# 广州市主要行道树根系对道路破坏状况调查*

黄英梅 崔 诚 吴家龙 梁春梅 许昌超 张俊涛

广州市林业和园林科学研究院/广州市生态园林科技协同创新中心 广州 510405

**摘要**：城市建设更新过程中行道树与建筑物，尤其是根系与道路结构之间的冲突日益凸显，严重影响了行道树健康、城市道路结构、行人（车）的安全。基于广州市主要行道树（高山榕、大叶榕、细叶榕、杜果）根系破坏道路情况的实地调研，探究广州不同种植方式（绿带种植、广场种植和树穴种植）的常见行道树种根系对道路破坏的影响，以及行道树的胸径、冠幅与根系生长之间的关系，为城市科学绿化和城市行道树的精细化管养提供参考。结果表明：1）不同种植方式下的行道树根系对道路破坏程度表现为树穴种植>绿带种植>广场种植。2）行道树根系集中分布在>41 cm 土层，根系密度表现为绿带种植>广场种植>树穴种植；距离主干 1.0 和 1.5 m 处，绿带种植的行道树根系密度显著高于广场种植和树穴种植。3）在树穴种植方式下，不同行道树的根系发达程度存在显著差异，表现为高山榕>大叶榕>细叶榕>杜果；在>41 cm土层，高山榕的根系密度显著高于大叶榕、细叶榕和杜果；距离树干不同水平距离下，高山榕的根系密度均显著高于大叶榕、细叶榕和杜果（$P<0.05$）。4）行道树的根系发达程度与其冠幅、胸径存在正相关关系，树木的胸径与其根系在地表水平延伸长度、根系在地表凸起的高度以及根系在地表凸起的数量存在极显著的正相关关系（$P<0.01$）。综上可知，树穴种植下的行道树根系对道路破坏最为严重，且树穴种植下高山榕的根系密度最高。因此，建议优先选择胸径较小、根系以竖向生长为主的树种；尽量避免在空间狭小的区域种植根系粗壮的树种；采用绿带种植方式代替树穴种植。

**关键词**：行道树；种植方式；根系密度；道路破坏

DOI：10.12169/zgcsly.2024.06.26.0001

## Investigation on Road Damage Caused by Street Tree Root System in Guangzhou

Huang Yingmei Cui Cheng Wu Jialong Liang Chunmei Xu Changchao Zhang Juntao

(Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture/Guangzhou Science-Tech Collaborative Innovation Center on Ecology and Landscape, Guangzhou 510405, China)

**Abstract**: The conflicts between street trees and buildings, especially between root systems and road structures, have become increasingly prominent during urban construction and renewal, seriously affecting the health of street trees, the structures of urban road, and the safety of pedestrians (vehicles). Based on a field investigation of the road damage caused by the roots of the main street trees species (*Ficus altissima*, *F. virens* var. *sublanceolata*, *F. macrocarpa*, and *Mangifera indica*) in Guangzhou, this study explores the influence of root systems of common street tree species on road damage under different planting modes (greenbelt planting, plaza planting, and tree pit planting), and the relationship among diameter at breast height (DBH), crown width, and root growth of street trees, with an aim to provide references for the science-based urban greening and the fine management of street trees. The results show: 1) The

收稿日期：2024-06-26

* 基金项目：广州市林业和园林局预算项目（2061900000139）；广州市科技计划项目“广州市生态园林科技协同创新中心”（202206010058）

第一作者：黄英梅（1994- ），女，博士，研究方向为园林绿化、绿地土壤修复与改良。Email：huangyingmei3691@gmail.com

通信作者：张俊涛（1981- ），男，硕士，正高级工程师，研究方向为园林绿化。E-mail：350965652@qq.com

damage degree of the root systems of street trees under different planting modes ranks as tree pit planting > greenbelt planting > plaza planting; 2) The root systems of street trees are mainly concentrated in the soil layer of > 41 cm, and their root density ranks as greenbelt planting > plaza planting > tree pit planting. At 1.0 and 1.5 m away from the trunk, the root density of street trees planted in greenbelt is significantly higher than that of street trees planted in plaza and tree pit; 3) Under the tree pit planting mode, different species of street trees show significant differences in the development of root systems, which rank as *F. altissima* > *F. virens* var. *sublanceolata* > *F. microcarpa* > *M. indica*. In the soil layer of > 41 cm, the root density of *F. altissima* is significantly higher than those of *F. virens* var. *sublanceolata*, *F. microcarpa*, and *M. indica*. At various distances from the trunk, the root density of *F. altissima* is significantly higher than those of *F. virens* var. *sublanceolata*, *F. microcarpa*, and *M. indica* ($P<0.05$); and 4) There is a positive correlation between the root system development of street trees and their crown width and DBH. There is an extremely significant positive correlation between the DBH of trees and the horizontal extension length of their roots on the ground surface, the height of the root systems protruding on the ground surface, and the number of root systems protruding on the ground surface ($P<0.01$). In summary, the root system of street trees planted in tree pits causes the most severe damage to roads, and *F. altissima* has the highest root density under the mode. Hence, it is proposed to give priority to tree species with smaller DBH and vertical root growth, try to avoid planting tree species with thick root systems in areas with limited space, and adopt greenbelt planting instead of tree pit planting.

