

# 磷钾肥对芳樟生长及产油量的影响

曾进<sup>1,2</sup>, 潘洋刘<sup>1,2</sup>, 刘娟<sup>1,2\*</sup>, 张露<sup>1,2</sup>, 胡冬南<sup>1,2</sup>

(1. 江西农业大学林学院, 江西省森林培育重点实验室, 江西 南昌 330045;  
2. 江西特色林木资源培育与利用协同创新中心, 江西 南昌 330045)

**摘要:** [目的] 研究芳樟在田间条件下对磷钾元素的响应, 提高芳樟产油量同时降低经济成本, 为芳樟林科学管理提供参考依据。 [方法] 以3年生大田矮林叶用芳樟林为试验对象, 设置了不施磷钾肥(CK)、施磷、施钾和磷钾配施4个处理, 分析了磷钾对大田矮林叶用芳樟生长特性、叶片生理以及产量和出油率的影响。 [结果] 与CK相比, 施钾显著增加了叶绿素a和叶绿素(a+b)含量, 促进了芳樟的梢粗和分支生长, 但对梢长、株高、冠幅生长有所抑制, 增加了叶片宽度, 显著降低叶长与叶宽比值, 增强了叶片的过氧化物酶活性并降低丙二醛含量, 显著减少了可溶性糖含量。磷肥对叶绿素b的合成效果最好, 较CK也显著增加了叶绿素a和叶绿素(a+b)含量, 但效果不及钾肥好, 能促进芳樟梢长生长并增加梢分支数, 但抑制了枝粗和叶片生长, 增加了株高和冠幅, 对过氧化物酶活性增强效果最显著, 减少了丙二醛含量, 增加了可溶性糖含量。磷钾配施显著增加了叶绿素a含量, 促进了芳樟的梢长、梢粗及梢分支的生长, 增加了叶片宽度和株高, 但不利于叶长生长, 对降低丙二醛的效果最佳, 显著增加了过氧化物酶活性, 降低了可溶性糖含量。磷钾配施较CK的芳樟枝叶产量和产油量分别增加23.9%和24.5%; 施磷肥的较CK单株增产8.4%, 产油量增加了5.9%。 [结论] 磷、钾肥均能促进芳樟叶片叶绿素的合成, 增强对外界抗干扰的能力, 但是对芳樟生长和枝叶发育的作用效果完全不同。仅施钾肥不利于芳樟生长和出油率的增加, 因此, 不推荐大田管理单施钾肥。施磷和磷钾配施均能提高枝叶生物量和产油量, (P150+K100)g·株<sup>-1</sup>效果最佳。

**关键词:** 芳樟; 可溶性糖; 生长; 产油量

**中图分类号:** S725.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2019)04-0152-06

芳樟(*Cinnamomum camphora* var. *linaloolifera* Fujita)是以芳樟醇为主要内含物的樟科常绿乔木, 广泛分布于南方和西南各省, 在日本、越南、朝鲜地区也有栽植, 我国的湖南、福建、江西等省是主要分布区<sup>[1-3]</sup>, 江西省抚州市大面积种植。芳樟中有大量的芳樟醇, 用于化妆品、香精、香料等行业。据美国IFF统计结果显示, 芳樟醇每年用量高达1万多吨, 虽现已广泛栽植, 但仍供不应求。芳樟枝叶萌发能力强, 成熟后留桩割取枝叶可用于精油的提取, 使资源再生并循环利用<sup>[4-5]</sup>。

目前, 芳樟叶用林经营管理粗放, 均是经验施肥, 为促进枝叶产量通常只施用氮肥, 基本不施磷、钾肥, 而芳樟枝叶的连年收获利用不仅带走了大量的氮素养分, 同时也带走了大量的磷、钾养分, 适量

