

园林废弃物地表覆盖对龙船花生长发育的影响

潘松^{1,2}, 赵玉梅^{1,2}, 袁峰均^{1,2}, 史正军^{1,2*}

1. 深圳市中国科学院仙湖植物园/深圳市南亚热带植物多样性重点实验室, 广东深圳 518004; 2. 广东深圳城市森林生态系统国家定位观测研究站, 广东深圳 518004

摘要: 利用植物残体进行地表覆盖是农林生产中采用的普遍方式, 对于土壤水分保持、改善土壤肥力条件、促进植物生长及解决表土裸露问题等均具有显著效果。园林废弃物用于城市绿地地表覆盖是近年来国内外园林行业关注的焦点, 并且是继堆肥回归土壤之外的主要应用发展方向。目前在园林废弃物覆盖研究和应用方面主要侧重于堆肥化后覆盖、染色覆盖等, 而鲜有对不同组分原生材料覆盖效果进行系统比较的研究报道。为探明经简易加工后的园林废弃物原生材料覆盖对植物生长发育的影响, 本研究以龙船花 (*Ixora chinensis* Lam.) 为研究对象, 将园林废弃物分为 4 种组分材料 (草屑、树叶、枝叶、树枝), 经粉碎、晾干后作为原生覆盖材料进行试验, 设置 3 个覆盖厚度 (3、6、9 cm), 并以无覆盖的裸土为对照。植物生长维护 21 个月后, 分析不同覆盖处理对龙船花地上部植株的生长参数、矿质养分含量和叶绿素相对含量 (SPAD) 的影响。结果表明, 与对照相比, 覆盖处理明显提高了龙船花的株高、茎粗、生物量、SPAD, 以及茎、叶的氮含量, 各处理植株茎、叶的磷含量和茎的钾含量因覆盖材料类型与厚度不同而有差异, 但对叶片钾含量无明显影响。相关性分析表明, 龙船花的各生长参数指标与茎、叶的氮含量与 SPAD 两两间呈极显著正相关, 磷含量与鲜叶质量呈显著正相关。通过主成分分析综合评价表明, 覆盖处理对龙船花各指标的综合表现均优于对照, 并可根据主成分综合得分将其分为两类, 一类为对龙船花促生效果较好的处理, 分别是 3、6、9 cm 厚度的枝叶、树枝, 6、9 cm 厚度的树叶覆盖处理, 另一类为对龙船花促生效果相对较差的处理, 分别是 3、6、9 cm 厚度的草屑, 3 cm 厚度的树叶覆盖处理。综上, 本研究通过对龙船花生长影响的指标比较评价, 筛选出适宜用作有机覆盖物的园林废弃物原生材料组分和覆盖厚度, 可为园林废弃物作有机覆盖物的推广应用提供参考。

关键词: 园林废弃物; 有机覆盖物; 龙船花; 生长参数; 植物养分; SPAD

中图分类号: S731.2 文献标识码: A

Effects of Green-waste Mulches on Growth of *Ixora chinensis* Lam.

PAN Song^{1,2}, ZHAO Yumei^{1,2}, YUAN Fengjun^{1,2}, SHI Zhengjun^{1,2*}

1. Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences / Key Laboratory of Southern Subtropical Plant Diversity, Shenzhen, Guangdong 518004, China; 2. Shenzhen Urban Forest Ecosystem Research Station, National Forestry and Grassland Administration, Shenzhen, Guangdong 518004, China

Abstract: Mulching with plant residues is a common method used in agricultural and forestry production, which has significant effects on soil moisture conservation, soil fertility improvement, plant growth promotion and solving the problem of soil bareness. In recent years, the application of green waste to urban green land mulching is the focus of landscape industry in China and abroad and the main application and development direction of compost besides returning to soil. At present, the research and application of green waste mulch mainly focus on composting mulch and dyeing mulch, and there are few reports on the systematic comparison of the mulch effects of different components of native materials. For proven after simple processing green waste native materials mulching influence on plant growth, taking *Ixora chinensis* Lam. as the research object, the green wastes were collected according to turfgrass clippings (TCS),

收稿日期 2022-05-10; 修回日期 2022-07-26

基金项目 国家重点研发计划项目 (No. 2021YFE0193200); 深圳市城管和综合执法局科研项目 (No. 202018); 仙湖植物园科研基金项目 (No. FLSF-2021-03)。

作者简介 潘松 (1994—), 男, 硕士, 助理工程师, 研究方向: 土壤肥力与城市生态。*通信作者 (Corresponding author): 史正军 (SHI Zhengjun), E-mail: shizhengjun@szbg.ac.cn。

