

氮磷钾配比施肥对油茶花芽生长及分化的影响

袁小军¹, 周幼成¹, 吴喜昌², 罗 帅¹, 郭和平², 葛晓宁¹, 袁雅琪¹

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600; 2. 分宜县林业局, 江西 分宜 336600)

摘 要: 为给油茶高效栽培提供参考, 选择 8 年生 ‘长林 53 号’ 油茶作为研究对象, 按照 3 因素 3 水平 $L_9(3^4)$ 正交试验设计进行施肥试验, 筛选最适油茶花芽分化及生长的施肥配比。施加的氮磷钾肥分别为尿素、钙镁磷肥、硫酸钾肥, 其有效成分分别为有效氮 (质量分数 $\geq 46.4\%$)、 P_2O_5 (质量分数 $\geq 12\%$)、 K_2O (质量分数 $\geq 51\%$)。结果表明: 施加氮肥能显著促进花芽伸长, 提高花芽分化率的最佳氮磷钾施肥量为 N 218.23 g/株、P 71.00 g/株、K 242.48 g/株; 在花芽生理分化期 (前分化期), 施肥处理显著提高了花芽中 ABA 和 ZR 含量, ABA 和 ZR 含量与花芽分化率显著正相关; 在花芽形态分化期, 施肥处理下 ABA 含量呈现下降趋势, ZR、IAA 和 GA_3 含量呈现增加趋势, 氮、磷、钾与多数形态分化期内源激素含量呈显著相关。施肥能促进花芽生长, 并且通过影响花芽中内源激素含量来影响花芽分化。

关键词: 油茶; 花芽分化; 植物内源激素; 配比施肥

中图分类号: S606; S794.4

文献标志码: A

文章编号: 1003—8981(2019)03—0001—08

Effects of N, P and K proportional fertilization on flower bud growth and differentiation in *Camellia oleifera*

YUAN Xiaojun¹, ZHOU Youcheng¹, WU Xichang², LUO Shuai¹, GUO Heping², GE Xiaoning¹, YUAN Yaqi¹

(1. Subtropical Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China; 2. Forestry Bureau of Fenyi County, Fenyi 336600, Jiangxi, China)

Abstract: In order to provide a reference for efficient cultivation of *C. oleifera*, eight-year-old *C. oleifera* ‘Changlin-53’ was selected as a research object, fertilization tests were carried out according to orthogonal design $L_9(3^4)$ with 3 factors and 3 levels, and the optimum fertilization proportion for flower bud differentiation and growth of *C. oleifera* was selected. Applied N, P, K fertilizers were urea, Ca/Mg/P fertilizer, K_2SO_4 fertilizer, and their active ingredients were effective nitrogen (mass fraction $\geq 46.4\%$), P_2O_5 (mass fraction $\geq 12\%$), and K_2O (mass fraction $\geq 51\%$), respectively. The results showed that applying N fertilizer could significantly promote flower bud growth, and the optimum fertilizer amount per plant for enhancing flower bud differentiation rate was N 218.23 g, P 71.00 g, K 242.48 g. In physiological differentiation stage of flower buds (predifferentiation stage), fertilization could significantly increase ABA and ZR contents in flower buds, which were significantly positively correlated with flower bud differentiation rate. In morphological differentiation stage of flower buds, ABA content showed a downward trend and contents of ZR, IAA and GA_3 showed an upward trend after fertilization treatment, N, P and K were significantly correlated with contents of endogenous hormones during most morphological differentiation stages. Fertilization could promote flower bud growth and influence flower bud differentiation by affecting endogenous hormone contents in flower buds.

Keywords: *Camellia oleifera*; flower bud differentiation; plant endogenous hormones; proportional fertilization

收稿日期: 2019-03-22

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 (CAFYBB2017MB021); “十三五”国家重点研发计划项目“林业资源培育及高效利用技术创新”子课题 (2017YFD060130402)。

作者简介: 袁小军, 高级工程师, 硕士。E-mail: 173736444@qq.com

引文格式: 袁小军, 周幼成, 吴喜昌, 等. 氮磷钾配比施肥对油茶花芽生长及分化的影响 [J]. 经济林研究, 2019, 37(3): 1-8, 36.

油茶 *Camellia oleifera* Abel. 为山茶科 Theaceae 山茶属 *Camelia* L. 植物, 属于小乔木或常绿灌木。在我国南方地区, 油茶作为一种重要的经济林木被大面积种植, 其籽仁含油量高, 是世界四大木本食用油料树种之一^[1]。茶油有较高的不饱和脂肪酸和维生素 E 含量, 是一种绿色天然、优质的食用植物油^[2-3]。在我国, 油茶栽培历史悠久, 20 世纪 60 年代开始大面积种植。目前, 油茶的种植面积和研究投入逐年增加, 在油茶良种选育、栽培和采收加工等方面取得一定成效, 但仍然存在花芽少、花芽分化率低和大小年等现象, 导致油茶单位面积产量偏低、经济效益差^[4-7]。

植物花芽分化是一个复杂的生理过程, 受内部和外部多种因素共同调控, 温度和光照是目前研究较多的外部影响因子, 其次是水分与矿物质^[8-12]。在植物生长发育过程中, 矿质营养起到至关重要的作用, 为其生长提供必要的养分, 也是花芽分化及花器官形成过程中重要的影响因素^[13-14]。有研究表明, 通过施肥增加矿质营养含量可调节植物内源激素水平, 显著促进植物花芽分化^[15-17]。