补充磷、钾养分成为芳樟叶用林栽培管理不可忽略的措施。磷、钾是植物生长必需的大量养分元素, 磷参与着植物的光合作用、碳水化合物合成分解转运、脂肪酸的合成分解等代谢活动, 合理施磷能增强植物抗性能力, 也能提高产量、改善品质, 还能提高芳樟精油质量分数<sup>[6]</sup>; 钾能够促进光合作用, 使细胞渗透压有利于对水的吸收, 增强植物对各种不良状况的忍受能力, 以离子形式存在植物体中, 促进糖分和淀粉形成。有关磷、钾对其他木本植物的影响研究有很多<sup>[7-10]</sup>, 但关于磷、钾对芳樟的影响只有于静波<sup>[6]</sup>、陈晓明等<sup>[11]</sup>开展过盆栽苗期试验, 认为钾有利于叶片含油率的增加, 磷和钾的施用量对苗高和地径有显著影响, 关于磷、钾对大田芳樟枝叶生长生理的影响研究未见报道。据此, 本研究结合当地芳

收稿日期: 2018-07-22 修回日期: 2019-04-09

基金项目: 江西特色林木资源培育与利用协同创新中心(8021205315)

\* 通讯作者: 刘娟, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事分子生态学研究. E-mail: liu\_juan1122@163.com

樟叶用林施氮不施磷、钾的现状,在同一施氮水平的基础上,设置添施不同磷、钾用量的施肥处理,在芳樟叶用林中开展试验,研究不同肥料处理间芳樟生长代谢及产油量差异,为揭示磷、钾肥对芳樟生长发育及生理的影响提供基础信息,给大田芳樟的施肥管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于江西省抚州市金溪县陆坊乡石岗村吉源芳樟基地,属亚热带湿润气候,四季分明,气候温和,雨水充沛,光照充足,无霜期长,但受季风气候影响,湿度和降水变幅较大,干湿比较明显。年平均气温 17.8℃,年平均降水 1 787 mm,无霜期年平均 258 d。土壤 pH = 5.47,碱解氮 125.11 mg · kg<sup>-1</sup>,速效钾 56.56 mg · kg<sup>-1</sup>,有效磷 0.38 mg · kg<sup>-1</sup>,有机质 15.8 g · kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验材料

3年生芳樟,株行距 1 m × 1 m。试验所用肥料:尿素(N ≥ 46%)、钙镁磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≥ 15%)、氯化钾肥(K<sub>2</sub>O ≥ 60%)。

### 1.3 试验设计

采用单因素随机区组设计,9月选取生长良好、长势较一致的芳樟割取枝条,留桩 25 cm 平茬。设置氯化钾肥 100 g · 株<sup>-1</sup>、钙镁磷肥 150 g · 株<sup>-1</sup>、(氯化钾肥 100 + 钙镁磷肥 150) g · 株<sup>-1</sup> 3种施肥处理和不施磷和钾的对照,分别用 K、P、P + K、CK 表示。每处理 3 次重复,每重复 50 株,所有处理采用挖穴施肥,均于 5 月施尿素 250 g · 株<sup>-1</sup>,11 月施入磷、钾肥。

### 1.4 指标测定

1.4.1 生理指标测定 翌年 1 月取相同部位无病虫害、完好的嫩叶用锡箔纸包裹放入液氮中,回来立即放到 -80℃ 冰箱内保存,用于测定生理指标。叶绿素(Chl)用 95% 乙醇提取,UV-6300 分光光度计在 645、663、652 nm 下比色;过氧化物酶(POD)活性的测定参考采用 Cutler J M(1980)愈创木酚比色法;丙二醛(MDA)含量的测定用硫代巴比妥酸比色法<sup>[12]</sup>;可溶性糖(SS)用蒽酮法测定<sup>[13]</sup>。

1.4.2 生长指标及形态指标 9 月成熟期用带有刻度的生物标杆测定树高、东西和南北冠幅;取相同方向分支上的顶梢,卷尺测量梢长,游标卡尺测定梢直径,数梢上分支数量;美国 CID 公司产的 CI-203

