

农林废弃物混配基质的理化性质及其 对油茶幼苗生长效应的综合评价

戴小红¹, 孙伟生², 樊 权³, 罗 萍^{1,①}, 贺军军¹

(1. 中国热带农业科学院湛江实验站, 广东 湛江 524013;

2. 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东 湛江 524091; 3. 南亚棕榈园艺苗圃, 广东 遂溪 524300)

摘要: 以腐熟的甘蔗渣(SB)、木薯皮(CP)、花生壳(PS)和火炭灰(BA)及园土(GS)为原料,按照不同体积比配制9种混配基质,并以等体积比泥炭和园土混配基质为对照,对各基质的理化性质及基质中油茶(*Camellia oleifera* Abel)幼苗的生长状况进行比较;在对基质理化指标和油茶幼苗的壮苗指数进行线性回归分析和通径分析的基础上,采用主成分分析和综合评价法对各基质的育苗效果进行综合评价。结果表明:9种农林废弃物混配基质的容重、总孔隙度和毛管孔隙度分别为0.23~0.47 g·cm⁻³、60.90%~67.23%和46.53%~58.27%, pH 6.72~pH 7.14,各基质的速效氮含量、速效磷含量、速效钾含量、pH值、电导率和通气孔隙度均高于或显著高于对照,容重则显著低于对照。在不同基质中油茶幼苗的茎粗、单株叶片数、叶长、叶宽、叶绿素相对含量(SPAD)、单株茎叶干质量、单株根干质量和壮苗指数均存在一定差异,而株高和根冠比却无显著差异;其中S9混配基质[V(SB):V(CP):V(BA)=2:1:1]中幼苗的大部分生长指标较高,表现出明显的生长优势。线性回归和通径分析结果显示:除通气孔隙度外,基质的其他8个理化指标基本涵盖了影响幼苗壮苗指数的关键因素;其中,速效钾含量是对壮苗指数直接影响最大的负相关因子,而速效磷含量、电导率和总孔隙度对壮苗指数则有较大的正向直接作用,并且三者通过速效钾含量对壮苗指数产生较大的负向间接作用;此外,基质容重对壮苗指数也有一定的负向直接作用。综合评价结果显示:S9和S7混配基质[V(SB):V(BA):V(GS)=4:3:3]对油茶育苗效果的综合得分较高,分别为14.363和14.337,建议将S9混配基质作为油茶育苗的首选替代基质,S7混配基质作为备选基质。

关键词: 农林废弃物;混配基质;理化性质;油茶;壮苗指数;通径分析

中图分类号: S794.4; S723.1+33; S141.8 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)01-0054-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.01.07

Physicochemical property of mixed substrates with agricultural and forestry wastes and comprehensive evaluation of their effect on growth of *Camellia oleifera* seedlings DAI Xiaohong¹, SUN Weisheng², FAN Quan³, LUO Ping^{1,①}, HE Junjun¹ (1. Zhanjiang Experiment Station, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524013, China; 2. South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524091, China; 3. Nanya Palm Nursery Garden, Suixi 524300, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(1): 54-61

Abstract: Taking decomposed sugarcane bagasse (SB), cassava peel (CP), peanut shell (PS), bagasse ash (BA) and garden soil (GS) as raw materials, nine mixed substrates were prepared with different volume ratios. And taking mixed substrate with same volume ratio of peat and garden soil as the control, the physicochemical property of different substrates and growth status of *Camellia oleifera* Abel seedlings growing in above substrates were compared. On the basis of linear regression analysis and path analysis on physicochemical indexes of substrates and seedling index of *C. oleifera* seedlings, the seedling

收稿日期: 2015-04-27

基金项目: 中国热带农业科学院湛江实验站科研启动专项资金资助项目(zjky201301); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(1630032012037)

作者简介: 戴小红(1980—),女,湖北宜城人,硕士,助理研究员,主要从事热带作物生理生态及废弃物基质化利用研究。

①通信作者 E-mail: luoping428@163.com

cultivation effect of different substrates was comprehensively evaluated by methods of principal component analysis and comprehensive evaluation. The results show that bulk density, total porosity and capillary porosity of nine mixed substrates with agricultural and forestry wastes are $0.23 - 0.47 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, $60.90\% - 67.23\%$ and $46.53\% - 58.27\%$, respectively, with pH $6.72 - 7.14$. Available nitrogen content, available phosphorus content, available potassium content, pH value, electronic conductivity and aeration porosity of different substrates are all higher or significantly higher than those of the control, their bulk density is significantly lower than that of the control. There are all some differences in stem diameter, leaf number per plant, leaf length, leaf width, relative content of chlorophyll (SPAD), dry weight of shoot per plant, dry weight of root per plant and seedling index of *C. oleifera* seedlings in different substrates, while there is no significant difference in height and root-shoot ratio. In which, most growth indexes of seedlings in S9 mixed substrate [$V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA})=2:1:1$] are high, appearing obviously growth advantage. The results of linear regression and path analysis reveal that except aeration porosity, other eight physicochemical indexes of substrates are basically covered key factors affecting seedling index. In which, available potassium content is negative correlation factor with the greatest direct effect on seedling index, while available phosphorus content, electronic conductivity and total porosity have a positively direct effect on seedling index, and the three bring negatively indirect effect on seedling index through available potassium content. Otherwise, bulk density of substrate also has a certain negatively direct effect on seedling index. The comprehensive evaluation result shows that comprehensive score of effect of S9 mixed substrate and S7 mixed substrate [$V(\text{SB}):V(\text{BA}):V(\text{GS})=4:3:3$] on seedling cultivation of *C. oleifera* is high with a value of 14.363 and 14.337, respectively. So, it is suggested that taking S9 mixed substrate as preferred substitute substrate for seedling cultivation of *C. oleifera*, and taking S7 mixed substrate as alternative substrate.

