林业科学研究 2019,32(2):131～138
Forest Research

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2019.02.019

不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽分化的影响

罗 帅，钟秋平*，葛晓宁，曹林青，郭红艳，袁雅琪，袁婷婷，晏 巢

（中国林业科学研究院亚热带林业实验中心，江西 分宜 336600）

摘要：[目的]研究施肥配比对油茶花芽分化的影响，掌握氮、磷、钾最佳施肥配比，为油茶高效栽培提供参考依据。[方法]以8年生‘长林4号’油茶为试验材料，采用3因素3水平的正交试验设计 $L_9(3^4)$ 进行施肥试验。[结果]研究表明：在试验水平范围内，适量加施氮、钾肥有利于提高油茶花芽分化率；提高油茶花芽分化率的氮、磷、钾最佳施肥配比为 $N_{222.22}P_{81.83}K_{240.24}$。在油茶花芽生理分化期，施氮、磷、钾肥能提高花芽内源激素 ABA 含量；施氮、磷肥可提高花芽内源激素 ZR 和 IAA 含量，而 ABA 含量与花芽分化率呈中等正相关，且相关性显著，ZR、IAA 和 GA_3 与花芽分化率相关性不显著。在油茶花芽形态分化期，施氮、钾肥能提高花芽内源激素 ZR、IAA 和 GA_3 含量，降低花芽内源激素 ABA 含量。[结论]合理的氮、磷、钾施肥配比可能通过影响油茶花芽分化相关内源激素的含量水平，促进花芽分化，提高花芽分化率。

关键词：油茶；施肥配比；花芽分化

中图分类号：S794.4 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-1498(2019)02-0131-08

油茶（*Camellia oleifera* Abel.）为山茶科（Theaceae）山茶属（*Camelia* L.）常绿小乔木或灌木[1-4]，是我国特有的重要木本油料树种。茶油是优质的保健食用植物油，不饱和脂肪酸（油酸、亚油酸、亚麻酸等）含量达90 %以上，并富含维生素A、角鲨烯、茶多酚、锌等营养元素。油茶经济价值高、用途广、适应性强，综合开发利用潜力大[5]。我国油茶林栽培面积呈逐年增加趋势，同时也存在油茶产量偏低、大小年、花芽少等问题，严重制约着油茶产业的发展。造成这些现象的重要原因之一是油茶花芽分化率低[6]。

花芽分化是植物生长发育过程中的一个关键阶段，也是一个复杂的形态建成的过程[7]。花芽分化分为生理分化期和形态分化期，生理分化是形态分化的基础。植物花芽分化受多种内外因子（环境条件、碳水化合物、内源激素等）的作用与调控，其中，内源激素与植物花芽分化有密切关系[8]；而植物花芽生理分化期花芽内源激素的含量水平影响花芽能否进行形态分化，花芽形态分化期花芽内源激素含量水平影响花芽形态建成[9]。植物花芽分化率低的主要原因为营养生长和生殖生长失衡。

通过施肥影响植物体内源激素水平，调节植物营养生长和生殖生长，促进花芽分化的方法已在其它植物上应用，并取得较为显著的效果[10-19]。近年来，有关油茶施肥配比的研究多集中于油茶养分分配规律、营养生长及产量等方面[20-24]，氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽分化影响的研究鲜有报道。本文以8年生‘长林4号’油茶（*C. oleifera*‘Changlin-4’）为试验材料进行施肥处理，探究不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽内源激素及花芽分化率的影响，以期了解氮、磷、钾肥对油茶花芽分化的影响机制，掌握提高油茶花芽分化率的最佳施肥配比，为油茶丰产稳产科学施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于江西省新余市分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心长林优良无性系示范

收稿日期：2018-03-08 修回日期：2018-05-17

基金项目：中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“油茶早花种质资源收集与创新”（CAFYBB2017MB021）

* 通讯作者：钟秋平. E-mail：fyzqp92@163.com.

林。该区地处江西省中西部(27°33′～28°08′ N,114°29′～114°51′ E),海拔81 m,属亚热带季风性湿润气候,年降水量1 600 mm,年平均日照时数1 656.9 h,年平均气温17.6℃,极端最高气温40.1℃,全年无霜期270 d。林地定期进行病虫害防治、人工除草等田间管理。

1.2 试验材料

于2017年5月在林分内选取8年生油茶优良无性系'长林4号'作为试验材料,样株地径6.5～9.0 cm,树高1.8～2.5 m,冠辐1.8～2.5 m,生长状态良好。

1.3 试验设计和处理

2017年5月20日,在试验区内采用沟施的方式进行施肥处理。本试验采用3因素3水平的正交试验设计,共设N、P、K 3个因素:尿素(有效氮含量≥46.4 %)、钙镁磷肥(P_2O_5 含量≥12 %)、硫酸钾(K_2O 含量≥51 %),因素水平详见表1。每个处理6株,处理之间留1株作为保护株,行间留1行作为保护行,不考虑交互作用,并设置1个空白对照组(CK),共10个处理,各处理的肥料配比详见表2。

表1 试验肥料各因素水平

Table 1 Test factors level of fertilizer

试验因素 Test factors		因素设计水平 Factor level(Y=3)		
		1	2	3
$X1$	N/g	80	160	240
$X2$	P/g	40	80	120
$X3$	K/g	120	240	360