**Keywords**: street tree; planting method; root density; road damage

行道树是沿着人行道或车行道两旁成行栽植的树木，承载着重要的生态服务功能，如调节气候、净化空气、防尘降噪、防风遮荫、美化城市环境、丰富城市景观及涵养水源等，是城市园林绿化不可或缺的组成部分[1-4]。广州市城市绿化长期处于全国领先水平[5]，近年来，在“绿水青山就是金山银山”的理念指导下，广州市致力稳步推进森林城市品质提升计划，已经基本形成了全市“森林围城、绿道穿城、绿意满城、四季花城”的城市景观。为进一步提升城市绿化工作的质量，2021 年广州市制定了《广州市关于科学绿化的实施意见》（穗办［2021］11 号），明确提出了“实施精细管养，全面提升绿化精细化管养水平”的目标。城市道路绿化是城市绿化的重要组成部分，而行道树作为道路绿化的骨架[6]，在广州市的城市形象塑造、生态环境改善以及建设“宜居花园城市”等方面发挥着不可替代的作用[5]。

随着城市化进程和社会经济的快速发展，城市道路数量迅速增加，行道树数量骤增，种类日益丰富。根据 2021 年广州市林业和园林局的调查结果，广州市拥有约 58.6 万株行道树，其中以榕属（*Ficus*）植物为主，占总株数的 47.1%，包括榕树（*Ficus microcarpa*）13.7 万株、高山榕 7.91 万株、大叶榕 3.49 万株、垂叶榕（*Ficus benjamina*）2.52 万株。此外，广州市常见行道树树种还包括杧果、樟树和红花羊蹄甲（*Bauhinia* × *blakeana*）等。随着行道树的生长，由于养分吸收不足和生长空间受限，部分行道树的根系无法纵向深入地下，而是横向蔓延至道路两侧土壤中，或从地表凸起生长，不仅严重限制了行道树的自身发育，还对树穴周边、路面缘石和地下管线等设施造成严重破坏[6-7]，对城市道路的正常秩序和行人的出行安全构成严重威胁[8]。目前，关于城市行道树的研究多集中在树种选择、管养技术等方面[9-13]，而行道树对道路设施的影响则鲜有研究，广州地区的相关研究尚处于空白。基于此，亟需开展广州行道树对道路设施影响的调查，总结和掌握行道树生长与道路破坏之间的规律，以期为城市科学绿化和城市行道树的精细化管养提供参考。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以广州市城区典型道路的不同种植方式（绿带种植、广场种植和树穴种植）的行道树作

为研究对象，对高山榕、大叶榕、细叶榕、杧果、樟树 5 种常见行道树的生长情况展开调查。本次调查行道树共计 232 株，具体分布情况如表 1 所示。

**表 1　行道树基本资料**

| 编号 | 树木种类 | 拉丁名 | 调查路段 | 数量/株 | 平均胸径/cm | 平均树高/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 高山榕 | *Ficus altissima* | 广园中路、天河公园 | 38 | 45.13 ± 13.39 | 14.35 ± 1.65 |
| 2 | 大叶榕 | *Ficus virens* var. *sublanceolata* | 广园快速、广园中路、天河公园 | 40 | 48.96 ± 14.06 | 14.20 ± 2.04 |
| 3 | 细叶榕 | *Ficus microcarpa* | 天府路、中山大道、粤生街、华景路、花城广场、天河公园、临江大道 | 90 | 47.03 ± 12.72 | 9.81 ± 1.93 |
| 4 | 杧果 | *Mangifera indica* | 天府路 | 34 | 37.88 ± 6.88 | 10.30 ± 0.36 |
| 5 | 樟树 | *Cinnamomum camphora* | 天河体育中心、天河公园 | 30 | 40.45 ± 10.70 | 7.50 ± 1.00 |

### 1.2　研究方法

#### 1.2.1　数据采集

采用实地调查的方式，对广州市 3 种种植方式（绿带种植、广场种植和树穴种植）的行道树展开了综合调查，涵盖了行道树种类、种植方式、树高、胸径、冠幅（东西方向，南北方向）、树穴规格、根系在地表水平延伸长度、根系在地表凸起的高度、根系在地表凸起的数量、人行道道路破坏情况。同时，为全面了解行道树根系生长情况，使用树木无损检测系统（Tree Radar 公司，USA）对其中 14 棵（表 2）不同种植方式的广州市典型行道树的粗根系（直径不小于 1 cm）进行扫描[14]，扫描频率设定为 400 MHz，最大探测深度为 4 m[15]。以树干为圆心，由内到外间隔 0.5 m 设置 5 个（半径分别为 0，0.5，1.0，1.5 和 2.0 m）半圆作为扫描路径，每条扫描路径均从正北方向沿顺时针方向进行，测定时仪器紧贴地面，且树根周围无建筑物或其他遮挡，获得雷达波谱图[16]。将扫描获得的雷达波谱图导入 Tree Win POR 软件（Tree Radar 公司，USA）进行雷达图像滤波处理，通过对 B-Scan 图像与雷达波形图的人工交互判读，选取符合“动态回波模式”的点[14]，分别以 0~20、20~41 和>41 cm 这 3 个土层计算根系密度。建立坐标轴以确定树干位置与对应半径的探测路径（即，0，0.5，1.0，1.5，2.0 m），从而构建三维树木根系图和根系分布密度图。每次探测的周长为 $l$（m），该深度层次探测得出的根系数量为 $R_n$，则该深度下的行道树根系密度（$R_\rho$）计算为：$R_\rho = R_n / l$（单位为条·$m^{-1}$，即每米存在 N 条直径在 1 cm 以上根的数量）[17]。此外，对调查过程中具有代表性的行道树的生长状况和其根系对道路破坏情况进行了拍照记录。