Key words: agricultural and forestry wastes; mixed substrate; physicochemical property; *Camellia oleifera* Abel; seedling index; path analysis

农林废弃物是指在农业和林业生产与加工过程中产生的植物残余类废弃物(如作物秸秆、树皮、谷壳等),数量巨大,具有可再生、可生物降解等优点,是重要的生物质资源之一。但长期以来农林废弃物一直没有得到充分的利用,通常被焚烧、填埋或随意弃置,不仅污染了环境,也造成了生物质能源的浪费^[1-2]。农林废弃物的基质化利用是一条变废为宝、消除污染、改善生态环境的有效途径,经过一定处理后很多农林废弃物能作为良好的栽培基质^[3-5],因此,有效利用农林废弃物不但能够减少泥炭、表土等短期内不可再生资源的使用量,而且能够促进资源的循环利用,具有重要的现实意义。

油茶(*Camellia oleifera* Abel)为山茶属(*Camellia* Linn.)木本油料植物,其种子提取的茶油中不饱和脂肪酸含量在90%以上,被誉为“东方橄榄油”,具有较高的开发利用价值^[6-7]。油茶的适应性较广泛,且抗干旱、耐瘠薄^[8-9],是中国南方丘陵岗地重要的经济林树种之一,其经济和生态价值越来越受到人们的重视。目前,油茶的良种苗木培育主要以芽苗砧嫁接为主,该方法既能保持接穗的优良性状又可利用砧木的适生性,缩短嫁接苗培育时间。由于容器育苗具有不

受季节限制、成活率高、缓苗期短、生长快、移栽时根系受损少等优点,因此油茶嫁接苗多采用容器栽培方式。基质选配是影响容器育苗效果的关键因素之一,常规的油茶育苗基质以表土和泥炭等为主,但其育苗效果及环保性有待进一步改善。

为了筛选出育苗质量和效率高、成本低且利于生态环境保护 and 资源循环利用的油茶容器苗栽培基质,作者以腐熟的甘蔗渣、木薯皮、火炭灰和花生壳等农林废弃物为主要原料配制栽培基质,对不同基质的理化性质以及不同基质中油茶幼苗的生长状况进行比较分析,并采用线性回归分析、通径分析和主成分分析等方法对不同基质的育苗效果进行综合评价,以期筛选出育苗效果较好、配制简便、成本较低的环保型基质,为油茶的容器苗培育提供参考依据,也为农林废弃物资源的进一步开发应用提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试油茶品种为‘岑软2号’(‘No. 2 of Cenruan’),选择生长健壮且长势一致的无性系芽苗

砧嫁接的1年生容器苗进行实验,苗高(10 ± 2) cm,抽梢基径(1.8 ± 0.2) mm。

使用的园土为广东遂溪南亚棕榈园艺苗圃地0~20 cm土层的土壤(即表土),泥炭购于市场,甘蔗渣来自广东广垦糖业集团有限公司,火炭灰为甘蔗渣燃烧后的残留物,木薯皮取自湛江市新天鑫酒精有限公司,花生壳取自遂溪榨油厂;其中,甘蔗渣、木薯皮和花生壳在使用前均经过1 a的自然堆沤处理,为简化操作、降低成本,堆沤过程中未添加任何其他物料。堆沤处理后,甘蔗渣容重 $0.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、pH 4.5、电导率 $0.24 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、有机质含量约46%,木薯皮容重 $0.57 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、pH 6.3、电导率 $0.13 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、有机质含量约21%,花生壳容重 $0.14 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、pH 5.0、电导率 $1.38 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、有机质含量约70%,火炭灰容重 $0.28 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、pH 7.8、电导率 $0.50 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 、有机质含量约21%。

1.2 方法

1.2.1 基质的配制 在前期试验的基础上,将上述经过堆沤的甘蔗渣(SB)、木薯皮(CP)、火炭灰(BA)、花生壳(PS)和园土(GS)按照不同体积比配制9种混合基质,即S1[$V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 1:2:1$]、S2[$V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 2:5:3$]、S3[$V(\text{CP}):V(\text{BA}):V(\text{PS}) = 5:3:2$]、S4[$V(\text{CP}):V(\text{BA}):V(\text{GS}) = 6:3:1$]、S5[$V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 1:6:3$]、S6[$V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 1:1:1$]、S7[$V(\text{SB}):V(\text{BA}):V(\text{GS}) = 4:3:3$]、S8[$V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 4:3:3$]、S9[$V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 2:1:1$]。对照(CK)为供试油茶容器苗的原栽培基质,由泥炭(PT)和园土按照 $V(\text{PT}):V(\text{GS}) = 1:1$ 混配而成。

1.2.2 基质理化性质的测定 上盆前,对上述10种基质的理化性质进行检测。采用蒸馏法^[10]测定速效氮含量;采用NY/T 300—1995中的柠檬酸浸提-钼钒黄比色法测定速效磷含量;采用NY/T 301—1995中的火焰光度计法测定速效钾含量;参照程斐等^[11]的方法测定pH值和电导率;采用环刀法^[12]测定容重;参照刘庆超^[13]的方法测定总孔隙度、通气孔隙度和毛管孔隙度。总孔隙度、通气孔隙度和毛管孔隙度均重复测定3次,其余各指标均重复测定2次。