表2 氮、磷、钾配比设计方案

Table 2 The designed scheme for different treatments of N,P,K

处理 Treatment	施肥量 Fertilization/(g·tree^{-1})		
	N	P	K
CK	0	0	0
T1	240	80	360
T2	240	120	120
T3	160	40	360
T4	160	120	240
T5	160	80	120
T6	80	120	360
T7	80	40	120
T8	240	40	240
T9	80	80	240

1.4 采样与测定方法

根据相关文献[11-13]及前期试验结果,可知'长林4号'油茶花芽生理分化期为5月初至6月初,形态分化期为6月初至9月中旬。根据油茶花芽分化各时期外观特征和解剖结构观察结果,在施肥后15 d开始采样,总共采样6次(采样时间为2018年6月4日、6月15日、6月26日、7月10日、8月2日、8月21日)。采样时,在油茶树冠外围上部,选取春梢上第3～5个生长状况相近的芽(前期混合芽较小,所需数量较大),共1 g,用锡纸包好放入装有足量液氮的泡沫箱中,带回实验室,存于-80℃超低温冰箱。油茶花芽内源激素(ZR、ABA、IAA、GA_3)测定采用酶联免疫法[21];在8月底,对油茶花芽和叶芽进行计数,并计算油茶花芽分化率。

1.5 统计分析

采用Excel 2016、SPSS Statistics17.0及DPS软件,进行Duncan多重比较、方差分析及二次多项式逐步回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽分化率的影响

由图1可以看出:施用不同配比的氮、磷、钾肥显著提高油茶花芽分化率。对照组(CK)花芽分化率最低,为18.84%,高氮、中钾的处理T8花芽分化率最高,为47.20%,而在施肥处理中花芽分化率最低为34.29%,出现在中氮、低钾的T5,说明在试验水平范围内,适当加施氮、钾肥有利于提高油茶花芽分化率。各施肥处理的花芽分化率均高于对照组(CK),且与对照组(CK)差异显著。T8与T9、T2、T1差异不显著,与T7、T4、T3、T5、T6、CK差异显著。对油茶花芽分化率(Y)与施氮量(X_1)、施磷量(X_2)、施钾量(X_3)进行单因素效应分析,分别得出关于氮、磷、钾3个施肥因素的单因素效应方程:

$$Y = -0.000\,369\,X_1^2 + 0.164X_1 + 23.476 \quad (R^2 = 0.442,\ p = 0.000\,4 < 0.01) \qquad (1)$$

$$Y = -0.003\,00\,X_2^2 + 0.491X_2 + 21.999 \quad (R^2 = 0.445,\ p = 0.000\,4 < 0.01) \qquad (2)$$

$$Y = -0.000\,410\,X_3^2 + 0.197X_3 + 19.548 \quad (R^2 = 0.608,\ p = 0.000\,1 < 0.01) \qquad (3)$$

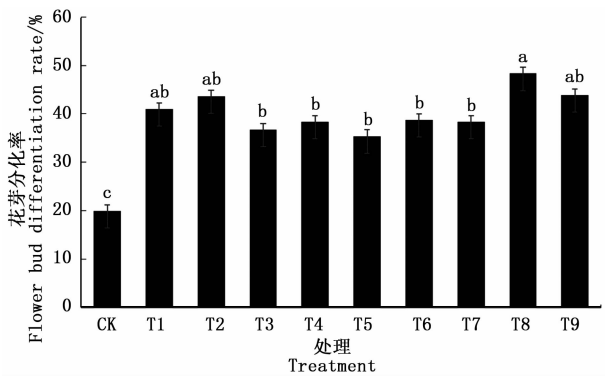
分别对单因素效应方程式(1)、(2)、(3)进行求导可知,当 X_1=222.22,X_2=81.83,X_3=240.24时,Y值最大。本研究分别将油茶花芽分化率(Y)与施氮量(X_1)、施磷量(X_2)、施钾量(X_3)进行二次多项式逐步回归分析,得出其回归方程:

$$Y = 18.79 - 0.45X_2 + 0.35X_3 + 0.000\,31X_1^2 -$$

$$0.002\,4X_2^2 - 0.000\,58X_3^2 + 0.002\,4X_1X_2 - 0.000\,92X_1X_3 + 0.001\,4X_2X_3$$

$$(R = 0.867\,4,\text{调整 } Ra = 0.811\,2,\ F = 7.976\,6,\text{显著水平 } p = 0.000\,1) \quad (4)$$

将单因素效应方程式(1)、(2)、(3)求导得出的 $X_1 = 222.22$、$X_2 = 81.83$、$X_3 = 240.24$ 代入回归方程式(4)得出,花芽分化率(Y)最大值为 53.86 %。因此,提高油茶花芽分化率的最佳氮、磷、钾施肥配比为 $N_{222.22}P_{81.83}K_{240.24}$。



注:不同小写字母表示达到新复极差检验 5% 显著水平。

Note: Different lower case letters indicate 5% significant level of the multiple comparisons.