leaves (LVS), mixture of branches and leaves (MBL), branches (BCS), and then were crushed, air-dried as native mulches material to test and set up three mulching thickness (3 cm, 6 cm and 9 cm), with bare soil without mulch as the control. The effects of different treatments on growth parameters, mineral nutrients and SPAD of above-ground parts of *I. chinensis* Lam. were analyzed after 21 months of planting. The results showed that compared with the control, mulches significantly increased the plant height, stem diameter, biomass, SPAD and N content in stem and leaf of *I. chinensis* Lam. The variation trend of P content in stem and leaf and K content in stem of each treatment was different due to the difference of mulch material type and thickness, but had no obvious effect on leaf K content. The results of correlation analysis showed that there was a very significant positive correlation between the growth parameters and the N content of stems and leaves and SPAD, and the P content was significant positive correlated with the weight of fresh leaves. Comprehensive evaluation by principal component analysis indicated that mulches treatments on each index of the comprehensive performance of *I. chinensis* Lam. was superior to the control. Treatments could be divided into two categories according to principal component comprehensive, category one, MBL & BCS with the thickness of 3 cm, 6 cm, 9 cm LVS with 6 cm and 9 cm with better effect on promoting the growth of *Ixora chinensis* Lam., and category two, TCS with thickness of 3 cm, 6 cm, 9 cm and LVS with thickness of 3 cm with relatively poor growth promoting effect. This study screened out the components and mulching thickness of green waste raw materials suitable for organic mulch through comparative evaluation of the indexes affecting the growth of *I. chinensis* Lam., which could provide reference for the promotion and application of green waste as organic mulch.

Keywords: green waste; organic mulch; *Ixora chinensis* Lam.; growth parameters; plant nutrients; SPAD

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.04.013

园林废弃物是指园林植物自然凋落或者修剪养护时所产生的植被残体, 主要包括树叶、草屑、树木与灌木剪枝等^[1]。随着我国城市绿化的快速发展, 园林废弃物俨然成为继城市生活垃圾之后的第二大城市固体废弃物^[2], 将其制成有机覆盖物是实现园林废弃物资源化利用的有效途径之一, 而且还可缓解由传统且主要的填埋、焚烧处理方式给生态环境带来的压力^[3-4]。研究表明, 有机覆盖物经自然分解可提高土壤中的有机质和氮、磷、钾等养分含量^[5-6], 这些养分元素可供植物吸收利用, 进而促进植物生长, MARICHAMY 等^[7]、CREGG 等^[8]和 KICZOROWSKI 等^[9]的研究均得以证实; 此外, 有机覆盖物还具有改善土壤物理特性^[10]、减少土壤侵蚀和保护径流^[11]、保持土壤水分和温度^[12]、抑制杂草生长^[13]、吸滞、降解污染和美化绿地景观^[14]等功能。因此, 园林废弃物作有机覆盖物具有广阔的应用前景。目前, 国内关于园林废弃物的地表覆盖应用较成熟的方式为堆肥和染色覆盖, 而对原生材料直接覆盖的研究及应用较少, 且大多侧重于对土壤理化性质和微生物方面的效果研究^[15-18], 而鲜有对植物生长发育直接效果的研究。

龙船花 (*Ixora chinensis* Lam.) 原产于中国南部地区和马来西亚, 株型优美、花期长, 具有极高的观赏价值^[19], 在我国南方城市园林中应用非常广泛^[20-21], 同时还具有重要的药用价值^[22-23]。

故本研究以园林中常见灌木龙船花为例, 探讨园林废弃物不同组分的原生材料地表覆盖对龙船花生长发育的影响, 以期为园林废弃物作有机覆盖物的应用推广提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地点: 深圳市仙湖植物园试验基地。

供试土壤: 试验基地附近人工山林地表层 30 cm 深度内的自然赤红壤, 其基本理化性质为有机质 4.23 g/kg、全氮 0.26 g/kg、全磷 0.22 g/kg、全钾 5.1 g/kg、pH 6.12, 经自然晾干过 2 cm 筛后备用。

供试肥料: 复合肥 (N : P₂O₅ : K₂O=15 : 15 : 15)。

试验容器: 利用市场购置的黑色 PVC 阻根板卷材围合成圆柱形种植槽, 规格为高 50 cm、直径 80 cm, 外围用铁丝围绑加固。

供试植物: 于苗木市场购置的龙船花袋苗, 株高为 25~30 cm。

供试覆盖物: 草屑、树叶、枝叶、树枝共 4 类。选用园林日常养护过程中修剪的多种乔木侧枝混合物和草坪草修剪混合物, 其中乔木包括马占相思 (*Acacia mangium*)、大叶榕 (*Ficus altissima*)、小叶榕 (*F. microcarpa*)、水蒲桃 (*Syzygium jambos*) 等华南本土阔叶植物, 以马占相思和大

叶榕为主；草坪草修剪物为马尼拉草 (*Zoysia matrella*) 和台湾草 (*Z. pacifica*)。“草屑”即草坪草修剪物，“树叶”为从乔木柔枝上摘取的叶片，“枝叶”为乔木主杆二级以上生长树叶的柔枝，“树枝”为木质化程度较高的乔木主杆一级侧枝，枝条硬化且无叶片生长；材料按分类收集后，将树枝、枝叶、树叶用小型树枝粉碎机粉碎至粒径 30~80 mm，草屑不粉碎，草叶长度为 50~150 mm，所有材料经自然晾干后作覆盖物使用。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验采用二因素裂区设计，主因素为覆盖材料类型，分别为草屑、树叶、枝叶、树枝等 4 种；副因素为覆盖厚度，分别为 3、6、9 cm 共 3 个水平；并设置不作覆盖处理的裸土作为对照 (CK)，试验处理及编号见表 1。每个种植槽内种植 8 株龙船花作为 1 个试验处理，设 3 次重复。

