植物营养与肥料学报 2013,19(2):387-395
Plant Nutrition and Fertilizer Science doi: 10.11674/zwyf.2013.0215

水、肥和芸苔素内酯对油茶叶片养分、种仁出油率和开花量的影响

周裕新[1,3], 郭晓敏[1], 鲁顺保[1,2], 胡玉玲[1,4], 胡冬南[1], 牛德奎[1], 涂淑萍[1*]
(1 江西农业大学园林与艺术学院, 江西南昌 330045; 2 江西师范大学生命科学学院,江西南昌 330022;
3 江西省吉安市林业局,江西吉安 343000; 4 中国林业科学院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400)

摘要: 油茶(*Camellia oleifera* Abel)是世界四大木本油料树种之一,本试验选择油茶优良无性系长林166品系为研究对象,采用五因素五水平,二次正交旋转试验设计,1/2实施,共36个处理,研究水、氮、磷、钾和芸苔素内酯(brassinolides,简称BRs)及其耦合作用对油茶叶片氮、磷、钾含量、开花数量及种仁出油率的影响,以期为油茶速生丰产栽培提供科学依据。结果表明:1)在5个试验因子中,对油茶叶片氮、磷、钾含量、开花数量及种仁出油率的影响,均以喷施BRs的处理最大,灌水量次之,而施肥量的影响最小;2)各处理对油茶叶片含氮量和开花数量的影响可较好地运用二次多项式方程进行曲线拟合,且试验重复性较好,各处理对油茶叶片钾、磷含量及种仁出油率的影响,运用二次多项式方程拟合较差,但由于试验重复性较好,故在实际应用中仍具有一定的借鉴价值;3)5个因素单独作用时,油茶叶片含氮量和含钾量均随其用量的增加呈先降低后升高的变化趋势,叶片含磷量则随用量的增加呈先增加后降低的变化趋势,但对种仁出油率和开花数量的影响没有表现出明显的规律性。

关键词: 油茶; 芸苔素内酯; 水和肥; 开花数量; 出油率; 叶片营养
中图分类号: S794.4.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)02-0387-09

Effect of water, nutrient and brassinolides on number of blossom, leaf nutrition and seed oil content of *Camellia oleifera*

ZHOU Yu-xin[1,3], GUO Xiao-min[1], LU Shun-bao[1,2], HU Yu-ling[1,4], HU Dong-nan[1], NIU De-kui[1], TU Shu-ping[1*]
(*1 College of Landscape and Art, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2 College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 3 Forestry Bureau of Ji'an City, Ji'an, Jiangxi 343000, China; 4 Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang, Zhejiang 311400, China*)

Abstract: In order to provide a scientific basis for fast growing of *Camellia oleifera*, effects of water, nitrogen, phosphorus, potassium and brassinolides (BRs) and their coupling on the leaf NPK contents, flowering and seed kernel oil rate of Camellia (*Camellia oleifera* Abel) were studied by the five factors and five levels, two orthogonal rotation experimental design and 1/2 implementation. There were 36 treatments. The results show that in the five test factors, BRs is more sensitive to leaf NPK contents, flowering and seed kernel oil rate of *Camellia oleifera*, followed by the amount of water. BRs and water are the key factors for *Camellia oleifera* growth, and fertilizer (NPK) relatively little sensitivity to different growth indexes. The leaf N content and flower amount are good fitting into quadratic polynomial equations, and the reproducibility is good. The leaf potassium and phosphorus contents and seed kernel oil yield of *Camellia oleifera* by using quadratic polynomial equations are poor, and the experiment

