红锥育苗基质筛选*

杨晓慧 徐放 杨会肖 廖焕琴
张卫华 陈新宇 潘文

(广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 红锥 *Castanopsis hystrix* 是我国华南地区最重要的珍贵阔叶树种之一, 具有重要的经济与生态效益。随着种植规模的不断扩大, 壮苗培育越来越受到重视。文章以椰糠、泥炭土、珍珠岩为基础基质, 以黄心土为对照, 比较 16 种不同配比基质配方下红锥苗木的生长性状与根系指标, 结果显示: 轻基质配方 11 (泥炭土: 椰糠: 珍珠岩=5:3:2), 1 (泥炭土: 椰糠: 珍珠岩=10:0:0), 13 (泥炭土: 椰糠: 珍珠岩=4:4:2) 的苗高、地径、根长及细根分枝等指标明显高于以黄心土为栽培基质的苗木, 且这几类基质的壮苗指数均显著高于对照黄心土 ($P < 0.05$), 说明这几类轻基质配方在提高苗木质量方面具有显著效果。

关键词 红锥; 育苗基质; 根系指标; 壮苗指数

中图分类号: S722 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 01-0073-11

Selection of Elite Substrates for *Castanopsis hystrix* Seedling

YANG Xiaohui XU Fang YANG Huixiao LIAO Huanqin
ZHANG Weihua CHEN Xinyu PAN Wen

(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract *Castanopsis hystrix* is one of the most important and precious broad-leaved tree species in South China, which has important economic and ecological benefits. With the expansion of planting, the cultivation of strong seedlings has received more and more attentions. In this study, by comparing the growth traits and root indexes of *C. hystrix* seedlings under 16 different matrix formulations using coconut coir, peat soil, and perlite as the basic substrate, and the yellow soil as the control, providing technical support for the cultivation of *C. hystrix* seedlings. The results showed that the seedling height, ground diameter, root length, and fine root branches in formula 11 (peat soil : coconut coir : perlite=5:3:2), formula 1 (peat soil : coconut coir : perlite=10 : 0 : 0), and formula 13 (peat soil : coconut bran : Perlite=4:4:2) were much higher than those in yellow soil, and the seedling index of these types of substrates were significantly higher than the control ($P < 0.05$), indicating that these formulas had significant effects in improving the quality of seedlings.

Key words *Castanopsis hystrix*; substrate; root index; seedling index

* 基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0600606), 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020215002)。

第一作者: 杨晓慧 (1982—), 女, 副研究员, 主要从事林学、森林培育、林木抗病机理研究, E-mail: xiaohuiyang@sinogaf.cn。

通信作者: 潘文 (1970—), 男, 研究员, 主要从事林木遗传育种与森林培育研究, E-mail: panwen@sinogaf.cn。

容器育苗是当今苗木培育广泛应用的生产技术,而育苗基质是幼苗生长发育的载体,是影响苗木质量的关键因素^[1-2],因而成为苗木培育研究的重点。最早用作栽培基质的包括黄心土、砂砾、河沙、碎瓷、石砾、陶粒、珍珠岩、岩棉及活性炭等。后来,逐渐被以树皮、木屑、椰棕、枯枝落叶、啤酒花等为原料的轻基质所代替^[1,3]。材料的选择多具有地域性,根据不同的树种和不同的栽培需求提出不同的基质配比方案。

红锥 *Castanopsis hystrix* 属壳斗科 Fagaceae 栲属 *Castanopsis* 常绿乔木,具有生长快、适应性强、材质优、价值高等优点,是我国华南地区珍贵的乡土阔叶树种^[4]。此外,红锥具有极高的生态效益,因此,近年来也作为重要的生态公益林树种大面积推广。红锥苗木质量是影响其造林成功与否的重要因素,因而一直是育苗技术研究的重点^[1-3]。黎明等^[5]首先利用黄心土、火烧土、锥林表土、松林表土等原料配置不同比例的栽培基质,获得最适的育苗基质为黄心土 75%+ 锥林表土 25%+ 磷肥 0.5%。近年来,多项研究通过利用农林废弃物,结合部分育苗基质,配置多种类型基质,以筛选适宜红锥容器苗栽培的最佳基质^[6-7]。例如,温恒辉等^[4]以砂质壤土、沤制树皮、炭化松树皮和沤制松皮粉等为原料配置 3 种不同基质,研究其对 2 年生红锥幼苗生长指标的影响。黎明等^[7]以沤制松树皮、炭化松树皮、珍珠岩和黄心土为原材料按不同比例配制成 6 种基质配方,采用相关分析、主成分分析对其育苗效果进行综合评价,筛选出适宜红锥育苗生长的基质配方为沤制松树皮 60%+ 珍珠岩 20%+ 黄心土 20%。陈琳等^[6]采用黄心土、沤制树皮、炭化树皮、锥林表土等为原料配置 11 种基质,研究不同基质配方对不同年龄红锥幼苗生长及造林效果的影响,获得了适宜不同年龄红锥幼苗的栽培基质。然而,以往的研究主要以黄心土和锥林表土等土壤为主要原料,存在基质重量大、造林成本高等问题,因此,选择适宜红锥幼苗生长的轻基质,减轻造林成本,是当前需要解决的重要问题。本研究通过比较 16 种不同基质配方对红锥苗木地上部分、地下部分、壮苗指数等指标的影响,为最佳栽培轻基质的选择提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验地概况

试验地设在广东省林业科学研究院内,23°14' N, 113°23' E, 海拔 25.00 m, 属亚热带季风气候。年平均温度为 23.00 °C, 最低月为 1 月, 平均气温为 13.30 °C, 气温最高月为 8 月, 平均气温为 38.10 °C。年降水量为 1 638.00 mm, 年平均湿度为 79.00%, 4—9 月份的降水量占全年降水量的 80.00%。