表 1 试验处理
Tab. 1 Test treatments

处理 Treatment	材料类型 Material type	厚度 Thickness/cm
CK		
T ₁	草屑	3
T ₂		6
T ₃		9
T ₄	树叶	3
T ₅		6
T ₆		9
T ₇	枝叶	3
T ₈		6
T ₉		9
T ₁₀	树枝	3
T ₁₁		6
T ₁₂		9

种植龙船花：在每个种植槽底部铺设约 10 cm 厚的陶粒，再向槽内填土，土壤经适度按压及灌水稳定至距种植槽上缘 10 cm 左右，然后将去袋的龙船花苗带土球均匀植入，再根据处理设置在相应种植槽表土添加覆盖物。

试验于 2019 年 11 月完成种植工作，并于种植后第 1、6、12、18 个月分别在每个种植槽内表施复合肥，每次 10 g，每 6 个月检查并补充被分解消耗的覆盖物至预设厚度，共补充 3 次；龙船花生长历时 21 个月，灌水等工作按常规养护方法进行。

1.2.2 样品采集与测定 (1) 样品采集与处理。

于 2021 年 8 月在每个种植槽内随机选取长势正常、一致的 6 株龙船花。采集前先测量龙船花的株高、茎粗和叶绿素相对含量 (SPAD)，再用枝剪采集龙船花植株地上部，分别测茎、叶鲜重，将鲜样装入纸袋中，以 105 °C 烘箱杀青 0.5 h 再 75 °C 烘干至恒重，分别称茎、叶干重；最后将烘干样品用粉碎机粉碎，并过 0.25 mm 筛后用于养分测定。

(2) 测定指标与方法。株高用不锈钢尺测定，茎粗用游标卡尺测定，使用 SPAD-502 Plus 叶绿素计测叶片的 SPAD，植株氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 含量的测定均采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮，再将消煮液用凯氏定氮仪测定全氮，钼锑抗比色法测定全磷，火焰光度法测定全钾^[24]。

1.3 数据处理

使用 SPSS 22.0 软件进行方差分析和相关性分析，使用 Excel 2016 软件绘制图表，用 Gaphpad 9.3.1 软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对龙船花生长参数的影响

由表 2 可知，与 CK 相比，不同覆盖处理后龙船花的茎、叶干 (鲜) 重和总干 (鲜) 重均有不同程度的提高，表明有机覆盖物可促进龙船花的茎、叶生长和生物量的积累，以 T₇ 的综合促进效果最好。从覆盖材料类型来看，覆盖材料类型显著影响龙船花的茎、叶生长，以草屑覆盖 (T₁~T₃) 的综合表现最差，而树叶、枝叶和树枝覆盖处理 (T₄~T₁₂) 间差异不显著；从覆盖厚度来看，草屑和枝叶的覆盖效果受覆盖厚度的影响较大，且均以 3 cm 厚度覆盖的效果最佳，而树叶和树枝覆盖受覆盖厚度的影响较小，各覆盖厚度间无显著性差异。

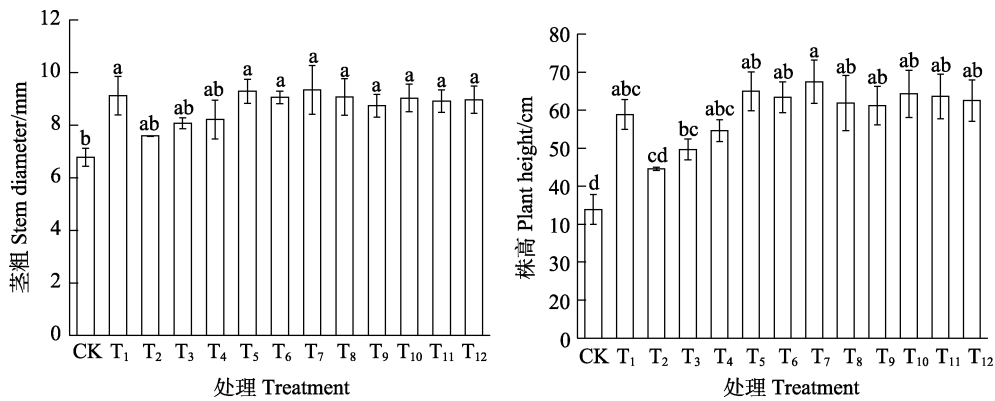
由图 1 可知，与 CK 相比，覆盖处理的株高和茎粗均有不同程度的增长，表明有机覆盖物有助于龙船花植株横向和纵向的生长，使植株更加健壮。在所有覆盖处理中，T₂~T₄ 处理对龙船花的茎粗增长表现较差，而 T₂ 和 T₃ 处理对株高的增长效果较差，其余处理间无显著性差异，均以 T₇ 处理的增长效果最优。由此可知，从覆盖材料类型来看，草屑覆盖对龙船花株高和茎粗的整体效果较差，而其他材料间无显著性差异，同时，草屑、树叶的覆盖效果还受厚度的影响，分别以 3、6 cm 的效果更佳。

