

不同施肥组合对油茶生长和营养的影响

张坤昌¹, 涂攀峰^{1,2*}, 黄润生¹, 廖柏勇^{1,2}, 吕宇宙³, 李永泉^{1,2}

1. 仲恺农业工程学院, 广东广州 510225; 2. 仲恺广梅研究院, 广东梅州 514000; 3. 韶关市曲江区国有小坑林场, 广东韶关 512600

摘 要: 研究不同施肥组合对油茶生长和营养的影响, 选择有利于油茶生长的施肥组合, 为油茶增产施肥提供科学合理的借鉴。以十年生的普通油茶岑软 3 号为试材, 通过 N : P : K 不同配比、用量以及有机肥的用量, 设置 10 个试验处理, 测量油茶不同生长时期的果实叶片性状和营养生理指标, 并进行方差分析、多重比较和相关性分析。结果表明: 0.5 kg N : P : K (20 : 8 : 17) + 5 kg 有机肥 + 0.25 kg 中量元素水溶肥料 (Ca+Mg ≥ 10.0%) 对油茶的生长效果最好。这种施肥组合能有效增大果实大小、增加叶面积、提高净光合速率、蒸腾速率和树体氮、磷、钾、钙、镁含量, 有利于树体营养的储存与分配。综合来看, 0.5 kg 复合肥 N : P : K = 2 : 1 : 2 和 5 kg 有机肥一年内在春秋季节同时施用 2 次对油茶生长和营养的促进效果更好。

关键词: 油茶; 施肥组合; 营养生长; 叶片; 果实; 养分含量

中图分类号: S794.4 文献标识码: A

Effects of Different Fertilizer Combinations on Growth and Nutrition of *Camellia oleifera*

ZHANG Kunchang¹, TU Panfeng^{1,2*}, HUANG Runsheng¹, LIAO Baiyong^{1,2}, LYU Yuzhou³, LI Yongquan^{1,2}

1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2. Zhongkai Guangmei Research Institute, Meizhou, Guangdong 514000, China; 3. Shaoguan Qujiang District State-owned Xiaokeng Forest Farm, Shaoguan, Guangdong 512600, China

Abstract: The effects of different fertilizer combinations on the growth and nutrition of *Camellia oleifera* were studied to select the fertilizer combination that is conducive to the growth of *C. oleifera*. Ten-year-old common *C. oleifera* Cenruan 3 was used as the material. Ten experimental treatments with different N : P : K ratio and dosage, and different dosage of organic fertilizer were set. The physiological indexes of fruit traits, leaf traits and nutrition of *C. oleifera* at different growth stages were measured, and the analysis of variance, multiple comparisons and correlation analysis were performed. The results show that 0.5 kg N : P : K (20 : 8 : 17) + 5 kg organic fertilizer + 0.25 kg medium elements water-soluble fertilizer (Ca+Mg ≥ 10.0%) had the best growth effect on *C. oleifera*. This fertilizer combination could effectively increase the fruit size, leaf area, net photosynthetic rate, transpiration rate and contents of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in trees, which is conducive to the storage and distribution of tree nutrition. In conclusion, 0.5 kg compound fertilizer N : P : K = 2 : 1 : 2 and 5 kg organic fertilizer applied together twice one year in the Spring and Autumn had a better effect on the growth and nutrition of *C. oleifera*.

Keywords: *Camellia oleifera*; fertilization combination; vegetation growth; leaves; fruits; nutrient content

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.02.014

收稿日期 2022-11-18; 修回日期 2022-11-23

基金项目 梅州市科技计划项目 (No. 2021A0304001); 中央财政林业改革发展资金项目 (No. 2021GDTK-02)。

作者简介 张坤昌 (1997—), 男, 硕士, 研究方向: 油茶栽培育种。*通信作者 (Corresponding author): 涂攀峰 (TU Panfeng), E-mail: tupanfeng@163.com。

油茶（*Camellia oleifera*）属于山茶科（Theaceae）山茶属（*Camellia*）植物，是我国南方重要的木本油料经济树种，主要分布在我国南方山地丘陵区域^[1]。油茶富含多种有效成分，在食用、医药和工业方面具有重要价值^[2]。我国现阶段农业耕地和经济建设用地日益紧张，如何在有限种植面积下提高其品质和单位面积产量尤为重要。因此，通过合理施肥促进油茶的生长发育、提高其品质和产量、综合开发油茶提高其经济价值和社会效益，近年来成为油茶产业研究的热点之一。氮、磷、钾作为影响植物生长发育的必需营养元素，在农业生产中被称为“肥料三要素”^[3]。当氮、磷、钾中某元素缺少或者过剩时，植物正常生长均受到影响，并出现植物“缺素症”，如植株生长停滞，表现出矮小、分枝或分蘖少等症状；叶片失绿、焦枯、卷曲、发红或发紫、发褐、畸形；植株易倒伏，植物抗病虫害和抗倒伏能力差等^[4-5]。在植物栽培管理过程中，根据植物“缺素症”采取相应施肥措施可以提高土壤肥力、改善植物营养状况和促进植物生长发育^[6-7]。前人研究表明，施用油茶专用肥不仅能增大油茶果体积，使果实更加圆润，而且能明显地促进油茶树体生长，提高果实养分含量的累积，从而提高油茶产量^[8-9]。复合肥中有效养分含量高、副成分少且物理性状好，可以提高肥料利用率，促进高产稳产；有机肥是用有机物制造的肥料，它能够改善土壤结构、增强植株抗性且肥效长，但肥效慢^[10-11]。因此，利用复合肥和有机肥的优点结合同时施用比单一施用对油茶产量的促进作用更好^[12]。目前，在油茶施用有机肥和复合肥方面虽有研究报道，但从精确把握施肥量和施肥时间 2 个方面探讨不同施肥组合对油茶生长和营养的影响鲜有报道。

鉴于此，本研究旨在探讨不同施肥处理（包括复合肥氮、磷、钾配比及用量、有机肥的用量）对油茶的生长和营养的影响，选出较为合理增产的施肥组合，为油茶科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验材料为广西岑溪的普通油茶岑软 3 号十年生油茶树。试验地位于广东省韶关市曲江区国有小坑林场，地处韶关市曲江区东部，113°35'E，24°15'N，属亚热带粤北气候区，全年气候温和，雨量充沛，霜期短，年均气温 20.3℃，

