建筑物的墙壁或独立结构, 成为植物生长攀附用
	线状	
	网格状	
	无附加设置物植生墙	直接让植物自然生长攀附于墙面上, 为一般传统之施作方式
	盆栽设置物	多为市售、定型化, 能容纳垂直绿化植物的容器, 可分成金属与塑料两种
胡轩桀 ^[8] (2012)	有附加设置物植生墙	为使藤蔓植物容易攀附于墙面上, 所设置的网状铁丝网或尼龙网
	网状设置物	为整合浇水、施肥系统, 和植栽定期维护检修等之板状单元设置物, 可分为陶瓷、瓷制、金属或塑料等材料
	版状设置物	
	面状设置物	利用垂直绿化单元与墙体表面分离进行设置, 运用自由度佳

镀锌铁材与防锈涂装铁材，系因随时间曝晒及刮风下雨等环境因素影响，使外层脱落进而造成锈蚀^[9]。

2.4. 植生绿化结构体的设计需求

藉由以上文献可了解植物自然攀附于壁面达到绿化，除需栽种合宜之植物种类外，另需注意生长侵蚀造成的破坏，故进而利用支撑结构体做为壁体植生绿化中使植物生长攀附用。而经由文献回顾所整理出的植生绿化案例的系统分类与架构后，可了解到垂直绿化结构体大多系采用金属材料进行打造，且具有耐腐蚀性、耐候性不佳的问题；有鉴于传统垂直绿化结构体金属材料劣化问题，并降低维护成本、提升耐久性，故寻求一更具优势之材料，以替代垂直绿化结构体之金属材料，系可由生态、永续与环保等三面向进行探讨，以满足垂直绿化结构体之设计需求，如图 1 所示。

故本文生物兼容性实验之施作，系采具备耐候性、耐蚀性佳等特性的 GFRP 复合材料，做为植物生长攀附之用，简化施作为藤蔓植物自然生长攀附之植栽试体。

3. 实验规划与内容

本文之实验内容系分别以实验方式与设备、实验试体与加工、实验植栽选种与实验试体编号等四个项目介绍说明。

3.1. 实验方式与设备

本文之实验场地位于国立台北科技大学土木馆顶楼，如图 2 所示。实验历经秋、冬、春三季，纪录自 2012 年 10 月 04 日至 2013 年 06 月 20 日为期共 38 周。系以每 1 至 2 天进行人工浇灌给水 1 次，每次每盆浇灌水量视土壤表面湿度进行浇灌，以 4 至 5 公升为主，有时视天气状态而定，如遇下大雨则暂停给水 1 次。本实验植栽规格与内容如表 5 所示。

本实验系针对植栽试体之生长高度每周进行一次记录，以计算植物生长速率，其计算如下列公式所示，并针对植栽试体的生长状况进行拍照，藉以观察植物与 GFRP 棒构件间之生长攀附情形。

生长速率 =

$$\frac{\text{本周量测植物生长高度} - \text{上周量测植物生长高度}}{\text{本周量测植物生长高度}} \quad (1)$$



Figure 1. The design needs of the vertical green structure
图 1. 垂直绿化结构体的设计需求



Figure 2. Experimental location
图 2. 实验现场环境

Table 5. Experiment specification and content
表 5. 实验植栽规格与内容

编号	项目	规格/内容说明
1	植栽容器	<ul style="list-style-type: none"> 材质: PP 塑料 尺寸: 盆口外径 33 cm、内径 29 cm、盆高 27 cm 容量: 约为 12 公升, 底部内径为 21 cm 内容: 具有排水孔, 并于底部铺上一层植生不织布, 以防止土壤流失, 帮助排水透气
2	植栽介质	<p>本实验植栽采长期栽培, 除非植物死亡, 鲜少会进行回放。故首重排水透气, 保水次之。因此以阳明山土与混合有机培养土进行 1 比 1 调配。</p> <ol style="list-style-type: none"> 阳明山土: <ul style="list-style-type: none"> 弱酸性土质 含有丰富的矿物元素 颗粒状, 排水性佳, 透气状况良 混合有机培养土: <ul style="list-style-type: none"> 固态粉状 有机质 74.5%、全氮 1.2%、全磷 0.8%、全氧化钾 0.9%。
3	药剂	本实验系以简易方式养护, 故不对植物施以肥料与药剂。