表 2 不同处理下龙船花茎、叶生物量
Tab. 2 Biomass of stem and leaf of *I. chinensis* Lam. under different treatments g

处理 Treatment	鲜重 Fresh weight			干重 Dry weight		
	叶 Leaf	茎 Stem	总计 Total	叶 Leaf	茎 Stem	总计 Total
CK	257.53±20.50 ^e	163.76±24.23 ^f	421.29±43.38 ^f	99.07±10.97 ^f	79.14±13.37 ^g	178.21±24.34 ^e
T ₁	525.18±46.00 ^{bcd}	334.48±32.71 ^{cde}	859.67±32.23 ^{cd}	190.54±9.37 ^{cde}	156.91±20.58 ^{def}	347.45±18.94 ^{cd}
T ₂	363.58±24.01 ^{de}	213.69±1.00 ^{ef}	577.27±23.36 ^{ef}	127.39±7.99 ^{ef}	96.96±6.76 ^{fg}	224.34±12.96 ^e
T ₃	463.56±36.62 ^{cde}	285.60±23.67 ^{def}	749.17±54.25 ^{de}	141.23±12.74 ^{def}	115.57±6.46 ^{efg}	256.80±18.24 ^{de}
T ₄	593.91±116.70 ^{bc}	316.78±33.58 ^{cde}	910.69±149.62 ^{bcd}	202.88±32.99 ^{bcd}	136.53±13.67 ^{defg}	339.41±46.31 ^{cd}
T ₅	755.55±84.19 ^{ab}	403.46±19.44 ^{bcd}	1159.01±102.70 ^{bc}	267.08±11.99 ^{ab}	175.13±5.57 ^{abcde}	442.21±13.57 ^{bc}
T ₆	646.18±47.99 ^{bc}	416.67±35.55 ^{abcd}	1062.85±80.72 ^{bc}	219.41±14.87 ^{bc}	188.78±20.77 ^{abcd}	408.19±35.12 ^{bc}
T ₇	938.64±83.94 ^a	556.59±24.79 ^a	1495.23±105.23 ^a	319.83±26.43 ^a	244.55±13.06 ^a	564.38±39.24 ^a
T ₈	618.03±39.58 ^{bc}	394.47±3.57 ^{bcd}	1012.50±38.45 ^{bcd}	215.60±14.70 ^{bc}	171.83±3.47 ^{bcd}	387.43±12.89 ^{bc}
T ₉	536.43±62.98 ^{bcd}	512.59±117.66 ^{ab}	1049.02±96.15 ^{bc}	189.87±18.10 ^{cde}	241.71±63.90 ^{ab}	431.58±60.51 ^{bc}
T ₁₀	720.46±87.08 ^{ab}	457.09±52.62 ^{abc}	1177.55±135.51 ^b	270.74±25.34 ^{ab}	227.58±10.05 ^{abc}	498.32±35.22 ^{ab}
T ₁₁	702.18±96.76 ^b	439.76±46.58 ^{abc}	1141.94±109.85 ^{bc}	250.63±35.17 ^{abc}	211.65±18.72 ^{abc}	462.28±40.76 ^{ab}
T ₁₂	718.14±86.27 ^{ab}	408.71±21.34 ^{bcd}	1126.85±98.07 ^{bc}	251.95±32.50 ^{abc}	187.39±9.72 ^{abcd}	439.35±37.78 ^{bc}

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

图 1 不同处理下龙船花茎粗和株高

Fig. 1 Stem diameter and plant height of *I. chinensis* Lam. under different treatments

2.2 不同处理对龙船花养分含量和 SPAD 的影响

由表 3 可知，覆盖处理显著影响龙船花茎、叶的养分含量（叶的 K 含量除外）和叶片的 SPAD；与 CK 相比，覆盖处理均提高了龙船花茎、叶的 N 含量和 SPAD，以 T₇ 的覆盖效果最佳；而茎、叶的 P 含量受覆盖材料类型和厚度的影响而表现不一，草屑覆盖（T₁~T₃）提高了龙船花叶的 P 含量，降低了茎的 P 含量，树枝覆盖（T₄~T₆）处理后龙船花茎、叶的 P 含量显著提升，而枝叶和树枝覆盖（T₇~T₁₂）对龙船花茎、叶 P 含量的提升效果受覆盖厚度的影响较大，其中，枝叶以 3 cm 厚度覆盖（T₇）、树枝以 6 cm 厚度覆盖（T₁₁）的整体提

升效果较好；覆盖处理的叶 K 含量与 CK 无显著差异，但覆盖材料类型和厚度显著影响茎的 K 含量，以草屑覆盖、树枝 6 cm 厚度覆盖的效果最差，均显著低于 CK，其余覆盖处理与 CK 无显著差异。

2.3 龙船花养分含量、SPAD 与生长参数的相关性分析

通过相关性分析可知（表 4），龙船花各生长参数指标与茎、叶的 N 含量与 SPAD 两两间均呈极显著正相关 ($P < 0.01$)，同时，茎、叶的 N 含量与 SPAD 也呈极显著正相关 ($P < 0.01$)，茎、叶的 P 含量与鲜叶重呈显著正相关 ($P < 0.05$)。由此表明，龙船花的生长主要受茎、叶 N 含量和 SPAD 的影响，而茎、叶的 P 含量对鲜叶片的作用明显。