图 1　不同施肥配比的油茶花芽分化率

Fig. 1　Flower bud differentiation rate of *C. oleifera* in different fertilization combination conditions

2.2　不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽生理分化期内源激素的影响

由表 3 可以看出:施肥处理下,油茶花芽生理分化期内源激素 ZR 含量为 6.34 ~ 11.34 ng · g^{-1},最高值出现在 T9,最低值出现在 T4,且 T9 与 T4 差异显著;内源激素 ABA 含量为 71.93 ~ 141.08 ng · g^{-1},最高值出现在 T8,最低值出现在 CK,且 T8 与 CK 差异显著;内源激素 IAA 含量为 10.92 ~ 35.11 ng · g^{-1},最高值出现在 T9,最低值出现在 CK,且 T9 与 CK 差异显著;内源激素 GA_3 含量为 1.62 ~12.65 ng · g^{-1},最高值出现在 T7,最低值出现在 T6,T6 与 CK 差异不显著,T7 与 T6 差异显著。由表 4 可以看出:在油茶花芽生理分化期,施氮、磷肥对内源激素 ZR 含量影响极显著($p < 0.01$),对内源激素 IAA 含量影响显著($p < 0.05$);施氮、磷、钾肥对内源激素 ABA 含量的影响极显著($p < 0.01$),对 GA_3 影响不显著。因此,在油茶花芽生理分化期,土壤中适量加施氮、磷肥可提高花芽内源激素 ZR 和 IAA 含量,适量加施氮、磷、钾肥可提高花芽内源激素 ABA 的含量。

表 3　施肥处理下油茶花芽内源激素含量

Table 3　Endogenous hormone contents of *C. oleifera* flower buds with fertilization

处理 Treatment	内源激素 Endogenous hormone /(ng · g^{-1})			
	ZR	ABA	IAA	GA_3
CK	7.94c	71.93f	10.92g	1.74i
T1	8.54b	93.30c	18.28d	10.90c
T2	6.97d	101.52b	16.91e	4.19f
T3	8.69b	85.65de	30.63b	3.45g
T4	6.34e	92.24c	14.58f	12.13b
T5	8.88b	83.09e	20.41c	6.30d
T6	8.81b	88.05d	17.08e	1.62i
T7	8.60b	91.90c	18.30d	12.65a
T8	7.17d	141.08a	11.63g	2.75h
T9	11.34a	103.32b	35.11a	5.67e

注:同一列不同小写字母表示达到新复极差检验 5% 显著水平;下同。

Note: In the same column, different lower case letters indicate 5% significant level of the multiple comparisons. Similarly hereinafter.

表 4　施肥处理对油茶花芽内源激素含量影响的方差分析

Table 4　Analysis of variance of the effect of fertilization on the endogenous hormone contents of *C. oleifera* flower buds

试验因素 Test factors	*df*	ZR		ABA		IAA		GA_3	
		SS	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*
N	2	20.595	30.442 **	2 960.057	47.249 **	312.413	4.832 *	8.165	0.237
P	2	22.778	33.669 **	957.441	15.283 **	318.198	4.921 *	13.744	0.400
K	2	1.357	2.005	2 853.146	45.543 **	53.955	0.834	26.351	0.766

注:* * 表示 $P < 0.01$, * 表示 $P < 0.05$;下同。

Note: * * : $P < 0.01$, * * : $P < 0.05$; Similarly hereinafter.

2.3　油茶花芽生理分化期内源激素与花芽分化率的相关性分析

花芽分化分为生理分化期和形态分化期,生理分化为形态分化奠定物质基础,其中,内源激素是影响花芽分化的关键因子。植物花芽生理分化期内源激素的含量水平在一定程度上影响花芽能否进行形态分化。本研究对施肥处理下油茶花芽生理分化期各内源激素含量与花芽分化率进行了相关性分析。由表 5 可以看出:在油茶花芽生理分化期,内源激素 ZR 与 IAA 呈强正相关,且相关性极显著;内源激素

ZR 与 ABA 呈弱正相关,与 GA_3 呈弱负相关,且相关性均不显著;内源激素 ZR 与花芽分化率不相关;内源激素 ABA 与花芽分化率呈中等正相关,且相关性显著;内源激素 ABA 与 IAA 呈弱正相关,且相关性不显著;内源激素 ABA 与 GA_3 呈中等正相关,且相关性显著;内源激素 IAA 与花芽分化率呈弱正相关,且相关性不显著;内源激素 IAA 与 GA_3 不相关;内源激素 GA_3 与花芽分化率呈弱相关,且相关性不显著。

表5 油茶花芽内源激素与花芽分化率间的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between the endogenous hormones and flower bud differentiation rate of *C. oleifera*

变量 Variable	ZR	ABA	IAA	GA_3	花芽分化率 Flower bud differentiation rate
ZR	1				
ABA	0.111	1			
IAA	0.776**	0.145	1		
GA_3	-0.100	0.405*	0.000	1	
花芽分化率 Flower bud differentiation rate	0.020	0.380*	0.210	0.162	1