3.2. 实验试体与加工

为施作出能使植物生长攀附于 GFRP 棒构件上之

植栽试体，本实验系采用拉挤成型之 GFRP 棒构件，并由厂商型录中选择螺纹棒与光滑棒两种，其圆断面直径皆为 2.5 cm、构件长度为 1 m。并针对构件进行加工，分别为表面涂布环氧树脂(Epoxy)与油漆进行实验。环氧树脂系以主剂与硬化剂依重量比 3:1，使用搅拌机混合呈白色发泡即完成。而油漆种类为 Dulux 得利清味调合漆，系由优质树脂及植物萃取的低化学味溶剂制成，无添加铅、汞、镉等重金属及甲醛，并搭配得利专用稀释剂，使调合漆达到最佳使用效果。而本实验亦于第 13 周开始，规划采用圆断面直径约 2.5 cm，长 1 m 之竹竿，做为与植物兼容性之构件进行实验，并对其表面不进行任何加工。故 GFRP 棒构件与植物生物兼容性之实验构件合计为 6 种形式，另外加上自然原始不加工之竹竿构件，本实验共计为 7 种形式，如图 3 所示。

3.3. 实验植栽选种

本实验系参考凌德麟等人(1994)之研究报告，于台北市环境状况下推荐的 19 种藤蔓植物中，选择攀附方式为利用卷须与茎部缠绕之炮仗花，以及利用气根吸附结构物上的薜荔以上两种藤蔓植物作为实验植栽；系皆选用耐干旱、耐日晒和少落叶的常绿植物为优先选择，以减少对于植物维护的人力与时间，乃以生性适合在立体绿化之藤蔓植物为最佳选择，如图 4 所示。植栽之生长特性与介绍如表 6 所示^[10]。

3.4. 实验试体编号

故本实验系以 6 种不同表面 GFRP 棒构件以及竹竿构件，共 7 种实验构件搭配炮仗花与薜荔 2 种藤蔓植物，产生出 14 种搭配组合之植栽试体。每种搭配组合之植栽试体数量以 3 组进行实验，共 42 盆植栽试体，其搭配组合之植栽试体汇整表如表 7 所示。

4. 实验结果

本实验藉由气候环境因素、植栽试体生长高度纪录、生长速率计算与照片观察，汇整归纳出最佳生物兼容型式之 GFRP 棒构件。

4.1. 气候环境与生长关系

本实验观测期间，台北地区 2012 年 10 月至 2013

年 06 月间之月降雨量纪录图如图 5 所示，月日照时数与月均温纪录图如图 6 所示^[11]。

图 7 为炮仗花之植栽试体平均生长速率图，图 8 为薜荔之植栽试体平均生长速率图。由生长速率图可

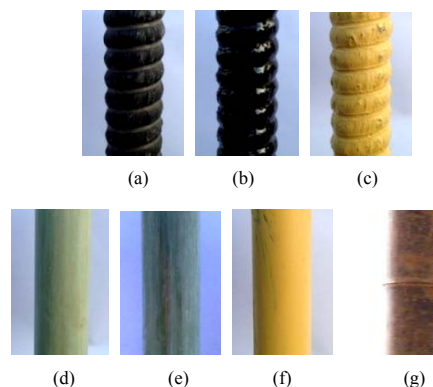


Figure 3. Plant-compatibility experiment members: (a) GFRP uncoated thread bar; (b) GFRP epoxy coated thread bar; (c) GFRP painted thread bar; (d) GFRP uncoated smooth bar; (e) GFRP epoxy coated smooth bar; (f) GFRP painted smooth bar; (g) Bamboo bar