年日照时数 1706 h，年均积温 6529.4℃，年均降雨量 1530 mm，相对湿度 79%，极端最高温度 40.2℃、最低温度-5.3℃，每年霜期约 15 d。林场地林地海拔 220~1300 m，林地土壤由花岗岩、石灰岩和砂页岩发育而成，以山地红壤为主，pH 4.5~6.2，油茶生长良好。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 本研究以岑软 3 号为研究对象，通过不同有机肥、复合肥的种类和用量调整来改变养分配比，分析油茶的生长结实情况（表 1）。对小坑林场岑软 3 号进行 10 种不同施肥处理，时间为 2021 年 9 月和 2022 年 4 月，每个处理选择 10 株长势一致且生理状况正常、性状表现稳定的植株，挂牌并做好标记。

表 1 不同施肥组合处理			
Tab. 1 Different fertilization combinations kg			
处理 Treatment	复合肥（N-P-k） Compound fertilizer (N-P-k)	有机肥 Organic fertilizer	中量元素水溶肥料 Medium element water soluble fertilizer (Ca+Mg≥10.0%)
T ₁	0.5 (15-15-15)	2.5	0.25
T ₂	0.5 (20-8-17)	2.5	0.25
T ₃	0.5 (15-15-15)	5.0	0.25
T ₄	0.5 (20-8-17)	5.0	0.25
T ₅	0.5 (15-15-15)		0.25
T ₆	0.5 (20-8-17)		0.25
T ₇	1.0 (15-15-15)		0.25
T ₈	1.0 (20-8-17)		0.25
T ₉			0.25
CK			

1.2.2 指标测定与方法 试验前测量不同处理树体营养养分，包括氮、磷、钾、钙、镁含量，并于 10、12、3、7 月测树体养分，4 月测叶片生理指标，4、8 月测幼果期、膨大期果实性状生理指标。随机选取每个处理的茶果 30 个，游标卡尺测量横径（transverse diameter, Td）、纵径（longitudinal diameter, Ld），精确至 0.01 mm；果形指数（fruit index, Fi）= 果实纵径/果实横径；通过矫正法和线性回归法计算出油茶果实大小（fruit size, Fs）^[13]；随机采取每个处理各个生长方向的油茶春梢叶片 30 片，卷尺测量叶长（leaf length, Ll）、叶宽（leaf width, Lw），精确至 0.01 cm；使用 YMJ-G 植物叶面积检测仪测量叶面积；采用 LI-6400 便携式光合仪测定其净光合

速率[P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]、蒸腾速率[T_r , $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]; 测定叶片样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后, 采用凯氏定氮法测定氮含量, 采用钼锑抗比色法测定磷含量, 采用火焰光度法测定钾含量, 采用原子吸收分光光度法测定钙、镁含量。

1.3 数据处理

采用 Origin 2019、Excel 2010 软件完成图表绘制及数据整理; 采用 SPSS 22.0 软件统计数据及单因素方差分析, 并作多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对油茶果实生长的影响

通过对不同施肥组合的油茶幼果期果实进行方差分析(表 2), 各组合间果实性状均存在极显著差异, 说明不同施肥处理中合适的施肥种类与用量能加快果实生长并影响后续发育膨大。通过幼果期果实指标(图 1)可以看出, 施肥能显著影响果实生长发育, 无论在横径、纵径及果实大小方面, 各处理均高于 CK, 其中 T_4 处理的效果最好, 果实大小为 2.70 cm^3 , 是对照组果实(0.81 cm^3)的 3 倍多, 而不同施肥处理间的果实大小均有显著差异, 如 T_2 、 T_3 、 T_4 处理与 T_5 、 T_6 处理之间的差异较大, 说明在施肥过程中不同肥料种类及用量配比能间接影响油茶果实大小及品质; 经过 9 月和次年 4 月的 2 次相同施肥处理, 在油茶果实膨大期对果实进行方差分析(表 3), 不同

施肥组合间油茶果的横径、纵径和果实大小均存在极显著差异。由图 2 可知, 在 4~8 月油茶果实生长发育较快, 主要体现在果实的快速膨大, 尤其是横径的生长使得果形指数下降, 通过不同施肥组合的对比, 经过一年 2 次的 T_4 施肥处理仍然是各处理中果实最大的, 达到了 17.59 cm^3 , 是对照的 2 倍多, 各组合间的果实大小也有显著差异。虽然不同施肥处理均能增大果实大小, 但只有 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 处理与 CK 有较显著差异且高于各处理的平均值; T_5 、 T_6 处理均低于各处理平均值, 与 CK 并无显著差异; T_7 、 T_8 处理与均值相当, 介于二者之中, 即有效果但不显著。

2.2 不同施肥处理对油茶叶片生理的影响

通过对不同施肥组合的油茶春梢叶片进行方差分析(表 4), 各组合间叶长/叶宽、叶面积、净光合速率和蒸腾速率均存在极显著差异, 叶长宽比存在显著差异, 说明不同施肥处理对春梢叶片各生理指标影响较大。叶片是植物的营养器官之一, 是植物进行光合和蒸腾作用的主要器官, 是能量转换的场所, 在一定范围内叶面积越大, 可进行的光合、蒸腾作用就越强, 产生的能量越多, 根吸水能力越强, 进而间接增加产量。

通过各处理叶片测量指标(图 3)可以看出, 施肥能提高春梢叶面积大小, T_4 、 T_3 、 T_1 处理与 CK 差异显著, 其中 T_4 处理的效果最好, 叶面积大小为 24.76 cm^2 , 约为 CK (15.15 cm^2) 的 1.63

表 2 不同施肥组合的油茶果实幼果期方差分析
Tab. 2 Analysis on ariance of fruit in young fruit stage of *C. oleifera* with different fertilizer combinations

性状 Character	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F-value	显著性 Significance
横径	组间 263.724	9	32.965	8.445	<0.001***
	组内 316.201	90	3.904		
	总计 579.925	99			
纵径	组间 245.392	9	30.674	10.931	<0.001***
	组内 227.303	90	2.806		
	总计 472.695	99			
果形指数	组间 0.191	9	0.024	2.800	0.009**
	组内 0.690	90	0.009		
	总计 0.880	99			
果实大小	组间 2548.452	9	318.557	10.259	<0.001***
	组内 2515.250	90	31.052		
	总计 5063.702	99			

注: **、***表示处理间差异极显著 ($P<0.01$, $P<0.001$)。
Note: **, *** indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.01$, $P<0.001$).

表 3 不同施肥组合的油茶果实膨大期方差分析

Tab. 3 Analysis of variance of fruit during fruit expansion stage of *C. oleifera* with different fertilization combinations

性状 Character		平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F-value	显著性 Significance
横径	组间	561.111	9	62.346	19.269	<0.001***
	组内	291.201	90	3.236		
	总计	852.312	99			
纵径	组间	678.774	9	75.419	41.656	<0.001***
	组内	162.946	90	1.811		
	总计	841.720	99			
果形指数	组间	0.046	9	0.005	1.070	0.393
	组内	0.427	90	0.005		
	总计	0.473	99			
果实大小	组间	875.056	9	97.228	35.768	<0.001***
	组内	244.646	90	2.718		
	总计	1119.702	99			

注：***表示处理间差异极显著（ $P<0.001$ ）。

Note: *** indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.001$).