2.4 不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽形态分化期内源激素的影响

2.4.1 油茶花芽内源激素 ZR 含量的变化 由表6可以看出:在油茶花芽形态分化过程中,各处理间花芽 ZR 含量存在差异,最低值在花瓣形成期,ZR 含量 2.11 ng·g^{-1},最高值在萼片形成期,ZR 含量 17.44 ng·g^{-1}。在萼片形成期,ZR 含量为 5.21 ~ 17.44 ng·g^{-1},最高值出现在 T8,最低值出现在 T4,T8 与对照组(CK)差异不显著,T8 与 T4 差异显著。在花瓣形成期,ZR 含量为 2.11 ~ 13.71 ng·g^{-1},最高值出现在 T7,最低值出现在 T3,且 T7 与 T3 差异显著。在雌雄蕊形成期,ZR 含量为 6.46 ~ 16.54 ng·g^{-1},最高值出现在 CK,最低值出现在 T1,T8 与 T1 差异不显著,且 CK 与 T1、T8 差异显著。在子房和花药形成期,ZR 含量为 2.60 ~ 15.49 ng·g^{-1},最高值出现在 T9,最低值出现在 T1,且 T9 与 T1 差异显著。在雌雄蕊成熟期,ZR 含量为 4.45 ~ 9.36 ng·g^{-1},最高值出现在 T7,最低值出现在 T9,且 T7 与 T9 差异显著。此外,由对照组(CK)花芽形态分化各时期 ZR 含量的变化可知:油茶花芽形态分化过程中 ZR 含量随着油茶花芽形态分化的进行而变化,总体上呈先上升后下降的趋势,说明在较低含量范围内,ZR 含量的增加有利于加快油茶花芽生殖生长锥的分化。由表7可以看出:施氮肥对雌雄蕊形成期花芽 ZR 含量影响显著($p < 0.05$),对雌雄蕊成熟期 ZR 含量影响不显著;施磷、钾肥对花瓣形成期 ZR 含量影响均不显著。施氮、磷、钾肥对其它各时期花芽 ZR 含量均影响极显著($p < 0.01$)。在萼片形成期和雌雄蕊形成期,土壤中施肥降低了花芽 ZR 含量。

表6 施肥处理下油茶花芽 ZR 含量

Table 6 ZR contents of *C. oleifera* flower buds with fertilization ng·g^{-1}

处理 Treatment	采样日期(月-日)Sample time (month-day)					
	06-04	06-15	06-26	07-10	08-02	08-21
CK	7.94c	17.44a	10.17c	16.54a	12.72b	6.68c
T1	8.54b	9.19f	9.15d	6.46h	2.60h	5.11f
T2	6.97d	16.45b	5.15g	14.54c	3.26g	5.94e
T3	8.69b	6.76g	2.11i	7.13g	5.95f	5.99e
T4	6.34e	5.21i	8.02e	11.77d	7.11e	6.98b
T5	8.88b	6.28h	7.63f	14.84c	6.18f	5.26f
T6	8.81b	10.15e	13.31b	7.59f	6.17f	5.31f
T7	8.60b	15.05c	13.71a	9.93e	12.00c	9.36a
T8	7.17d	17.44a	4.45h	6.56h	8.12d	6.23d
T9	11.34a	12.67d	5.00g	16.01b	15.49a	4.45g

注:06-04:前分化期;06-15:萼片形成期;06-26:花瓣形成期;07-10:雌雄蕊形成期;08-02:子房与花药形成期;08-21:雌雄蕊成熟期;下同。

Note: 06-04: Predifferentiation stage; 06-15: Sepal formation stage; 06-26: Petal formation stage; 07-10: Pistil and stamen formation stage; 08-02: Ovary and anther formation stage; 08-21: Pistil and stamen mature stage; Similarly hereinafter.

表7 施肥处理对油茶花芽 ZR 含量影响的方差分析

Table 7 Analysis of variance of the effect of fertilization on ZR contents of *C. oleifera* flower buds

试验因素 Test factors	*df*	06-04		06-15		06-26		07-10		08-02		08-21	
		SS	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*
N	2	20.595	30.442**	342.838	165.751**	127.120	7.627**	24.555	4.747*	207.408	225.541**	1.663	1.124
P	2	22.778	33.669**	64.085	30.983**	20.995	1.260	101.658	19.653**	51.335	55.823**	22.894	15.477**
K	2	1.357	2.005	75.799	36.646**	45.154	2.709	175.371	33.904**	129.154	140.446**	9.022	6.099**

2.4.2　油茶花芽内源激素 ABA 含量的变化　由表 8 可以看出:在油茶花芽形态分化过程中,各处理间花芽 ABA 含量存在差异,最低值在雌雄蕊形成期,ABA 含量 39.46 ng · g^{-1},最高值在前分化期,ABA 含量为 141.08 ng · g^{-1}。在萼片形成期,ABA 含量为 58.59 ～96.04 ng · g^{-1},最高值出现在 T1,最低值出现在 T6,且 T1 与 T6 差异显著。在花瓣形成期,ABA 含量为 61.29 ～77.95 ng. g^{-1},最高值出现在 T2,最低值出现在 T3,T2 与对照组(CK)、T6 差异不显著,T2 与 T3 差异显著。在雌雄蕊形成期,ABA 含量范围为 39.46 ～76.46 ng · g^{-1},最高值出现在 T1,最低值出现在 T7,T1 与 CK、T5 差异不显著,且 T1 与 T7 差异显著。在子房和花药形成期,ABA 含量为 51.46 ～69.08 ng · g^{-1},最高值出现在 CK,最低值出现在 T8,CK 与 T2、T3、T9 差异不明显,CK 与 T8 差异显著。在雌雄蕊成熟期,ABA 含量为 44.46 ～71.36 ng · g^{-1},最高值出现在 CK,最低值出现在 T8,且 CK 与 T8 差异显著。此外,由对照组(CK)花芽形态分化各时期 ABA 含量的变化可知,ABA 含量在油茶花芽形态分化过程中保持较高水平且相对较为稳定,说明较高含量的 ABA 有利于油茶花芽形态建成。由表 9 可以看出:施氮、磷、钾肥对子房与花药形成期花芽 ABA 含量影响不显著;施氮肥对萼片形成期 ABA 含量影响显著($p < 0.05$);施钾肥对萼片形成期 ABA 含量影响不显著,对花瓣形成期 ABA 含量影响显著($p < 0.05$)。施氮、磷、钾肥对其它各时期花芽 ABA 含量均影响极显著($p < 0.01$)。在子房与花药形成期,土壤中施肥对花芽 ABA 含量无显著影响。