图 3. 植物兼容性实验构件：(a) GFRP 表面不加工螺纹棒；(b) GFRP 表面涂布 Epoxy 螺纹棒；(c) GFRP 表面涂布油漆螺纹棒；(d) GFRP 表面不加工光滑棒；(e) GFRP 表面涂布 Epoxy 光滑棒；(f) GFRP 表面涂布油漆光滑棒；(g) 竹竿构件



Figure 4. Plant-compatibility experiment planting species: (a) *Pyrostegia venusta*; (b) *Ficus pumila*

图 4. 实验植栽种类：(a) 炮仗花；(b) 薜荔

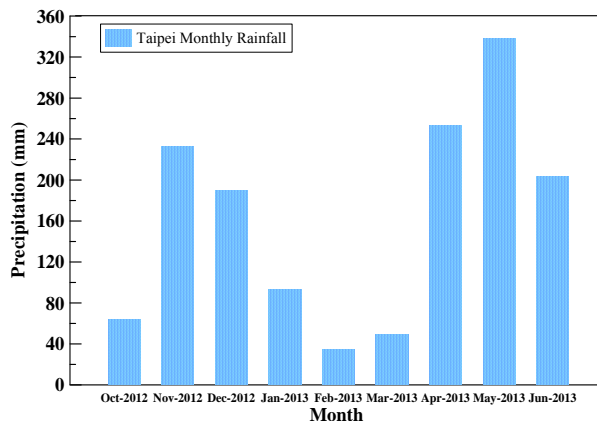


Figure 5. The record of Taipei monthly rainfall
图 5. 台北市月降雨量纪录图(资料来源：交通部中央气象局)

Table 6. The growth characteristics table of the plant-compatibility experiment planting species
表 6. 植物兼容性实验植物生长特性汇总表

中文名/学名	生长期	茎质	叶		花		土壤		移植	生长	攀附	管理
			落叶	常绿	花期	无	质地	酸碱				
炮仗花 <i>Pyrostegia venusta</i>	多年	木	常绿	常绿	春冬	无	砂、壤	皆可	中	快	缠绕	易
薜荔 <i>Ficus pumila</i>	多年	木	常绿	常绿	无	无	砂、壤	中	易	慢	吸附	易

Table 7. The naming of the plant specimen
表 7. 植栽试体命名

圆棒试体	原始不加工			涂布环氧树脂		涂布油漆	
	螺纹 Thread (T)	光滑 Smooth (S)	竹竿 Bamboo (B)	螺纹 Thread (T)	光滑 Smooth (S)	螺纹 Thread (T)	光滑 Smooth (S)
炮仗花 (P)	PT1	PS1	PB1	PTE1	PSE1	PTP1	PSP1
	PT2	PS2	PB2	PTE2	PSE2	PTP2	PSP2
	PT3	PS3	PB3	PTE3	PSE3	PTP3	PSP3
薜荔 (F)	FT1	FS1	FB1	FTE1	FSE1	FTP1	FSP1
	FT2	FS2	FB2	FTE2	FSE2	FTP2	FSP2
	FT2	FS2	FB3	FTE3	FSE3	FTP3	FSP3

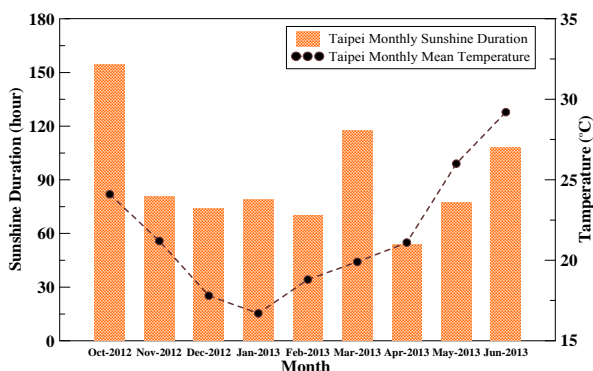


Figure 6. The record of Taipei monthly sunshine duration and mean temperature
图 6. 台北市月日照时数与月均温纪录图(资料来源: 交通部中央气象局)