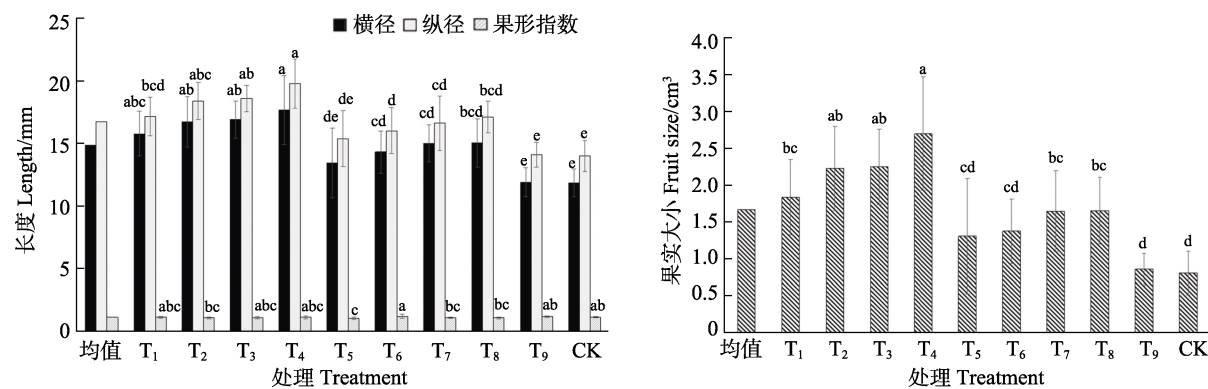


图 1 不同施肥组合油茶幼果期果实性状

Fig. 1 Histogram of fruit characters of *C. oleifera* in young fruit stage with different fertilization combinations

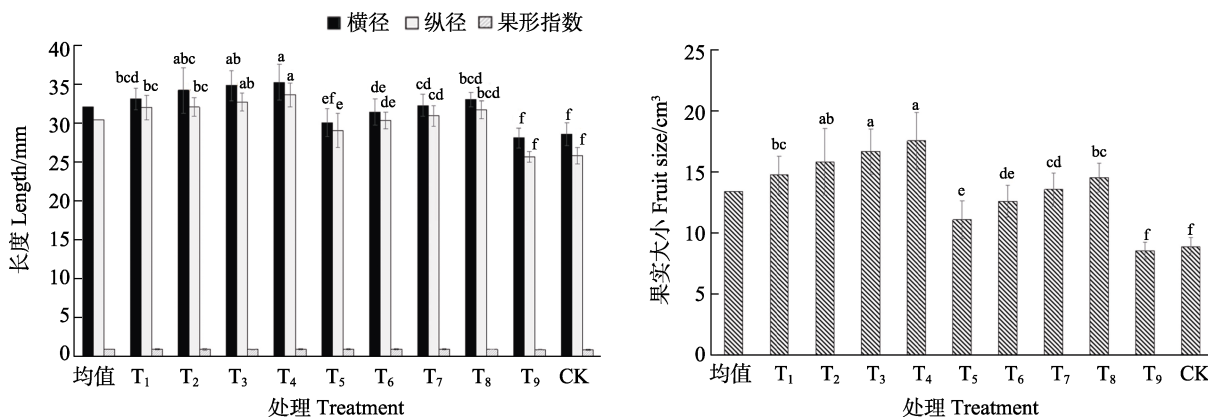


图 2 不同施肥组合油茶膨大期果实性状

Fig. 2 Histogram of fruit traits of *C. oleifera* in swelling stage with different fertilization combinations

表 4 不同施肥组合油茶春梢叶片指标方差分析

Tab. 4 Analysis of variance of leaf index in spring shoot of *C. oleifera* with different fertilization combination

性状 Character		平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F-value	显著性 Significance
叶长	组间	17.370	9	2.171	4.550	<0.001***
	组内	38.655	90	0.477		
	总计	56.025	99			
叶宽	组间	5.314	9	0.664	4.327	<0.001***
	组内	12.435	90	0.154		
	总计	17.749	99			
叶长/叶宽	组间	0.387	9	0.048	2.199	0.036*
	组内	1.783	90	0.022		
	总计	2.171	99			
叶面积	组间	601.915	9	75.239	4.659	<0.001***
	组内	1308.144	90	16.150		
	总计	1910.060	99			
净光合速率	组间	3.379	9	0.375	135.529	<0.001***
	组内	0.055	90	0.003		
	总计	3.434	99			
蒸腾速率	组间	3.163	9	0.351	117.530	<0.001***
	组内	0.060	90	0.003		
	总计	3.223	99			

注：*表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ），***表示处理间差异极显著（ $P<0.001$ ）。

Note: * indicate significant difference among treatments ($P<0.05$), *** indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.001$).

倍。在叶长和叶宽方面， T_4 、 T_3 处理 $>T_1$ 、 T_2 处理 $>T_5$ 、 T_6 、 T_7 、 T_8 处理 $>T_9$ 、CK 处理。对比净光合速率和蒸腾速率， T_4 处理的净光合速率最高，其次是 T_3 、 T_1 和 T_2 处理，各处理间的净光合速率均有显著差异；不同处理间蒸腾速率高低与净光合速率大体相似。由此可知，合理的施肥处理不仅能有效增大果实大小，而且能增大叶面积以及植株的净光合速率和蒸腾速率，进而改善树体的营养比例和能量来源从而达到高产。

2.3 不同施肥处理对油茶树体营养的影响

本研究采取检测叶片营养动态变化反映树体营养动态的变化。试验前对每个处理树体叶片营养进行检测，各组合在试验前树体营养差异不显著，氮、磷、钾、钙、镁含量分别在 12.59~12.77、0.75~0.78、6.20~6.28、8.99~9.12、1.19~1.24 g/kg 之间。通过不同施肥处理后，在 4 个油茶生长的不同时期 10、12、3、7 月检测各处理的营养元素含量，分析表明（表 5），不同处理间氮、磷、钾含量差异极显著（ $P<0.001$ ），镁含量差异极显著（ $P<0.001$ ），而钙含量差异不显著。