1.2.3 幼苗的栽培及管理 在中国热带农业科学院湛江实验站育苗大棚内进行盆栽实验。以上口径16.0 cm、下口径11.0 cm、高14.5 cm的塑料盆为育苗容器,采用随机区组设计,于2014年4月30日将

供试油茶幼苗根系附着的基质清除干净后移入装有上述10种基质的塑料盆中,每盆1株,每处理5盆,各3个重复,即每个处理共计15株幼苗。实验期间进行遮阳处理,遮阳率为70%,不施任何肥料,采取常规管理措施。

1.2.4 生长指标的测定 于2014年11月18日,每处理随机选取6株幼苗测定株高、茎粗、叶长、叶宽、单株叶片数和叶绿素相对含量(SPAD)。其中,株高(基质表面到生长点的高度)用钢卷尺测量;茎粗(接芽抽梢基部0.5~1.0 cm处的直径)及叶长和叶宽(每株上最大的成熟且完整叶片进行测量)均用游标卡尺测量;单株叶片数为每株幼苗上所有完全展开叶片的数量。于晴天上午的9:00至11:00,在每一单株上选取向阳面从顶端向下第3至第5位的成熟且完整的叶片1枚,用TYS-A叶绿素测定仪(浙江托普仪器有限公司)直接测定叶片的SPAD值,测定时需避开叶片中部的主脉,每枚叶片选择2个位置进行测定,结果取平均值。

每处理各选取3株幼苗测定单株茎叶干质量和单株根干质量。洗净根系上附着的基质并吸干表面水分,将各单株的茎叶和根分开,分别置于105℃杀青30 min,并在75℃条件下烘干至恒质量,分别称量各单株的茎叶干质量和根干质量。参照赵海涛等^[14]的方法,按照公式“根冠比=单株根干质量/单株茎叶干质量”和“壮苗指数=[(茎粗/株高)+根冠比]×(单株茎叶干质量+单株根干质量)”分别计算根冠比和壮苗指数。

1.3 数据处理和统计分析

使用EXCEL 2010和SPSS 20.0软件进行相关实验数据的整理和统计分析,包括对基质理化性质及幼苗生长指标的Duncan's多重比较,在对基质理化性质与壮苗指数的线性回归分析基础上进行通径分析,并在对幼苗生长指标的主成分分析基础上对各基质的育苗效果进行综合评价。

2 结果和分析

2.1 不同农林废弃物混配基质的理化性质分析

供试的10种基质的理化指标测定结果见表1。由表1可以看出:10种基质的速效氮含量普遍较低,而速效磷和速效钾含量则较丰富;9种农林废弃物混配基质的速效氮、速效磷和速效钾含量均高于或显著

表 1 不同农林废弃物混配基质的理化性质比较 ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾
Table 1 Comparison on physicochemical property of different mixed substrates with agricultural and forestry wastes ($\bar{X}\pm SE$)¹⁾

基质 Substrate		养分含量/mg · kg ⁻¹ Nutrient content			pH 值 pH value
编号 No.	配方 ²⁾ Formula ²⁾	速效氮 Available nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	
S1	V(SB):V(CP):V(BA)=1:2:1	44.95±8.37bc	1 209.30±12.97c	1 289.96±99.49cd	7.10±0.03ab
S2	V(SB):V(CP):V(BA)=2:5:3	25.35±4.50cd	1 115.80±59.15cd	1 371.13±48.41cd	7.08±0.01abc
S3	V(CP):V(BA):V(PS)=5:3:2	56.51±8.28ab	1 159.19±23.37cd	1 477.25±25.89bc	6.92±0.01d
S4	V(CP):V(BA):V(GS)=6:3:1	59.25±7.05ab	905.48±31.19e	983.11±12.45e	7.07±0.08abc
S5	V(SB):V(CP):V(BA)=1:6:3	32.36±2.45cd	1 029.08±78.27de	1 235.77±39.40d	7.14±0.09a
S6	V(SB):V(CP):V(BA)=1:1:1	22.17±9.64d	1 718.62±23.92a	1 961.20±34.06a	7.00±0.02bcd
S7	V(SB):V(BA):V(GS)=4:3:3	20.39±2.11d	1 242.52±82.67c	1 434.67±58.56cd	6.72±0.03e
S8	V(SB):V(CP):V(BA)=4:3:3	27.92±7.08cd	1 543.46±46.64b	1 980.26±132.89a	6.95±0.04cd
S9	V(SB):V(CP):V(BA)=2:1:1	74.21±1.70a	1 426.72±22.18b	1 656.24±47.28b	6.87±0.03d
CK	V(PT):V(GS)=1:1	12.24±0.20d	96.78±1.31f	256.24±3.29f	4.72±0.01f