表 3 不同处理下龙船花茎、叶的 N、P、K 含量和 SPAD
Tab. 3 N, P, K contents in stems and leaves, SPAD of *I. chinensis* Lam. under different treatments

处理 Treatment	叶 Leaf			茎 Stem			SPAD
	N/(mg·g ⁻¹)	P/(mg·g ⁻¹)	K/(mg·g ⁻¹)	N/(mg·g ⁻¹)	P/(mg·g ⁻¹)	K/(mg·g ⁻¹)	
CK	6.06±0.29 ^c	6.98±0.69 ^{bc}	9.40±1.06 ^a	1.95±0.35 ^c	4.71±0.91 ^{bcd}	11.14±1.40 ^a	33.00±1.08 ^c
T ₁	10.25±1.53 ^{ab}	8.65±0.60 ^{bc}	8.66±0.89 ^a	5.66±1.28 ^{ab}	4.14±0.59 ^{cd}	4.49±0.33 ^c	44.17±2.88 ^{ab}
T ₂	6.98±0.08 ^{bc}	7.00±0.21 ^{bc}	9.53±1.71 ^a	3.19±0.10 ^{bc}	3.85±1.22 ^{cd}	5.50±0.57 ^c	37.90±0.15 ^{bc}
T ₃	8.04±0.39 ^{abc}	7.44±0.95 ^{bc}	10.99±1.02 ^a	3.98±0.21 ^{abc}	4.67±1.66 ^{bcd}	5.75±0.50 ^c	39.57±1.02 ^{abc}
T ₄	8.56±1.26 ^{abc}	9.82±1.23 ^{ab}	10.78±1.26 ^a	4.14±1.07 ^{abc}	7.63±1.34 ^{ab}	10.36±3.09 ^a	41.07±3.06 ^{ab}
T ₅	10.60±1.05 ^a	10.58±1.01 ^{ab}	9.15±0.38 ^a	5.72±0.67 ^{ab}	8.16±0.70 ^a	11.36±0.70 ^a	45.43±1.52 ^{ab}
T ₆	9.76±0.42 ^{ab}	8.04±1.79 ^{bc}	9.33±1.04 ^a	5.27±0.40 ^{ab}	7.57±0.37 ^{ab}	12.13±0.55 ^a	44.47±1.33 ^{ab}
T ₇	10.73±1.82 ^a	9.61±0.14 ^{ab}	10.66±2.16 ^a	6.07±1.33 ^a	6.26±0.93 ^{abc}	10.38±0.83 ^a	45.97±4.06 ^a
T ₈	10.17±1.47 ^{ab}	12.88±1.61 ^a	9.54±1.77 ^a	5.41±1.05 ^{ab}	2.95±0.63 ^d	11.10±0.35 ^a	43.93±2.83 ^{ab}
T ₉	9.31±0.77 ^{abc}	5.89±0.62 ^c	10.87±0.84 ^a	4.98±0.55 ^{ab}	4.10±1.34 ^{cd}	10.15±1.05 ^a	43.33±1.90 ^{ab}
T ₁₀	9.97±1.10 ^{ab}	7.22±1.26 ^{bc}	9.07±0.33 ^a	5.38±0.77 ^{ab}	3.51±0.40 ^{cd}	9.53±0.46 ^{ab}	44.53±2.54 ^{ab}
T ₁₁	9.94±0.91 ^{ab}	10.03±1.59 ^{ab}	7.00±1.56 ^a	5.19±0.62 ^{ab}	5.08±0.69 ^{abcd}	6.59±1.14 ^{bc}	44.20±2.27 ^{ab}
T ₁₂	9.88±1.10 ^{ab}	5.33±0.51 ^c	9.22±1.36 ^a	5.30±0.79 ^{ab}	5.46±0.73 ^{abcd}	12.00±0.62 ^a	44.47±2.53 ^{ab}

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments ($P<0.05$).

表 4 龙船花养分含量、SPAD 值与生长参数间的相关性分析
Tab. 4 Correlation analysis between nutrient content, SPAD and growth parameters of *I. chinensis* Lam.

指标 Index	SPAD	总鲜重 Total fresh weight	叶鲜重 Leaf fresh weight	茎鲜重 Stem fresh weight	总干重 Total dry weight	叶干重 Leaf dry weight	茎干重 Stem dry weight	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter
SPAD	1	0.814 ^{**}	0.795 ^{**}	0.689 ^{**}	0.749 ^{**}	0.755 ^{**}	0.613 ^{**}	0.996 ^{**}	0.992 ^{**}
叶 N	0.980 ^{**}	0.771 ^{**}	0.770 ^{**}	0.625 ^{**}	0.695 ^{**}	0.722 ^{**}	0.544 ^{**}	0.977 ^{**}	0.989 ^{**}
叶 P	0.230	0.277	0.345 [*]	0.114	0.166	0.290	-0.004	0.222	0.236
叶 K	-0.066	-0.136	-0.145	-0.095	-0.238	-0.263	-0.168	-0.068	-0.071
茎 N	0.983 ^{**}	0.788 ^{**}	0.779 ^{**}	0.652 ^{**}	0.720 ^{**}	0.735 ^{**}	0.578 ^{**}	0.979 ^{**}	0.993 ^{**}
茎 P	0.189	0.270	0.336 [*]	0.113	0.220	0.335 [*]	0.051	0.175	0.176
茎 K	0.193	0.281	0.290	0.212	0.256	0.290	0.174	0.211	0.191