多重比较结果显示（表 6）， T_4 处理中氮元素含量最高，年平均值为 15.71 g/kg，比 CK（12.17 g/kg）高 3.54 g/kg，其次是 T_3 处理（15.26 g/kg）； T_4 处理中磷元素含量最高，年平均值为 1.07 g/kg，比 CK（0.77 g/kg）高 0.30 g/kg，其次是 T_3 处理（1.04 g/kg）； T_4 处理中钾元素含量最高，年平均值为 7.51 g/kg，比 CK（6.20 g/kg）高 1.31 g/kg，其次是 T_3 处理（7.37 g/kg）；各处理间钙元素含量无显著差异，含量为 8.90~9.94 g/kg；各处理间镁元素含量（除 CK 外）无显著差异，含量为 1.40~1.44 g/kg，对照的镁元素含量为 1.19 g/kg。

通过施肥后油茶生长各个时期的叶片养分分析（图 4）可知，氮养分含量总体在 12 月至翌年 3 月逐渐降低，一年中 3 月氮含量最低，3~7 月逐渐升高，到 10 月再逐渐降低；磷含量在 12 月至翌年 7 月逐渐降低，7 月含量最低，7~10 月缓慢升高；钾含量年变化与氮相反，12 月至翌年 10 月变化为升高—下降—升高，7 月含量最低；钙含量 12 月至翌年 7 月逐步下降，到 10 月再逐步上升；镁含量年变化与钙相反，呈现上升—下降的趋势。

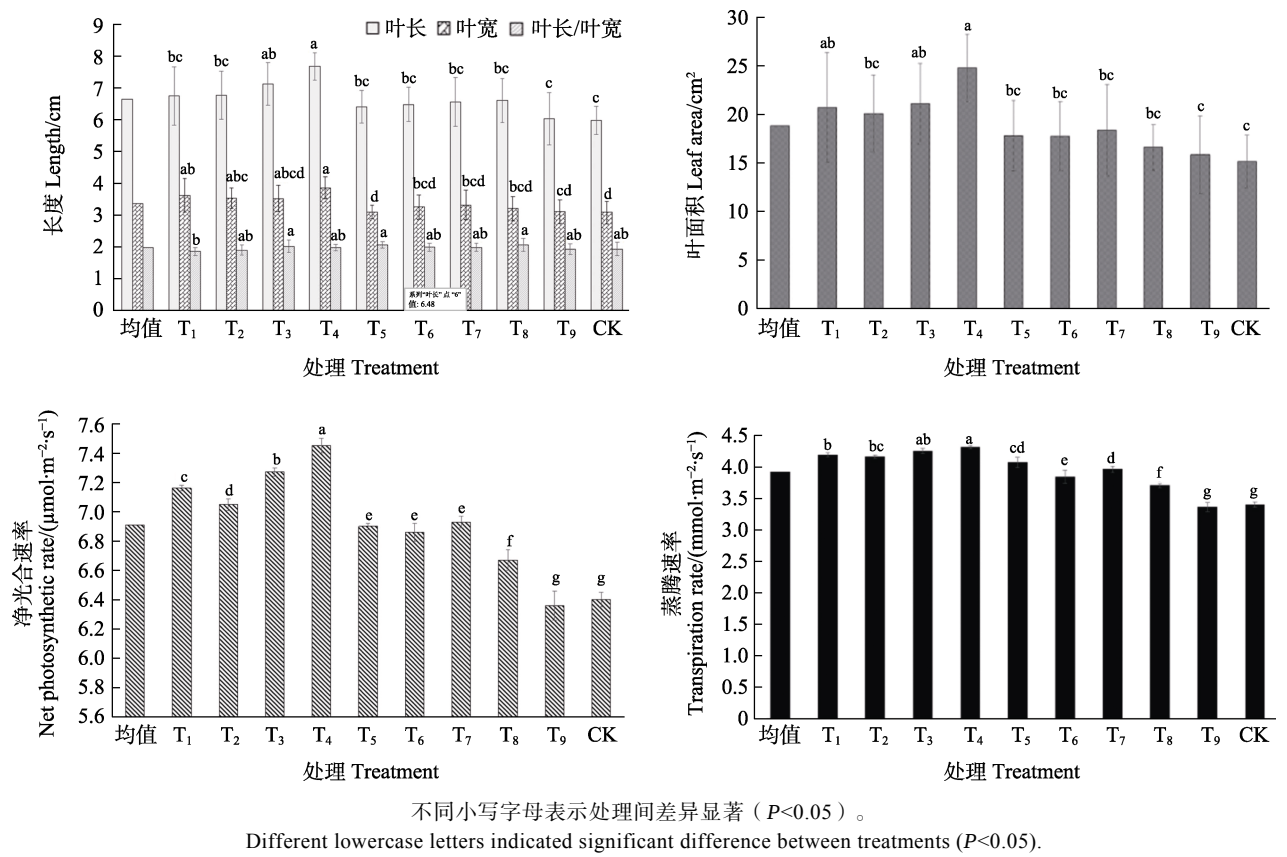


图 3 不同施肥组合油茶春梢叶片指标

Fig. 3 Histogram of leaf index of spring shoot of *C. oleifera* with different fertilization combination

表 5 不同施肥组合油茶叶片营养元素含量方差分析						
Tab. 5 Analysis of variance of nutrient element content in leaves of <i>C. oleifera</i> from different fertilization combinations						
指标 Index		平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F-value	显著性 Significance
氮含量	组间	142.390	9	15.821	37.410	<0.001***
	组内	46.520	110	0.423		
	总计	188.910	119			
磷含量	组间	1.083	9	0.120	12.234	<0.001***
	组内	1.082	110	0.010		
	总计	2.165	119			
钾含量	组间	22.005	9	2.445	7.719	<0.001***
	组内	34.840	110	0.317		
	总计	56.845	119			
钙含量	组间	10.838	9	1.204	1.399	0.197
	组内	94.655	110	0.861		
	总计	105.493	119			
镁含量	组间	0.564	9	0.063	2.225	0.025*
	组内	3.099	110	0.028		
	总计	3.663	119			

注：*表示处理间差异显著 ($P<0.05$)，***表示处理间差异极显著 ($P<0.001$)。
Note: * indicate significant difference among treatments ($P<0.05$), *** indicate extremely significant difference among treatments ($P<0.001$).