1.2 试验材料

供试验的材料为长势一致的红锥实生苗, 为广东省汕尾市陆河种源。广东省汕尾市陆河县地处北回归线以南, 属南亚热带季风气候, 年均气温约 21.30 °C (极端气候为最低 1.00 °C, 最高 37.80 °C), 相对湿度 78.00%, 年降雨量 2 100.00~2 300.00 mm。采种后, 于 2018 年 12 月播种于以黄心土为基质的苗床上, 覆盖 1.00 cm 厚沙子。9 个月后, 随机抽取 50 株生长状况基本一致的红锥实生苗进行生长指标和生物量测定, 其平均苗高为 6.44 cm, 平均地径为 0.04 mm, 平均主根长为 9.50 cm, 平均鲜重为 0.34 g, 平均生物量为 0.15 g。并于 2019 年 9 月 9—12 日移栽到规格为 26.00 cm × 21.00 cm (上口径 × 高) 的 15 孔育苗穴盘中, 每孔栽植 1 株苗木。试验周期为 2019 年 9 月至 2020 年 7 月。

1.3 试验方法

本研究以商用泥炭土、椰糠、珍珠岩为主要原料, 采用混料设计^[8], 设置黄心土为对照, 共设有 16 种基质配方, 详见表 1。于 2020 年 2 月施加一次缓释翠筠便利肥, 其主要成分为硝酸铵、磷酸铵、硝酸钾和高分子树脂, 氮:磷:钾质量比为 14:14:14, 施肥量为每穴约为 8.32 g。

1.4 指标测定与数据收集

为研究不同基质配方的 EC 指标对红锥苗木生长的影响, 本研究采用 SX723 型 pH/mV/ 电导率测量仪 (上海三信仪表厂) 对不同栽培基质的电导率、可溶性固体总量、盐度、电阻率进行了测定, 操作方法按照说明书介绍的步骤进行。2020 年 7 月试验期结束后, 每个处理随机选取 10 株红锥苗, 用清水清洗干净, 分别测量苗高和主根长。根系的平均直径、总根长、总根表面积等指标采用 WinRHIZO Pro 2016a 根系扫描仪 (Regent Instruments Inc.) 获得。根系指标测量完成后, 将材

表 1 红锥育苗基质体积配方
Tab.1 Volume compositions of *Castanopsis hystrix* seedling growth media

基质编号 Medium number	泥炭土 Peat soil	椰糠 Coconut coir	珍珠岩 Perlite	黄心土 Yellow soil
J1	10	0	0	0
J2	0	10	0	0
J3	2	8	0	0
J4	8	2	0	0
J5	4	6	0	0
J6	6	4	0	0
J7	5	5	0	0
J8	6	2	2	0
J9	5	4	1	0
J10	4	5	1	0
J11	5	3	2	0
J12	3	5	2	0
J13	4	4	2	0
J14	0	0	0	10
J15	2.5	0	0	7.5
J16	4.2	4.2	1.6	0

料置于 75 ℃的鼓风干燥机中充分干燥至恒重，分别测量总生物量、地上部分和根系生物量等指标。SPAD 值采用叶绿素仪 SPAD-502 Plus (KONOCAMINOLTA, INC, Japan) 测定。

1.5 数据处理方法

采用 Microsoft Excel 2003, R 语言对数据进行主成分分析、方差分析、相关性分析等。方差分析用于检验不同的施肥处理对红锥幼苗苗高、鲜重和生物量、根系等生长指标产生的影响。

2 结果与分析

2.1 幼苗根系参数主成分分析

采用 WinRHIZO Pro 2016a 根系扫描仪对不同基质下的根系发育情况进行研究，获得根长、根系表面积在内的 59 个指标。为获得对不同基质起主要作用的指标，对 59 个根系指标进行主成分分析，结果显示，第 1 主成分中 X4、X5、X6 占有最高系数，均为 0.95 以上。X3、X10、X11、X12、X13、X20、X21、X22、X23、X30、X31、X32、X33、X40、X41、X42、X43、X51、X52 占有较高系数，均为 0.80 以上，方差贡献率为

56%，说明第 1 主成分是表示总根体积、总根表面积及根系直径 $d \leq 2.00$ mm 的各个指标的综合因子。在第 2 主成分中 X16、X26、X36、X46 占有最高系数，均为 0.75，方差贡献率为 17%，说明第 2 主成分是表示 $3.00\text{mm} < d \leq 3.50$ mm 根系性状的综合因子。第 3 主成分中 X17、X27、X37、X47 占有最高系数，方差贡献率为 11%，说明第 3 主成分是表示直径在 $3.50\text{mm} < d \leq 4.00$ mm 的根长、根表面积、根投影面积、根体积性状的综合因子。前 3 个主成分的累积方差贡献率为 83%，包含了 59 个指标的大部分信息。因此选取前 3 个主成分作为红锥幼苗根部性状选择的综合指标。

2.2 幼苗根系参数的相关分析

为了研究各个根系指标之间的相关性，以进一步减少分析指标，我们对红锥幼苗根系指标进行相关性分析（表 3）。结果显示，同一根系直径的根长、根表面积、根投影面积、根体积之间存在显著极强相关 ($r^2 \geq 0.99$, $P = 0.00$)。因此，对红锥容器苗根系早期评价指标可针对 X3、X4、X5、X6、X10、X11、X12、X13、X16、X51、X52 进行进一步分析。

表2 不同栽培基质下红锥幼苗根系指标主成分分析

Tab.2 The principal component analysis of the root system indexes of *Castanopsis hystrix* seedlings under different cultivation media