注：*表示显著相关 ($P<0.05$)；**表示极显著相关 ($P<0.01$)。

Note: * represents significant correlation ($P<0.05$); ** represents extremely significant correlation ($P<0.01$).

2.4 不同处理下龙船花生长状况的综合分析

由于本研究所测龙船花的 15 个生长指标对各覆盖处理的响应有差异,故运用主成分分析方法对不同处理下的龙船花生长状况进行综合评价。根据特征值大于 1 的原则,提取特征值最大的 2 个主成分(图 2),第 1 主成分(PC1)的贡献率最大,为 69.22%,第 2 主成分(PC2)的贡献率为 10.28%,累计贡献率达到了 79.50%,说明这 2 个主成分可反映所有指标的大部分信息。

各处理在 PC1、PC2 中的综合得分可反映其对龙船花生长状况的综合影响,分值越高说明该

处理下的龙船花植株生长状况越好;而据 PC1 和 PC2 的贡献率可知,在 PC1 上得分值将直接影响该处理综合得分的高低。由图 2 可以看出,CK 在 PC1 上的得分远低于其他处理,综合得分最低,表明覆盖处理均对龙船花生长具有促进效果;在所有覆盖处理中, T₁~T₄ 在 PC1 上的得分明显偏低,而 T₅~T₁₂ 均位于 PC1 正半轴,在 PC1 上有较高的得分值,且以 T₇ 最高;故本研究将 T₁~T₄ 归类为对龙船花促生效果偏差的处理,将 T₅~T₁₂ 归类为对龙船花促生效果较好的处理,其中 T₇ 的效果最好。

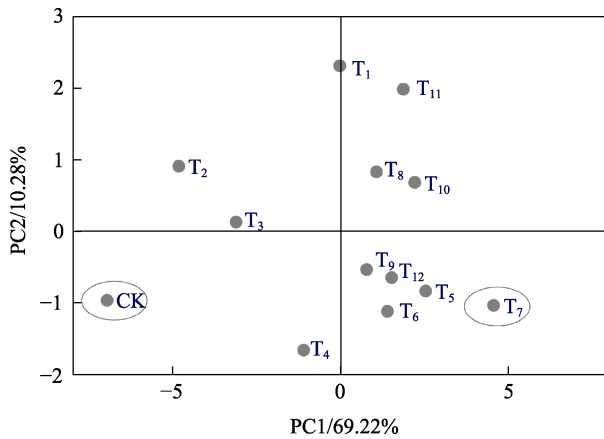


图2 各处理在第1、2主成分上的得分
Fig. 2 Scores of each treatment on PC1 and PC2

3 讨论

随着我国城市园林绿化建设的飞速发展,大量园林绿化废弃物的产生给城市管理部门带来巨大的压力,而传统的焚烧、填埋等处理方式已不符合我国对生态文明建设的需求。因此,园林废弃物的资源化利用已成为关注的焦点^[4, 25],其中将园林废弃物用于地表覆盖因加工简单、取材便利、生态环保等特点而备受关注^[3, 26]。

相关研究表明,有机覆盖物可提高植物冠幅的高度、直径、生物量等生长参数^[9, 27],还可提高植物叶片中的 SPAD^[28],与本研究结果基本一致;同时有机覆盖物还可提高植物体内的矿质养分含量,且明显受覆盖材料类型和厚度的影响,SAS-PASZT 等^[29]研究表明,15 cm 厚度的锯末、树皮覆盖可提高苹果树叶片的 N、K 含量,KICZOROWSKI 等^[9]选用大麦秸秆和松树皮以 15 cm 厚度覆盖也得到相似的结果,而 CREGG 等^[8]的研究结果显示,8 cm 厚度的硬木细料覆盖可提高灌木叶片的 N 含量,而以松树皮和柏树覆盖对叶片 N 含量无明显影响。本研究结果表明,所有覆盖处理均可提高龙船花茎、叶的 N 含量,而对叶片 K 含量的影响不明显;茎、叶的 P 含量和茎的 K 含量因覆盖材料类型和厚度的差异而表现不一。通过相关性分析表明,龙船花各生长参数指标与茎、叶的 N 含量与 SPAD 两两间均呈极显著正相关,这与李志宏等^[30]、刘萱等^[31]的研究结果基本一致。高效光合作用是植物获得高产的基础,而叶绿素是参与光合作用的重要色素,氮素又是叶绿素的基本构成组分^[32-33]。综上,本研究中,园林废弃物作有机覆盖物主要是通过提高龙船花