由图 4 可知，各处理氮、磷、钾、钙、镁含量均高于 CK，其中 T₄ 处理氮、磷、钾含量最高，T₉ 处理与 CK 大致相同，说明单施中量元素水溶肥料并不能提高树体氮、磷、钾含量；各处理间

表 6 不同施肥组合油茶叶片营养元素年均含量多重比较
Tab. 6 Multiple comparisons of annual average contents of nutrient elements in leaves of *C. oleifera* with different fertilization combinations

处理 Treatment	营养元素 Nutrient element				
	N	P	K	Ca	Mg
T ₁	14.19±0.68 ^b	0.95±0.11 ^{bc}	7.04±0.59 ^{abcd}	9.90±0.93	1.41±0.16 ^a
T ₂	14.46±0.71 ^b	0.96±0.11 ^{bc}	7.15±0.54 ^{abc}	9.89±0.88	1.42±0.16 ^a
T ₃	15.26±0.69 ^a	1.04±0.12 ^{ab}	7.37±0.53 ^{ab}	9.86±0.91	1.41±0.18 ^a
T ₄	15.71±0.74 ^a	1.07±0.11 ^a	7.51±0.53 ^a	9.93±0.96	1.44±0.17 ^a
T ₅	13.28±0.53 ^c	0.86±0.10 ^{cd}	6.50±0.56 ^{de}	9.90±0.91	1.42±0.18 ^a
T ₆	13.41±0.55 ^c	0.87±0.10 ^{cd}	6.60±0.55 ^{cde}	9.94±0.99	1.41±0.17 ^a
T ₇	13.80±0.54 ^{bc}	0.92±0.09 ^c	6.74±0.58 ^{cde}	9.92±0.96	1.41±0.17 ^a
T ₈	13.87±0.60 ^{bc}	0.91±0.10 ^c	6.87±0.59 ^{bcd}	9.86±0.94	1.40±0.16 ^a
T ₉	12.24±0.74 ^d	0.77±0.06 ^d	6.22±0.57 ^e	9.83±0.91	1.41±0.17 ^a
CK	12.17±0.66 ^d	0.77±0.07 ^d	6.20±0.58 ^e	8.90±0.88	1.19±0.16 ^b

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicated significant difference between treatments ($P<0.05$).

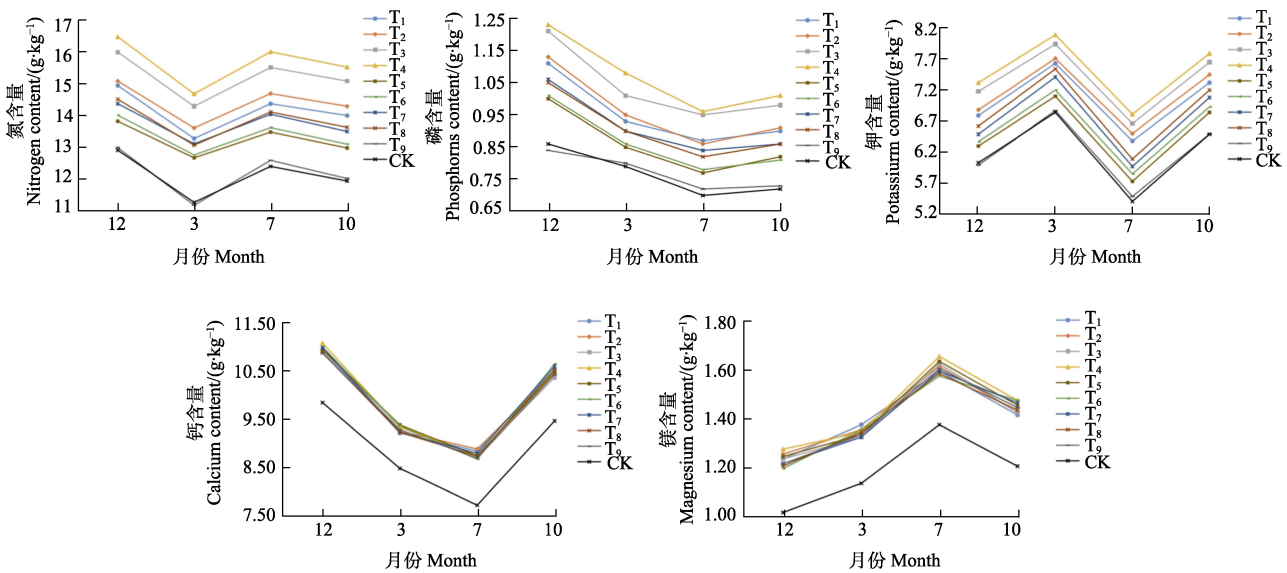


图 4 不同施肥组合不同时期油茶叶片氮、磷、钾、钙、镁元素含量变化
Fig. 4 Changes of N, P, K, Ca and Mg contents in leaves of *C. oleifera* in different fertilization combinations and different periods

因施中量元素水溶肥料相同（除 CK 外），钙、镁含量基本相同，增施有机肥与无机肥对钙、镁含量影响甚微，但与 CK 组相比差异较大，施中量元素水溶肥料能明显提高树体中钙、镁含量。

2.4 油茶果实叶片各性状指标间的相关分析

油茶果实叶片各性状指标间的相关分析结果（表 7）表明，氮元素与果实横径、纵径、果实大小均呈极显著正相关（ $P<0.01$ ），与叶长、叶宽、叶面积、叶长/叶宽呈正相关，与净光合速率、蒸腾速率呈显著正相关（ $P<0.05$ ），而与果形指数呈负相关关系；磷元素与果实横径、纵径、果实大

小均呈极显著正相关（ $P<0.01$ ），与叶长、叶宽、叶面积、叶长/叶宽、果形指数呈正相关，与净光合速率、蒸腾速率呈显著正相关（ $P<0.05$ ）；钾元素与净光合速率、蒸腾速率呈显著正相关（ $P<0.05$ ），与其他果实叶片性状生理指标均呈正相关关系；钙元素与果实纵径、果形指数呈负相关，与其他果实叶片性状生理指标均呈正相关关系；镁元素与所有果实叶片性状生理指标均呈正相关关系；叶面积与蒸腾速率呈显著正相关（ $P<0.05$ ），与净光合速率呈正相关关系；净光合速率与蒸腾速率呈极显著正相关（ $P<0.01$ ）。这说明增施一定量

的氮、磷、钾、钙、镁元素与有机肥肥料不仅能促进油茶果实生长，还能增大叶面积，从而进一步提高树体的净光合速率与蒸腾速率，提高产量，尤其是氮、磷、钾三大元素的摄取，促进效果更佳。

表 7 油茶果实叶片形态生理指标间的相关性分析
Tab. 7 Analysis of correlation between morphological and physiological indices of leaves in fruit of *C. oleifera*