收稿日期: 2012-05-02 **接受日期:** 2012-11-02
基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目[2011]TK056号; 国家科技部农业成果转化资金项目(2010GB2C500233);江西省教育厅项目(GJJ11399);国家"十一五"科技支撑项目(2009BADB1B0202); 国际植物营养研究所(IPNI)项目(Jiangxi-29); 江西省科技厅重大招标项目(20041A0500200); 江西省自然科学基金项目(2007GZN0242,20114BAB214007); 上海威敌生物公司产学研合作项目资助。
作者简介: 周裕新 (1974—),男,江西奉新人,博士研究生,主要从事森林培育研究。E-mail: jalyj304@sina.com
* 通信作者 E-mail: jxtsping@163.com

still has some reference value for good reproducibility. The trends of leaf nitrogen and potassium contents of *Camellia oleifera* are first decreased and then increased. The trend of leaf phosphorus content is first increased and then decreased with the use one of water, N, P, K and BRs. There is no apparent regularity in the seed kernel oil rate and the flowering.

Key words: *Camellia oleifera*; BRs; water and fertilizer; number of flower; oil yield rate; leaf nutrition

油茶(*Camellia oleifera* Abel)是世界四大著名木本油料树种之一,是我国南方特有的木本食用油料树种,由于茶油对人体具有重要的保健功能,因此深受市场青睐[1-2]。近年来,油茶高产栽培技术及施肥技术日益受到关注,施肥(氮、磷、钾)及植物生长调节剂芸苔素内酯(BRs)在油茶丰产优质高产栽培方面的研究已有报道[3-6],并取得了一些有价值的成果。水分是植物赖以生存的物质,是各种生理生化反应的介质,水分供应不足,油茶会出现"七月干籽,八月干油"和推迟开花等现象[7-8]。但目前,有关水、肥与植物生长调节剂耦合对油茶生长发育等方面的研究鲜有报道,为此,针对水、肥和植物生长调节剂对油茶生长发育的影响进行了多因素多水平的试验,旨在探索多因素协同作用对油茶生长发育的影响及其规律,为进一步探讨油茶速生丰产系统技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江西省吉安市永丰县藤田镇,属亚热带东部季风性湿润气候区,雨量充沛,日照充足,年平均气温18 ℃,1月平均气温8～9 ℃,7月平均气温28～29 ℃,年平均降水量1577.4 mm,年平均无霜期279 d,平均有效积温5723.4℃,平均相对湿度81%。林地地势平缓,为花岗岩母质发育而成的红壤,土层厚度大于40 cm。油茶林龄为5a,栽植密度为2.0 m×2.0 m。土壤养分含量采用ASI法[9]测定,土壤pH值为4.4～5.7,含铵态氮5.4 mg/L,硝态氮2.3 mg/L,有效磷4.3 mg/L,有效钾40.5 mg/L。

1.2 试验材料

试验材料为中国林科院亚林中心提供的长林系列166号油茶品系;芸苔素内酯(BRs)由上海威敌生物南昌公司提供;氮肥为尿素(N ≥46%),磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 ≥16%),钾肥为氯化钾(K_2O ≥60%)。

1.3 试验设计

选择生长状况相对一致的油茶林地,试验设五因素(氮、磷、钾、灌水、芸苔素内酯)五水平1/2实施,各因素水平编码见表1。采用DPS12.1[10]软件进行二次正交旋转设计,共36个处理(见表2)。每个处理10株,处理间设置保护行,施肥在2010年4月进行,采用沟施;芸苔素内酯喷施时间分别为2010年4月、7月和9月,于无雨、少风的下午进行,采用叶面喷施;灌水在7月份的连续晴天进行,每5 d浇灌一次。

1.4 测定项目及方法

测定项目有叶片氮、磷、钾含量、油茶种仁出油率以及开花数量等。叶片采集和采果时间同时在2010年10月23日进行。叶片相关指标测定是在每处理各棵树上4个方向各取6～8片健康的当年生叶,叶片氮含量(不含硝态氮)用凯氏定氮法,磷

表1 因素水平编码

Table 1 Coding of factors and levels

试验因素 Factors	变化间距 Range	水平(5因素1/2实施) Levels(5 factors 1/2 implementation)				
		-2	-1	0	1	2
氮 N(g/plant)	60	0	60	120	180	240
磷 P(P_2O_5)(g/plant)	30	0	30	60	90	120
钾 K(K_2O)(g/plant)	60	0	60	120	180	240
水 H_2O(kg/plant)	5	0	5	10	15	20
芸苔素内酯 BRs(mg/L)	0.025	0	0.025	0.050	0.075	0.1

注(Note): BRs—Brassinolides.