目前, 国内学者就施肥对油茶生长的影响进行了相关研究, 研究结果表明, 施氮、磷、钾肥能够促进油茶春梢及树体的生长^[18-19], 增施钾肥可提高油茶单株结实数量, 有效改善果实性状^[20]。曹永庆等^[21]探究了油茶树体对氮、磷、钾元素的吸收和积累规律, 发现油茶在不同生长期对氮、磷、钾元素的吸收和积累存在差异, 但关于施肥对油茶花芽分化及生长影响的研究报道较为鲜见。笔者选择‘长林 53 号’油茶 *C. oleifera* ‘Changlin-53’ 作为研究对象, 按照 3 因素 3 水平 $L_9(3^4)$ 正交试验设计进行施肥试验, 探究氮磷钾配比施肥对油茶花芽生长分化的影响, 分析内源激素含量变化对花芽生理分化期和形态分化期的作用机理, 以期得到提高油茶花芽分化率的最佳施肥配比, 为油茶的高效合理施肥提供参考。

1 材料与方

1.1 试验地概况

选择中国林业科学研究院亚热带林业实验中心‘长林 53 号’油茶无性系示范林地 (27°48'46"N, 114°39'47"E) 作为试验用地。该实验中心位于江西省新余市分宜县, 属亚热带季风性湿润气候, 年均降水量 1 650 mm, 平均海拔 81 m, 土壤为低山丘陵红壤, 年均气温 15.58 °C, 全年无霜期约为 260 d。

1.2 试验材料

2017 年 5 月, 在‘长林 53 号’优良无性系示

范林内选取 8 年生油茶植株作为试验材料。选取的油茶植株树冠丰满、生长良好、树体大小一致, 苗木地径 6.5 ~ 9.5 cm, 树高 1.7 ~ 2.6 m, 冠幅 1.7 ~ 2.4 m。

1.3 试验设计和处理

设置 N 肥、P 肥、K 肥 3 个试验因素, 按照 $L_9(3^4)$ 正交试验设计进行施肥处理, 各因素及水平见表 1。具体施用肥料分别为尿素、钙镁磷肥、硫酸钾, 尿素中有效氮质量分数为 46.4%, 钙镁磷肥中 P_2O_5 质量分数为 12%, 硫酸钾中 K_2O 质量分数为 51%, 施肥组合见表 2。

表 1 油茶氮磷钾配比施肥试验各因素施用水平
Table 1 Application levels of each factors in N/P/K proportional fertilization tests for *C. oleifera* g/株

试验因素 Test factor	水平间距 Level range	施肥水平 Fertilization level		
		1	2	3
氮肥 N fertilizer	80.0	80.0	160.0	240.0
磷肥 P fertilizer	40.0	40.0	80.0	120.0
钾肥 K fertilizer	120.0	120.0	240.0	360.0

表 2 油茶氮磷钾配比施肥试验施肥组合设计
Table 2 Design of fertilizer combinations in N/P/K proportional fertilization tests for *C. oleifera* g/株

处理编号 Treatment No.	平均施肥量 Average fertilizer application amount		
	氮肥 N fertilizer	磷肥 P fertilizer	钾肥 K fertilizer
G ₁	240.0	80.0	360.0
G ₂	240.0	120.0	120.0
G ₃	160.0	40.0	360.0
G ₄	160.0	120.0	240.0
G ₅	160.0	80.0	120.0
G ₆	80.0	120.0	360.0
G ₇	80.0	40.0	120.0
G ₈	240.0	40.0	240.0
G ₉	80.0	80.0	240.0
CK	0.0	0.0	0.0

2017 年 5 月 10 日, 采用沟施的方式在试验地对 9 个处理组进行施肥, 对照组 (CK) 不进行施肥处理, 共计 10 个处理。每个处理组选择 6 株 8 年生油茶, 在处理间留一行作为保护行, 处理内留 2 株作为保护株, 本试验中不考虑交互作用。

1.4 样品采集和测定

2017 年 5 月 10 日开始施肥试验, 施肥处理 23 d 后开始采样。共采样 6 次, 具体采样时间及对应的花芽分化期为: 6 月 2 日 (前分化期)、6 月 14 日 (萼片形成期)、6 月 26 日 (花瓣形成

期)、7月8日(雌雄蕊形成期)、7月30日(花药与子房形成期)、8月20日(雌雄蕊成熟期)。

采样时,选取油茶树冠外围春梢上生长状况相近的嫩芽,每棵树取2枚,每次共取12枚(前期为混合的花芽和叶芽)。用游标卡尺迅速测定芽横向长度,取平均值记为芽长;测定芽纵向长度,取平均值记为芽宽。然后,用锡纸密封进行液氮速冻处理,存于-80℃超低温冰箱中,用于激素含量测定。

在花芽形态分化结束时,在每棵树东西南北4个方向,各选取2条新梢,记录新梢叶芽与花芽数,取平均值,计算花芽分化率^[22]。将12枚花芽(前期为混合芽)研磨成粉末,取1g,采用酶联免疫法^[23-24],测定4种花芽内源激素ABA、ZR、GA₃、IAA含量。