指标 Index	N	P	K	Ca	Mg	横径 Td	纵径 Ld	果形指 数 Fi	果实大 小 Fs	叶长 Ll	叶宽 Lw	叶面积 La	叶长/ 叶宽 Ll/Lw	净光合 速率 P _n	蒸腾 速率 T _r
N	1														
P	0.737**	1													
K	0.278**	0.468**	1												
Ca	0.306**	0.554**	0.265**	1											
Mg	0.156	-0.293**	-0.134	-0.395**	1										
横径	0.376**	0.274**	0.171	0.040	0.037	1									
纵径	0.350**	0.323**	0.196	-0.040	0.041	0.697**	1								
果形指数	-0.003	0.087	0.055	-0.107	0.021	-0.309**	0.462**	1							
果实大小	0.409**	0.326**	0.196	0.031	0.037	0.969**	0.840**	-0.081	1						
叶长	0.079	0.152	0.203	0.025	0.110	-0.090	-0.063	0.047	-0.099	1					
叶宽	0.063	0.108	0.176	0.055	0.092	-0.135	-0.129	0.019	-0.157	0.813**	1				
叶面积	0.081	0.139	0.196	0.042	0.099	-0.121	-0.097	0.042	-0.137	0.940**	0.960**	1			
叶长/叶宽	0.012	0.041	0.029	0.051	0.004	0.075	0.123	0.061	0.103	0.175	-0.426**	-0.161	1		
净光合速率	0.375*	0.413*	0.399*	0.087	0.359	-0.180	-0.284	-0.010	-0.251	0.417*	0.283	0.358	0.215	1	
蒸腾速率	0.362*	0.376*	0.435*	0.089	0.260	-0.199	-0.238	0.036	-0.257	0.477**	0.311	0.405*	0.259	0.952**	1

注：*表示显著相关（ $P<0.05$ ），**表示极显著相关（ $P<0.01$ ）。
Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

3 讨论

3.1 不同氮、磷、钾配比用量及有机肥用量对油茶生长和营养的影响

在油茶施肥研究中，合理配方的无机肥与有机肥施用能显著提高油茶生长、产量及品质，桂莎、俞元春等^[12, 14-15]研究认为，利用复合肥和有机肥的优点结合同时施用比单一施用对油茶产量的促进作用更好。围绕氮、磷、钾施用配比问题，不少学者研究出不同的施肥配方，杨柳平等^[11]研究发现氮：磷：钾=2：1：2 的施肥配方能使幼龄油茶的结实率达到最高；有研究称 300 g CH₄N₂O+600 g CaP₂H₄O₈+800 g KCl 对成龄油茶的增产作用最大^[16]；而潘波^[17]却认为 N：P：K=2：1：1 的施肥配比可促进油茶的营养生长；潘晓杰等^[18]的研究表明，250 g N+1000 g P+125 g K+20 g B+2 g Zn 的施肥配方对油茶营养生长最好，并得出不同元素对油茶生长的影响大小排序为：N>P>K>B>Zn。本研究采用复合肥氮、磷、钾配比 1：1：1 和 2：1：2 两种方式进行施肥，无论哪种配比组合，对油茶果实、叶片及树体营养的生长均有明显的促进作用，与上述前人的研究结

果一致，仅复合肥 N：P：K=2：1：2 效果略优于复合肥 N：P：K=1：1：1，与杨柳平等^[11]的研究结果更相符。中量元素钙、镁的摄入不会影响油茶树体的氮、磷、钾元素含量，对油茶果实、叶片指标影响不显著，仅改变树体钙、镁元素的含量。对于油茶一年的肥料施用量问题，有研究称油茶成熟林一年应施肥 2 次，复合肥 1 kg、有机肥 5~10 kg 为宜^[19]，本研究以复合肥 1~2 kg+有机肥 5~10 kg 配合施用发现，T₁、T₂、T₃、T₄ 处理在果实大小、叶片生理、树体养分含量指标方面与其他处理有显著差异，而 T₃、T₄ 处理较优于 T₁、T₂ 处理，说明有机肥用量以一次施用 5 kg，即一年施用 2 次共 10 kg 为佳；复合肥用量以一次施用 0.5 kg，即一年施用 2 次共 1 kg 为佳。复合肥 1 kg+有机肥 10 kg 配合施用对油茶的生长促进效果最好。

3.2 施肥时间对油茶生长和营养的影响

植物对养分吸收具有阶段性，主要体现在植物不同生长阶段对养分的需求种类和数量不同，且对养分的吸收能力及养分有效性也有差异，因此适时施肥是植物获取营养的关键^[20-21]。普遍认为

春季和初夏是最适宜的施肥时期,此时林木营养生长旺盛,对养分需求较大,且此时对根系吸收养分也最有利^[22]。在油茶的施肥年生产周期中,要把握好施肥的关键时期,春梢萌发期、花芽分化期、果实花芽快速生长期这 3 个阶段是油茶林木旺盛生长的时期。有研究认为冬施有机肥+夏施复合肥能更好地促进油茶生长发育^[23];刘欲晓等^[24]认为在油茶花芽分化期施 1 次,开花授粉期施 1 次,每年共施肥 2 次为好;易延琼等^[25]研究表明,每年 3 月底施肥 1 次,并在春、夏季各追施叶面肥 1 次能增加油茶产量;也有研究认为^[26-27]一年施 1 次较为合理,第一次施抽梢前肥,第二次施夏秋肥,第三次于 11 月下旬至 12 月施有机肥,或者以隔年施肥较好。本研究在 4 月和 9 月进行施肥,在此一年周期内动态检测油茶树体各时期的果实、叶片和养分含量情况发现,在施肥后不同处理各月份的营养元素含量变化趋势基本一致,与莫宝盈等^[5]、戚嘉敏等^[28]研究油茶树体氮、磷、钾、钙、镁养分年动态变化结果相符合,且各处理对油茶生长和营养有明显的促进作用,表明 4 月和 9 月是油茶施肥的较好时期。

3.3 不同施肥组合对油茶生长和营养的影响

本研究通过 10 个不同施肥组合对油茶生长和营养的影响研究,分别在第一年 9 月以及第二年 4 月施肥 2 次,分析油茶果实的变化、叶片营养含量变化和形态生理指标,选择较为科学有效的施肥措施,以提高油茶产量与品质。

氮元素在植物生长过程中具有至关重要的作用,也是植物“三大元素”中最重要的营养元素^[29],叶片中氮、磷、钾营养元素含量的多少可实时地反映树体生长和营养状况,也决定了植物产量的高低^[30-31]。另一方面,从果实的大小也能间接地反映树体的生长和营养状况,果实越大,说明树体营养较丰富,可利用分配的资源也较多,从而达到一个营养的良性循环。氮、磷、钾元素的合理施配往往能显著地促进植物的生长发育,经过油茶果实叶片性状生理指标分析发现, T₄ 处理对油茶的生长和营养效果最好,不论是在果实幼果期还是膨大期, T₄ 处理果实明显大于对照处理且各项指标均大于其他处理;氮、磷、钾含量与叶片指标分析中, T₄ 处理氮、磷、钾含量均最高,叶面积、净光合速率和蒸腾速率均优于其他处理,实现了油茶“源-库”的协调互作。本研究从精确把握施肥量和施肥时间 2 个方面探讨了不