#### 1.2.2　数据处理

将调查所获得的数据录入电脑，并通过 Excel 2007 软件对数据进行统计和分析。为了研究行道树树木根系生长与胸径、冠幅之间以及树木胸径与根系在地表水平延伸长度、根系在地表凸起的高度及根系在地表凸起的数量之间的相关性，使用 SPSS 18.0 软件进行方差分析。为了清晰呈现调查结果，采用 Excel 2007 软件对分析结果进行图表绘制。

## 2　结果与分析

### 2.1　不同种植方式的行道树根系对道路的影响

广州市 3 种种植方式的行道树根系对道路破坏的影响见图 1。绿带种植下的行道树生长状况良好，根系发达，根系沿着地表横向延伸距离较长。由于受到行人踩踏和车辆碾压，道路铺装下的土层压实严重，根系无法向下生长，行道树粗大的根系将路缘石顶起或穿插延伸在透气铺装的狭缝中（图 1A~D）。广场种植下的部分行道树树穴表面覆盖有大叶油草（*Axonopus compressus*）、结缕草（*Zoysia japonica*）等地被植物，行道树长势较好，部分榕属植物的根系紧紧盘踞在树穴中，将树穴空间填满并凸出地表，极小部分根系溢出树穴向外延伸，对道路破坏程度较小（图 1E~H）。如图 1I~L 所示，树穴种植的行道树根系对道路破坏的程度高于绿带种植和广场种植，其中榕属行道树根系生长导致铺面砖被树根撑破，周围地面起伏较大，地面崎岖不平，或是粗大的根系使树穴边框和其周围的铺面砖、路缘石隆起，且隆起坡度较大，一些行道树的根系甚至延伸至路面，对路面造成破坏，严重妨碍了行人和车辆的通行。



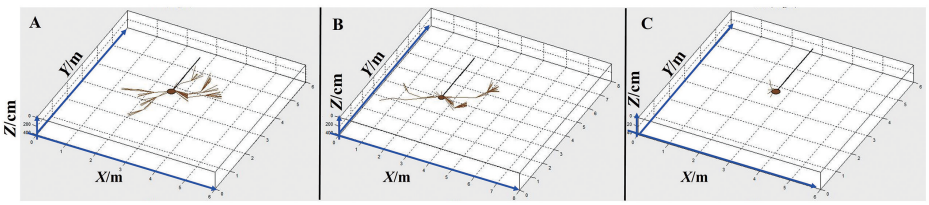

图 1 不同种植方式下行道树根系对道路的破坏（A~D 绿带种植；E~H 广场种植；I~L 树穴种植）

## 2.2 不同种植方式及种类行道树的根系生长

树木无损检测系统扫描结果显示，在不同种植方式下，行道树（细叶榕）根系总数和根系发达程度表现为：绿带种植>广场种植>树穴种植（表 2、图 2）。在树穴种植方式下，不同树种的根系总数和根系发达程度存在差异，不同树种根系发达程度表现为：高山榕>大叶榕>细叶榕>杧果（表 2、图 3）。

表 2 基于树木无损检测系统扫描的 14 株行道树的基本情况、生长状况以及根系总数

| 编号 | 树木种类 | 调查地点 | 种植方式 | 胸径/cm | 南北冠幅/m | 东西冠幅/m | 前 3 圈根系总数/条（即,扫描半径为 0、0.5、1.0 m） | 前 5 圈根系总数/条（即,扫描半径为 0、0.5、1.0、1.5、2.0 m） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 细叶榕 | 临江大道 | 广场种植 | 45.5 | 11.9 | 11.7 | 11 | 17 |
| 2 | 细叶榕 | 临江大道 | 广场种植 | 58.9 | 15.3 | 13.0 | 44 | 70 |
| 3 | 细叶榕 | 临江大道 | 广场种植 | 47.8 | 13.7 | 13.3 | 82 | 87 |
| 4 | 细叶榕 | 临江大道 | 绿带种植 | 65.9 | 16.4 | 16.3 | 87 | 87 |
| 5 | 细叶榕 | 临江大道 | 绿带种植 | 73.2 | 19.7 | 16.1 | 105 | 105 |
| 6 | 大叶榕 | 广园快速 | 树穴种植 | 63.7 | 11.5 | 12.3 | 13 | 27 |
| 7 | 大叶榕 | 广园快速 | 树穴种植 | 65.6 | 12.0 | 11.4 | 51 | 51 |
| 8 | 高山榕 | 金贵村 | 树穴种植 | 47.1 | 11.0 | 11.2 | 88 | 151 |
| 9 | 高山榕 | 金贵村 | 树穴种植 | 37.9 | 11.5 | 11.3 | 70 | 82 |
| 10 | 杧果 | 天府路 | 树穴种植 | 38.9 | 12.6 | 13.4 | 4 | 7 |
| 11 | 杧果 | 天府路 | 树穴种植 | 43.9 | 6.5 | 11.8 | 28 | 68 |
| 12 | 细叶榕 | 天河公园 | 树穴种植 | 54.1 | 16.3 | 12.7 | 28 | 54 |
| 13 | 细叶榕 | 天河公园 | 树穴种植 | 31.8 | 8.8 | 8.6 | 16 | 23 |
| 14 | 细叶榕 | 天河公园 | 树穴种植 | 59.9 | 14.7 | 14.1 | 17 | 28 |