项目 Category PC1	指标 Index	主成分分析 PCA						方差解释度 Explained variance
		PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	h^2	
特征向量 Eigen vectors	X1: 平均根系直径	0.08	0.49	-0.21	0.48	-0.25	0.03	0.58
	X2: 单位平方米土壤总根长	0.31	-0.23	0.04	-0.22	0.31	-0.26	0.36
	X3: 总根长	0.88	-0.32	0.27	-0.18	0.06	-0.02	0.98
	X4: 总投影面积	0.95	-0.2	0.2	-0.03	0	0.03	0.99
	X5: 总根表面积	0.95	-0.2	0.2	-0.03	0	0.03	0.99
	X6: 总根体积	0.96	-0.04	0.1	0.14	-0.07	0.06	0.96
	X7: 根尖数	0.78	-0.35	0.33	-0.25	0.07	-0.15	0.92
	X8: 分枝数	0.75	-0.36	0.28	-0.29	0.13	-0.15	0.89
	X9: 交叉数	0.71	-0.36	0.28	-0.32	0.15	-0.18	0.88
	X10: 根直径介于 0~0.5 mm 的根长	0.84	-0.34	0.28	-0.23	0.09	-0.04	0.97
	X11: 根直径介于 0.5~1.0 mm 的根长	0.86	-0.25	0.23	0.03	-0.04	0.12	0.87
	X12: 根直径介于 1.0~1.5 mm 的根长	0.84	-0.01	0.08	0.37	-0.26	-0.08	0.93
	X13: 根直径介于 1.5~2.0 mm 的根长	0.83	0.25	-0.07	0.29	-0.2	-0.03	0.88
	X14: 根直径介于 2.0~2.5 mm 的根长	0.76	0.39	-0.22	0.03	0.08	0.13	0.81
	X15: 根直径介于 2.5~3.0 mm 的根长	0.65	0.47	-0.14	-0.3	0.31	0.16	0.87
	X16: 根直径介于 3.0~3.5 mm 的根长	0.31	0.75	0	-0.3	-0.12	-0.45	0.97
	X17: 根直径介于 3.5~4.0 mm 的根长	-0.26	0.58	0.59	-0.23	-0.21	0.32	0.95
	X18: 根直径介于 4.0~4.5 mm 的根长	-0.23	0.38	0.54	0.52	0.47	-0.1	0.99
	X19: 根直径大于 4.5 mm 的根长	0.64	-0.04	-0.48	0.15	0.27	0.09	0.75
	X20: 根直径介于 0~0.5 mm 的根表面积	0.87	-0.32	0.26	-0.18	0.06	0.01	0.96
	X21: 根直径介于 0.5~1.0 mm 的根表面积	0.86	-0.25	0.22	0.05	-0.05	0.11	0.87
	X22: 根直径介于 1.0~1.5 mm 的根表面积	0.85	0.01	0.07	0.37	-0.26	-0.08	0.93
	X23: 根直径介于 1.5~2.0 mm 的根表面积	0.83	0.25	-0.07	0.29	-0.19	-0.02	0.87
	X24: 根直径介于 2.0~2.5 mm 的根表面积	0.76	0.39	-0.22	0.02	0.09	0.13	0.81
	X25: 根直径介于 2.5~3.0 mm 的根表面积	0.64	0.47	-0.14	-0.31	0.31	0.15	0.87
	X26: 根直径介于 3.0~3.5 mm 的根表面积	0.3	0.75	0.01	-0.3	-0.13	-0.45	0.97
	X27: 根直径介于 3.5~4.0 mm 的根表面积	-0.26	0.57	0.6	-0.23	-0.2	0.32	0.95
	X28: 根直径介于 4.0~4.5 mm 的根表面积	-0.23	0.37	0.54	0.52	0.48	-0.1	0.99
	X29: 根直径大于 4.5 mm 的根表面积	0.72	0.02	-0.47	0.06	0.23	0.09	0.81
	X30: 根直径介于 0~0.5 mm 的根投影面积	0.87	-0.32	0.26	-0.18	0.06	0.01	0.96
	X31: 根直径介于 0.5~1.0 mm 的根投影面积	0.86	-0.25	0.22	0.05	-0.05	0.11	0.87
	X32: 根直径介于 1.0~1.5 mm 的根投影面积	0.85	0.01	0.07	0.37	-0.26	-0.08	0.93
	X33: 根直径介于 1.5~2.0 mm 的根投影面积	0.83	0.25	-0.07	0.29	-0.19	-0.02	0.87
	X34: 根直径介于 2.0~2.5 mm 的根投影面积	0.76	0.39	-0.22	0.02	0.09	0.13	0.81
	X35: 根直径介于 2.5~3.0 mm 的根投影面积	0.64	0.47	-0.14	-0.31	0.31	0.15	0.87