表 2　油茶叶片养分、种仁出油率及开花数量

Table 2　Contetns of nutrients in leaf, number of flowers and seed oil content of *Camellia oleifera*

处理 Treat.	氮 N (mg/g)	磷 P (mg/g)	钾 K (mg/g)	出油率 Oil rate (%)	开花数 Flowers (No./plant)	处理 Treat.	氮 N (mg/g)	磷 P (mg/g)	钾 K (mg/g)	出油率 Oil rate (%)	开花数 Flowers (No./plant)
1	11.56	0.37	5.98	41.89	8	19	11.15	0.15	4.87	40.14	25
2	11.56	0.31	5.35	49.11	3	20	11.9	0.27	4.92	39.57	87
3	12	0.3	6.5	48.91	8	21	11	0.2	4.6	36.45	19
4	13	0.3	6.01	46.86	10	22	11	0.27	4.3	43.11	11
5	13	0.3	5.7	33.14	75	23	11	0.3	3.9	43.45	50
6	12	0.4	5.7	38.53	12	24	12	0.1	4.8	43.91	70
7	13	0.2	5.4	41.56	25	25	11	0.58	4.87	47.51	22
8	15	0.32	6.07	41.91	57	26	9.3	0.19	4.63	46.39	23
9	12	0.3	6.1	45.34	19	27	10	0.5	5.1	41.85	6
10	14	0.39	4.72	44.81	55	28	10	0.41	4.86	42.15	14
11	11	0.22	5.84	41.88	14	29	10	0.28	4.65	48.73	32
12	12	0.3	5.1	42.29	6	30	9.4	1.1	3.9	42.27	7
13	11	0.3	5.3	38.46	18	31	8.4	0.7	3.3	47.2	63
14	10.5	0.54	4.85	43.02	52	32	9.98	0.24	3.72	44.13	53
15	13	0.3	4.9	40.44	142	33	11	2.6	2.8	46.95	43
16	11	0.3	5.3	44.6	51	34	9	0.2	4.5	41.65	84
17	10.8	0.46	4.6	41.4	312	35	10.5	0.19	4.34	34.49	37
18	10	0.3	4.2	41.15	184	36	10	0.1	4.2	38.63	34

用钼锑抗比色度法，钾用火焰光度法测定[11]。种仁出油率用索氏抽提法测定[12]。开花数量采用计数法。

1.5　数据处理

利用 DPS 12.01、Microsoft Office Excel 2003 等统计软件对数据进行处理分析,显著性水平为 $\alpha=0.05$。

2　结果与分析

2.1　不同处理对油茶叶片氮含量的影响

2.1.1 各因素耦合作用对叶片含氮量影响的回归分析　不同处理叶片含氮量见表 2,对各处理与叶片含氮量进行二次多项式回归,得回归方程(1)：

$$Y=16.807+0.016X_1-0.048X_2-0.051X_3-0.197X_4-91.766X_5+0.001X_2^2+0.022X_4^2+437.013X_5^2-0.001X_1X_4+0.038X_1X_5-0.003X_2X_4+0.420X_2X_5+0.001X_3X_4+0.244X_3X_5-1.904X_4X_5 \quad (1)$$