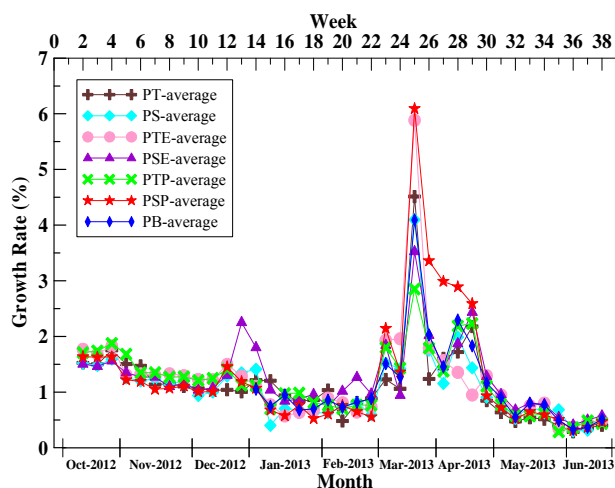


Figure 8. The growth rate of the *Ficus pumila* planting specimen
图 8. 薜荔植栽试体生长速率图

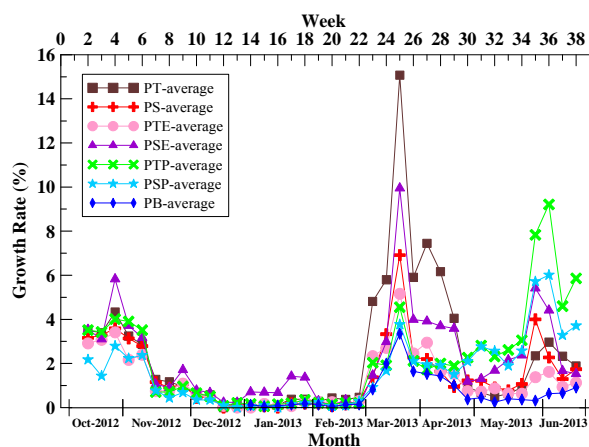


Figure 7. The growth rate of the *Pyrostegia venusta* planting specimen
图 7. 炮仗花植栽试体生长速率图

发现植物的生长趋势随着迈入冬季而逐渐减缓, 入冬后, 伴随着寒流与强风的影响, 植栽试体呈现停止生长之现象产生。迈入春季之后, 伴随着气候回温、降雨量以及日照时数的增加, 植栽试体之生长趋势明显上升, 大部分植栽试体的最快生长速率发生于观测期间之第 25 周, 即 2013 年 03 月 17 日至 23 日。

藉由植栽试体的生长速率图可发现, 季节与气候的演替, 对于 42 盆植栽生长有着显著的影响, 植栽试体的生长趋势与台北地区的日照时数纪录、月降雨量纪录, 呈现出相互对应之走向趋势; 探究其原因,

在渡过冬季后，随着日渐提升的适当温度与迈入梅雨季节，系能增加植物进行光合作用中所需之水分，并搭配着日照时数的增长，植物能利用更多充足的阳光能量进行光合作用，以获取生长所必需之养分。