手持式叶面积仪测定不同方向成熟叶共 30 片的叶面积。

1.4.3 产量及出油率 11 月割取枝条,电子称测定单株枝叶鲜质量;取 500 g 枝叶 1 200 w 水蒸汽蒸馏 60 min 后提取精油,计算精油含量。

### 1.5 数据统计分析

运用 Excel2007, SPSS17.0, DPS7.05 对数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 磷钾肥对芳樟叶片生理指标的影响

2.1.1 叶绿素 叶绿素在植物体中与光合作用关系紧密,叶绿素 a(Chla)和叶绿素 b(Chlb)都能吸收光能,少数激发态的 Chla 可以将光能转换为电能,进而转化为化学能,对植物光能利用有一定影响,叶绿素 a/b (Chl(a/b))能反应植物对光能利用了多少。由表 1 可知:施磷钾肥处理的 Chla、Chlb、Chl(a + b)、Chl(a/b)值都比 CK 大,施肥促进了芳樟叶片对光能的利用。各处理的 Chla 浓度与 CK 间都存在显著差异( $P < 0.05$ ),施钾肥的 Chla 含量最高,达 1.236 mg · g<sup>-1</sup>,较 CK 增加了 61.8%,施磷肥的 Chla 含量较 CK 增加了 35.3%,磷钾均施的 Chla 含量仅增加了 23.1%,各处理下 Chla 含量排序为:K > P > P + K > CK。Chlb 含量各处理间差异不显著,磷肥对 Chlb 含量增幅最大,为 30.2%,钾肥增幅为 27.8%,磷钾均施的增幅仅为 1.4%,Chlb 含量排序为:P > K > P + K > CK。P、K 处理均显著增加 Chl(a + b)含量,其中 K 效果更显著,较 CK 增加了 52.4%,磷肥 Chl(a + b)含量增加了 33.9%,磷钾均施的 Chl(a + b)含量仅增加 17.2%,较 CK 增加效果不显著,Chl(a + b)含量由大到小排序为:K > P > P + K > CK。各处理间的叶绿素 a 与 b 比值差异不显著( $P > 0.05$ ),K 处理较 CK 的 Chl(a/b)值增加最多,增幅 22.3%,其次为 P + K,增幅 18.0%,P 仅增加了 0.4%,Chl(a/b)大小为:K > P + K > P > CK。

2.1.2 可溶性糖(SS) 可溶性糖能为植物生长提供能量和代谢中间产物,同时参与植物激素组成等信号的调控,与环境因子之间也存在相互关系。表 2 表明:除施磷处理增加了芳樟 SS 含量外,钾肥和磷钾配施均降低了可溶性糖含量,K 处理降低幅度最大为 3.15%,P + K 为 1.75%。可溶性糖含量排序:P > CK > P + K > K。

表1 不同处理各叶绿素含量

Table 1 Chlorophyll content of different treatments

处理 Treatment	叶绿素 a Chla /(mg · g <sup>-1</sup> )	叶绿素 b Chlb /(mg · g <sup>-1</sup> )	叶绿素 (a + b) Chl(a + b) /(mg · g <sup>-1</sup> )	叶绿素 a/b Chl(a/b)
CK	0.764 ± 0.008c	0.291 ± 0.053a	1.055 ± 0.061c	2.714 ± 0.466a
K	1.236 ± 0.046a	0.372 ± 0.011a	1.608 ± 0.058a	3.320 ± 0.021a
P	1.034 ± 0.014b	0.379 ± 0.008a	1.413 ± 0.022ab	2.724 ± 0.023a
P + K	0.941 ± 0.044b	0.295 ± 0.019a	1.236 ± 0.062bc	3.202 ± 0.078a

注:不同字母表示同列差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different letters indicate significant difference in the same row.