基质 Substrate		电导率/mS · cm ⁻¹	容重/g · cm ⁻³	总孔隙度/%	通气孔隙度/%	毛管孔隙度/%
编号 No.	配方 ²⁾ Formula ²⁾	Electric conductivity	Bulk density	Total porosity	Aeration porosity	Capillary porosity
S1	V(SB):V(CP):V(BA)=1:2:1	0.17±0.01cd	0.31±0.02d	62.23±3.39a	8.55±4.12a	53.68±4.25ab
S2	V(SB):V(CP):V(BA)=2:5:3	0.21±0.01ab	0.36±0.01c	64.10±2.74a	8.90±2.73a	55.20±0.48ab
S3	V(CP):V(BA):V(PS)=5:3:2	0.23±0.00a	0.36±0.01c	62.27±3.66a	10.08±3.81a	52.18±1.81ab
S4	V(CP):V(BA):V(GS)=6:3:1	0.15±0.00de	0.47±0.00b	60.90±2.57a	8.57±2.17a	52.33±2.21ab
S5	V(SB):V(CP):V(BA)=1:6:3	0.16±0.00de	0.38±0.01c	63.07±3.28a	16.53±3.21a	46.53±3.10b
S6	V(SB):V(CP):V(BA)=1:1:1	0.20±0.00ab	0.25±0.00ef	67.23±3.34a	11.55±4.29a	55.68±1.22ab
S7	V(SB):V(BA):V(GS)=4:3:3	0.20±0.03bc	0.38±0.00c	64.37±2.74a	17.10±2.15a	47.27±2.58b
S8	V(SB):V(CP):V(BA)=4:3:3	0.20±0.01ab	0.26±0.00e	66.87±4.38a	11.97±1.56a	54.90±3.52ab
S9	V(SB):V(CP):V(BA)=2:1:1	0.20±0.02bc	0.23±0.00f	66.27±3.44a	8.00±1.57a	58.27±3.33a
CK	V(PT):V(GS)=1:1	0.13±0.00e	0.70±0.00a	65.11±0.63a	7.43±0.03a	57.69±0.66a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 Different small letters in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.
²⁾ SB: 甘蔗渣 Sugarcane bagasse; CP: 木薯皮 Cassava peel; BA: 火炭灰 Bagasse ash; PS: 花生壳 Peanut shell; GS: 园土 Garden soil; PT: 泥炭 Peat.

($P<0.05$) 高于对照基质 [V(泥炭):V(园土)=1:1]。其中,速效氮含量最高的是 S9 混配基质 [V(甘蔗渣):V(木薯皮):V(火炭灰)=2:1:1],速效磷含量最高的是 S6 混配基质 [V(甘蔗渣):V(木薯皮):V(火炭灰)=1:1:1],速效钾含量较高的是 S8 [V(甘蔗渣):V(木薯皮):V(火炭灰)=4:3:3] 和 S6 混配基质。对照基质明显偏酸性,pH 4.72,而供试的 9 种农林废弃物混配基质近中性,pH 6.72 ~ pH 7.14,并且对照基质的 pH 值显著低于供试的 9 种农林废弃物混配基质。10 种基质的电导率为 0.13 ~ 0.23 mS · cm⁻¹,均偏低;其中,对照基质的电导率最低,且与大多数混配基质间存在显著差异。各基质的容重为 0.23 ~ 0.70 g · cm⁻³;其中,对照基质的容重最大,显著高于 9 种农林废弃物混配基质,而 S9 混配基质的容重最小。供试 10 种基质的总孔隙度均在 60% 以上,通气孔隙度均高于 7%,并且这 2 项指标在各基质间无显著差异($P>0.05$)。毛管孔隙度较高的是 S9 混配基质和

对照基质,较低的是 S5 [V(甘蔗渣):V(木薯皮):V(火炭灰)=1:6:3] 和 S7 [V(甘蔗渣):V(火炭灰):V(园土)=4:3:3] 混配基质,并且,前 2 种基质的毛管孔隙度显著高于后 2 种基质,而其余基质间的毛管孔隙度均无显著差异。

2.2 不同农林废弃物混配基质对油茶幼苗生长的影响

在供试的 10 种基质中栽培 201 d 后油茶幼苗的各项生长指标见表 2。结果表明:不同基质中油茶幼苗的茎粗、单株叶片数、叶长、叶宽、叶绿素相对含量 (SPAD)、单株茎叶干质量、单株根干质量和壮苗指数均存在一定差异,但不同基质中幼苗的株高和根冠比则无显著差异($P>0.05$)。其中,S9 混配基质 [V(甘蔗渣):V(木薯皮):V(火炭灰)=2:1:1] 中幼苗的株高、茎粗、SPAD 值、单株叶片数、单株茎叶干质量、单株根干质量和壮苗指数均高于其他基质,表现出明显的生长优势;S7 混配基质 [V(甘蔗渣):V(火炭灰):

V(园土)=4:3:3]中幼苗的叶长、叶宽和根冠比均高于其他混配基质以及对照基质,株高、根干质量和壮苗指数也较高;S8混配基质[V(甘蔗渣):V(木薯皮):V(火炭灰)=4:3:3]中幼苗的SPAD值较高,但株高、茎粗、单株茎叶干质量、单株根干质量、根冠比和壮苗指数均低于其他基质,植株生长状况较差;S4混配基质[V(木薯皮):V(火炭灰):V(园土)=6:3:1]中

幼苗单株叶片数低于其他混配基质和对照基质,单株茎叶干质量、单株根干质量和壮苗指数也较低;S5混配基质[V(甘蔗渣):V(木薯皮):V(火炭灰)=1:6:3]中幼苗的单株叶片数较少,叶长和SPAD值均低于其他混配基质和对照基质。总体来看,S9混配基质对油茶幼苗的生长具有较明显的促进作用,育苗效果优于其他混配基质和对照基质。

表2 在不同农林废弃物混配基质中油茶幼苗生长指标的比较($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