花芽分化率=(花芽数/芽总数)×100%。

1.5 统计分析

采用Excel 2016软件分析统计原始数据,采用SPSS 17.0软件对试验数据进行方差分析和多重比较,采用DPS7.05等软件进行二次多项式逐步

回归分析。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾肥配比施肥对油茶花芽生长的影响

各氮磷钾配比施肥处理下花芽长度见表3。由表3可知,在前分化期,处理组与CK的芽长均存在显著性差异,各处理间芽长差异较大。G₂、G₃、G₄处理与CK在萼片形成期、花瓣形成期、雌雄蕊形成期始终保持显著性差异,G₂、G₃、G₄处理间差异在逐渐缩小。在子房与花药形成期,处理组与CK差异显著。当花芽处于雌雄蕊成熟期时,花芽趋于成熟,由施肥产生的生长差异已不显著,处理组与CK差异不断缩小。

各氮磷钾配比施肥处理下花芽宽度见表4。由表4可知,在油茶花芽分化过程中,施肥处理可促进花芽伸长。在花芽分化前期,养分的增加使花芽迅速生长分化,并产生显著性差异。随着花芽趋于成熟,处理组间生长差异已不显著,处理组与CK间生长差异逐渐缩小。

表3 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽的长度[†]

Table 3 Flower bud lengths in *C. oleifera* under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates mm

处理编号 Treatment No.	06-02	06-14	06-26	07-08	07-30	08-20
G ₂	3.16±0.20 bc	6.04±0.25 ab	8.16±0.60 bc	11.37±0.37 ab	12.92±0.87 a	14.50±0.65 ab
G ₃	3.12±0.40 bc	6.36±0.59 a	9.34±2.11 ab	11.12±0.97 ab	12.83±0.84 a	14.02±1.07 ab
G ₄	2.77±0.59 c	5.81±0.44 abc	9.87±0.60 a	10.04±0.61 abc	12.98±1.34 a	14.47±0.87 ab
G ₅	2.96±0.48 c	4.45±0.26 e	6.90±1.18 c	9.88±1.27 abc	12.77±1.09 a	14.90±0.38 ab
G ₆	3.36±0.71 bc	5.20±0.69 cde	6.91±0.63 c	10.14±0.22 abc	12.53±1.54 a	14.25±1.33 ab
G ₇	2.90±0.60 c	4.70±0.37 e	6.46±0.15 c	9.66±0.92 bc	11.18±0.53 ab	14.18±0.61 ab
G ₈	4.49±0.41 a	5.55±0.37 bcd	6.56±0.42 c	8.85±0.73 c	12.52±0.20 a	13.36±0.85 b
G ₉	3.64±1.31 b	4.46±1.59 e	7.70±0.45 c	9.66±0.43 bc	12.92±0.67 a	13.25±0.24 b
CK	2.02±0.56 d	4.98±0.42 de	7.71±0.47 c	8.69±1.47 c	10.00±1.59 b	13.33±1.72 b

[†] 数据为平均值±标准差,同列相同小写字母表示不同处理间差异不显著,不同小写字母表示差异达到显著水平(P<0.05)。下同。

Data are average±standard error. The same lowercases in a column show no significant difference, and different lowercases show significant differences (P<0.05). The same as below.

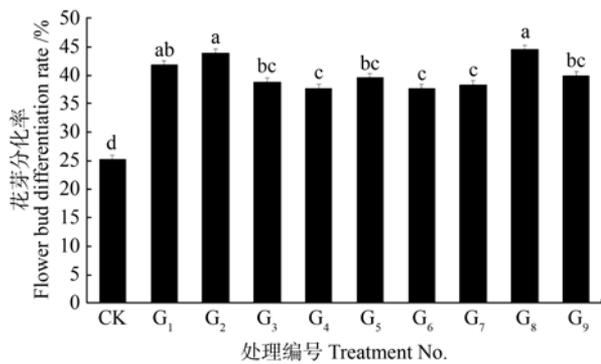
表4 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽的宽度

Table 4 Flower bud widths in *C. oleifera* under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates mm

处理编号 Treatment No.	06-02	06-14	06-26	07-08	07-30	08-20
G ₁	3.10±0.11 ab	3.40±0.31 b	4.35±0.28 bc	6.25±0.38 ab	6.82±0.23 ab	7.23±0.54 a
G ₂	2.81±0.22 bc	3.77±0.21 ab	4.45±0.40 bc	6.82±0.50 a	7.46±0.32 a	7.02±0.24 ab
G ₃	2.83±0.19 bc	3.78±0.28 ab	4.82±0.72 b	6.34±0.41 ab	6.80±0.53 abc	6.63±0.43 ab
G ₄	2.52±0.37 c	3.61±0.29 b	5.77±0.29 a	6.33±0.21 ab	7.49±0.62 a	6.93±0.48 ab
G ₅	2.65±0.11 c	3.41±0.19 b	4.08±0.65 c	5.76±0.51 bc	6.59±0.22 bc	7.31±0.22 a
G ₆	2.91±0.43 bc	3.44±0.51 b	3.92±0.21 c	5.79±0.31 bc	6.49±0.60 bc	7.36±0.53 a
G ₇	2.68±0.22 bc	3.28±0.16 b	3.87±0.22 c	5.81±0.37 bc	6.23±0.12 bc	6.76±0.44 ab
G ₈	3.38±0.17 a	4.30±0.64 a	3.92±0.14 c	5.20±0.37 c	6.58±0.23 bc	6.92±0.11 ab
G ₉	2.85±0.12 bc	3.30±0.03 b	4.52±0.12 bc	5.81±0.37 bc	6.86±0.40 ab	7.16±0.35 a
CK	2.12±0.07 d	3.50±0.25 b	4.37±0.29 bc	5.13±0.23 c	6.07±0.12 c	6.31±0.30 b