2.1.3 过氧化物酶 过氧化物酶(POD)含量与植物抵抗外界生物与非生物性干扰能力密切相关,是一种高活化性酶。方差分析结果表明:不同处理下芳樟叶片过氧化物酶活性差异显著( $P < 0.05$ )。由表2可知:施磷和磷钾配施的过氧化物酶活性显著大于不施肥,P处理下抗氧化活性最强,较CK提高了84.9%,施钾处理下的POD仅增加了67.9%,未达到显著水平。POD活性强弱顺序为: $P > P + K > K > CK$ 。

2.1.4 丙二醛 丙二醛(MDA)是膜脂过氧化最重要的产物之一,能加剧膜损伤,在植物研究中经常通过丙二醛含量来判断植物受逆境损害程度。由表2可知:施肥处理均降低了芳樟叶片中丙二醛含量,其中,磷钾配施(P + K处理)的丙二醛含量最少,较CK减少9.3%,施磷和施钾处理的MDA含量较CK分别减少0.8%和4.2%。各处理丙二醛含量顺序: $CK > P > K > P + K$ 。

## 2.2 磷钾肥对芳樟叶片形态的影响

叶子是光合作用的主要器官,叶量的多少与有机物的贮藏和积累有密切关系,因此,保持适当的

表2 不同处理可溶性糖、过氧化物酶、丙二醛含量

Table 2 Contents of soluble sugar, peroxidase and malondialdehyde in different treatments

处理 Treatment	可溶性糖 SS/%	过氧化物酶活性 POD/( $OD_{470} \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )	丙二醛 MDA/ ( $\mu mol \cdot g^{-1}$ )
CK	11.54 ± 1.12a	299.00 ± 71.02b	14.15 ± 0.71a
K	8.39 ± 0.79b	502.50 ± 75.50ab	13.56 ± 0.46a
P	11.90 ± 0.39a	553.00 ± 50.26a	14.04 ± 1.62a
P + K	9.79 ± 0.18ab	541.00 ± 47.03a	12.84 ± 0.91a

叶面积,对促进林木的生长,提高单位面积产量有极其重要的意义,叶面积大小会影响植物光合产物积累,也可反应植物生长变化。通过表3不同叶形态指标结果可知:P与对照叶长差异显著( $P < 0.05$ ),K与对照长宽比差异显著( $P < 0.05$ ),其他指标差异不显著。K处理减短了叶长,增加了叶宽,显著减少了芳樟叶片长宽比,较CK比值减少17.8%;P处理的叶长显著减少,较CK少了20.2%,叶宽也变窄,长宽比降低了11.2%,但差异不显著;P + K处理减少了叶长,增加了叶宽,长宽比降低了2.8%。

表3 不同处理叶片形态指标

Table 3 Leaf morphological indexes of different treatments

处理 Treatment	叶面积 Leavearea/cm <sup>2</sup>	周长 Perimeter/cm	叶长 Leave length/cm	叶宽 Leavewidth/cm	长宽比 Radio
CK	13.69 ± 1.70a	14.53 ± 1.03a	6.65 ± 0.51a	3.07 ± 0.18a	2.14 ± 0.07a
K	12.65 ± 1.26a	13.52 ± 0.78a	5.66 ± 0.39ab	3.21 ± 0.18a	1.76 ± 0.08b
P	9.83 ± 0.80a	12.29 ± 0.67a	5.31 ± 0.35b	2.77 ± 0.10a	1.90 ± 0.09ab
P + K	12.99 ± 1.70a	14.46 ± 0.98a	6.40 ± 0.40ab	3.13 ± 0.25a	2.08 ± 0.07a

## 2.3 磷钾肥对芳樟生长指标的影响

2.3.1 株高、冠幅 株高和冠幅是用来衡量苗木生长状况的重要指标,株高能直观表示苗木生长状况,冠幅表示枝叶的伸展能力。如表4所示,各处理对芳樟株高和冠幅的作用效果有很大不同。P处理显著增加了芳樟的株高和冠幅,株高增幅达14.0%,冠幅增幅为2.4%;P + K处理一定程度也增加了株