Table 2 Comparison on growth indexes of seedling of *Camellia oleifera* Abel in different mixed substrates with agricultural and forestry wastes ($\bar{X} \pm SE$)¹⁾

编号 No.	基质 Substrate 配方 ²⁾ Formula ²⁾	株高/cm Height	茎粗/mm Stem diameter	单株叶片数 Leaf number per plant	叶长/mm Leaf length	叶宽/mm Leaf width
S1	V(SB):V(CP):V(BA)=1:2:1	20.60±1.81a	3.19±0.15a	9.0±1.0ab	50.22±1.13abc	26.92±1.57ab
S2	V(SB):V(CP):V(BA)=2:5:3	23.20±3.45a	3.22±0.10a	9.0±2.3ab	47.08±4.57abc	23.74±1.01ab
S3	V(CP):V(BA):V(PS)=5:3:2	21.43±3.55a	3.39±0.35a	6.5±1.8ab	51.89±5.14ab	27.56±1.09ab
S4	V(CP):V(BA):V(GS)=6:3:1	23.33±2.89a	2.55±0.08bc	4.7±1.5b	50.90±4.52ab	26.32±1.34ab
S5	V(SB):V(CP):V(BA)=1:6:3	22.80±2.31a	3.00±0.16ab	4.8±2.1b	39.15±4.44c	23.53±2.72ab
S6	V(SB):V(CP):V(BA)=1:1:1	21.27±1.44a	3.18±0.11a	6.7±1.5ab	45.70±0.95bc	26.59±2.83ab
S7	V(SB):V(BA):V(GS)=4:3:3	23.52±2.80a	2.98±0.16ab	7.2±1.5ab	58.58±3.12a	29.29±1.68a
S8	V(SB):V(CP):V(BA)=4:3:3	17.73±1.67a	2.42±0.09c	7.8±1.8ab	48.39±3.28abc	23.31±1.37b
S9	V(SB):V(CP):V(BA)=2:1:1	25.98±3.52a	3.43±0.17a	12.3±1.6a	49.07±1.39abc	23.18±1.51b
CK	V(PT):V(GS)=1:1	23.28±1.71a	3.27±0.13a	5.3±1.9b	46.56±4.00bc	24.38±0.44ab

编号 No.	基质 Substrate 配方 ²⁾ Formula ²⁾	SPAD ³⁾	单株茎叶干质量/g Dry weight of shoot per plant	单株根干质量/g Dry weight of root per plant	根冠比 Root-shoot ratio	壮苗指数 Seedling index
S1	V(SB):V(CP):V(BA)=1:2:1	68.40±3.40ab	1.52±0.20bc	0.75±0.08ab	0.51±0.07a	1.47±0.16abc
S2	V(SB):V(CP):V(BA)=2:5:3	66.70±4.69ab	1.98±0.18b	1.16±0.15ab	0.58±0.03a	2.28±0.25ab
S3	V(CP):V(BA):V(PS)=5:3:2	66.18±4.12ab	1.68±0.21bc	1.16±0.32ab	0.70±0.21a	2.59±0.85a
S4	V(CP):V(BA):V(GS)=6:3:1	56.72±2.78abc	1.12±0.13c	0.53±0.14b	0.50±0.17a	1.02±0.34bc
S5	V(SB):V(CP):V(BA)=1:6:3	48.36±8.93c	1.22±0.04c	0.71±0.15ab	0.57±0.10a	1.38±0.35abc
S6	V(SB):V(CP):V(BA)=1:1:1	48.84±3.86c	1.19±0.07c	0.87±0.16ab	0.75±0.19a	1.89±0.47abc
S7	V(SB):V(BA):V(GS)=4:3:3	61.70±3.97abc	1.61±0.17bc	1.23±0.15ab	0.77±0.07a	2.46±0.31a
S8	V(SB):V(CP):V(BA)=4:3:3	69.52±2.39a	1.08±0.10c	0.47±0.03b	0.44±0.01a	0.89±0.04c
S9	V(SB):V(CP):V(BA)=2:1:1	70.19±1.67a	2.59±0.38a	1.41±0.20a	0.55±0.04a	2.67±0.32a
CK	V(PT):V(GS)=1:1	53.96±8.08bc	1.10±0.25c	1.03±0.52ab	0.83±0.23a	1.37±0.37abc

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示在0.05水平上差异显著 Different small letters in the same column indicate the significant difference at 0.05 level.

²⁾ SB: 甘蔗渣 Sugarcane bagasse; CP: 木薯皮 Cassava peel; BA: 火炭灰 Bagasse ash; PS: 花生壳 Peanut shell; GS: 园土 Garden soil; PT: 泥炭 Peat.

³⁾ SPAD: 叶绿素相对含量 Relative content of chlorophyll.