4.2. 植栽试体生长观察

对本实验的植栽试体探讨其攀附表现，以炮仗花之植栽试体而言，可由图 9 之实验观察照片进行探讨。GFRP 表面不加工螺纹棒之植栽试体编号 PT，以及 GFRP 表面涂布油漆螺纹棒之植栽试体编号 PTP，炮仗花乃顺着构件缠绕向上，并具有大量卷须攀附于构件上，分别如图 9(a)与图 9(c)所示；而植栽试体编号 PTE、PS、PSE、PSP 与 PB，则容易有枝叶掉落与折断的现象产生，系因构件表面过于光滑，易遭受大风大雨冲击而导致炮仗花之主茎不易生长缠绕于构件上，更无卷须攀附其表面上。但是藉由实验照片则可明显观察到，包含以上 6 种不同表面之 GFRP 棒构件与竹竿构件共 7 种实验构件，皆对植栽不会产生排斥等任何影响植物健康不良之现象。

而以薜荔之植栽试体而言，可由图 10 之实验观察照片进行探讨。因薜荔生长较为缓慢，且不具备主茎，系以不定根系直接钻入土壤之中，以面向扩张式进行生长。因此需要待植栽生长长度足够，再以束绳对薜荔束制于构件上，以进行生长方向之控制。然而薜荔虽然生长缓慢，但由图 10(a)、图 10(c)与图 10(f)，仍可发现可吸附于 GFRP 表面不加工、涂布油漆之螺纹棒表面上以及 GFRP 表面涂布油漆之螺纹光滑棒表面上，惟不易吸附生长于 GFRP 表面涂布 Epoxy 螺纹棒、GFRP 表面涂布 Epoxy 光滑棒以及竹竿构件上。

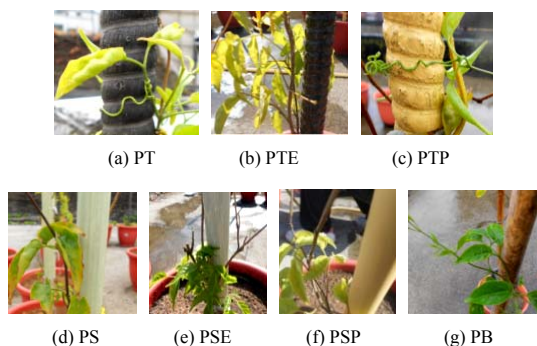


Figure 9. The photos of the *Pyrostegia venusta* planting specimen growth photos
图 9. 炮仗花与各种构件搭配之生长状况

4.3. 实验结果比较

为进一步探讨出最佳兼容型式之 GFRP 棒构件，遂可由炮仗花植栽试体的生长长度以及生长速率等进行比较，如表 8 所示。

GFRP 表面不加工螺纹棒之植栽试体编号 PT，具有最佳之生长长度与生长速率，炮仗花之卷须系沿着螺纹圆棒之螺纹进行攀附，植物对于构件并无排斥现象产生。而 GFRP 表面涂布油漆螺纹棒之植栽试体编号 PTP，其生长长度与生长速率虽不如前者，但相同具有不被风雨吹断之纪录，并于花季时绽放花朵。而 GFRP 表面涂布 Epoxy 光滑圆棒之植栽试体编号 PTE，虽然具有遭风雨吹断次数 2 次、植栽枯萎 1 次之纪录，但植栽亦于花季时绽放出花朵。另外，以竹竿构件做为藤蔓植物攀附支撑物，在经过 26 周风吹日晒下，表面多已出现裂痕并产生斑驳现象，如图 11 所示。故可由表 9 针对藤蔓植物于 GFRP 棒构件上之兼容性实验，依据“排斥性”、“攀附性”以及“美观性”汇整出植物自然生长攀附之构件选择评估表。

5. 结论

依据上述之研究成果，结论可归纳如下：

- 1) 本文经由为期 38 周藤蔓植物于 GFRP 棒构件

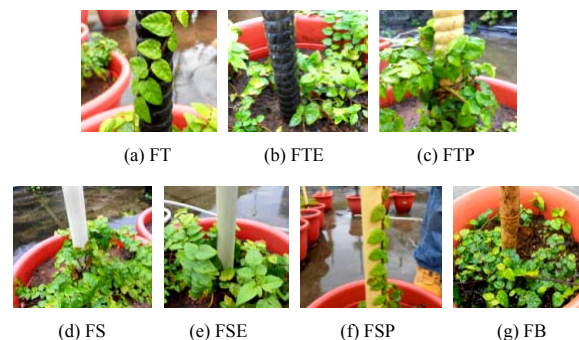


Figure 10. The photos of the *Ficus pumila* planting specimen
图 10. 薜荔与各种构件搭配之生长状况