高,但幅度较小,增幅仅为4.9%;K处理显著抑制了芳樟苗高和冠幅的增长。

2.3.2 梢长、梢粗、梢分支 苗木新梢生长量是苗木生长能力的表现,它较好的反映了苗木质量,生长量的大小体现了苗木各部分协调情况和总体水平。方差分析结果表明:施肥处理间梢长、梢粗和梢分支差异不显著( $P > 0.05$ )。从表4可知:各处理对芳

樟的作用效果不同,K肥处理的梢长较CK减短了,但其梢粗和分支数均有所增加;P处理对梢粗的增加有所抑制,但增加了梢长和梢分支;P+K对芳樟

的梢长、梢粗、梢分支均有促进效果,且促进效果最佳,梢长较CK增长了20.2%,梢粗增加了3.0%,分支数增加了58.3%。

表4 不同处理生长指标

Table 4 Growth indicators of different treatments

处理 Treatment	株高 Planthight/m	冠幅 Crowndiameter/m	梢长 Branchlength/cm	梢粗 Branchdiameter/mm	梢分支 Branchnumber/个
CK	1.43 ± 0.09b	0.84 ± 0.11b	36.33 ± 5.55a	6.60 ± 0.86a	4.00 ± 1.00a
K	1.16 ± 0.03c	0.44 ± 0.02c	36.16 ± 4.04a	6.66 ± 0.18a	5.00 ± 1.53a
P	1.63 ± 0.03a	0.86 ± 0.06a	37.66 ± 3.53a	5.14 ± 0.16a	6.33 ± 1.45a
P+K	1.50 ± 0.06ab	0.84 ± 0.03b	43.66 ± 0.67a	6.80 ± 0.84a	6.33 ± 0.88a

## 2.4 枝叶产量、出油率及含油量

从表5可以看出:施磷和磷钾配施能提高芳樟枝叶的生物量,其中,磷钾配施增加最显著,较CK枝叶产量增加23.9%,施磷枝叶增产8.4%,与ck差异不显著。施磷和磷钾配施的出油率和产油量与CK间虽然差异不显著,但产油量较CK均有所增加,施磷产油量增加了5.9%,磷钾配施枝叶产油量增加24.5%。

表5 不同处理枝叶产量和产油量

Table 5 Yield and oil production of branches and leaves of different treatments

处理 Treatment	产量 Yield/kg	出油率 Oilyield/%	产油量 Oil output/g
CK	1.55 ± 0.01b	0.78 ± 0.10a	12.18 ± 2.25a
K	1.49 ± 0.21b	0.72 ± 0.11a	10.93 ± 3.92a
P	1.68 ± 0.15ab	0.77 ± 0.07a	12.90 ± 2.37a
P+K	1.92 ± 0.21a	0.78 ± 0.14a	15.16 ± 4.28a

## 3 讨论

钾对不同植物在不同生境中生长生理作用效果有差异<sup>[14-16]</sup>,叶绿素具有接受和转换能量的作用,在植株中凡是绿色的、具有叶绿素的部位都进行光合作用,在一定范围内,叶绿素含量越多,光合作用越强,叶片衰老以及叶绿体内部结构的解体,都会使叶绿素含量下降,从而降低光合速率。研究发现,过氧化物酶的增加通常可以对植物起保护作用,丙二醛的降低能减少膜系统的损害,与植物抗逆效果呈负相关,可溶性糖与植物抗逆效果的关系尚不明确<sup>[17-18]</sup>。因此,探讨磷钾肥对大田芳樟生长和生理作用效果差异是有意义的。