项目 Category PC1	指标 Index	主成分分析 PCA						方差解释度 Explained variance
		PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	h^2	
特征向量 Eigen vectors	X36: 根直径介于 3.0~3.5 mm 的根投影面积	0.3	0.75	0.01	-0.3	-0.13	-0.45	0.97
	X37: 根直径介于 3.5~4.0 mm 的根投影面积	-0.26	0.57	0.6	-0.23	-0.2	0.32	0.95
	X38: 根直径介于 4.0~4.5 mm 的根投影面积	-0.23	0.37	0.54	0.52	0.48	-0.1	0.99
	X39: 根直径大于 4.5 mm 的根投影面积	0.72	0.02	-0.47	0.06	0.23	0.09	0.81
	X40: 根直径介于 0~0.5 mm 的根体积	0.88	-0.3	0.24	-0.14	0.05	0.05	0.94
	X41: 根直径介于 0.5~1.0 mm 的根体积	0.86	-0.24	0.22	0.08	-0.07	0.1	0.86
	X42: 根直径介于 1.0~1.5 mm 的根体积	0.85	0.02	0.06	0.37	-0.25	-0.08	0.93
	X43: 根直径介于 1.5~2.0 mm 的根体积	0.83	0.25	-0.07	0.29	-0.19	-0.02	0.87
	X44: 根直径介于 2.0~2.5 mm 的根体积	0.76	0.39	-0.22	0.01	0.1	0.13	0.81
	X45: 根直径介于 2.5~3.0 mm 的根体积	0.64	0.47	-0.14	-0.31	0.31	0.15	0.87
	X46: 根直径介于 3.0~3.5 mm 的根体积	0.3	0.75	0.01	-0.3	-0.13	-0.45	0.97
	X47: 根直径介于 3.5~4.0 mm 的根体积	-0.26	0.57	0.6	-0.23	-0.2	0.33	0.94
	X48: 根直径介于 4.0~4.5 mm 的根体积	-0.23	0.36	0.54	0.53	0.48	-0.1	0.99
	X49: 根直径大于 4.5 mm 的根体积	0.75	0.07	-0.42	-0.02	0.2	0.08	0.79
	X50: 根直径介于 0~0.5 mm 的根尖数	0.77	-0.35	0.33	-0.25	0.07	-0.15	0.92
	X51: 根直径介于 0.5~1.0 mm 的根尖数	0.84	-0.12	0.25	0.05	-0.05	0	0.79
	X52: 根直径介于 1.0~1.5 mm 的根尖数	0.83	0.03	0.19	0.22	-0.13	-0.04	0.79
	X53: 根直径介于 1.5~2.0 mm 的根尖数	0.74	0.12	-0.04	0.21	-0.19	-0.03	0.64
	X54: 根直径介于 2.0~2.5 mm 的根尖数	0.54	0.25	-0.06	-0.04	-0.1	0.22	0.42
	X55: 根直径介于 2.5~3.0 mm 的根尖数	0.24	0.37	-0.25	0.09	-0.04	0.08	0.28
X56: 根直径介于 3.0~3.5 mm 的根尖数	0.44	0.46	-0.11	-0.11	0.08	0	0.43	
X57: 根直径介于 3.5~4.0 mm 的根尖数	-0.11	0.22	0.21	-0.1	-0.08	0	0.12	
X58: 根直径介于 4.0~4.5 mm 的根尖数	0.1	-0.08	0.14	0.06	0.16	-0.05	0.07	
X59: 根直径大于 4.5 mm 的根尖数	0.24	0.24	-0.22	0.07	0.2	0.12	0.22	
特征值 Eigen values		26.84	8.07	5.08	3.88	2.57	1.78	-
方差解释度 Proportion Explained		0.56	0.17	0.11	0.08	0.05	0.04	-
累积贡献率 Cumulative Proportion		0.56	0.72	0.83	0.91	0.96	1	-

2.3 不同基质对幼苗生长和根系参数的影响

为获得红锥最适培养基，对不同栽培基质主要生长指标和主要根系指标进行了多重比较分析（表 4，表 5）。结果显示，J1、J11、J12 的苗高、地径、叶生物量、主干生物量及根生物量均显著高于其他处理 ($P < 0.05$)。J13 的苗高虽显著低于上述 3 种基质，然而其根系生物量却高于其他 3 种处理，且 4 种处理均显著高于 J14（黄心土）。J13 的叶生物量，侧枝生物量均显著低于 J11。J3、J5、J6、J7 和 J9 的各项指标均低于其他几种处理。此外，根生物量及 $d \leq 2.00$ mm 的根长及根直径

介于 $0.50 \text{ mm} < d \leq 1.50 \text{ mm}$ 的根尖数在各个基质中均差异显著，说明不同的基质配方主要影响 $d \leq 2.00$ mm 的根系指标。对于壮苗指数而言，最高的为 J15 (2.83)，其次为 J10 和 J13，均为 2.63。J3 的壮苗指数最低，仅为 0.83。结果显示，育苗早期，幼苗成活率均高于 98%。然而，10 个月后的保存率最高的为基质 J15，为 82.22%；其次为基质 J1，为 67.62%。保存率最低的为基质 J2，为 0，说明各个基质的盐度、保水率差异可能是导致不同处理红锥幼苗保存率差异的重要因素。

表 3 不同基质下红锥幼苗生长指标及根系指标相关性分析
Tab.3 Correlation analysis of growth index and root index of *Castanopsis hystrix* seedlings in different substrates

性状 Traits	X3	X4	X5	X6	X10	X11	X12	X13	X16	X20	X21	X22	X23	X30	X31	X32	X33	X36	X40	X41	X42	X43	X46	X51	X52
X3	1.00	0.96	0.96	0.84	1.00	0.87	0.67	0.58	0.08	0.99	0.86	0.67	0.58	0.99	0.86	0.67	0.58	0.08	0.98	0.84	0.66	0.58	0.07	0.80	0.71
X4	0.00	1.00	1.00	0.95	0.94	0.94	0.80	0.71	0.15	0.96	0.93	0.80	0.71	0.96	0.93	0.80	0.71	0.15	0.97	0.93	0.80	0.70	0.14	0.87	0.80
X5	0.00	0.00	1.00	0.95	0.94	0.94	0.80	0.71	0.15	0.96	0.93	0.80	0.71	0.96	0.93	0.80	0.71	0.15	0.97	0.93	0.80	0.70	0.14	0.87	0.80
X6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.79	0.93	0.89	0.80	0.23	0.85	0.93	0.88	0.79	0.85	0.93	0.88	0.79	0.23	0.88	0.93	0.88	0.79	0.22	0.88	0.83
X10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.82	0.61	0.54	0.07	0.99	0.81	0.61	0.54	0.99	0.81	0.61	0.54	0.07	0.96	0.79	0.61	0.54	0.06	0.76	0.67
X11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.74	0.58	0.06	0.87	1.00	0.74	0.57	0.87	1.00	0.74	0.57	0.06	0.90	0.99	0.73	0.57	0.05	0.88	0.71
X12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.81	0.21	0.65	0.76	1.00	0.81	0.65	0.76	1.00	0.81	0.21	0.67	0.78	1.00	0.80	0.20	0.74	0.85
X13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.35	0.57	0.58	0.82	1.00	0.57	0.58	0.82	1.00	0.35	0.59	0.59	0.83	1.00	0.34	0.59	0.74
X16	0.30	0.06	0.06	0.00	0.38	0.43	0.01	0.00	1.00	0.07	0.07	0.22	0.35	0.07	0.07	0.22	0.35	1.00	0.08	0.07	0.23	0.35	1.00	0.20	0.24
X20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	1.00	0.86	0.65	0.57	1.00	0.86	0.65	0.57	0.07	0.99	0.84	0.64	0.57	0.06	0.80	0.69
X21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	1.00	0.76	0.58	0.86	1.00	0.76	0.58	0.06	0.89	1.00	0.75	0.58	0.06	0.88	0.72
X22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00	0.82	0.65	0.76	1.00	0.82	0.22	0.67	0.78	1.00	0.81	0.21	0.73	0.85
X23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.57	0.58	0.82	1.00	0.35	0.59	0.59	0.83	1.00	0.34	0.59	0.74
X30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.86	0.65	0.57	0.07	0.99	0.84	0.64	0.57	0.06	0.80	0.69
X31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.76	0.58	0.06	0.89	1.00	0.75	0.58	0.06	0.88	0.72
X32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.82	0.22	0.67	0.78	1.00	0.81	0.21	0.73	0.85
X33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.35	0.59	0.59	0.83	1.00	0.34	0.59	0.74
X36	0.34	0.07	0.07	0.00	0.42	0.47	0.01	0.00	0.00	0.41	0.45	0.01	0.00	0.41	0.45	0.01	0.00	1.00	0.07	0.06	0.22	0.35	1.00	0.19	0.24
X40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	1.00	0.87	0.66	0.58	0.06	0.83	0.70
X41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	1.00	0.77	0.59	0.06	0.88	0.73
X42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00	0.82	0.22	0.73	0.85
X43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.34	0.59	0.73
X46	0.38	0.08	0.08	0.01	0.47	0.51	0.01	0.00	0.00	0.45	0.49	0.01	0.00	0.45	0.49	0.01	0.00	0.00	0.44	0.46	0.01	0.00	1.00	0.18	0.23
X51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00	0.81
X52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