2.2 氮磷钾配比施肥对油茶花芽分化率的影响

氮磷钾配比施肥对花芽分化率的影响如图1所示。由图1可知,在各施肥处理中, G_8 花芽分化率最高(43.59%), G_6 花芽分化率最低(36.64%), G_8 、 G_2 、 G_1 为施加氮肥量最高的3个处理,其花芽分化率高于其他处理,氮肥的施加会促进花芽分化,提高花芽分化率。CK 花芽分化率最低(24.30%),各施肥处理的花芽分化率均显著高于CK。



不同小写字母表示不同处理间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。
Different lowercases show differences were significant between different treatments ($P < 0.05$).

图1 氮磷钾配比施肥处理下油茶花芽的分化率
Fig. 1 Flower bud differentiation rates in *C. oleifera* under N/P/K proportional fertilization treatments

对油茶花芽分化率与施肥量进行单因素效应分析,所得单因素效应方程如下。

$$Y_1 = -0.000362X_1^2 + 0.158X_1 + 24.561 \quad (R^2 = 0.895, P = 0.0004 < 0.01); \quad (1)$$

$$Y_2 = -0.003000X_2^2 + 0.426X_2 + 24.402 \quad (R^2 = 0.848, P = 0.0002 < 0.01); \quad (2)$$

$$Y_3 = -0.000299X_3^2 + 0.145X_3 + 24.356 \quad (R^2 = 0.858, P = 0.0002 < 0.01). \quad (3)$$

式中, Y 表示芽分化率, X_1 表示施氮量, X_2 表示施磷量, X_3 表示施钾量,单位是 g/株。

分别对单因素效应方程式(1)(2)(3)进行求导可知,当 $X_1 = 218.23$, $X_2 = 71.00$, $X_3 = 242.48$ 时, Y 值最大。将油茶花芽分化率与施肥量进行二次多项式逐步回归分析,得出其回归方程:

$$Y = 18.95 - 0.15X_1 - 0.11X_2 + 0.32X_3 + 0.0007X_1^2 - 0.00041X_2^2 - 0.00052X_3^2 + 0.00068X_1X_2 - 0.00037X_1X_3. \quad (4)$$

式中, $R^2 = 0.9895$, 调整 $R_j^2 = 0.9792$, $F = 54.0166$ 。

将 $X_1 = 218.23$, $X_2 = 71.00$, $X_3 = 242.48$ 代入回归方程式(4),得出 Y 最大值 47.65%,所以有利于花芽生长分化的最佳氮磷钾施肥量为 N

218.23 g/株、P 71.00 g/株、K 242.48 g/株。

2.3 氮磷钾配比施肥对油茶花芽前分化期内源激素含量的影响

氮磷钾配比施肥对花芽前分化期4种激素含量的影响见表5。由表5可知,在前分化期,油茶花芽中内源激素 ABA 质量分数为 68.16 ~ 148.31 ng/g,最高值出现在 G_2 ,最低值出现在 G_3 ,且 G_2 与 G_3 处理花芽中 ABA 含量差异显著, G_2 与 CK 处理花芽中 ABA 含量差异显著;内源激素 ZR 质量分数为 6.54 ~ 10.14 ng/g,最高值出现在 G_8 ,最低值出现在 CK,且 G_8 与 CK 处理花芽中 ZR 含量差异显著;内源激素 GA_3 质量分数为 1.57 ~ 11.97 ng/g,最高值出现在 G_1 ,最低值出现在 G_5 , G_1 与 G_5 处理花芽中 GA_3 含量差异显著, G_1 与 CK 处理花芽中 GA_3 含量差异显著;内源激素 IAA 质量分数为 19.45 ~ 51.89 ng/g,最高值出现在 G_2 ,最低值出现在 CK,且 G_2 与 CK 处理花芽中 IAA 含量差异显著。

对表5中试验结果进行方差分析,结果见表6。由表6可知,在前分化期,施氮、磷、钾肥对花芽中 ABA 和 IAA 含量影响极显著,施磷肥对花芽 ZR 含量影响极显著,施氮肥对 GA_3 含量影响极显著 ($P < 0.01$);施钾肥对 ZR 和 GA_3 含量影响不显著。因此,在油茶前分化期,土壤中施加适量氮肥可提高花芽中 ZR 和 GA_3 的含量,施加适量氮、磷、钾肥可提高花芽中 ABA 和 IAA 的含量。

表5 氮磷钾配比施肥处理下油茶花芽前分化期花芽中4种激素的含量

Table 5 Contents of four hormones in *C. oleifera* flower buds during flower bud predifferentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments ng/g