注：*X* 和 *Y* 代表水平方向；*Z* 代表与地表垂直方向；黑线表示根系扫描起点；下同。

图 2 不同种植方式下细叶榕三维树木根系形态图（A 绿带种植；B 广场种植；C 树穴种植）

在垂直方向上（图 4），行道树根系主要分布在>41 cm 土层，而在 0~20 和 20~41 cm 土层较少。在>41 cm 土层：绿带种植下行道树的根系密度最高（1.13±0.25 条·$m^{-1}$），广场种植下行道树根系密度次之（0.25±0.19 条·$m^{-1}$），树穴种植下行道树根系密度最低（0.14±0.01 条·$m^{-1}$）。

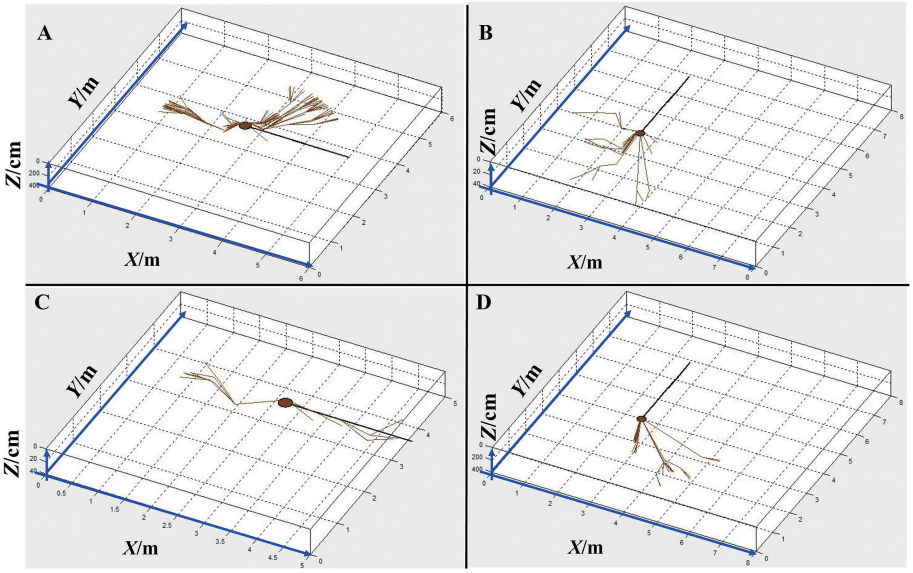



图 3　树穴种植下不同行道树树种三维树木根系形态图（A 高山榕；B 细叶榕；C 大叶榕；D 杧果）

在水平方向上（图 5），行道树根系密度随着扫描半径的增大呈现降低趋势，根系集中分布在距离主干 0.5 和 1.0 m 处，其中在广场种植和树穴种植下的根系密度在距离主干 0.5 m 处达到最大，分别为（2.07±0.25）和（1.09±0.29）条·$m^{-1}$，绿带种植下的行道树根系密度则在距离主干1.0 m 处达到最大（1.70±0.46 条·$m^{-1}$）。此外，在距离主干 1.0 和 1.5 m 处，绿带种植下的行道树根系密度均显著高于广场种植和树穴种植（$P<0.05$），而在距离主干 0.5 m 处，广场种植下的行道树根系密度显著高于树穴种植下的行道树根系密度（$P<0.05$），而与绿带种植下的行道树根系密度差异不显著。

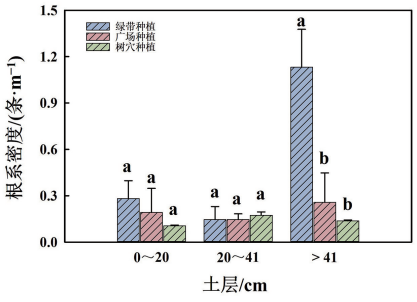



图 4　不同种植方式下行道树在不同土层的根系密度

高山榕和杧果的根系主要分布在>41 cm 土层（图 6），该深度下两者的根系密度分别为（3.89±1.53）和（0.26±0.12）条·$m^{-1}$，并且二者根系密度均随着土层深度的增加而增加。大叶榕根系主要分布在 0～20 和 20～41 cm 土层，根系密度