注：上部为相关性，下部为显著性。

Note: the data at up indicates the correlations, and the data at down indicates the significance.

表 4 不同栽培基质条件下红锥幼苗生长指标
Tab.4 Growth indexes of *Castanopsis hystrix* seedlings under different cultivation media

基质编号 Medium number	苗高 Height	地径 Ground diameter	根长 Root length	叶生物量 Biomass of leaves	主干生物量 Biomass of stem	侧枝生物量 Biomass of lateral branch	根生物量 Biomass of root	SPAD	2个月成活率/% Survival rate in 2-month-old	10个月保存率/% Survival rate in 10-month-old	壮苗指数 Seedling indexes
J1	47.00 ± 6.70a	5.10 ± 0.58ab	42.00 ± 11.90a	3.59 ± 1.48ab	1.21 ± 0.37a	0.69 ± 0.39ab	1.39 ± 0.45a	44.00 ± 4.40bc	99.52	67.62	2.49
J2	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00	0.00	0.00
J3	25.00 ± 5.20e	3.30 ± 0.82ef	25.00 ± 6.10cde	1.34 ± 1.09f	0.40 ± 0.18de	0.28 ± 0.17ef	0.42 ± 0.24d	40.00 ± 5.20cde	98.67	10.48	0.83
J4	37.00 ± 14.00b	4.60 ± 0.78bc	27.00 ± 5.30cde	2.48 ± 1.48cd	0.93 ± 0.60b	0.49 ± 0.33bcde	1.23 ± 0.58ab	43.00 ± 6.40bcd	100.00	62.22	2.26
J5	22.00 ± 8.60e	3.10 ± 0.55f	28.00 ± 7.10cde	0.96 ± 0.38f	0.35 ± 0.17e	0.22 ± 0.13f	0.59 ± 0.24cd	40.00 ± 4.10cde	98.57	22.08	1.12
J6	23.00 ± 8.00e	3.20 ± 0.46f	31.00 ± 7.70bc	1.29 ± 0.94f	0.39 ± 0.21de	0.23 ± 0.14f	0.74 ± 0.46cd	38.00 ± 2.50de	99.52	39.05	1.40
J7	26.00 ± 7.10de	3.50 ± 0.52def	32.00 ± 11.00bc	1.24 ± 0.66f	0.46 ± 0.20de	0.27 ± 0.19ef	0.61 ± 0.24cd	36.00 ± 4.60e	98.57	31.9	1.15
J8	34.00 ± 7.10bc	4.10 ± 0.8cd	29.00 ± 9.90cd	2.41 ± 1.34cde	0.62 ± 0.25cd	0.4 ± 0.25cdef	0.96 ± 0.44bc	42.00 ± 7.10bcd	98.57	40.00	1.76
J9	24.00 ± 5.70e	3.30 ± 0.44ef	35.00 ± 8.70abc	1.03 ± 0.57f	0.34 ± 0.15e	0.24 ± 0.11ef	0.64 ± 0.22cd	41.00 ± 3.10bcde	98.57	39.05	1.20
J10	40.00 ± 6.00b	4.70 ± 0.78ab	34.00 ± 14.20abc	2.79 ± 1.31bc	0.90 ± 0.35b	0.54 ± 0.32bcd	1.46 ± 0.91a	42.00 ± 5.90bcd	99.52	52.92	2.63
J11	52.00 ± 8.70a	5.20 ± 0.87a	40.00 ± 10.20ab	4.27 ± 1.23a	1.32 ± 0.25a	0.9 ± 0.36a	1.42 ± 0.30a	50.00 ± 3.90a	100.00	42.86	2.52
J12	46.00 ± 6.20a	5.10 ± 0.7ab	32.00 ± 9.40bc	3.37 ± 1.33abc	1.23 ± 0.33a	0.61 ± 0.38bc	1.19 ± 0.47ab	46.00 ± 5.00ab	100.00	50.48	2.17
J13	40.00 ± 5.50b	4.80 ± 0.48ab	33.00 ± 11.30abc	3.12 ± 0.64bc	0.85 ± 0.12bc	0.61 ± 0.27bc	1.45 ± 0.46a	42.00 ± 4.50bcd	100.00	47.04	2.63
J14	31.00 ± 3.60cd	3.80 ± 0.42de	19.00 ± 7.00e	1.73 ± 0.29def	0.50 ± 0.14de	0.21 ± 0.09f	0.67 ± 0.28cd	43.00 ± 5.30bcd	99.52	61.43	1.24
J15	37.00 ± 4.90b	4.70 ± 0.57ab	21.00 ± 9.30de	2.56 ± 0.91cd	0.80 ± 0.19bc	0.38 ± 0.27cdef	1.53 ± 0.59a	41.00 ± 5.70bcde	100.00	82.22	2.83
J16	26.00 ± 3.40de	3.70 ± 0.55def	25.00 ± 4.80cde	1.52 ± 0.52ef	0.48 ± 0.15de	0.31 ± 0.20def	0.77 ± 0.23cd	41.00 ± 4.90cde	99.04	38.79	1.46