处理编号 Treatment No.	ABA	ZR	GA_3	IAA
G_1	117.49 c	7.58 d	11.97 a	44.76 c
G_2	148.31 a	8.29 c	11.31 b	51.89 a
G_3	68.16 h	8.78 b	3.33 e	23.50 g
G_4	84.33 fg	7.80 d	4.83 d	22.97 g
G_5	107.26 d	8.93 b	1.57 h	40.45 d
G_6	116.79 c	8.32 c	2.60 f	23.64 g
G_7	95.06 e	8.87 b	3.28 e	32.70 e
G_8	134.45 b	10.14 a	9.39 c	25.62 f
G_9	87.57 f	8.32 c	2.47 f	48.67 b
CK	80.41 g	6.54 e	1.69 g	19.45 h

对施肥处理下花芽前分化期4种内源激素的含量与花芽分化率进行了相关性分析,结果见表7。由表7可知,ABA 含量与 IAA 含量、花芽分化率相关性均显著;ZR 含量与花芽分化率相关性显著;

ZR 含量与 ABA 含量、IAA 含量、GA₃ 含量相关性均不显著；IAA 含量与花芽分化率、GA₃ 含量

相关性均不显著；GA₃ 含量与花芽分化率相关性不显著。

表 6 氮磷钾配比施肥处理下油茶花芽前分化期花芽中4种激素含量的方差分析[†]
Table 6 Variance analysis of four hormone contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud predifferentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments

试验因素 Test factor	自由度 Degree of freedom	ABA		ZR		GA ₃		IAA	
		平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F
氮肥 N fertilizer	2	10 494.078	44.196**	0.169	0.281	373.063	169.783**	624.625	9.919**
磷肥 P fertilizer	2	1 422.974	5.993**	6.822	11.345**	4.996	2.274	1 413.805	22.452**
钾肥 K fertilizer	2	1 432.338	6.032**	1.508	2.507	1.596	0.727	633.099	10.054**

[†] “***”表示处理间差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)，“*”表示处理间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。
“***” indicates a significant difference between treatments ($P < 0.01$), and “*” indicates a significant difference between treatments ($P < 0.05$).

表 7 油茶花芽中内源激素含量与花芽分化率之间的相关性[†]
Table 7 Correlation between endogenous hormone contents and flower bud differentiation rate in *C. oleifera* flower buds

相关指标 Related index	ABA	ZR	GA ₃	IAA	花芽分化率 Flower bud differentiation rate
ABA	1				
ZR	0.470	1			
GA ₃	0.445	-0.192	1		
IAA	0.804**	0.576	0.063	1	
花芽分化率 Rate of flower bud differentiation	0.675*	0.712*	0.198	0.525	1

[†] “***”表示指标间相关性达到极显著水平 ($P < 0.01$)，“*”表示指标间相关性达到显著水平 ($P < 0.05$)。
“***” indicates a significant correlation between indexes ($P < 0.01$), and “*” indicates a significant correlation between indexes ($P < 0.05$).

2.4 氮磷钾配比施肥对油茶花芽形态分化期内源激素含量的影响

2.4.1 对油茶花芽中 ABA 含量的影响

氮磷钾配比施肥处理下油茶花芽形态分化期花芽中 ABA 含量见表 8。由表 8 可知，在油茶花芽形态分化期，花芽中 ABA 质量分数为 23.92 ~ 94.21 ng/g，各处理间 ABA 含量存在差异。油茶花芽形态分化各时期的 ABA 含量总体处于较高水平，但呈现逐渐减少的趋势，对照组 CK 中 ABA 含量总体处于中等水平；在 G₁、G₂ 和 G₈ 处理中，ABA 含量在花芽形态建成初期保持较高的水平，随着花芽形态分化的进行逐渐降低，说明施加大量氮肥可以降低花芽中 ABA 含量。

对表 8 中结果进行方差分析和多重比较，结果见表 9。由表 9 可知，在油茶花芽形态建成过程中，施加氮肥对雌雄蕊成熟期 ABA 含量影响不显著，对其余 4 个时期 ABA 含量均有显著或极显著影响；施加磷肥对雌雄蕊形成期 ABA 含量影响不显著，对其余 4 个时期 ABA 含量均有显著或

极显著的影响；施加钾肥对萼片形成期和雌雄蕊形成期 ABA 含量影响不显著，对其余 3 个时期 ABA 含量影响极显著。由上述分析可知，在雌雄蕊形成期，施肥对油茶花芽中 ABA 含量影响不显著，在其余 4 个时期，施加氮磷钾肥能降低花芽中 ABA 含量，说明低水平的 ABA 有利于油茶花芽形态建成。

表 8 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中 ABA 含量

Table 8 ABA contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates

处理编号 Treatment No.	06-14	06-26	07-08	07-30	08-20
G ₁	94.21 a	57.77 e	63.37 b	26.52 i	67.55 b
G ₂	77.76 b	83.28 b	66.46 a	37.78 f	49.29 e
G ₃	55.84 e	50.86 f	55.69 d	41.39 e	92.57 a
G ₄	59.94 d	50.54 f	49.71 e	33.89 h	23.92 g
G ₅	58.69 d	93.50 a	50.11 e	44.41 d	41.40 f
G ₆	46.66 g	57.41 e	54.52 d	35.48 g	42.44 f
G ₇	51.97 f	43.55 g	40.29 f	62.04 a	42.01 f
G ₈	71.88 c	69.20 c	58.94 c	48.26 c	60.63 c
G ₉	77.10 b	56.16 e	64.37 b	62.88 a	66.95 b
CK	72.71 c	63.79 d	54.31 d	51.26 b	55.26 d