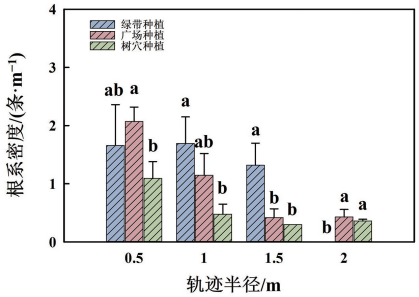



图 5　不同种植方式下行道树在不同扫描轨迹半径下的根系密度

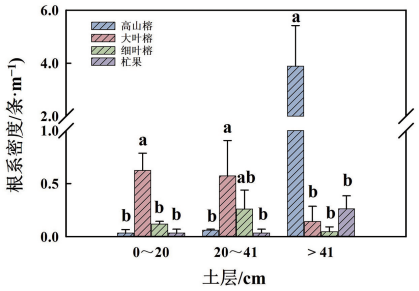



图 6　树穴种植下不同种类行道树在不同土层的根系密度

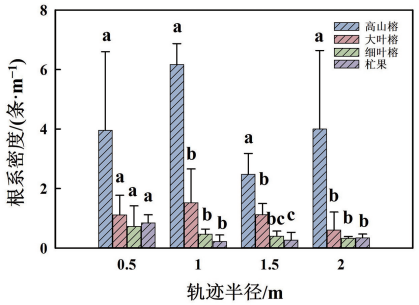
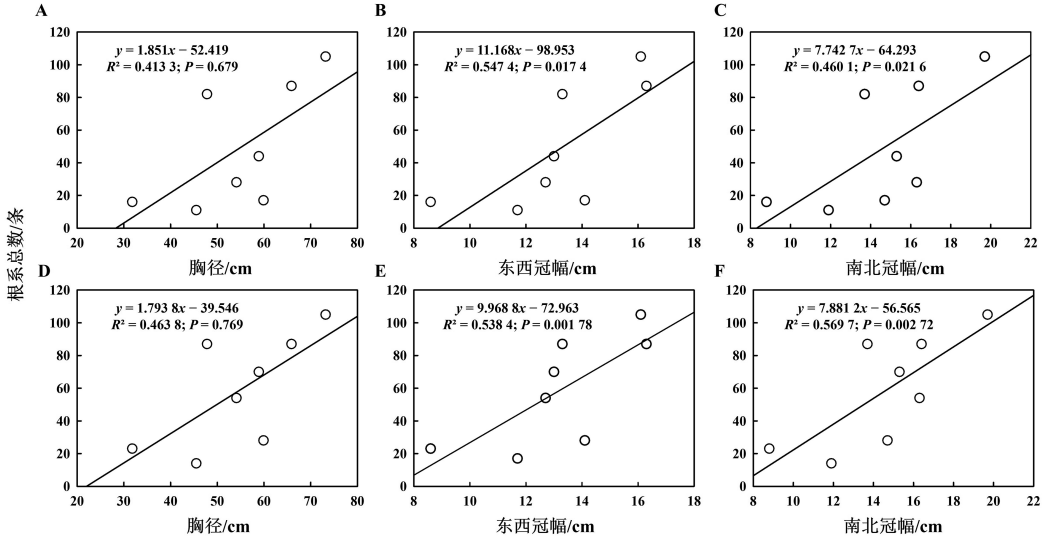



图 7　树穴种植下不同种类行道树在不同扫描轨迹半径下的根系密度

分别为（0.62±0.16）和（0.57±0.33）条·$m^{-1}$，其根系密度随着土层深度的增加而降低。细叶榕根系主要分布在 20~41 cm土层下，该土层根系密度为（0.26±0.18）条·$m^{-1}$，其根系密度随着土层深度的增加呈现先增加后减少的趋势。在 0~20 和 20~41 cm 土层，大叶榕和细叶榕的根系密度显著高于高山榕和杧果，在 0~20 cm 土层，两者的根系密度分别为(0.62±0.16)和(0.12±0.03)条·$m^{-1}$；在 20~41 cm 土层，两者的根系密度分别为（0.57±0.33）和（0.26±0.18）条·$m^{-1}$。在>41 cm土层，高山榕的根系密度显著高于其他 3 种行道树（$P<0.05$），其根系密度为（3.89±1.53）条·$m^{-1}$；杧果和大叶榕次之，该土层两者的根系密度分别为（0.26±0.12）和（0.14±0.14）条·$m^{-1}$；细叶榕的根系密度最低，为（0.05±0.05）条·$m^{-1}$。在水平方向上，不同行道树树种的根系密度也存在明显差异。如图 7 所示，细叶榕和杧果的根系集中分布在距离主干 0.5 和 1.0 m 处，二者根系密度随着扫描半径的增大呈现降低趋势，而高山榕和大叶榕的根系密度均在距离主干 1.0 m 处达到最大，分别为（6.17±0.70）和（1.52±1.14）条·$m^{-1}$。在距离主干不同距离下，高山榕的根系密度均显著高于其他 3 种行道树的根系密度；大叶榕的根系密度次之；而细叶榕和杧果的根系密度最低，且二者根系密度间无显著性差异。

## 2.3 行道树根系总数和其胸径、冠幅的相关性

由图 8 可知，行道树根系总数和树木的胸径、冠幅存在一定的线性关系。相较于树木胸径，行道树的冠幅对其根系总数的影响较大。当扫描行道树根系前 3 圈时（轨迹半径为 1.0 m），行道树根系总数与其胸径呈线性关系，二者拟合模型的决定系数 $R^2$ 为 0.413 3，但不显著（$P=0.679$，图 8A）；行道树根系总数与东西冠幅和南北冠幅拟合模型的决定系数 $R^2$ 分别为 0.547 4 和 0.460 1，且根系总数与冠幅存在显著的正相关关系（$P<0.05$，图 8B~C）。当扫描行道树根系前 5 圈时（轨迹半径为 2.0 m），行道树根系总数与其胸径呈线性关系，二者拟合模型的决定系数 $R^2$ 为 0.463 8，但不显著（$P=0.769$，图 8D）；行道树根系总数与东西冠幅和南北冠幅拟合模型的决定系数 $R^2$ 分别为 0.538 4 和 0.569 7，且根系总数与冠幅存在极显著的正相关关系（$P<0.01$，图 8E~F）。