注：不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)。
Note: different lower case letters in the same column indicate significant difference (P<0.05).

表 5 不同栽培基质条件下红锥幼苗根系指标多重比较分析
 Tab.5 Multiple comparative analysis of the root indexes of *Castanopsis hystrix* seedlings under different culture media

基质编号 Medium number	X3	X4	X5	X6	X10	X11	X12	X13	X51	X52
J1	2 878.00 ± 2 779.00ab	99.00 ± 25.00ab	312.00 ± 80.00ab	2.80 ± 0.86abc	2 346.00 ± 678.00abc	412 ± 145ab	78 ± 29abcd	22.3 ± 15.3abc	130 ± 60ab	15.20 ± 5.80bcde
J3	2 041.00 ± 2 178.00abcde	67.00 ± 68.00bcd	212.00 ± 212.00bcd	1.80 ± 1.68cdef	1 686.00 ± 1 839.00abcde	266 ± 237bcd	65 ± 88abcd	13.1 ± 22.3abcd	73 ± 81cd	14.00 ± 21.20cde
J4	3 004.00 ± 2 292.00ab	93.00 ± 62.00ab	292.00 ± 195.00ab	2.30 ± 1.37abcde	2 565.00 ± 2 038.00ab	323 ± 218abcd	76 ± 45abcd	19.2 ± 15.4abcd	80 ± 52bcd	14.00 ± 8.90cde
J5	1 455.00 ± 538.00de	50.00 ± 21.00d	157.00 ± 67.00d	1.40 ± 0.68ef	1 176.00 ± 421.00de	221 ± 103cd	38 ± 30d	8.5 ± 7.1d	65 ± 24cd	9.40 ± 4.90e
J6	2 088.00 ± 737.00abcde	67.00 ± 24.00bcd	210.00 ± 77.00bcd	1.70 ± 0.73def	1 745.00 ± 635.00abcde	259 ± 93bcd	60 ± 40abcd	12 ± 12.5bcd	79 ± 48bcd	15.00 ± 9.60bcde
J7	1 574.00 ± 390.00cde	50.00 ± 16.00d	158.00 ± 51.00d	1.30 ± 0.53f	1 316.00 ± 296.00cde	195 ± 106d	42 ± 25cd	10 ± 7.1cd	60 ± 19d	9.10 ± 6.30e
J8	1 901.00 ± 736.00bcde	70.00 ± 27.00bcd	219.00 ± 86.00bcd	2.00 ± 0.90bcdef	1 524.00 ± 608.00bcde	278 ± 109abcd	66 ± 35abcd	17.5 ± 10.6abcd	90 ± 40bcd	18.30 ± 11.00abcde
J9	1 604.00 ± 499.00cde	54.00 ± 17.00cd	169.00 ± 53.00cd	1.40 ± 0.52ef	1 339.00 ± 432.00cde	203 ± 75d	39 ± 24d	10.8 ± 8.1cd	58 ± 24d	11.20 ± 3.70e
J10	2 706.00 ± 1 599.00abcd	94.00 ± 56.00ab	296.00 ± 175.00ab	2.60 ± 1.67abcd	2 229.00 ± 1 331.00abcd	348 ± 243abcd	83 ± 58abc	25.8 ± 25.3a	130 ± 80ab	23.90 ± 14.70ab
J11	2 757.00 ± 657.00abc	99.00 ± 19.00ab	310.00 ± 60.00ab	2.80 ± 0.45ab	2 242.00 ± 581.00abcd	383 ± 106ab	86 ± 28ab	24.5 ± 7.5ab	115 ± 24abc	21.20 ± 5.80abcd
J12	2 488.00 ± 844.00abcde	90.00 ± 31.00abc	283.00 ± 96.00abc	2.60 ± 0.98abcd	2 002.00 ± 708.00abcde	363.00 ± 152.00abc	86.00 ± 34.00ab	19.90 ± 11.90abcd	102.00 ± 32.00abcd	17.80 ± 7.00abcde
J13	2 618.00 ± 1 423.00abcd	94.00 ± 39.00ab	294.00 ± 123.00ab	2.80 ± 0.84ab	2 140.00 ± 1 287.00abcd	345.00 ± 169.00abcd	88.00 ± 27.00ab	24.30 ± 7.20ab	114.00 ± 49.00abc	25.10 ± 8.00a
J14	1 323.00 ± 684.00e	50.00 ± 23.00d	158.00 ± 72.00d	1.50 ± 0.67ef	1 044.00 ± 562.00e	211.00 ± 112.00cd	47.00 ± 28.00bcd	9.70 ± 6.40cd	80.00 ± 27.00bcd	12.00 ± 7.30de
J15	3 246.00 ± 1 562.00a	113.00 ± 46.00a	356.00 ± 146.00a	3.20 ± 1.14a	2 675.00 ± 1 389.00a	429.00 ± 143.00a	99.00 ± 49.00a	22.40 ± 13.80abc	145.00 ± 74.00a	23.40 ± 12.50abc
J16	2 252.00 ± 977.00abcde	75.00 ± 23.00bcd	234.00 ± 74.00bcd	2.00 ± 0.61bcdef	1 855.00 ± 942.00abcde	315.00 ± 88.00abcd	57.00 ± 27.00abcd	10.70 ± 6.40cd	105.00 ± 25.00abcd	16.10 ± 5.70abcde