植株的氮含量来促进叶绿素的合成等反应,直接或间接增强了光合作用,最终实现了对龙船花的促生长效果。

4 结论

园林废弃物不同组分的原生材料作有机覆盖物可明显提高龙船花的株高、茎粗、生物量、N 含量和 SPAD,部分处理还可提高 P 含量,受覆盖材料类型和厚度的影响各指标变化明显,其中,3、6、9 cm 厚度的枝叶、树枝,6、9 cm 厚度的树叶覆盖均可较好地促进龙船花生长,且以 3 cm 厚度的枝叶覆盖效果最好。

参考文献

- [1] 梁晶, 吕子文, 方海兰. 园林绿色废弃物堆肥处理的国外现状与我国的出路[J]. 中国园林, 2009, 25(4): 1-6.
LIANG J, LYU Z W, FANG H L. Status of composting treatment of garden waste abroad and application in China[J]. Chinese Landscape Architecture, 2009, 25(4): 1-6. (in Chinese)
- [2] 郭泽莉, 张玉强. 浅析我国园林废弃物行业的发展及对策[J]. 国土绿化, 2019(3): 51-53.
GUO Z L, ZHANG Y Q. Initial analysis of the development and countermeasures of garden waste industry in China[J]. Land Greening, 2019(3): 51-53. (in Chinese)
- [3] 王胜永, 吴晗, 张天颖. 园林绿化废弃物资源化利用技术进展探究[J]. 现代园艺, 2017(10): 158.
WANG S Y, WU H, ZHANG T Y. Research on the technological progress of resource utilization of landscaping waste[J]. Contemporary Horticulture, 2017(10): 158. (in Chinese)
- [4] CAI W T, CHEN Y, FU K, ZHANG L, WANG Y, WANG X C. International experience of garden waste recycling and its inspiration to China[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 791(1): 12195. (in Chinese)
- [5] BALASUBRAMANIAN D, ARUNACHALAM K, ARUNACHALAM A, DAS A K. Effect of water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) mulch on soil microbial properties in lowland rainfed rice-based agricultural system in northeast India[J]. Agricultural Research, 2013, 2(3): 246-257.
- [6] ARTHUR M A, WANG Y T. Soil nutrients and microbial biomass following weed-control treatments in a christmas tree plantation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(3): 629-637.
- [7] MARICHAMY M S, THOMAS A, THOMAS A, JAYABHARATHI J, KANTHASWAMY V. Effect of dif-