Figure 11. Cracks on bamboo specimen surface
图 11. 竹竿试体表面裂痕

Table 8. Analysis of growth planting results
表 8. 炮仗花植栽生长状况分析结果

实验试体项目	GFRP 螺纹棒									
	原始表面不加工			涂布环氧树脂			涂布油漆			
试体名称	PT1	PT2	PT3	PTE1	PTE2	PTE3	PTP1	PTP2	PTP3	
生长长度(cm)	25.7	76.5	58.0	13.0 ①	24.4	21.0	73.5	28.0	36.2	
生长速率 (%)	最快	11.4	20.9	12.9	5.0	6.9	3.5	17.7	4.04	7.14
	最慢	0.28	0.19	0.18	0.29	0.24	0.19	0.25	0.16	0.22
吹断数		0			2			0		
枯萎数		0			0			0		
有无开花		无			无			有		
38 周后生长状况	主茎与卷须易攀附于构件上			主茎不易攀附构件上			主茎与卷须易攀附于构件上			

实验试体项目	GFRP 光滑棒										
	原始表面不加工			涂布环氧树脂			涂布油漆				
试体名称	PS1	PS2	PS3	PSE1	PSE1-1	PSE2	PSE3	PSP1	PSP2	PSP3	
生长长度(cm)	26.9	16.8 ②	19.0 ③	4.0 ④	35.3 ⑤	38	29 ⑥	16.0 ⑦	6.0 ⑧	26.0	
生长速率 (%)	最快	6.9	7.6	6.3	3.4	12.1	9.8	15	4.6	6.8	8.4
	最慢	0.20	0.19	0.16	1.9	0.15	0.1	0.7	0.16	0.27	0.27
吹断数		4			2			5			
枯萎数		0			1			0			
有无开花		无			有			无			
38 周后生长状况	主茎不易攀附于构件上			枝叶易被风雨吹落而折断			枝叶易被风雨吹落而折断				

①: PTE1 植栽试体遭风雨吹断次数 2 次, 并对之后之生长高度进行累积加总; ②: PS2 植栽试体遭风雨吹断次数 2 次, 并对之后之生长高度进行累积加总; ③: PS3 植栽试体遭风雨吹断次数 2 次, 并对之后之生长高度进行累积加总; ④: PSE1 植栽试体遭于第 6 周即枯萎死亡; ⑤: PSE1-1 植栽试体为第 7 周进行移植, 以取代 PSE1 植栽试体; ⑥: PSE3 植栽试体遭风雨吹断次数 2 次, 并对之后之生长高度进行累积加总; ⑦: PSP1 植栽试体遭风雨吹断次数 2 次, 并对之后之生长高度进行累积加总; ⑧: PSP2 植栽试体遭风雨吹断次数 3 次, 并对之后之生长高度进行累积加总。

Table 9. An evaluation component of plants grow naturally cling to GFRP bas
表 9. 植物自然生长攀附之 GFRP 构件选择评估表

项目	内容
排斥性	植物对于 6 种不同表面 GFRP 棒构件之生长攀附上, 不会产生树脂或纤维等排斥任何影响植物健康不良之现象, 与攀附于竹竿上之植栽试体相比, 其生长速率结果并无太大差异; 且竹竿在历经 26 周实验观测期后, 与历经 38 周实验观测期之 6 种不同表面之 GFRP 棒构件相比, 其表面产生明显裂痕与斑驳等状况, 其耐候性与耐蚀性明显不如 GFRP 构件。
攀附性	透过生长状况观察与生长高度纪录与速率计算, GFRP 螺纹棒构件之攀附性能优于 GFRP 光滑棒构件, 又以原始不加工之 GFRP 螺纹圆棒构件攀附性能最佳。
美观性	为考虑搭配使用者的选择, 选择涂布油漆之 GFRP 螺纹棒构件, 可点缀出使用者喜爱的颜色, 亦不影响植物攀附性能。