2.4.2 对油茶花芽中 ZR 含量的影响

氮磷钾配比施肥处理下油茶花芽形态分化期花芽中 ZR 含量见表 10。由表 10 可知，花芽中 ZR 质量分数为 4.56 ~ 16.52 ng/g，施肥处理间 ZR 含量存在差异，施肥处理与对照处理 CK 间 ZR 含量存在差异，在 CK 中 ZR 含量始终处于较高水平，处理组含量总体处于较低水平。说明在一定范围内，施肥处理会影响 ZR 含量的变化，使其含量发生小范围波动，ZR 含量的增加或减少对花芽分化产生一定影响，会促进或抑制其形态建成。

表 9 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中 ABA 含量的方差分析[†]Table 9 Variance analysis of ABA contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates

试验因素 Test factor	自由度 Degree of freedom	06-14		06-26		07-08		07-30		08-20	
		平方和 Sum of squares	<i>F</i>								
氮肥 N fertilizer	2	3 151.987	45.368**	2 238.246	5.177*	664.822	11.209**	1 331.998	61.019**	368.718	1.104
磷肥 P fertilizer	2	1 545.252	22.242**	2 326.053	5.380*	275.030	4.637	1 004.872	46.033**	3 444.353	10.315**
钾肥 K fertilizer	2	212.836	3.063	3 637.736	8.414**	180.423	3.042	1 134.453	51.969**	2 614.198	7.829**

† “**”表示不同处理间差异达到极显著水平 ($P < 0.01$), “*”表示不同处理间差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

“***” indicates a significant difference between treatments ($P < 0.01$), and “*” indicates a significant difference between treatments ($P < 0.05$). The same as below.

表 10 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中 ZR 含量

Table 10 ZR contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates ng/g

处理编号 Treatment No.	06-14	06-26	07-08	07-30	08-20
G ₁	9.06 f	15.14 bc	15.85 a	8.89 d	16.19 a
G ₂	15.45 a	12.64 d	15.32 ab	7.24 g	12.25 d
G ₃	10.80 d	4.56 h	11.15 e	7.71 f	5.18 h
G ₄	11.12 d	12.18 e	14.93 bc	5.79 h	13.06 c
G ₅	13.39 c	8.60 g	13.76 d	7.17 g	8.19 f
G ₆	9.59 e	15.54 a	15.11 b	8.15 e	16.52 a
G ₇	14.45 b	10.90 f	14.38 cd	13.77 b	10.62 e
G ₈	11.01 d	12.34 de	14.89 bc	12.67 c	7.42 g
G ₉	14.84 b	15.47 ab	15.95 a	13.51 b	15.59 b
CK	15.74 a	14.93 c	15.07 bc	14.68 a	15.62 b

对表 10 中结果进行方差分析和多重比较, 结果见表 11。由表 11 可以看出, 当花芽处于萼片形

成期时, 施氮肥对花芽 ZR 含量影响不显著, 对其余 4 个时期花芽 ZR 含量影响极显著; 施磷肥对萼片形成期花芽 ZR 含量影响不显著, 对其余 4 个时期花芽 ZR 含量有极显著影响; 施钾肥对花芽形态分化各时期 ZR 的含量均有极显著影响。在雌雄蕊形成期、子房与花药形成期、雌雄蕊成熟期, 施肥会降低花芽中 ZR 含量, 可能是低水平的 ZR 更有利于后期的花芽形态建成。

2.4.3 对油茶花芽中 GA₃ 含量的影响

氮磷钾配比施肥处理下油茶花芽形态分化期花芽中 GA₃ 含量见表 12。由表 12 可知, 在油茶花芽形态分化不同时期, 施肥处理间 GA₃ 含量存在差异, 花芽中 GA₃ 质量分数为 1.42 ~ 18.84 ng/g。处理组 GA₃ 含量在花芽分化初期上升, 后期又下降到一定值, CK 对照组 GA₃ 含量维持在较高水平, 施肥处理对花芽形态分化不同时期 GA₃ 的含量产生不同的影响, 在一定含量范围内, GA₃ 含量的变化会影响油茶花芽形态建成。

表 11 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中 ZR 含量的方差分析

Table 11 Variance analysis of ZR contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates

试验因素 Test factor	自由度 Degree of freedom	06-14		06-26		07-08		07-30		08-20	
		平方和 Sum of squares	<i>F</i>	平方和 Sum of squares	<i>F</i>						
氮肥 N fertilizer	2	8.028	2.480	165.428	97.595**	23.558	36.562**	109.294	1 195.608**	133.933	35.364**
磷肥 P fertilizer	2	0.781	0.241	96.421	56.884**	16.954	26.313**	86.407	945.243**	209.998	55.448**
钾肥 K fertilizer	2	96.032	29.665**	31.224	18.421**	6.804	10.561**	26.118	285.717**	25.007	6.603**

对表 12 中结果进行方差分析和多重比较, 结果见表 13。由表 13 可知, 施氮肥对花芽形态分化各时期 GA₃ 含量均产生极显著影响; 施磷肥对萼片形成期的花芽 GA₃ 含量影响不显著, 对其余 4 个时期花芽 GA₃ 的含量影响极显著; 施钾肥对雌雄蕊成熟期花芽 GA₃ 含量影响不显著, 对其余 4 个时期花芽 GA₃ 含量影响显著或极显著。可见, 在油茶花芽形态分化过程中, 不同含量水平的内