2.3 基质理化指标和油茶幼苗壮苗指数的线性回归和通径分析

2.3.1 线性回归分析 以基质的速效氮含量(X_1)、速效磷含量(X_2)、速效钾含量(X_3)、pH值(X_4)、电导率(X_5)、容重(X_6)、总孔隙度(X_7)、通气孔隙度(X_8)和毛管孔隙度(X_9)为自变量,以幼苗的壮苗指数(Y)为因变量进行线性回归分析,获得的线性回归方程为

$Y = -22.176 + 0.012X_1 + 0.004X_2 - 0.007X_3 + 0.238X_4 + 40.742X_5 - 2.882X_6 + 0.380X_7 - 0.075X_9$ ($R^2 = 0.997$, $F = 327.368$, $P = 0.043$, Durbin-Watson 统计量 $d = 2.040$)。该方程的决定系数为0.997,剩余因子 $e = \sqrt{1-R^2} = 0.055$,据此认为除通气孔隙度(X_8)外,基质的其他8个理化指标基本涵盖了影响油茶幼苗壮苗指数的关键因素。

2.3.2 通径分析 参照杜家菊等^[15]的方法,在线性回归分析的基础上对基质理化指标与壮苗指数进行通径分析,结果见表 3。由表 3 可以看出:基质的速效钾含量(X_3)、速效磷含量(X_2)、电导率(X_5)和总孔隙度(X_7)对油茶幼苗壮苗指数(Y)的直接作用均较大,其中,速效钾含量(X_3)的直接作用最大,且为负值(-5.488);而速效磷含量(X_2)、电导率(X_5)和总孔隙度(X_7)对壮苗指数(Y)的直接作用均为正向,它们的直接通径系数分别为 2.973、1.849 和 1.222。另外,容重(X_6)和毛管孔隙度(X_9)对壮苗指数(Y)也均具有一定程度的负向直接作用,表明容重大或毛管孔隙度高的混配基质均不利于油茶幼苗的生长。

由表 3 还可见:基质的速效钾含量(X_3)通过速效磷含量(X_2)对壮苗指数(Y)产生的间接作用较大,间接通径系数为 2.918,表明速效钾含量与速效磷含量配合一定程度上有利于油茶幼苗的生长;而速效磷含量(X_2)、电导率(X_5)和总孔隙度(X_7)均通过速效钾含量(X_3)对壮苗指数(Y)产生较大的负向间接作用,

间接通径系数分别为 -5.386 、 -4.253 和 -2.511 ,表明速效钾含量可能是混配基质中限制油茶幼苗生长及壮苗指数的关键因素。

2.4 油茶幼苗生长指标的主成分分析

虽然壮苗指数是较常用的评价育苗效果的参考指标,但也存在一定的局限性,而主成分分析则可以对多项生长指标进行综合评价。在农林废弃物混配基质上油茶幼苗各项生长指标的主成分分析结果(表 4)显示:前 3 个主成分的累计贡献率达到 88.584%,基本能够反映油茶幼苗的生长状况;其中,第 1、第 2 和第 3 主成分的贡献率分别为 38.893%、27.335% 和 22.356%;并且,每个生长指标在这 3 个主成分中的得分系数较低,均不超过 0.45。第 1 主成分中株高、茎粗、单株根干质量和壮苗指数的得分系数相对较高,且前 3 个指标均与壮苗指数密切相关,据此认为第 1 主成分是反映油茶幼苗壮苗指数的综合指标;第 2 主成分中叶绿素相对含量和单株叶片数的得分系数相对较高,据此认为第 2 主成分是油茶幼苗叶片光合

表 3 农林废弃物混配基质的理化指标与油茶幼苗壮苗指数的通径分析¹⁾
Table 3 Path analysis on physicochemical indexes of mixed substrates with agricultural and forestry wastes and seedling index of *Camellia oleifera* Abel seedling¹⁾

自变量 Independent variable	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient							
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_9
X_1	0.356	0.000	0.706	-0.990	0.113	0.343	0.221	-0.434	-0.059
X_2	2.973	0.084	0.000	-5.386	0.205	1.311	0.576	0.463	0.023
X_3	-5.488	0.064	2.918	0.000	0.189	1.433	0.563	0.559	0.008
X_4	0.259	0.155	2.345	-4.006	0.000	0.971	0.488	-0.249	0.165
X_5	1.849	0.066	2.109	-4.253	0.136	0.000	0.409	0.323	0.001
X_6	-0.596	-0.132	-2.870	5.181	-0.212	-1.269	0.000	-0.386	-0.007
X_7	1.222	-0.126	1.126	-2.511	-0.053	0.489	0.188	0.000	-0.216
X_9	-0.446	0.047	-0.154	0.102	-0.096	-0.006	-0.009	0.592	0.000

¹⁾ X_1 : 速效氮含量 Available nitrogen content; X_2 : 速效磷含量 Available phosphorus content; X_3 : 速效钾含量 Available potassium content; X_4 : pH 值 pH value; X_5 : 电导率 Electric conductivity; X_6 : 容重 Bulk density; X_7 : 总孔隙度 Total porosity; X_9 : 毛管孔隙度 Capillary porosity.

表 4 在农林废弃物混配基质中油茶幼苗生长指标的主成分分析结果¹⁾
Table 4 Result of principal component analysis on growth indexes of *Camellia oleifera* Abel seedling in mixed substrates with agricultural and forestry wastes¹⁾

主成分 Principal component	各生长指标的得分系数 Score coefficient of different growth indexes										E	CR/%	CCR/%
	H	SD	LN	LL	LW	SPAD	DWS	DWR	R/T	SI			
1	0.250	0.266	0.035	-0.131	-0.058	-0.140	0.151	0.201	0.177	0.199	3.889	38.893	38.893
2	-0.107	-0.093	0.297	0.189	-0.059	0.407	0.187	0.053	-0.247	0.023	2.733	27.335	66.228
3	-0.126	-0.085	-0.079	0.421	0.444	0.092	-0.083	0.050	0.220	0.090	2.236	22.356	88.584

¹⁾ H: 株高 Height; SD: 茎粗 Stem diameter; LN: 单株叶片数 Leaf number per plant; LL: 叶长 Leaf length; LW: 叶宽 Leaf width; SPAD: 叶绿素相对含量 Relative content of chlorophyll; DWS: 单株茎叶干质量 Dry weight of shoot per plant; DWR: 单株根干质量 Dry weight of root per plant; R/T: 根冠比 Root-shoot ratio; SI: 壮苗指数 Seedling index; E: 特征值 Eigenvalue; CR: 贡献率 Contribution rate; CCR: 累计贡献率 Cumulative contribution rate.