### 3.1 施钾对芳樟生长生理作用

钾肥相对磷肥和磷钾配施来说,更利于芳樟对光能的吸收利用,显著增加了Chla和Chl(a+b)的含量,其Chl(a/b)值也最大,叶绿素a主要吸收红

光,用来转化光能,说明钾肥能提高芳樟叶片的光能转化率。钾肥显著降低芳樟叶片可溶性糖,增加了过氧化物酶含量,降低了丙二醛含量,说明钾增强了芳樟抗氧化能力并能减少膜系统损害。钾肥本身能促进植物光合作用,增强对不良状况的忍受能力,以离子形态存在于植物体内,容易从衰老组织转移到幼嫩组织中,在越冬期芳樟对钾离子的吸收可能更迅速,很快转移到新萌发叶片中被利用,抵御寒冷。钾显著降低了叶片长宽比值,说明钾肥改变了芳樟叶片形态,使叶片宽度发展更迅速;明显抑制了芳樟高度、冠幅,新梢的生长受到抑制,但使其粗度和分支数均有所增加,可能是因为钾主要增强植物的健壮,对茎秆和梢的粗生长比较好,增加了芳樟枝粗优势。

### 3.2 施磷对芳樟生长生理作用

磷肥较其他处理来说Chlb增量最多,叶绿素b为辅助色素,主要将吸收的光传递给叶绿素a,较利于蓝紫光的吸收,说明磷肥增强了芳樟对光能的利用。磷肥显著增加了Chla和Chl(a+b)的含量,P处理对芳樟过氧化物酶活性增强效果最显著,增加了可溶性糖,减少了丙二醛,使植物的株高和冠幅显著增长,说明磷肥短时间内增强了叶片代谢,有利于芳樟可溶性糖的贮存、高生长和冠幅扩增。P处理的叶长显著减少,叶宽和长宽比均有所降低,促进了梢长和梢分支的生长,但是抑制了枝粗的发育,这与钾肥的作用效果正好相反。可能因为新梢伸长需要大量矿质营养和能源,这些物质主要来自茎和相邻的叶。

### 3.3 磷钾配施对芳樟生长生理作用

肥料间是存在互作效果的,而且有正向和负向回馈现象。de Groot等在对番茄(*Solanum lycopersicum*)的氮、磷肥效研究中也得到类似的结论<sup>[19]</sup>;胡冬南等在油茶研究中发现,油茶春梢生长中存在氮

与磷钾间正负向耦合效应<sup>[20]</sup>。磷钾配施促进了株高和梢生长,抑制了叶片发育,说明磷钾互作与氮间对芳樟株高和梢生长产生的为正向耦合效应,而对叶长生长产生的为负向耦合效应。

磷钾配施显著增加过氧化物酶量,效果最佳,对丙二醛含量的降低效果也最好,降低了可溶性糖含量,能增加各叶绿素的含量,但是效果不及单施磷、钾的好,可能因为磷钾互作显著增强了芳樟叶片代谢活性,使叶绿素的分解速率大于合成率,从而减少了叶绿素含量。磷肥和钾肥对芳樟生长作用完全相反,但是都能促进光合作用,对叶片生理作用效果也不同,综合来看,磷钾均施能促进芳樟梢整体协同发展,但是对其他指标作用效果有些不如磷钾单施,因此,要根据不同需求合理配施磷、钾肥。

### 3.4 磷和钾对芳樟枝叶产量及产油量的作用

磷肥和磷钾配施均增加了芳樟枝叶生物量和产油量,但是出油率并没有比不施磷钾的高,可能本身芳樟适应了当地的土壤养分,再增加磷钾养分含量干扰了叶肉细胞油脂的合成途径,对油细胞的增加没有作用效果。仅施钾不利于芳樟生长及出油率的增加,说明钾与氮互作对芳樟产生一定抑制作用,可能由于土壤中粘土较多使钾被固定,部分还会流失,施钾后更多  $K^+$  被固定未被植物所利用,因此,不建议单施钾肥。本研究主要从形态学和生理学角度研究了芳樟对磷钾元素的响应,下一步可以通过微观切片和分子生物学从机理上研究磷钾对芳樟油细胞合成是否产生影响。