源激素 GA₃ 对花芽形态建成产生不同影响。

2.4.4 对油茶花芽中 IAA 含量的影响

氮磷钾配比施肥处理下油茶花芽形态分化期花芽中 IAA 含量见表 14。由表 14 可知, 在油茶花芽形态分化不同时期, 施肥处理间花芽中 IAA 的含量存在差异, IAA 质量分数为 19.45 ~ 107.12 ng/g, 各处理间 IAA 含量维持在较高的水平, 并且呈现先升高后下降的趋势, CK 对照

组中 IAA 含量稳定维持在较高的水平, 说明施肥处理影响花芽中 IAA 含量, 其含量随油茶花芽形态建成而波动, 对花芽生长起到不同程度的促进作用。

表 12 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中GA₃含量
Table 12 GA₃ contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates

处理编号 Treatment No.						处理编号 Treatment No.					
	06-14	06-26	07-08	07-30	08-20		06-14	06-26	07-08	07-30	08-20
G ₁	12.23 d	15.59 c	16.53 b	17.99 b	18.00 ab	G ₆	12.48 d	16.32 b	18.16 a	1.87 h	18.43 a
G ₂	18.07 a	14.86 d	18.17 a	5.90 e	11.69 e	G ₇	17.01 b	11.55 f	18.65 a	17.83 b	13.88 d
G ₃	12.00 d	3.21 h	11.89 d	4.33 f	4.70 f	G ₈	12.37 d	15.04 d	16.51 b	17.40 c	2.33 g
G ₄	11.91 d	13.81 e	18.84 a	3.37 g	17.03 c	G ₉	17.14 b	18.07 a	16.94 b	16.03 d	17.75 b
G ₅	15.12 c	4.01 g	14.22 c	1.42 i	2.39 g	CK	17.70 ab	18.02 a	18.22 a	18.51 a	18.06 ab

表 13 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中GA₃含量的方差分析
Table 13 Variance analysis of GA₃ contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates

试验因素 Test factor	自由度 Degree of freedom	06-14		06-26		07-08		07-30		08-20	
		平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F
氮肥 N fertilizer	2	28.947	8.664**	406.149	204.974**	40.968	14.024**	591.278	32.614**	353.593	10.544**
磷肥 P fertilizer	2	4.948	1.481	115.482	58.281**	40.779	13.959**	471.508	26.008**	355.774	10.609**
钾肥 K fertilizer	2	93.711	28.050**	144.269	72.809**	18.030	6.172**	98.502	5.433*	91.305	2.723

表 14 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中IAA含量
Table 14 IAA contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates

处理编号 Treatment No.	06-14	06-26	07-08	07-30	08-20
G ₁	54.83 g	91.79 b	101.77 a	107.12 a	99.68 a
G ₂	94.32 a	83.27 e	97.77 b	46.48 f	72.20 d
G ₃	65.34 f	19.55 i	78.62 e	46.83 f	35.93 f
G ₄	68.75 e	65.57 g	94.55 c	38.97 g	68.99 e
G ₅	90.32 b	40.42 h	91.53 c	20.49 h	24.21 g
G ₆	83.01 c	86.54 cd	91.86 c	64.28 e	102.23 a
G ₇	91.16 b	74.98 f	98.33 b	95.98 b	68.04 e
G ₈	76.64 d	84.56 de	85.70 d	92.18 c	72.05 d
G ₉	95.21 a	87.89 c	94.27 c	88.92 d	85.29 c
CK	89.56 b	97.93 a	92.92 c	91.54 c	95.97 b

对表 14 中结果进行方差分析和多重比较, 结果见表 15。由表 15 可知, 施氮肥对花芽分化各时期 IAA 含量有极显著或显著影响; 在萼片形成期, 施磷肥对花芽 IAA 的含量影响不显著, 对其余 4 个时期花芽 IAA 的含量均有极显著影响; 施钾肥对雌雄蕊形成期花芽 IAA 的含量影响不显著, 对其余 4 个时期花芽 IAA 的含量均有极显著影响。经分析可知, 在萼片形成期和子房及花药形成期, 土壤中适量加施氮、钾肥可提高花芽 IAA 含量; 在花瓣形成期和雌雄蕊形成期, 土壤中施氮、钾肥可能会降低花芽 IAA 含量; 在雌雄蕊成熟期, 土壤中适量加施磷、钾肥可提高花芽 IAA 含量, IAA 含量的变化对花芽分化产生影响。

表 15 氮磷钾配比施肥处理下不同采样日期油茶花芽形态分化期花芽中IAA含量的方差分析
Table 15 Variance analysis of IAA contents in *C. oleifera* flower buds during flower bud morphological differentiation stage under N/P/K proportional fertilization treatments on different sampling dates

试验因素 Test factor	自由度 Degree of freedom	06-14		06-26		07-08		07-30		08-20	
		平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F	平方和 Sum of squares	F
氮肥 N fertilizer	2	1 308.075	13.127**	11 141.018	122.618**	271.053	5.722*	13 296.280	50.278**	9 766.667	83.423**
磷肥 P fertilizer	2	84.176	0.845	1 694.610	18.651**	365.642	7.719**	4 024.159	15.217**	2 272.123	19.407**
钾肥 K fertilizer	2	2 638.573	26.479**	1 053.611	11.596**	137.970	2.913	2 107.078	7.968**	3 115.860	26.614**