能力的综合指标;第3主成分中叶宽和叶长的得分系数较高,据此认为第3主成分是反映油茶幼苗单叶面积的综合指标。并且,第2和第3主成分均由叶片性状指标占主导地位,说明这些叶片性状指标是除壮苗指数外对油茶幼苗生长水平的补充描述指标。

2.5 不同农林废弃物混配基质对油茶育苗效果的综合评价

基于上述油茶幼苗生长指标的主成分分析结果,对9种农林废弃物混配基质和对照基质的育苗效果进行综合评价,结果见表5。

表5 不同农林废弃物混配基质对油茶育苗效果的综合评价结果¹⁾

Table 5 Comprehensive evaluation of effect of different mixed substrates with agricultural and forestry wastes on seedling cultivation of *Camellia oleifera* Abel¹⁾

主成分 Principal component	各基质的得分 Score of different substrates									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	CK
1	-10.642	-8.822	-10.049	-8.894	-5.900	-7.109	-9.973	-11.568	-8.455	-7.505
2	36.148	34.877	34.701	29.941	24.542	26.482	34.022	36.385	37.521	28.234
3	35.965	32.816	36.974	34.942	28.061	32.345	39.880	34.175	33.081	31.962
综合得分 Comprehensive score	13.782	13.439	13.843	12.537	10.687	11.705	14.337	13.087	14.363	11.944
排序 Order	4	5	3	7	10	9	2	6	1	8

¹⁾ S1: $V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 1:2:1$; S2: $V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 2:5:3$; S3: $V(\text{CP}):V(\text{BA}):V(\text{PS}) = 5:3:2$; S4: $V(\text{CP}):V(\text{BA}):V(\text{GS}) = 6:3:1$; S5: $V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 1:6:3$; S6: $V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 1:1:1$; S7: $V(\text{SB}):V(\text{BA}):V(\text{GS}) = 4:3:3$; S8: $V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 4:3:3$; S9: $V(\text{SB}):V(\text{CP}):V(\text{BA}) = 2:1:1$; CK: $V(\text{PT}):V(\text{GS}) = 1:1$. SB: 甘蔗渣 Sugarcane bagasse; CP: 木薯皮 Cassava peel; BA: 火炭灰 Bagasse ash; PS: 花生壳 Peanut shell; GS: 园土 Garden soil; PT: 泥炭 Peat.

由表5可以看出:S9混配基质[$V(\text{甘蔗渣}):V(\text{木薯皮}):V(\text{火炭灰}) = 2:1:1$]对油茶的育苗效果最好,综合得分最高(14.363);S7混配基质[$V(\text{甘蔗渣}):V(\text{火炭灰}):V(\text{园土}) = 4:3:3$]的育苗效果次之,综合得分为14.337;S5[$V(\text{甘蔗渣}):V(\text{木薯皮}):V(\text{火炭灰}) = 1:6:3$]和S6混配基质[$V(\text{甘蔗渣}):V(\text{木薯皮}):V(\text{火炭灰}) = 1:1:1$]的育苗效果较差,综合得分较低(分别为10.687和11.705)且均低于对照基质;其他混配基质的育苗效果居中,综合得分为12.537~13.843,均高于对照基质。

3 讨论和结论

基质对于植物的容器育苗至关重要,选择合理的基质材料和配比有利于基质形成良好的理化性质,为容器苗生长提供合适载体。一般认为,容重 $0.1 \sim 0.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、总孔隙度70%~90%、酸碱度接近中性的基质比较有利于植物生长^[3,16-17],而电导率低于 $1.3 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的基质一般不会对植物产生盐害作用^[16]。本研究中,各混配基质的容重 $0.23 \sim 0.70 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、总孔隙度60.90%~67.23%、pH 4.72~pH 7.14、电导率 $0.13 \sim 0.23 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$,除各基质的总孔隙度整体偏低以及对对照基质偏酸外,各基质的其余指标均在上述适宜范围内。尽管供试基质的总孔隙度均低于

70%,但是部分基质仍然对油茶具有较好的育苗效果,如混配基质S9[$V(\text{甘蔗渣}):V(\text{木薯皮}):V(\text{火炭灰}) = 2:1:1$]和S7[$V(\text{甘蔗渣}):V(\text{火炭灰}):V(\text{园土}) = 4:3:3$]等。因此,上述标准对油茶幼苗培育基质的筛选仅具有部分参考价值,建议结合油茶幼苗的实际生长状况对育苗基质进行综合筛选。

通径分析结果表明:基质的速效钾含量、速效磷含量、电导率和总孔隙度对油茶幼苗壮苗指数的直接作用较大,其中速效钾含量的直接作用最大且为负向作用;并且,基质的速效磷含量、电导率和总孔隙度均通过速效钾含量对油茶幼苗的壮苗指数产生较大的负向间接作用,表明速效钾含量与油茶幼苗的壮苗指数间存在一定的负相关关系,较高的速效钾含量可能不利于油茶幼苗的生长,在他人的相关研究中也具有类似的结果^[18-20]。究其原因,可能是基质中较高的钾含量破坏了植物体内原有的养分平衡,从而对植物生长产生不利影响,具体机制有待深入研究。