注：A、B、C 图为前 3 圈轨迹，半径为 1.0 m；D、E、F 图为前 5 圈轨迹，半径为 2.0 m。

**图 8 扫描行道树根系前 3 圈和前 5 圈时根系总数与胸径、东西冠幅和南北冠幅的相关性**

## 2.4 行道树胸径与根延伸长度、凸起高度以及凸起数量的相关性

由图 9 可知，行道树的胸径与根系在地表水平延伸长度、根系在地表凸起的高度及根系在地表凸起的数量之间的拟合模型决定系数 $R^2$ 分别为 0.900 4、0.968 4 和 0.855 1，胸径与三者均存在极显著的正相关关系（$P<0.01$）。

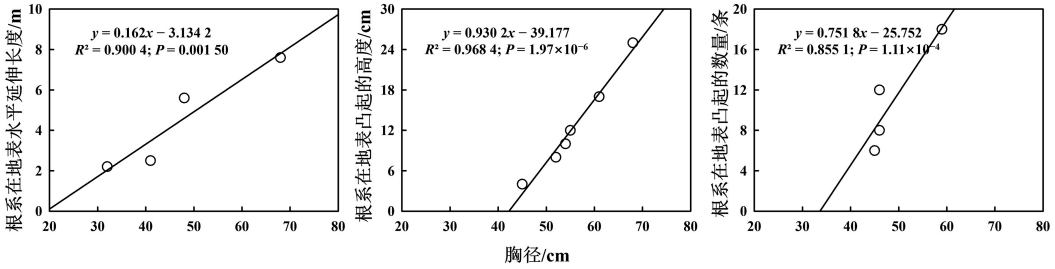



图 9　行道树胸径与根系在地表水平延伸长度、根系在地表凸起的高度及根系在地表凸起的数量的相关性分析

## 3　讨论

### 3.1　不同种植方式下行道树根系对道路的影响

不同种植方式下行道树的根系对道路均有不同程度的破坏。树穴种植下的行道树根系对道路破坏程度最为严重，绿带种植次之，广场种植下的行道树根系对道路破坏程度最小。调查中发现，调查区域内的大乔木（树高 10~20 m）和中乔木（树高 6~8 m）的树穴间距普遍低于规定的树穴间距（DB4401/T−2002，《行道树种植养护技术规范》）[18]。由于树穴的限制，行道树根系生长空间受限，影响了其透气性，加剧了根系向上生长的趋势，普遍出现窝根现象。平行于人行道方向的区域受到高频率的车辆碾压、行人踩踏，导致地表及地下土壤的紧实程度较高，阻碍根系延伸，而垂直于人行道方向的地表压实程度较低。因此，树穴种植的行道树根系更倾向于突出地表生长、沿着人行道的方向两头延伸，而在垂直于人行道方向的区域延伸较小。此外，由于缺乏定期的管养，一些行道树的根系直接破坏了树穴结构，延伸至路面，对路面造成了不同程度地破坏，妨碍了行人和车辆的通行。绿带种植为行道树根系提供了较为宽松的生长环境，但由于部分榕属树木的根系受到平行于道路方向的阻碍，根系只能沿着道路延伸方向展开。同时，绿带种植下土壤板结的情况较为严重，根系无法向下生长，只能沿着地表延伸。与其他两种种植方式相比，广场种植下的行道树根系对道路破坏程度较小，可能是由于广场的表层土壤（0~30 cm）受到坚实的水泥铺装的覆盖，根系只能紧紧地盘踞在树穴中，将树穴充分填充，却无法过多地将根系向外延伸。

为缓解行道树根系对道路的潜在破坏，可采取以下措施：首先，可扩大树穴面积，为行道树根系的生长提供充足的空间，有助于根系的健康发育。其次，定期修理行道树的侧向枝干，以减缓水平根系径向的生长速度，使养分向上供应，有效减缓粗根系水平方向的扩展[10,12]。针对粗大的根系，可采取修根处理的方式，使其根系重新归位于树穴土层以下。此外，对于已经对道路产生破坏的行道树，及时修复受损的道路、加固行道树的树穴[9,13]，也可以考虑将树木移栽至城郊外较为广阔的地方，以降低对道路基础设施的负面影响[19]。