3 结论与讨论

油茶产量与花芽生长状况密切相关, 花芽生长分化受内外多种因素影响, 其中矿质营养不但为油茶提供生长所需的养分, 而且在花芽分化及花器官形成过程中起到关键作用^[25-27]。

本试验中研究了氮磷钾配比施肥对‘长林 53 号’油茶花芽生长分化的影响, 结果表明: 在分化前期, 花芽处于迅速生长阶段, 对矿质营养需求明显, 与对照相比施肥处理能显著促进花芽生长, 且各处理间存在差异, 其中氮肥能显著促进花芽伸长, 随着花芽的生长分化, 施肥所带来的生长差异逐渐缩小, 在分化后期, 处理组与对照之间差异已不显著。

在探究施肥处理下内源激素含量与花芽分化的关系时发现: 在花芽生理分化期(前分化期), 施肥处理提高了花芽中 ABA、ZR 含量, ABA、ZR 含量与花芽分化率显著正相关, 有研究表明 ABA 可促进花芽分化^[28], 而 IAA、GA₃ 与花芽分化率相关性不显著, 可能是由于 ABA 和 ZR 在前分化期对花芽分化起主导作用; 在花芽形态分化过程中, 施肥处理下 ABA 含量呈下降趋势, ZR、IAA 和 GA₃ 含量呈增加趋势, 氮、磷、钾施肥因素与多个分化期的内源激素含量显著相关, 这与张雪芹等^[29] 和何萍等^[30] 对植物激素含量变化的研究结果相似。其中, 施加氮肥和钾肥能提高油茶花芽分化率。以氮、磷、钾施肥量为自变量, 花芽分化率为因变量, 建立数学模型, 得出最佳氮磷钾施肥量为 N 218.23 g/株、P 71.00 g/株、K 242.48 g/株, 这与董运斋等^[31]、罗帅等^[32] 的研究结果相似。

综上所述, 在花芽分化前期, 施加氮肥能促进花芽生长, 通过增加花芽中 ABA、ZR 含量促进花芽分化, 在花芽分化后期, 施肥产生的影响逐渐缩小, 并且通过减少花芽中 ABA 含量影响花芽分化。但本试验中仅研究了配比施肥对花芽生长和分化的影响, 初步探究了施肥处理下油茶芽长和芽宽的变化以及内源激素含量变化与花芽分化的关系, 其中 P、K 等矿质元素的作用还需探究, 花芽生长分化是极其复杂的过程, 关于温度、光照、遗传物质等其他因素的影响还需更深入地探究。

参考文献:

- [1] 姚小华, 王开良, 任华东, 等. 油茶资源与科学利用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [2] 张党权, 谭晓风, 陈鸿鹏. 油茶油脂的生物合成及调控基因的特性[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(5): 106-111.
- [3] 朱勇, 王湘莹, 马锦林, 等. 不同物种油茶籽仁含油率及其茶油的脂肪酸组成[J]. 经济林研究, 2013, 31(2): 134-137.
- [4] 国家林业局. 全国油茶产业发展规划(2009—2012)[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009: 2-9.
- [5] 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.
- [6] 陈永忠, 王德斌, 彭邵锋, 等. 油茶优良杂交组合选育研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(4): 27-35.
- [7] 姜志娜. 油茶低产林分类改造技术研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [8] 马月萍, 戴思兰. 植物花芽分化机理研究进展[J]. 分子植物育种, 2003, 1(4): 539-545.
- [9] 朱周俊, 袁德义, 范晓明, 等. 植物生长调节剂对锥栗花芽性别分化及结果枝生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(1): 63-66.
- [10] 曾骧. 果树的花芽分化(二): 影响花芽分化的外因和调控措施[J]. 植物杂志, 1985(3): 30-31.
- [11] 王庆贺, 李亚东, 张志东, 等. 生态条件对越橘花芽分化的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(6): 705-710.
- [12] 邵爱玲, 李建安, 刘儒, 等. 高等植物花芽分化机理研究进展[J]. 经济林研究, 2010, 28(2): 131-136.
- [13] 严江勤, 曹永庆, 姚小华. 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.
- [14] SRINIVASAN C, MULLINS M G. Physiology of flowering in the grapevine. A review[J]. Am J Enol Vitic, 1981, 32(1): 47-63.
- [15] 陈永忠, 王湘南, 彭邵锋, 等. 植物生长调节剂对油茶果实含油率的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(1): 25-29.
- [16] 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.
- [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] 李青, 胡冬南, 张慧, 等. 不同类型肥料对油茶春梢生长和果形指数及果实产量的影响[J]. 经济林研究, 2012, 30(4): 36-40.
- [19] 朱丛飞, 罗汉东, 胡冬南, 等. 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.
- [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] 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.
- [22] 贾婷婷, 苏淑钗, 马履一, 等. 不同库源关系对油茶花芽分化的影响[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(9): 50-53.
- [23] ZHAO J, LI G, YI G X, *et al.* Comparison between conventional indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay (icELISA) and simplified icELISA for small molecules[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 571(1): 79-85.
- [24] YANG Y M, XU C N, WANG B M, *et al.* Effects of plant growth regulators on secondary wall thickening of cotton fibres[J]. Plant Growth Regulation, 2001, 35(3): 233-237.