上之兼容性实验, 发现 GFRP 构件不但是于耐候性与耐蚀性方面表现显著, 且表面原始不加工之 GFRP 构件与植物间并不会产生环氧树脂或纤维排斥等任何影响植物健康不良之现象, 其它一系列进行表面加工之 GFRP 棒构件亦然; 显示出 GFRP 复合材料是一可持续发展应用于植生壁面绿化系统支撑结构体之材料。

2) 本文藉由植栽试体的生长趋势图可观察到与台北地区的日照时数纪录、月降雨量纪录, 呈现出明显的相互应对走向趋势, 并藉由植栽试体之生长高度纪录、生长速率计算与照片观察等可发现, 藤蔓植物对于 GFRP 螺纹棒构件之攀附性能优于 GFRP 光滑棒构件, 其中又以原始不加工之 GFRP 螺纹棒构件攀附

性能最佳,同时涂布油漆之 GFRP 螺纹棒亦具有使植物易攀附之粗糙面。

3) 若以美观性进行考虑,则可选择涂布油漆之 GFRP 螺纹棒构件,不但可点缀出使用者喜爱的颜色,亦不会对植物攀附性能造成影响。两种不同 GFRP 构件种类之植物兼容性表现比较顺序为:螺纹棒 > 光滑棒;针对 GFRP 构件表面加工性而言,其植物兼容性表现比较顺序为:涂布油漆 ≥ 原始不加工 > 涂布环氧树脂。

6. 致谢

本文系国科会计划(低碳优质生活:植生绿化科技应用于永续绿建筑之研究(1/3))部分研究成果,感谢行政院国家科学委员会的经费补助(NSC 101-2627-E-027-002-MY3)。

参考文献 (References)

[1] 日本土木学会构造工委员会 FRP 桥梁研究小委员会 (2004)

- FRP 桥梁 - 技术とその展望. 社团法人土木学会, 东京.
- [2] Lisci, M., Monte, M. and Pacini, E. (2003) Lichens and higher plants on stone: A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **51**, 1-17.
- [3] Stoneman, J. (2008) The use of vines on buildings. [http://www.greendesignetc.net/GreenProducts_08_\(pdf\)/Stoneman_Josh-Vines\(paper\).pdf](http://www.greendesignetc.net/GreenProducts_08_(pdf)/Stoneman_Josh-Vines(paper).pdf)
- [4] 彭光辉 (2012) 绿建筑垂直植生绿化应用于都市整建维护. *台湾环境与土地法学杂志*, **1**, 1-12.
- [5] 王铭琪 (2009) 立面绿化植生绿墙之发展浅介. 绿屋顶及绿墙交流讨论推广会, 台北.
- [6] 尹道镗 (2010) 台北科技大学设计学院大楼西向壁面绿化设计. 国立台北科技大学建筑与都市设计研究所, 台北.
- [7] Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., et al. (2011) Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings applied. *Energy*, **88**, 4854-4859.
- [8] 胡轩桀 (2012) 简易植生墙植物适应性的选种. 南华大学, 嘉义.
- [9] 陈佳荣 (2010) 建筑物壁面绿化构法之研究以支撑架系统为例. 国立成功大学建筑研究所, 台南.
- [10] 凌德麟 (1994) 市政府建设专题研究报告第 250 辑——台北市立面景观绿化之研究. 台北市政府研究发展考核委员会, 台北.
- [11] 交通部中央气象局气象预报中心 (2012-2013) 第四十四~五十二期气候监测报告. 交通部中央气象局, 台北.