### 3.2　不同种植方式下行道树的根系生长状况

不同种植方式下行道树根系的发达程度存在差异，表现为绿带种植>广场种植>树穴种植。绿带种植的行道树根系最为发达，这可能与绿带种植方式下行道树的生长空间较为充裕、长势较好有关。广场种植的行道树根系发达程度次之，可能是由于表层土壤（0~30 cm）受到水泥铺装的覆盖，导致根系生长空间受限。树穴种植下行道树根系长势最差，这可能与树穴面积的限制导致行道树地下根系的生长空间不足有关。3 种种植方式下的行道树根系密度也存在明显差异。行道树根系主要分布在>41 cm 土层，根系密度表现为绿带种植>广场种植>树穴种植，在水平方向上，根系集中分布在距离主干 0.5 和 1.0 m 处，广场种植和树穴种植下行道树的根系密度在距离主干 0.5 m 处达到最大，绿带种植下的行道树根系密度则在距离主干 1.0 m 处达到最大。这是由于广场种植和树穴种植时，行道树根系受到树穴规格的限制，根系生长空间不足，根系只能盘踞在树穴中，而绿带种植没有树穴限制，生长空间充裕，根系可以蔓延至较远的区域。在距离主干 1.0 和 1.5 m 处，绿带种植下的行道树根系密度均显著

高于其他两种种植方式行道树根系密度，这与对秋枫（*Bischofia javanica*）进行绿带种植改造后，其根系密度在0~20、20~41 和>41 cm 3 个土层均有提升的研究结论一致[20]。这是由于绿带种植改造后，贯通的树穴为根系提供了更大的生长空间，使得根系能够更好地扎根并扩展，从而提高了行道树对水分、营养的吸收。

在树穴种植方式下，不同行道树树种的根系发达程度和根系密度也存在差异，行道树根系发达程度表现为高山榕>大叶榕>细叶榕>杧果。在>41 cm 土层，高山榕的根系密度显著高于大叶榕、细叶榕和杧果（$P<0.05$），在距离主干不同距离下（0.5、1.0、1.5 和 2.0 m），高山榕的根系密度显著高于其他 3 种行道树的根系密度（$P<0.05$），大叶榕的根系密度次之，而细叶榕和杧果的根系密度较低。高山榕、大叶榕、细叶榕是桑科（Moraceae）榕属植物，具气生根，这些气根具有很强的生命力，在适当的自然条件或者人工牵引下会竖直向下伸入地面生长，地下部分迅速长成根系，地上部分形成支柱根，部分气根会缠绕于枝干生长，盘根错节。由于生性强健、适应性强、生长迅速，高山榕等榕属植物等常被用作行道树[21]。研究发现，这与福州市区 17 种主要行道树树种中，高山榕、大叶榕、木棉（*Bombax ceiba*）、小叶榕（*Ficus concinna*）、南洋樱（*Gliricidia sepium*）5 个树种的根系危害程度较大，杧果破坏性较小的研究结果相似[19]。

鉴于高山榕、大叶榕在广州市市区分布较广且其根系危害较为严重的特点，建议在宽敞的绿化带、未铺设市政管线的快速干道上、城市公园和绿地范围内，种植部分榕属树木作为点缀，在空间相对狭小的车行道和人行道，应尽量避免种植大型高山榕等根系粗壮、发达的树木[22]，可优先考虑树形和根系相对合适的树种；在华南地区可选择小叶榄仁（*Terminalia neotaliala*）、尖叶杜英（*Elaeocarpus apiculatus*）、樟树、假苹婆（*Sterculia lanceolata*）、秋枫、海红豆（*Adenanthera pavonlna*）、海南蒲桃（*Syzygium hainanense*）、人面子（*Dracontomelon duperreanum*）等树木[11,23-25]，在保持广州绿化的同时减少行道树根系对道路的破坏。在行道树种植过程中，合理增加根系的埋深也是平衡生态保护与根系潜在危害的有效手段。对于根系生长较快、对道路破坏性较大的树种，可以考虑搭配种植一些草本植物，有效降低树木根系的裸露程度，并与乔木形成绿色立体空间，增强绿地的稳定性，以更好地发挥其生态效益。对于那些胸径较大、破坏性较强的树种，建议在植被规划中与根系破坏性较弱的开花小乔木间隔种植，以保障荫蔽作用的同时提高景观丰富度[8]。

### 3.3 行道树生长指标相关性分析

行道树的根系总数与冠幅存在显著的正相关关系（$P<0.05$）、与胸径存在线性正相关关系，行道树的胸径与根系在地表水平延伸长度、根系在地表凸起的高度及根系在地表凸起的数量均存在极显著的正相关关系（$P<0.01$）。树木的胸径、冠幅越大，其对土壤中养分和水分的需求也越多，树木根系越发达，根系在地表土壤中盘根错节，根系在地表水平延伸长度及在地表凸起的高度也就越大，可能对树穴、路缘石等结构产生更大的破坏[26]。在对山东泰安市泡桐（*Paulownia fortunei*）、悬铃木（*Platanus acerifolia*）、杨树（*Populus przewalskii*）、槐树（*Styphnolobium japonicum*）和楝树（*Melia azedarach*）5 种行道树生长对道路两侧带的影响调查中发现，行道树的胸径与根系在地表凸起的高度存在正相关关系，且随着胸径的增大，杨树、泡桐、悬铃木与楝树对地表的破坏呈指数型增长，而槐树对地表的破坏呈线性增长[8]。此外，研究还发现，行道树胸径大小直接影响乔木根系对人行道破坏的程度，如福州市大多数树种开始产生破坏性的树木胸径为 20~30 cm，即当乔木生长到 20 cm 以上后，逐渐对行道树边框或路缘石、铺面造成破坏[19]。基于此，未来种植行道树时，可选择一些胸径较小、根系呈竖向生长的树种，以降低根系生长对道路地表结构的影响[8,15]。考虑到行道树对道路破坏呈现一定的规律性，且与种植方式、树木胸径、冠幅等因素密切相关，在广州市的城市规划和园林设计的最初阶段，应充分考虑不同行道树树种的生长需求和根系伸展范围，预留足够的种植空间，以降低安全风险和养护成本，这对于保护道路基础设施和提升广州市城市绿化质量至关重要。