注：不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
 Note: different lower case letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.4 不同基质可溶性盐浓度差异分析

轻基质的可溶性盐浓度对幼苗成活率影响极大。用来反映溶液中可溶性盐浓度的指标为 EC 值 (表 6)。为研究各个基质物理性质对红锥幼苗生长性状的影响,本研究对不同基质的 EC 值进行了测定。结果显示,椰糠的电导率最高,为 $(1430.00 \pm 71.50) \mu\text{S}/\text{cm}$; 其次是 J3, 值为 $(1096.00 \pm 54.80) \mu\text{S}/\text{cm}$; 最低的是 J14, 为 $(30.50 \pm 1.50) \mu\text{S}/\text{cm}$ 和 J15, 为 $(31.90 \pm 1.60) \mu\text{S}/\text{cm}$ 。此外, J2 的可溶解固体总量、盐度、电阻率均较高, 分别为 $(764.00 \pm 38.20) \text{g}/\text{L}$ 、 $(0.54 \pm 0.03) \%$ 、 $(9.10 \pm 0.50) \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 。J2 盐度最大, 高达 0.54 ± 0.03 , J3 的盐度次之, 为 0.49 ± 0.04 。以黄心土为主要成分的栽培基质 J14、J15 盐度最低, 均仅为 0.01。以黄心土为主要成分的基质配方的电导率和可溶解固体总量也均较低。

为进一步研究不同基质的理化性质对红锥幼苗生长及成活率的影响, 对基质 EC 值与生长性状及红锥幼苗保存率进行了相关性分析 (表 7)。结果显示, 基质的电导率、可溶解固体总量、盐度等指标与红锥幼苗 2 个月成活率及壮苗指数呈显著负相关 ($r^2 < -0.40$, $P < 0.01$), 与 10 个月的保存率显著强负相关 ($r^2 < -0.89$, $P < 0.01$), 说明基质

EC 含量对红锥幼苗的成活具有重要作用。此外, 壮苗指数与红锥幼苗 2 个月成活率及 10 个月的保存率显著强相关 ($r^2 > 0.70$, $P < 0.01$), 说明红锥幼苗生长状况也是影响红锥保存率的关键因素。苗高与主干生物量显著强相关 ($r^2 = 0.91$, $P = 0.01$), 与地径、叶生物量、主干生物量、侧枝生物量、根生物量显著相关 ($r^2 > 0.70$, $P < 0.01$), 说明苗高可在一定程度上代表苗木的生长状况。SPAD 值与叶生物量相关性较高, 为 0.51, 说明叶绿素含量与叶片生长量存在较大的相关性。

3 讨论与结论

育苗基质是苗木生长发育的重要载体, 因直接关系后期造林或苗木推广而在不同植物中被广泛研究^[9-12]。轻基质育苗因其透水透气性好、幼苗生长状态好、造林省工、幼林成活率高等优势而被国内外广泛应用^[3]。我国红锥早期育苗主要以黄心土、火烧土、锥林表土、松林表土为主^[5], 近年来开始在育苗基质中添加泥炭、树皮、锯末等多种类型轻型基质^[5-6, 8]。然而, 由于主要成分多以黄心土或锥林表土为主^[5-6, 8], 育苗基质较重, 增加了造林成本。因此, 筛选适宜红锥育苗的轻

表 6 红锥育苗基质 EC 指标测定

Tab.6 Determination of EC indexes of different *Castanopsis hystrix* seedlings culture media

基质编号 Medium number	电导率 $/(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$ Conductivity	可溶解固体总量 $/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$ Total dissolved solids	盐度 $/\%$ Salinity	电阻率 $/(\text{M}\Omega \cdot \text{cm})$ Resistivity
J1	11.62 ± 0.60	76.60 ± 3.83	0.05 ± 0.00	8.58 ± 0.43
J2	1430.00 ± 71.50	764.00 ± 38.20	0.54 ± 0.03	9.10 ± 0.50
J3	1096.00 ± 54.80	703.00 ± 5.05	0.49 ± 0.04	8.97 ± 0.85
J4	274.00 ± 13.70	184.00 ± 9.20	0.13 ± 0.01	3.62 ± 0.18
J5	933.00 ± 46.70	644.00 ± 32.20	0.46 ± 0.02	1.07 ± 0.05
J6	754.00 ± 37.70	515.00 ± 25.75	0.37 ± 0.02	1.34 ± 0.07
J7	616.00 ± 30.80	418.00 ± 20.90	0.30 ± 0.02	1.63 ± 0.08
J8	747.00 ± 37.40	510.00 ± 25.50	0.36 ± 0.02	1.35 ± 0.07
J9	596.00 ± 29.80	406.00 ± 20.30	0.29 ± 0.02	1.67 ± 0.08
J10	714.00 ± 35.70	485.00 ± 24.25	0.35 ± 0.02	1.41 ± 0.07
J11	770.00 ± 38.50	526.00 ± 26.30	0.37 ± 0.02	1.31 ± 0.07
J12	493.00 ± 24.70	333.00 ± 16.65	0.24 ± 0.01	2.03 ± 0.10
J13	506.00 ± 25.30	341.00 ± 17.05	0.24 ± 0.01	2.01 ± 0.10
J14	30.50 ± 1.50	19.40 ± 0.97	0.01 ± 0.00	2.70 ± 1.64
J15	31.90 ± 1.60	20.20 ± 1.01	0.01 ± 0.00	1.40 ± 1.57
J16	531.00 ± 26.60	359.00 ± 17.95	0.26 ± 0.01	1.89 ± 0.09