## 4 结 论

(1)磷钾配施比单施磷肥对芳樟枝叶产量增加效果更好,(P150 + K100)  $g \cdot 株^{-1}$  施肥可使芳樟枝叶增产 23.9%,产油量增加 24.5%。施钾肥不利于芳樟枝叶生物量累计以及出油率的增加,因此,不推荐仅施钾肥。

(2)P 和 K 均能增加芳樟叶绿素含量,提高抗氧化活性,降低膜脂氧化能力,有效提高了其对逆境的抵抗能力。单施钾肥 100  $g \cdot 株^{-1}$ ,芳樟光能转化率提高了 61.8%,施 P150  $g \cdot 株^{-1}$ ,芳樟光能利用率提高了 30.2%。P 处理下抗氧化活性最强,较 CK 提高了 84.9%;P + K 膜脂受损程度最低,较 CK 降低了 9.3%;K 处理可溶性糖含量较 CK 降低最多,为 3.15%。

(3)P 和 K 对芳樟枝叶发育及树体形态的作用

效果相反,P 显著促进了株高和冠幅的生长,K 明显抑制;K 有利于梢粗和叶宽的发育,但 P 有所抑制;P 较利于梢长的生长。P + K 能促进芳樟梢协同生长,梢长较 CK 增长了 20.2%,梢粗增加了 3.0%,分支数增加了 58.3%。

(P150 + K100)  $g \cdot 株^{-1}$  为最佳施肥配方,有效提高了芳樟抗性能力,促进枝叶发育,增加枝叶产量和产油量。

### 参考文献:

- [1] 李振华,温 强,戴小英,等. 樟树资源利用现状与展望[J]. 江西林业科技,2007(6):30-33,36.
- [2] 张国防,陈存及,邢建宏,等. 芳樟工业原料林营建中的若干问题[J]. 林业科技开发,2004,18(3):7-10.
- [3] 张欣宇,陈尚研,熊万明. 樟树精油提取及成分分析的研究进展[J]. 广州化工,2017,45(12):11-13.
- [4] 曾 进,何正和,潘洋刘,等. 不同施肥种类及用量对芳樟生长及抗性生理的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2018,38(6):50-55.
- [5] 王 芃,张党权,章怀云,等. 樟树叶化学成分 GC/MS 分析[J]. 中南林业科技大学学报,2010,30(10):117-120.
- [6] 于静波. 不同施肥处理对芳樟叶精油及其主成分芳樟醇含量的影响[J]. 植物资源与环境学报,2013,22(1):76-81.
- [7] 曹永庆,任华东,林 萍,等. 油茶树叶对氮磷钾元素年吸收和积累规律的研究[J]. 林业科学研究,2012,25(4):442-448.
- [8] 魏红旭,徐程扬,马履一,等. 氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响[J]. 生态学报,2013,33(2):659-667.
- [9] 申 巍,杨水平,姚小华,等. 施肥对油茶生长和结实特性的影响[J]. 林业科学研究,2008(02):239-242.
- [10] Xin-bin Zhou, Zhong-min Jia, Dai-bin Wang. Effects of Limited Phosphorus Supply on Growth, Root Morphology and Phosphorus Uptake in Citrus Rootstocks Seedlings[J]. International Journal of Agriculture & Biology, 2018, 20(2):431-436.
- [11] 陈晓明,韦璐阳,刘海龙,等. 配方施肥对芳樟枝叶产量和含油率的影响研究[J]. 西部林业科学,2012,41(5):68-72.
- [12] 潘瑞炽,董惠德. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,1995:322-328.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [14] 杨树明,曾亚文,王 荔,等. 不同生长环境下水稻氮、磷、钾利用相关性状的 QTL 定位分析[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(4):823-835.
- [15] Kaizzi K C, Nan samba A, Kabanyoro R, et al. Upland rice response to fertilizer in three agro-ecological zones of Uganda[J]. African Journal of Plant Science, 2018, 12(3):65-72.
- [16] Singh L, Sharma P K, Kumar V, et al. Nutrient content, uptake and quality of pearl millet influenced by phosphorus and zinc fertilization (Pennisetum galauicum L.) under rainfed condition[J]. International Journal of Chemical Studies, 2017, 5(6):1290

-1294.