同施肥组合对油茶生长和营养的影响,但由于地理环境^[32]、气候^[33]等多方面因素均会对油茶生长和营养产生影响,因此后续会增加研究周期,以及在采果期对油茶果品质做联合分析。

4 结论

本研究结果表明, 0.5 kg 复合肥 N : P : K=2 : 1 : 2 和 5 kg 有机肥一年内在春秋季节同时施用 2 次对油茶生长营养的促进作用更好,能有效增大果实大小、增加叶面积、提高净光合速率和蒸腾速率,有利于树体营养的储存与分配。

参考文献

- [1] 汪玥, 何恩铭, 王雅英, 李黎明, 刘华欣, 黄秀梅, 吴春. 油茶植物化学成分及药理活性研究进展[J]. 亚热带植物科学, 2017, 46(4): 394-400.
WANG Y, HE E M, WANG Y Y, LI L M, LIU H X, HUANG X M, WU C. Advances on chemical constituents and pharmacology of *Camellia oleifera*[J]. Subtropical Plant Science, 2017, 46(4): 394-400. (in Chinese)
- [2] 张友清, 刘天祥, 万丹, 李琦. 油茶籽及其副产品开发利用研究进展[J]. 粮食科技与经济, 2012, 37(5): 47-48.
ZHANG Y Q, LIU T X, WAN D, LI Q. Research progress on development and utilization of *Camellia oleifera* seed and its by-products[J]. Food Science and Technology and Economy, 2012, 37(5): 47-48. (in Chinese)
- [3] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
SUN X Y. Agrology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005. (in Chinese)
- [4] 严江勤, 曹永庆, 姚小华, 任华东, 束庆龙. 油茶春梢发育期叶片和果实中氮磷钾元素的动态变化[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(2): 50-55.
YAN J Q, CAO Y Q, YAO X H, REN H D, SHU Q L. Changes of nitrogen, phosphorous, potassium contents in leaves and fruits during spring shoots development phase of oil-tea camellia[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(2): 50-55. (in Chinese)
- [5] 莫宝盈, 易立飒, 奚如春, 崔之益, 李文峰. 油茶叶片营养诊断分析样品适宜采集期研究[J]. 经济林研究, 2013, 31(1): 13-19.
MO B Y, YI L S, XI R C, CUI Z Y, LI W F. Appropriate sampling periods for leaf nutrient diagnosis in *Camellia oleifera*[J]. Non-wood Forest Research, 2013, 31(1): 13-19. (in Chinese)
- [6] 唐桂兰, 刘小星, 芦建国. 氮素指数施肥对夏蜡梅幼苗生长、养分分配的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(6): 134-140.

- TANG G L, LIU X X, LU J G. Effects of nitrogen exponential fertilization on growth and nutrient distribution of *Sinocalycanthus chinensis* seedlings[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2017, 41(6): 134-140. (in Chinese)
- [7] MORENO J L, BASTIDA F, ONDOÑO S, GARCÍA C, ANDRÉS-ABELLÁN M, LÓPEZ-SERRANO F R. Agro-forestry management of *Paulownia* plantations and their impact on soil biological quality: the effects of fertilization and irrigation treatments[J]. Applied Soil Ecology, 2017(117/118): 46-56.
- [8] 朱丛飞, 罗汉东, 胡冬南, 王书丽, 徐晓凤, 张令, 郭晓敏, 牛德奎, 李碧霞. 不同肥料类型对油茶生长和产量的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(8): 60-65.
- ZHU C F, LUO H D, HU D N, WANG S L, XU X F, ZHANG L, GUO X M, NIU D K, LI B X. Effects of different types of fertilizers on growth and fruit yield in *C. oleifera* trees[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017, 37(8): 60-65. (in Chinese)
- [9] 陈武彬. 不同肥料对油茶幼林生长和产量的影响分析[J]. 中国林副特产, 2019, 159(2): 27-28, 30.
- CHEN W B. Analysis of effects of different fertilizers on growth and yield of young *Camellia oleifera* stand[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2019, 159(2): 27-28, 30. (in Chinese)
- [10] 申巍, 杨水平, 姚小华, 王开良, 费学谦. 施肥对油茶生长和结实特性的影响[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 239-242.
- SHEN W, YANG S P, YAO X H, WANG K L, FEI X Q. Studies on the effects of fertilization on growth and fruiting of oil-tea camellia[J]. Forest Research, 2008, 21(2): 239-242. (in Chinese)
- [11] 杨柳平, 魏美华. 幼龄油茶配方施肥对结实率的影响[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(5): 69-70.
- YANG L P, WEI M H. Effect of formula fertilization on seed setting rate of young *Camellia oleifera*[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2011, 17(5): 69-70. (in Chinese)
- [12] 桂莎, 胡冬南, 刘卉, 徐猛, 李小梅, 郭晓敏. 不同肥料类型对幼龄油茶生长的影响[J]. 经济林研究, 2015, 33(1): 62-66.
- GUI S, HU D N, LIU H, XU M, LI X M, GUO X M. Effects of different fertilizer types on growth of young *Camellia oleifera*[J]. Non-wood Forest Research, 2015, 33(1): 62-66. (in Chinese)
- [13] 周开兵, 陈志霞, 莫泰培, 曾维强. 人心果果实体积测定方法的探讨[J]. 实验科学与技术, 2009, 7(3): 51-53.
- ZHOU K B, CHEN Z X, MO T P, ZENG W Q. Study on the method testing the volume of fruits of sapodill[J]. Experiment Science and Technology, 2009, 7(3): 51-53. (in Chinese)
- [14] 湖北省林科所油茶课题组. 施用氮、磷、钾肥料与油茶增产效益研究[J]. 湖北林业科技, 1990(1): 11-15.
- Camellia oleifera* Research Group of Hubei Forestry Research Institute. Study on the effect of applying nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on the yield-increasing of *Camellia oleifera*[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 1990(1): 11-15. (in Chinese)
- [15] 俞元春, 白玉杰, 俞小鹏, 周垂帆, 雷小林, 龚春, 徐林初. 油茶林施肥效应研究概述[J]. 林业科技开发, 2013, 27(2): 1-4.
- YU Y C, BAI Y J, YU X P, ZHOU C F, LEI X L, GONG C, XU L C. Overview of fertilization effect on *Camellia oleifera* forest[J]. Journal of Forestry Engineering, 2013, 27(2): 1-4. (in Chinese)
- [16] 杨金亮, 辜云杰, 殷国兰, 叶伟平. 油茶配方施肥研究[J]. 四川林业科技, 2016, 37(2): 76-79.
- YANG J L, GU Y J, YIN G L, YE W P. Research on differential formula fertilization of *Camellia oleifera*[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2016, 37(2): 76-79. (in Chinese)
- [17] 潘波. 广西油茶幼龄期配方肥研制[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
- PAN B. Development of Guangxi *Camellia* infant formula fertilizer[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2015. (in Chinese)
- [18] 潘晓杰, 侯红波, 廖芳, 陈卫军. 配方施肥对油茶中幼林营养生长的影响[J]. 中南林学院学报, 2003(2): 82-84.
- PAN X J, HOU H B, LIAO F, CHEN W J. Effect of formula fertilization on the vegetative growth of young oil-tree forest[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2003(2): 82-84. (in Chinese)
- [19] 刘召平. 油茶林肥料选择及科学施肥技术[J]. 现代农业科技, 2020(14): 130-131.
- LIU Z P. Fertilizer selection and scientific fertilization technology of *Camellia oleifera* forest[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(14): 130-131. (in Chinese)
- [20] 胡玉玲, 陶光旭, 胡冬南, 杨慧琴, 姜佳艳, 杨红, 郭晓敏. 施用亚硒酸钠对油茶生长及果实经济性状影响[J]. 经济林研究, 2021, 39(2): 46-54.
- HU Y L, TAO G X, HU D N, YANG H Q, JIANG J Y, YANG H, GUO X M. Effects of spraying selenium fertilizer (Na_2SeO_3) on the growth and fruit economic characters of *Camellia oleifera*[J]. Non-wood Forest Research, 2021, 39(2): 46-54. (in Chinese)
- [21] 付晓凤, 朱原, 黄杰, 王凌晖. 氮磷钾配比施肥对扁桃幼苗生长及叶片养分含量的影响[J]. 四川农业大学学报,