- ferent mulches on vegetative and reproductive components of chilli (*Capsicum annuum* L) hybrid sierra[J]. *Advances in Life Sciences*, 2016, 5(3): 888-893.
- [8] CREGG B M, SCHUTZKI R. Weed control and organic mulches affect physiology and growth of landscape shrubs[J]. *Hortscience*, 2009, 44(5): 1419-1424.
- [9] KICZOROWSKI P, KOPACKI M, KICZOROWSKA B. The response of Sampion trees growing on different rootstocks to applied organic mulches and mycorrhizal substrate in the orchard[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 241: 267-274.
- [10] OLIVEIRA M T, MERWIN I A. Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems[J]. *Plant and Soil*, 2001, 234(2): 233-237.
- [11] FOLTZ R B, COPELAND N S. Evaluating the efficacy of wood shreds for mitigating erosion[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(2): 779-785.
- [12] CHEN Y L, LIU T, TIAN X H, WANG X F, LI M, WANG S X, WANG Z H. Effects of plastic film combined with straw mulch on grain yield and water use efficiency of winter wheat in Loess Plateau[J]. *Field Crops Research*, 2015, 172: 53-58.
- [13] MASSA D, BENVENUTI S, CACINI S, LAZZERESCHI S, BURCHI G. Effect of hydro-compacting organic mulch on weed control and crop performance in the cultivation of three container-grown ornamental shrubs: old solutions meet new insights[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 252: 260-267.
- [14] 黄利斌, 李荣锦, 王成. 国外城市有机地表覆盖物应用研究概况[J]. *林业科技开发*, 2008, 22(6): 1-8.
- HUANG L B, LI R J, WANG C. Overview of the application of organic mulch in foreign cities[J]. *China Forestry Science and Technology*, 2008, 22(6): 1-8. (in Chinese)
- [15] 阚丽艳. 有机地表覆盖物对城市园林植物茶梅土壤三参数、养分、微生物的影响及肥力综合评价[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2016, 34(5): 84-91.
- KAN L Y. Effect of organic mulch on soil wet condition, nutrient and microorganisms in urban garden plant *Camellia sasanqua* and comprehensive assessment of soil fertility[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2016, 22(6): 1-8. (in Chinese)
- [16] 李啸冲, 孙向阳, 李素艳, 王心语, 熊凯毅, 郑焱, 周文志. 有机地表覆盖材料对树穴土壤理化性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2020, 34(1): 322-326.
- LI X C, XUN X Y, LI S Y, WANG X Y, XIONG K Y, ZHENG Y, ZHOU W Z. Effects of organic surface covering materials on the physical and chemical properties of park tree hole soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, 34(1): 322-326. (in Chinese)
- [17] 夏妮, 白天, 金牧青, 沈亚鹏, 李文玲, 田国行, 吴坤. “木奇”覆盖对城市绿地土壤主要理化性状的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2018, 52(2): 280-286.
- XIA N, BAI T, JIN M Q, SHEN Y P, LI W L, TIAN G H, WU K. Study on the effect of “Muqi” on main physico-chemistry properties of soil in urban green space[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2018, 52(2): 280-286. (in Chinese)
- [18] 杜田甜, 孙向阳, 李素艳, 周伟, 郑焱, 范志辉. 园林绿化废弃物覆盖对城市绿地土壤肥力影响[J]. *北京林业大学学报*, 2021, 43(10): 110-117.
- DU T T, SUN X Y, LI S Y, ZHOU W, ZHENG Y, FAN Z H. Effects of landscaping waste mulching on soil fertility of urban green space[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2021, 43(10): 110-117. (in Chinese)
- [19] 《分子植物育种》编辑团队. 龙船花[J]. *分子植物育种*, 2020, 18(9): 3116.
- Editorial Team of MPB. *Ixora chinensis* Lam.[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, 18(9): 3116. (in Chinese)
- [20] 陈怡佳, 冯志坚, 翁殊斐. 茜草科观赏植物在广州公园中的应用[J]. *广东园林*, 2013, 35(1): 60-63.
- CHEN Y J, FENG Z J, WENG S F. Application of Rubiaceae ornamental plants in Guangzhou Parks[J]. *Guangdong Landscape Architecture*, 2013, 35(1): 60-63. (in Chinese)
- [21] 李颖欣, 翁殊斐, 张波. 龙船花属(*Ixora*)植物研究现状及其园林应用[J]. *热带农业科学*, 2013, 33(1): 96-101.
- CHEN Y X, WENG S F, ZHANG B. Review of *Ixora* and its application in landscape architecture[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2013, 33(1): 96-101. (in Chinese)
- [22] 蒋珍藕, 黄平, 韦桂宁. 龙船花属植物化学成分及药理作用研究进展[J]. *中南药学*, 2013, 11(4): 284-289.
- JIANG Z O, HUANG P, WEI G N. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Ixora* plants[J]. *Central South Pharmacy*, 2013, 11(4): 284-289. (in Chinese)
- [23] DONTA S, HEMALATHA K, RAJU M B. Phytochemical evaluation and screening of *in vitro* antioxidant potentiality of extracts of *Ixora chinensis* Lam leaves[J]. *Asian Journal of Chemistry*, 2016, 28(7): 1595-1598.
- [24] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO S D. *Soil and agricultural chemistry analysis*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. (in Chinese)
- [25] SHU T C, TONG L, GUO H W, LI X, BAI B J, CHEN Y, NIE X Q. Research status of generation and management of garden waste in China: a case of Shanghai[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 766(1): 12074. (in Chinese)
- [26] 张敬沙, 方海兰, 周建强, 商侃侃, 彭红玲, 金一铭. 有机

- 覆盖物在中国应用现状和标准化对策[J]. 中国标准化, 2021(15): 176-180.
- ZHANG J S, FANG H L, ZHOU J Q, SHANG K K, PENG H L, JIN Y M. Application status and standardization countermeasures of organic mulch in China[J]. China Standardization, 2021(15): 176-180. (in Chinese)
- [27] PROBIR K P, MITALI M. Tillage system and organic mulch influence leaf biomass, steviol glycoside yield and soil health under sub-temperate conditions[J]. Industrial Crops & Products, 2017, 104: 33-44.
- [28] MA Z, ZHANG Y Q, WANG L J, HU G L, GONG X Q, BAI Q, SU S C, QI J X. Short-term effects of spent mushroom substrate mulching thickness on the soil environment, weed suppression, leaf nutrients, and nut characteristics in a hazelnut orchard[J]. Agronomy, 2021, 11(6): 1122.
- [29] SAS-PASZT L, PRUSKI K, ZURAWICZ E, SUMOROK B, DERKOWSKA E, GLUSZEK S. The effect of organic mulches and mycorrhizal substrate on growth, yield and quality of Gold Milenium apples on M.9 rootstock[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2014, 94(2): 281-291.
- [30] 李志宏, 刘宏斌, 张福锁. 应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003(4): 401-405.
- LI H Z, LIU H B, ZHANG F S. Research of nitrogen nutrition status for winter wheat based on chlorophyll meter[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002(4): 401-405. (in Chinese)
- [31] 刘萱, 王芸. 盐胁迫对两种甘草幼苗生物量及光合荧光特性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(2): 163-169.
- LIU X, WANG Y. Effects of salt stress on biomass and photosynthetic fluorescence characteristics of two *Glycyrrhiza* seedlings[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(2): 163-169. (in Chinese)
- [32] FROMME P, MELKOZERNOV A, JORDAN P, KRAUSS N. Structure and function of photosystem I: interaction with its soluble electron carriers and external antenna systems[J]. FEBS Letters, 2003, 555(1): 40-44.
- [33] 中国农业科学院科技情报研究所. 光合作用与作物生产译丛-1[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- Institute of Scientific and Technological Information, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Photosynthesis and crop production transliteration-1[M]. Beijing: Agricultural Press, 1980. (in Chinese)