表 8　施肥处理下油茶花芽 ABA 含量

Table 8　ABA contents of *C. oleifera* flower buds with fertilization　　ng · g^{-1}

处理 Treatment	采样日期(月 - 日)Sample time (month - day)					
	06 - 04	06 - 15	06 - 26	07 - 10	08 - 02	08 - 21
CK	71.93f	92.01b	77.06a	76.26a	69.08a	71.36a
T1	93.30c	96.04a	61.59d	76.46a	58.09c	52.81d
T2	101.52b	73.06e	77.95a	61.66e	69.05a	62.60b
T3	85.65de	76.40d	61.29d	63.94d	66.83a	50.80e
T4	92.24c	67.06fg	70.94b	62.95de	64.10b	44.67g
T5	83.09e	64.71g	65.03c	75.82a	53.53d	52.90d
T6	88.05d	58.59h	75.26a	66.33c	59.62c	57.11c
T7	91.90c	69.49f	63.83cd	39.46f	57.43c	56.20c
T8	141.08a	67.97f	66.71c	63.71de	51.46d	44.46g
T9	103.32b	87.15c	71.37b	70.16b	68.98a	46.90f

表 9　施肥处理对油茶花芽 ABA 含量影响的方差分析

Table 9　Analysis of variance of the effect of fertilization on ABA contents of *C. oleifera* flower buds

试验因素 Test factors	*df*	06 - 04		06 - 15		06 - 26		07 - 10		08 - 02		08 - 21	
		SS	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*
N	2	2 960.057	47.249 **	453.722	3.832 *	90.911	6.049 **	462.160	12.697 **	30.907	0.391	90.722	21.509 **
P	2	957.441	15.283 **	1269.401	10.721 **	588.524	39.156 **	1 541.054	42.338 **	153.998	1.947	102.237	24.239 **
K	2	2 853.146	45.543 **	288.330	2.435	65.939	4.387 *	460.333	12.647 **	13.782	0.174	667.368	158.221 **

2.4.3　油茶花芽内源激素 IAA 含量的变化　由表 10 可以看出:在油茶花芽形态分化过程中,各处理间花芽 IAA 含量存在差异,最低值在雌雄蕊成熟期,IAA 含量 10.05 ng · g^{-1},最高值在雌雄蕊形成期,IAA 含量为 104.92 ng · g^{-1}。在萼片形成期,IAA 含量为 23.63 ～99.72 ng · g^{-1},最高值出现在 T8,最低值出现在 T5,T8 与 T2 差异不显著,T8 与 T5 差异显著。在花瓣形成期,IAA 含量为 14.63 ～87.14 ng · g^{-1},最高值出现在对照组(CK),最低值出现在 T9,且 CK 与 T9 差异显著。在雌雄蕊形成期,IAA 含量为 12.11 ～104.92 ng · g^{-1},最高值出现在 CK,最低值出现在 T3,且 CK 与 T3 差异显著。在子房和花药形成期,IAA 含量为 15.66 ～88.41 ng · g^{-1},最高值出现在 T7,最低值出现在 T1,T7 与 T9 差异不显著,T7 与 T1 差异显著。在雌雄蕊成熟期,IAA 含量为 10.05 ～50.04 ng · g^{-1},最高值出现在 T7,最低值出现在 T9,且 T7 与 T9 差异显著。此外,由对照组(CK)花芽形态分化各时期 IAA 含量的变化可知,在油茶花芽形态分化过程中,IAA 含量呈先升高后下降趋势,说明 IAA 含量的增加有利于油茶花芽形态建成。由表 11 可以看出:施氮肥对花瓣形成期、雌雄蕊形成期和雌雄蕊成熟期花芽 IAA 含量影响显著($p < 0.05$);施磷肥对花瓣形成期 IAA 含量影响不显著;施氮、磷肥对前分化期 IAA 含量影响显著($p < 0.05$),施钾肥对前分化期 IAA 含量影响不显著。施氮、磷、钾肥对其它各时期花芽 IAA 含量均影响极显著($p < 0.01$)。在花瓣形成期和雌雄蕊形成期,土壤中施氮、钾肥降低了花芽 IAA 含量。