- 2019, 37(5): 629-635.
- FU X F, ZHU Y, HUANG J, WANG L H. Effects of N, P and K fertilization treatments on the growth and nutrient contents in leaves of *Mangifera persiciformis* C. seedlings[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2019, 37(5): 629-635. (in Chinese)
- [22] 刘月秀, 陈水莲, 俞元春. 桉树人工林营养特性与施肥技术研究进展[J]. 林业科技开发, 2009, 23(4): 13-16.
- LIU Y X, CHEN S L, YU Y C. Research progress on nutritional characteristics and fertilization techniques of *Eucalyptus* plantation[J]. Journal of Forestry Engineering, 2009, 23(4): 13-16. (in Chinese)
- [23] 李安亮, 陈永忠, 王瑞. 油茶施肥技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(31): 36-40.
- LI A L, CHEN Y Z, WANG R. Research progress of fertilization techniques for *Camellia oleifera*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(31): 36-40. (in Chinese)
- [24] 刘欲晓, 谭湘伟. 油茶优良无性系林配方施肥促丰产试验研究[J]. 湖南林业科技, 2001(4): 81-82.
- LIU Y X, TAN X W. Study on formula fertilizing to promote high-yield test of fine clones forest of *Camellia oleifera*[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2001(4): 81-82. (in Chinese)
- [25] 易延琼, 黄青春. 油茶低产林分结实与外界因子的关系及改造技术探讨[J]. 湖南林业科技, 2000(4): 81-84.
- YI Y Q, HUANG Q C. Relationship between seed setting and external factors in low-yield stands of *Camellia oleifera* and discussion on transformation technology[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2000(4): 81-84. (in Chinese)
- [26] 陈永忠, 彭邵锋, 王湘南, 杨小胡, 贺军辉, 王德斌. 油茶高产栽培系列技术研究—配方施肥试验[J]. 林业科学研究, 2007(5): 650-655.
- CHEN Y Z, PENG S F, WANG X N, YANG X H, HE J H, WANG D B. Study of high yield cultivation technologies of oil-tea camellia (*Camellia oleifera*)-formulate fertilization[J]. Forest Research, 2007(5): 650-655. (in Chinese)
- [27] 俞秀兰. 油茶优质丰产栽培技术研究[J]. 福建林业科技, 2006(1): 232-234.
- YU X L. Tea-oil tree high quality and high yield culture technique research[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2006(1): 232-234. (in Chinese)
- [28] 戚嘉敏, 张鹏, 奚如春. 油茶树体氮磷钾养分的年动态变化[J]. 经济林研究, 2017, 35(3): 121-126.
- QI J M, ZHANG P, XI R C. Annual dynamic changes of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in *Camellia oleifera* tree[J]. Non-wood Forest Research, 2017, 35(3): 121-126. (in Chinese)
- [29] 王楚天, 易世平, 钟琳珊, 沈晋, 罗汉东, 孟凡虎, 王新新, 胡冬南. 不同油茶品系花芽分化期养分吸收规律的研究[J]. 广东农业科学, 2016, 43(3): 55-59.
- WANG C T, YI S P, ZHONG L S, SHEN J, LUO H D, MENG F H, WANG X X, HU D N. Study on nutrient uptake during flower bud differentiation of different *Camellia oleifera* lines[J]. Guangdong Agricultural Science, 2016, 43(3): 55-59. (in Chinese)
- [30] DEJONG T M. Leaf nitrogen content and CO₂ assimilation capacity in peach [photosynthesis, phosphorus][J]. Journal American Society for Horticultural Science, 1982, 107(6): 955-959.
- [31] 丁晓纲, 刘喻娟, 张应中, 蔡坚, 陈清风, 朱雯, 张祥宇. 氮素营养对广宁红花油茶幼苗生长及光合特性的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 22-26.
- DING X G, LIU Y J, ZHANG Y Z, CAI J, CHEN Q F, ZHU W, ZHANG X Y. Effects of nitrogen nutrition on growth and photosynthetic characteristics of Guangning safflower *Camellia oleifera* seedlings[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(34): 22-26. (in Chinese)
- [32] 张顺平, 乔杰, 孙向阳, 王保平, 王伟伟, 崔令军, 于鑫. 坡向、坡位对泡桐人工林土壤养分空间分布的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(1): 109-116.
- ZHANG S P, QIAO J, SUN X Y, WANG B P, WANG W W, CUI L J, YU X. Effects of slope aspect and slope position on spatial distribution of soil nutrients of *Paulownia fortunei* plantation[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2015, 35(1): 109-116. (in Chinese)
- [33] 甘静静, 曾思齐, 肖化顺, 刘发林, 彭其龙. 木荷次生林地土壤养分空间异质性研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(5): 9-16.
- GAN J J, ZENG S Q, XIAO H S, LIU F L, PENG Q L. Spatial variability of soil nutrients in *Schima superba* secondary forests[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2014, 34(5): 9-16. (in Chinese)