基质,可为红锥壮苗繁育及推广提供支持。

本研究采用混料设计,以泥炭土、椰糠、珍珠岩为主要原料,配制14种轻基质,并以传统黄心土为主的栽培基质作对比。通过比较不同栽培基质下红锥幼苗的生长指标、存活率、根系指标及壮苗指数等指标,为最佳栽培基质的选择提供依据。结果显示,轻基质配方J11、J1、J13的苗高、地径等指标明显高于以黄心土为栽培基质的苗木,且这几类基质的壮苗指数均远高于对照黄心土,说明轻基质在提高苗木质量方面具有显著效果。本研究结果与非洲桃花心木 *Swietenia mahagni*、西南桦 *Betula alnoides*、桉树 *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*、马尾松 *Pinus massoniana* 和湿加松 *P. elliottii* × *P. oaribaea* 中的研究结果具有一致性,说明轻基质育苗适宜应用于林木育苗生产中^[13-17]。

根系是植物吸收水分、养分的主要器官,其发育状况反映了苗木生长情况^[18]。其中,由根毛和细根组成的微根系是根系执行吸收功能的主要部位,其生长状况与植物的生长状况具有较强的相关性^[19-21]。本研究结果显示,不同栽培基质下红锥幼苗根生物量出现显著差异。其中,J13、J1、J11、J12的根生物量显著高于其他处理($P < 0.05$),其中J13根生物量最高,且4种轻基质配方的根生物量均显著高于J14(黄心土)此外,根生物量及 $d \leq 2.00$ mm 的根长及根直径介于 0.50 mm $< d \leq 1.50$ mm 的根尖数在各个基质中均差异显著,说明不同的基质配方主要影响 $d \leq 2.00$ mm 的根系指标。

苗木成活率是考察基质适宜与否的另一个重要因素。本研究结果显示,育苗早期,幼苗成活率均高于98%。然而,10个月后以黄心土为主要栽培基质的苗木保存率最高,其次为以泥炭土为主要成分的栽培基质,保存率最低为椰糠。为了研究基质类型与保存率之间的关系,本研究对苗木保存率与基质EC值进行了相关性分析,结果显示,保存率与盐度呈显著负相关,说明基质盐度是限制红锥幼苗成活的关键因素。移栽2个月后红锥苗木成活率高,可能与早期充足的灌溉有关,说明充足的水分可在一定程度上减轻基质中盐度对苗木的伤害,然而,从灌溉成本及后期保存率看,以椰糠为主要原料的栽培基质不适于红锥幼苗的栽培。

参考文献

- [1] 陈中海. 基质因素对容器育苗上袋成活率的影响[J]. 浙江林业科技, 1992(5): 36-39.
- [2] 戚连忠, 汪传佳. 林木容器育苗研究综述[J]. 林业科技开发, 2004, 18(4): 10-13.
- [3] 陈中海. 湿地松、火炬松容器育苗基质选择[J]. 林业科技通讯, 1993(4): 26-27.
- [4] 温恒辉, 贾宏炎, 黎明, 等. 基质类型, 容器规格和施肥量对红锥容器苗质量的影响[J]. 问题探讨, 2012, 31(7): 75-82.
- [5] 黎明, 郭文福. 红锥容器苗基质试验简报[J]. 广西林业科学, 2006(1): 31-33.
- [6] 陈琳, 曾杰, 贾宏炎, 等. 容器规格和基质配方对红锥幼苗生长及造林效果的影响[J]. 林业科学, 2017, 53(3): 76-83.
- [7] 黎明, 吴方成. 红锥容器育苗基质选择试验研究[J]. 现代农业科技, 2019(10): 113-115.
- [8] 茆诗松, 丁元, 周纪芴, 等. 回归分析及其试验设计[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1981: 303-314.
- [9] 张尚坤, 莫罗坚, 李果惠, 等. 不同栽培基质对3种野牡丹属植物生长的影响[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(2): 101-106.
- [10] 杨红梅, 叶少萍, 郑富海, 等. 立体绿化轻型基质配方技术及应用研究[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(6): 98-104.
- [11] 朱报著, 杨会肖, 潘文, 等. 农林废弃物基质对杜鹃红山茶苗期生长的影响[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(6): 34-43.
- [12] 黄锐兵, 师春娟, 王齐. 栽培条件对日本矮麦冬分株繁殖生长影响研究[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(3): 61-65.
- [13] 贾宏炎, 黎明, 郭文福. 马尾松和湿加松轻基质网袋容器育苗试验[J]. 林业科技, 2009, 34(2): 16-18.
- [14] 沈云, 吴兵, 申文辉, 等. 桉树轻基质育苗技术研究[J]. 广西林业科学, 2008(3): 133-136.
- [15] 黎明, 贾宏炎, 郭文福, 等. 湿加松轻基质网袋容器育苗培育技术[J]. 林业实用技术, 2008(2): 21-22.
- [16] 蒙彩兰, 黎明, 郭文福. 西南桦轻基质网袋容器育苗技术[J]. 林业科技开发, 2007, 21(6): 104-105.
- [17] 蔡道雄, 贾宏炎, 黎明, 等. 非洲桃花心木轻基质容器苗培育试验[J]. 林业实用技术, 2007(3): 18-20.
- [18] 肖爽, 刘连涛, 张永江, 等. 植物微根系原位观测方法研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(2): 370-385.
- [19] WAISEL Y, ESHEL A, KAFKAFI U. Plant roots: the hidden half[M]. New York: Marcell Decker Inc., 1996: 1-20.
- [20] GAUL D, HERTEL D, BORKEN W, et al. Effects of experimental drought on the fine root system of mature Norway spruce[J]. Journal of Plant Nutrition & Soil Science, 2010, 171(5): 690-698.
- [21] 姚瑶, 秦艳, 宝音陶格涛, 等. 干旱胁迫对臭柏细根解剖结构的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(6): 19-21.