2.4.4　油茶花芽内源激素 GA_3 含量的变化　由表 12 可以看出:在油茶花芽形态分化过程中,各处理

间花芽 GA_3 含量存在差异，最低值在雌雄蕊成熟期，GA_3 含量 1.59 ng·g^{-1}，最高值在雌雄蕊形成期，GA_3 含量为 20.18 ng·g^{-1}。在萼片形成期，GA_3 含量为 4.16～17.10 ng·g^{-1}，最高值出现在对照组(CK)，最低值出现在 T5，且 CK 与 T5 差异显著。在花瓣形成期，GA_3 含量为 2.02～14.87 ng·g^{-1}，最高值出现在 T6，最低值出现在 T9，且 T6 与 T9 差异显著。在雌雄蕊形成期，GA_3 含量为 3.42～20.18 ng·g^{-1}，最高值出现在 T5，最低值出现在 T6，且 T5 与 T6 差异显著。在子房和花药形成期，GA_3 含量为 1.61～14.63 ng·g^{-1}，最高值出现在 T7，最低值出现在 T2，且 T7 与 T2 差异显著。在雌雄蕊成熟期，GA_3 含量为 1.59～11.53 ng·g^{-1}，最高值出现在 T7，最低值出现在 T5，且 T7 与 T5 差异显著。此外，由对照组(CK)花芽形态分化各时期 GA_3 含量的变化可知，在油茶花芽形态分化过程中，GA_3 含量的变化趋势为先上升后下降，说明在一定含量范围内，GA_3 含量的提高有利于油茶花芽形态建成。由表 13 可以看出：施氮、磷肥对花瓣形成期花芽 GA_3 含量影响不显著，施氮、钾肥对雌雄蕊成熟期花芽 GA_3 含量影响显著($p<0.05$)；施磷肥对萼片形成期和雌雄蕊成熟期花芽 GA_3 含量影响不显著。施氮、磷、钾肥对其它各时期花芽 GA_3 含量均影响极显著($p<0.01$)。在萼片形成期和花瓣形成期，土壤中施钾肥降低了花芽 GA_3 含量。

表 10 施肥处理下油茶花芽 IAA 含量

Table 10 IAA contents of *C. oleifera* flower buds with fertilization ng·g^{-1}

处理 Treatment	采样日期(月－日)Sample time (month－day)					
	06－04	06－15	06－26	07－10	08－02	08－21
CK	10.92g	95.91b	87.14a	104.92a	65.87b	11.39h
T1	18.28d	71.01d	68.50c	35.75f	15.66f	11.48h
T2	16.91e	97.20ab	23.76f	95.83b	21.71e	18.88e
T3	30.63b	55.03f	32.87e	12.11i	26.44d	21.88c
T4	14.58f	29.97g	33.56e	69.15e	26.77d	26.10b
T5	20.41c	23.63h	38.25d	81.77d	32.94c	20.21d
T6	17.08e	65.61e	75.56b	31.82g	26.40d	12.76g
T7	18.30d	92.65c	76.06b	67.17e	88.41a	50.04a
T8	11.63g	99.72a	22.44f	18.36h	21.55e	14.52f
T9	35.11a	92.03c	14.63g	89.95c	87.94a	10.05i

表 11 施肥处理对油茶花芽 IAA 含量影响的方差分析

Table 11 Analysis of variance of the effect of fertilization on IAA contents of *C. oleifera* flower buds

试验因素 Test factors	*df*	06－04		06－15		06－26		07－10		08－02		08－21	
		SS	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*
N	2	312.413	4.832*	15 254.373	86.739**	2 183.551	4.126*	788.353	3.848*	11 676.023	68.752**	449.162	4.969*
P	2	318.198	4.921*	2 235.716	12.713**	78.349	0.148	7 336.717	35.806**	2 529.716	14.896**	1 026.011	11.350**
K	2	53.955	0.834	483.205	2.748**	5 786.304	10.933**	13 783.124	67.268**	3 398.905	20.014**	1 116.865	12.355**

表 12 施肥处理下油茶花芽 GA_3 含量

Table 12 GA_3 contents of *C. oleifera* flower buds with fertilization ng·g^{-1}

处理 Treatment	采样日期(月－日)Sample time (month－day)					
	06－04	06－15	06－26	07－10	08－02	08－21
CK	1.74i	17.10a	14.61ab	15.83c	11.88c	2.49f
T1	10.90c	13.68e	14.18b	4.11h	5.78d	2.37f
T2	4.19f	15.37c	2.99g	17.42b	1.61h	2.68e
T3	3.45g	11.27g	3.94f	5.22f	2.43g	2.89d
T4	12.13b	10.46h	5.59e	11.98e	2.33g	7.06b
T5	6.30d	4.16i	8.81d	20.18a	4.79f	1.59g
T6	1.62i	12.99f	14.87a	3.42i	5.08ef	2.84d
T7	12.65a	15.36c	12.69c	12.01e	14.63a	11.53a
T8	2.75h	16.04b	5.19e	4.70g	5.40de	2.79de
T9	5.67e	14.74d	2.02h	14.08d	13.98b	3.59c

表 13 施肥处理对油茶花芽 GA_3 含量影响的方差分析

Table 13 Analysis of variance of the effect of fertilization on GA_3 contents of *C. oleifera* flower buds

试验因素 Test factors	*df*	06－04		06－15		06－26		07－10		08－02		08－21	
		SS	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*	*SS*	*F*
N	2	8.165	0.237	222.921	63.106**	64.991	2.215	65.757	14.380**	343.271	127.015**	52.545	5.208*
P	2	13.744	0.400	20.172	5.710	5.078	0.173	139.841	30.580**	142.215	52.621**	31.132	3.086
K	2	26.351	0.766	51.892	14.690**	205.231	6.995**	679.695	148.635**	43.744	16.186**	46.685	4.627*