- [17] 胡 义,胡庭兴,陈 洪,等. 干旱胁迫及复水对香樟幼树生理特性及生长的影响[J]. 西北植物学报,2015,35(2):294-301.
- [18] 任 磊,赵夏陆,许 靖,等. 4种茶菊对干旱胁迫的形态和生理响应[J]. 生态学报,2015,35(15):5131-5139.

- [19] de Groot C C, Marcelis L F M, van den Boogaard R, *et al.* Interaction of nitrogen and phosphorus nutrition in determining growth [J]. *Plant Soil*,2003,248(1):257-268.
- [20] 胡冬南,涂淑萍,刘亮英,等. 氮、磷、钾和灌水用量对油茶春梢生长的影响[J]. 林业科学,2015,51(4):148-155.

## Effects of Phosphorus and Potassium Fertilizer on Growth and Oil-production of *Cinnamomum camphora*

ZENG Jin<sup>1,2</sup>, PAN Yang-liu<sup>1,2</sup>, LIU Juan<sup>1,2</sup>, ZHANG Lu<sup>1,2</sup>, HU Dong-nan<sup>1,2</sup>

(1. School of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Key Laboratory of Forest Cultivation in Jiangxi Province, Nanchang 330045, Jiangxi, China;

2. Collaborative Innovation Center of Jiangxi Typical Trees Cultivation and Utilization, Nanchang 330045, Jiangxi, China)

**Abstract:** [ **Objective** ] To clear the use of phosphorus and potassium, improve the production and reduce the cost for the purpose of the cultivation of camphor. [ **Method** ] Three-years-old camphor trees were selected as the test materials, no phosphorus and potassium fertilizer treatment (CK), P treatment, K treatment and P + K treatment were set up to analyze the influence of phosphorus and potassium on the growth traits, leaf physiology, yield and oil yield of camphor. [ **Result** ] Compared with the CK, K treatment increased the content of chlorophyll a and chlorophyll (a + b) significantly, and promoted the growth of the thick tip and branch, but inhibited the tip length, height and crown, significantly increased the leaf width, decreased the ratio of leaf length to width, enhanced the activity of POD and decreased the contents of malondialdehyde (MDA) and soluble sugar (SS). P treatment contributed to the composition of chlorophyll b the best, increased the contents of chlorophyll a and chlorophyll (a + b) significantly, but not as good as P. K treatment could promote tip growth and increase the branch number, but inhibit the growth of thick twigs and leaves, increase the height, crown and SS, enhance the activity of POD the best and decrease the content of MDA. P + K treatment increased chlorophyll a significantly, good to tip growth, increased leaves width and height, but it is not conducive to leaf growth and has the best effect on reducing MDA, significantly increasing peroxidase activity and reducing SS content. The biomass and oil of P + K treatment were increased by about 23.9% and 24.5%; P treatment increased by 8.4% and 5.9% of the biomass and oil compared with CK. [ **Conclusion** ] Phosphorus can promote the synthesis of chlorophyll in camphor and enhance the ability to resist external interference as well as potassium in camphor, but the effect on the growth is completely different. K is not good for the growth and oil yield of camphor, so it is not recommended to apply potash fertilizer alone in the field management. P and K fertilization can increase production and oil production. The best formula is P150 g + K100 g for each plant.

**Keywords:** *Cinnamomum camphora*; SS; growth; oil production

(责任编辑:张 研)