## 4　结论

不同种植方式下的广州市主要行道树根系发达程度和其对道路结构的破坏程度不同。树穴种植的行道树根系对道路破坏程度显著高于绿带种植和广场种植（$P<0.05$），在树穴种植方式下，高山榕的根系对道路破坏作用最大，其次是大叶榕和细叶榕，杧果的破坏作用最小。不同种植方式下行道树根系的发达程度存在差异，表现为绿带种植>广场种植>树穴种植。行道树的根系发达程度与其冠幅、胸径存在正相关关系，树木的胸径与其根系在地表水平延伸长度、根系在地表凸起的高度以及根系在地表凸起的数量存在极显著的正相关关系（$P<0.01$）。因此，在未来城市植被规划中建议：1）优先选择胸径较小、根系以竖向生长为主的树种，避免种植胸径较大且根系具有较强破坏性的树种。2）在空间狭小的区域，应尽量避免种植根系粗壮的树种。在条件允许的情况下，可在宽敞区域适量种植榕属植物。3）采用绿带种植方式替代树穴种植方式。如需使用树穴种植方式，应适当扩大树穴面积，定期巩固树穴结构，并定期修剪行道树的侧枝。

**参考文献**


[1]LEERS M,MOORE G M,MAY P B.The effects of paving surfaces and planting orientation on street tree growth and trunk injury[J].Arboricultural Journal,2017,39(1):24-38.

[2]OW L F,GHOSH S,MOHAMED LOKMAN MOHD Y.Effects of varying establishment approaches on the growth of urban street trees[J].Arboricultural Journal,2018,40(4):201-209.

[3]NORTH E A,D'AMATO A W,RUSSELL M B,et al.The influence of sidewalk replacement on urban street tree growth[J].Urban Forestry & Urban Greening,2017,24:116-124.

[4]徐赛,李松,丁茗童.基于 i-Tree 模型的行道树生态系统服务价值[J].中国城市林业,2024,22(3):41-49.

[5]贾益兴,雷杰,黄颂谊.广州市环市路行道树树木安全风险评估与管理探析[J].广东园林,2021,43(4):93-96.

[6]严巍,胡永红.行道树与广场绿化技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2019.

[7]蒋应红.国内外城市行道树综述[J].中国市政工程,2020,(6):4-6,109.

[8]李铮,姜磊,谭兴来,等.泰安市行道树生长对道路两侧带的影响研究[J].山东林业科技,2021,51(3):23-29.

[9]朱苗青,梁晶.上海行道树养护技术示范推广[J].中国花卉园艺,2023,(11):48-53.

[10]王伟.行道树栽植养护技术[J].河南农业,2019,(35):33,35.

[11]黄秋燕,杨建欣,孔曦妍,等.华南地区高校校园行道树的树种选择[J].寒旱农业科学,2023,2(7):679-682.

[12]季楠,刘洪昌.行道树树种应用与分析[J].农业与技术,2014,34(5):74.

[13]高建军.浅析城市行道树的养护管理[J].农业科技与信息,2022,(18):82-84.

[14]康越程.基于 TRU 树木雷达对黄陵古侧柏空腐规律研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.

[15]甘明旭.树木雷达(TRU)在黄帝陵古侧柏树干空腐和粗根分布检测中的应用[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.

[16]陈志华.上海地区常见古树根系分布情况研究[J].上海农业科技,2017,(4):92-94,137.

[17]彭婷婷,周敏君,郭雄,等.TRU 树木雷达在行道树树干健康状况检测中的应用[J].热带农业工程,2021,45(3):108-111.

[18]广州市市场监督管理局.行道树种植养护技术规范:DB4401/T 167—2022[S].广州:广州市林业和园林科学研究院,2022 年.

[19]张采薇.福州市行道树根系对人行道地面破坏状况调查研究[D].福州:福建农林大学,2014.

[20]肖珍泉,崔诚,刘欣,等.典型城市行道树立地环境改造对植物长势及根系的影响研究[J].林业与环境科学,2024,40(2):92-100.

[21]林强.榕属植物在福建省园林中的应用[J].福建林业科技,2004,(4):129-133.

[22]李岚彬.福州市行道树根系的负面影响及其应对措施探讨[J].南方农业,2019,13(25):46-49.

[23]张德顺,曾明璇,奉树成,等.我国沿海地区城市行道树抗台风评价与应用[J].中国城市林业,2022,20(5):151-156,162.

[24]吴显坤.台风灾害对深圳城市园林树木的影响和对策[D].南京:南京林业大学,2007.

[25]郭子燕,柯雨沁,李海燕,等.基于台风危害的厦门地区园林树木受损原因研究[J].中国园林,2020,36(1):122-127.

[26]章锦瑜,黄晓菊.高雄市行道树及其胸径与人行道根害关系之研究[J].环境与生态学报,2009,2(1):65-83.