3 讨论

植物花芽分化是植物生长发育中一个关键阶段，也是一个较复杂的形态建成过程。植物花芽分化受多种内外因子(环境条件、碳水化合物、内源激素等)的作用与调控[26-30]；而施肥可为植物花芽分化奠定更好的物质基础，促进花芽分化。本文研究不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽分化的影响，结

果表明,施用不同配比的氮、磷、钾肥显著提高了油茶花芽分化率。在试验氮、磷、钾施肥水平范围内,在土壤中适量加施氮、钾肥能提高油茶花芽分化率,这一结果在董运斋等[19]研究结果中得到佐证。花芽分化分为生理分化和形态分化,生理分化为形态分化奠定物质基础(营养物质、激素、遗传物质)[6]。油茶花芽前分化期为生理分化末期,此时花芽内源激素的含量水平在一定程度上影响花芽能否进行形态分化。在施肥处理下,油茶生理分化期内源激素 ABA 含量与花芽分化率呈中等正相关,且相关性显著,而施肥能提高花芽 ABA 含量。Okuda 等[33]研究认为,ABA 可促进花芽分化。在油茶花芽生理分化期,施肥可能通过提高花芽 ABA 含量来促进花芽分化,提高花芽分化率。此外,施氮、磷肥可提高花芽内源激素 ZR 和 IAA 含量,而 ZR、IAA、GA_3 与花芽分化率相关性不显著,这可能是由于较高含量的 ABA 在油茶花芽生理分化期起主导作用造成的。本文研究还表明,在油茶花芽形态分化过程中,适量加施氮、钾肥能提高花芽内源激素 ZR、IAA 和 GA_3 含量,降低 ABA 含量,这与何萍等[31]研究结果相一致,也在张雪芹等[32]研究结果中得到验证。由对照组花芽分化过程中内源激素的变化规律可知,在低含量范围内,内源激素 ZR、IAA 和 GA_3 含量的提高有利于油茶花芽分化;而 ABA 含量呈降低趋势,说明在一定含量范围内,降低花芽 ABA 含量能促进花芽形态建成。由此可知,在油茶花芽形态分化过程中,适量加施氮、钾肥可能通过提高花芽内源激素 ZR、IAA 和 GA_3 含量,降低 ABA 含量来促进油茶花芽形态建成。本研究仅对不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽分化过程中内源激素及花芽分化率的影响进行了初步研究,而关于不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽分化其它相关内部调控因子的影响还有待进一步研究与探讨。

4　结论

研究表明:在油茶花芽分化过程中,不同氮、磷、钾施肥配比对油茶花芽分化产生了一定程度的影响。在试验施肥水平范围内,在土壤中适量加施氮、钾肥能提高油茶花芽分化率;以花芽分化率为目标,建立数学模型,得出提高油茶花芽分化率的氮、磷、钾最佳施肥配比为 $N_{222.22}P_{81.83}K_{240.24}$。在油茶花芽生理分化期,施肥可能通过提高花芽内源激素 ABA 含量来促进花芽分化,提高花芽分化率。在油茶花芽形态分化期,适量加施氮、钾肥可能通过提高花芽内源激素 ZR、IAA 和 GA_3 含量,降低花芽 ABA 含量来促进油茶花芽形态建成。

参考文献:

[1] 张宏达, 任善湘. 中国植物志:第 49 卷第 3 分册[M]. 北京:科学出版社,1998:13 – 14.

[2] 何　方,胡芳名. 经济林栽培学[M]. 2 版. 北京:中国林业出版社,2004.

[3] 庄瑞林. 中国油茶[M]. 2 版. 北京:中国林业出版社,2008.

[4] 姚小华. 油茶资源与科学利用研究[M]. 北京:科学出版社,2012.

[5] 李　丽,吴雪辉,寇巧花. 茶油的研究现状及应用前景[J]. 中国油脂,2010,35(3):10 – 14.

[6] 陈永忠,罗　健,王　瑞,等. 中国油茶产业发展的现状与前景[J]. 粮食科技与经济,2013,38(1):10 – 12.

[7] Julian C,Herrero M,Rodrigo J. Flower bud differentiation and development in fruiting and non-fruiting shoots in relation to fruit set in apricot (*Prunus armeniaca* L.)[J]. Trees,2010,24(5):833 – 841.

[8] 曲　波,张　微,陈旭辉,等. 植物花芽分化研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(24):109 – 114.

[9] 彭向永. 雌、雄蒿柳花芽分化机制及性别决定基因挖掘[D]. 北京:中国林业科学研究院,2017.

[10] 温　玥,苏淑钗,马履一,等. 赤霉素处理对油茶花芽形成和果实品质的影响[J]. 浙江农林大学学报,2015,32(6):861 – 867.

[11] 胡玉玲. 普通油茶花发育和遗传转化体系构建初步研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.

[12] 胡玉玲,姚小华,任华东,等. 主要环境因素对油茶成花的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2015,23(2):211 – 217.

[13] 胡玉玲,姚小华,任华东,等. 普通油茶花芽分化过程春梢生理生化变化[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版,2016, 37(2):93 – 99.