从通径分析结果还可见:基质的容重与油茶幼苗的壮苗指数也呈负相关关系,这与吴云飞等^[21]的相关研究结论一致。这可能是因为随着容重的增大基质的孔隙度有所降低,导致基质的通气性能和持水性能均下降,从而对油茶幼苗的生长产生不利影响。此外,基质容重过大也不利于田间操作,因此,在进行油茶育苗时建议选用容重较低的轻型基质。

泥炭和表土是目前油茶育苗生产中较常用的基质组分,目前已知的育苗效果较好的基质配方^[22-23]中均含有一定比例的泥炭和表土,且基质组分较多、操作繁琐,实用性和环保性有待改善。本研究使用甘蔗渣、木薯皮和火炭灰等农林废弃物代替泥炭和表土作为油茶育苗基质组分,部分基质的综合得分较高,对油茶容器育苗具有一定的实用性。其中,S9和S7混配基质的综合得分均较高,说明二者的育苗效果较好,并且,二者还均具有基质组分少、配制简便等优点。S9基质的育苗效果最好,组分均为农林废弃物,且容重小,既摆脱了常用基质对泥炭和表土的依赖也便于田间操作。从基质成本来看,经自然堆沤处理后,甘蔗渣的成本约为木薯皮和火炭灰的3~5倍,但仅为泥炭成本的1/3,与对照基质相比,S9混配基质的成本大幅度下降,是油茶育苗中较理想的轻型替代基质。S7混配基质的育苗效果仅次于S9混配基质,虽然该基质采用园土作为基质组分,环保性略逊于S9混配基质,但其成本更低,可作为油茶育苗的备选基质。根据上述研究结果,建议在实际生产中选用S9和S7混配基质作为油茶的育苗基质。

参考文献:

- [1] 田 赞,王海燕,孙向阳,等. 农林废弃物环保型基质再利用研究进展与展望[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 497-502.
- [2] 孙永明,李国学,张夫道,等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 169-173.
- [3] 李谦盛,郭世荣,李式军. 利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 515-519.
- [4] TORKASHVAND A M, ALIDOUST M, KHOMAMI A M. The reuse of peanut organic wastes as a growth medium for ornamental plants [J]. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 2015, 4(2): 85-94.
- [5] 曾清华,毛兴平,孙 锦,等. 小麦秸秆复合基质的理化指标及其对黄瓜幼苗生长和光合参数的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(4): 70-75.
- [6] 叶 航,温如斯,王东雪,等. 普通油茶无性系岑软3号嫁接亲和性研究[J]. 热带作物学报, 2015, 36(1): 30-34.
- [7] 王瑞辉,钟飞霞,廖文婷,等. 土壤水分对油茶果实生长的影响[J]. 林业科学, 2014, 50(12): 40-46.
- [8] 张祥宇,丁晓纲,张应中,等. 缺素对高州油茶幼苗根系的影响[J]. 经济林研究, 2014, 32(4): 170-174.
- [9] 王 华,牛德奎,胡冬南,等. 不同肥料对油茶林土壤氮素含量、微生物群落及其功能的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1468-1476.
- [10] 农业部种植业管理司. 土壤土质检测分析与肥料配方施肥技术实用手册[M]. 北京:中国农业科学出版社, 2009: 179-180.
- [11] 程 斐,孙朝晖,赵玉国,等. 芦苇末有机栽培基质的基本理化性能分析[J]. 南京农业大学学报, 2001, 24(3): 19-22.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978: 511-512.
- [13] 刘庆超. 三种重要盆栽花卉的有机代用基质研究[D]. 北京:北京林业大学园林学院, 2003: 98.
- [14] 赵海涛,李天鹏,姚 旭,等. 堆置与添加蛭石对污泥蚓粪培育茄子幼苗的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(23): 4668-4679.
- [15] 杜家菊,陈志伟. 使用SPSS线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4-6.
- [16] 康红梅,张启翔,唐 菁. 栽培基质的研究进展[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 124-127.
- [17] 李谦盛. 芦苇末基质的应用基础研究及园艺基质质量标准的探讨[D]. 南京:南京农业大学园艺学院, 2003: 91.
- [18] 袁 军,谭晓风,叶思诚,等. 不同磷源对酸性红壤养分及油茶幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(4): 155-160.
- [19] 李爱华,向珊珊,明廷柏,等. N、P、K大量元素对油茶生长指标及产量的影响[J]. 湖北林业科技, 2011(2): 28-31.
- [20] 游 璐,郭晓敏,李小梅,等. 钾素水平对油茶生长和结实的影响[J]. 浙江林业科技, 2014, 34(5): 37-42.
- [21] 吴云飞,郎南军,李甜江,等. 云油茶的生长指标及其立地因子的相关性主导性分析[J]. 西部林业科学, 2014, 46(2): 79-84.
- [22] 周伟国,黎曙光,任华东,等. 油茶规模化容器育苗试验[J]. 经济林研究, 2011, 29(2): 85-90.
- [23] WANG Y, LENG Y Z, LIU C Q, et al. Optimization of cultivation medium for container seedling raising of *Camellia oleifera* [J]. Agricultural Science and Technology, 2013, 14(5): 703-706, 715.

(责任编辑:佟金凤)