[14] 丁　宁,沙建川,丰艳广,等. 晚秋叶施尿素提高矮化苹果翌春生长及果实品质的效果[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(6):1665 – 1671.

[15] 钱　桦,刘　燕,郑勇平,等. 施用 6-BA 对春石斛花芽分化及内源激素的影响[J]. 北京林业大学学报,2009,31(6):27 – 31.

[16] 曹尚银,汤一卒,张俊昌. GA_3 和 PP333 对苹果花芽形态建成及其内源激素比例变化的影响[J]. 果树学报,2001,18(6):313 – 316.

[17] 任开磊,郑益兴,吴疆翀,等. 配方施肥对辣木生长效应及其初果期产量构成的影响[J]. 林业科学研究,2016,29(6):820 – 825.

[18] 聂　艳. 乙烯利和多效唑对箭杜鹃观赏性状调控的生理基础及花芽分化进程研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2017.

[19] 董运斋,王四清. 氮磷钾配比对大花蕙兰花芽分化及开花品质的影响[J]. 北京林业大学学报,2005,27(3):76 – 78.

[20] 胡冬南,牛德奎,张文元,等. 钾肥水平对油茶果实性状及产量的影响[J]. 林业科学研究,2015,28(2):243 – 248.

[21] 沈兴亮,焦如珍. 细菌肥料对油茶幼林生长的影响[J]. 林业科学研究,2014,27(4):570 – 574.

[22] 罗汉东. 不同磷水平施肥对油茶生长及土壤环境动态影响[D]. 南昌:江西农业大学,2017.
[23] 曹永庆,任华东,林 萍,等. 油茶树体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.
[24] 陈永忠,彭邵锋,王湘南,等. 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,2007,20(5):650-655.
[25] 赫冬梅,胡国公,穆 琳. 烟草内源激素的酶联免疫吸附法(ELISA)测定[J]. 烟草科技,2000,5(2):41-42.
[26] Wieber E N. Effects of regulated deficit irrigation on fruit yield, quality and physiology of Washington navel orange trees[D]. California:California State University,2016.
[27] Szot I,Basak A,Lipa T,*et al*. The use of combined application of prohexadione-Ca and GA4+7 on the yield and growth of 'Braeburn Mariri Red' apple trees[J]. Acta Horticulturae,2016,11(38):35-44.
[28] Song Y,Ma K,Ci D,Z *et al*. Biochemical physiological and gene expression analysis reveals sex-specific differences in *Populus tomentosa* floral development[J]. Physiol Plant,2014,150(1):18-31.
[29] DeSoto L,Olano J M,Rozas V. Secondary growth and carbohydrate storage patterns differ between sexes in *Juniperus thurifera*[J]. Front Plant Sci,2016,7(23):1-12.
[30] Grochowska M J,Hodun M. The dwarfing effect of a single application of growth inhibitors to the root-stem connection-"the collar tissue"-of five species of fruit trees[J]. Journal of Pomology & Horticultural Science,1997,72(1):83-91.
[31] 何 萍,金继运. 氮钾营养对春玉米叶片衰老过程中激素变化与活性氧代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(4):289-295.
[32] 张雪芹,彭克勤,王少先,等. 缓释肥料对烤烟内源激素含量的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(4):378-382.
[33] Okuda H,Kihara T,Iwagaki I. Effects of cropping on photosynthesis,dark respiration,leaf ABA concentration and inflorescence induction in satsuma mandarin (*Citrus reticulate*)[J]. Engei Gakkai Zasshi,2008,7(64):9-16.

Effect of N, P, K Fertilization Proportion on Flower Bud Differentiation of *Camellia oleifera*

LUO Shuai, ZHONG Qiu-ping, GE Xiao-ning, CAO Lin-qing, GUO Hong-yan, YUAN Ya-qi, YUAN Ting-ting, YAN Chao

(Experimental Center for Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China)

Abstract: [**Objective**] To study the effect of N, P, K fertilization ratios on the flower bud differentiation of *Camellia oleifera* for the purpose of getting the optimum fertilization proportion and providing a reference for the efficient cultivation of *C. oleifera*. [**Method**] The test material was 8-year-old *C. oleifera* 'Changlin-4'. Orthogonal design $L_9(3^4)$ with 3 factors and 3 levels fertilization experiment was carried out. [**Result**] Within the test fertilizer levels, the results showed that adding N and K fertilizers to the soil significantly improved the rate of flower differentiation of *C. oleifera*; and the optimum N, P, K fertilization proportion was $N_{222.22}P_{81.83}K_{240.24}$. In the physiological differentiation stage of *C. oleifera* flower bud, fertilization could promote the flower bud differentiation by increasing ABA content, while the ABA content had a moderate positive correlation with flower bud differentiation rate, and the correlation was significant. The correlation between endogenous hormones (ZR, IAA, GA_3) and flower bud differentiation was not significant. In the flower bud morphological differentiation period, the application of N and K increased the flower bud contents of ZR, IAA and GA_3, decreased the ABA content of flower bud. And it promoted the flower bud morphogenesis of *C. oleifera*. [**Conclusion**] The appropriate ratio of NPK fertilization could promote flower bud differentiation and increase the rate of flower bud differentiation by affecting the level of endogenous hormones related to flower bud differentiation of *C. oleifera*.

Keywords: *Camellia oleifera*; fertilization proportion; flower bud differentiation

(责任编辑:金立新)