式中：X_1、X_2、X_3、X_4、X_5 分别代表 N、P、K、H_2O 和 BRs(下同),相关系数 $R^2=0.8197$。

对不同处理油茶叶片含氮量进行方差分析,经回归系数显著性检验得出 $P=0.0095<0.05$,说明二次回归方程能较好地拟合不同因素处理对油茶叶片含氮量的影响;而失拟性检验得出 $P=0.1300>0.05$,说明该试验重复性较好;从回归方程系数的大小可以看出,5 个因素对叶片含氮量影响权重大小依次是 BRs > H_2O > K > P > N;由 DPS 分析可知,当每株施 N 240 g、P_2O_5 0 g、K_2O 0 g、H_2O 20 kg、BRs 浓度为 0(mg/L)时,叶片含氮量最高达到 28.23 mg/g。当叶片含氮量大于 12.61 mg/g,在 95% 的分布区间内各因素取值范围分别为每株 121.99 g < N < 129.52 g、59.51 g < P_2O_5 < 63.37 g、114.77 g < K_2O < 122.58 g、9.47 kg < H_2O < 10.123

kg、0.046 mg/L < BRs 浓度 < 0.049 mg/L。当叶片含氮量大于 12.61 mg/g,在 2086 个方案中(平均预期产出为 15.51)各变量取值的频率分布见表 3。

2.1.2 各单因子对叶片含氮量影响 5 个因素中,当其只存在一个因素,其他因素为零时,5 个因素对叶片含氮量的影响差异明显,从图 1 可以看出,施氮、磷和浇水对叶片含氮量影响的变化趋势一致,随着氮、磷施入量和浇水量的增加,叶片氮含量增加。施钾和喷施 BRs 对叶片氮含量的影响一致,随着二者施入量的增加,叶片含氮量呈下降趋势,与施氮、施磷和浇水的效果正好相反。

表 3 不同处理对叶片氮含量在各水平下取值频率分布

Table 3 Frequency distribution of leaf N content in different treatments

水平 Level	氮 N		磷 P		钾 K		H_2O		BRs	
	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency
-2	422	0.2	469	0.22	511	0.24	524	0.25	496	0.24
-1	376	0.18	376	0.18	391	0.19	393	0.19	420	0.2
0	367	0.18	338	0.16	317	0.15	314	0.15	368	0.18
1	422	0.2	392	0.19	367	0.18	352	0.17	375	0.18
2	499	0.24	511	0.24	500	0.24	503	0.24	427	0.2

注(Note): BRs—芸苔素内酯 Brassinolides; FN—Frequency number.

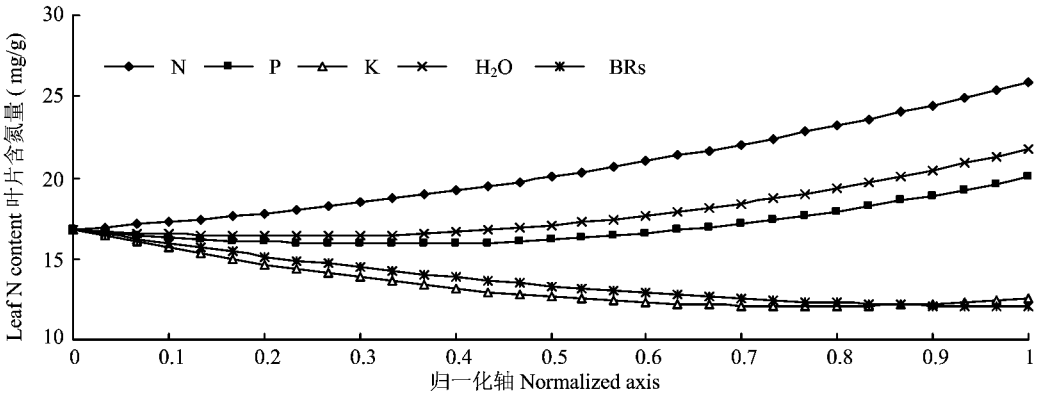

图 1 不同因素对叶片氮含量影响

Fig.1 Effects of different factors on leaf N content

2.2 不同处理对叶片磷含量影响

2.2.1 各因素耦合作用对叶片含磷量影响的回归分析 各处理油茶叶片的含磷量如表 2 所示,经回归分析,得出二次多项式回归方程(2):

$$Y = -0.306 + 0.002X_1 + 0.007X_2 + 0.006X_3 + 0.053X_4 + 2.271X_5 - 0.004X_4^2 - 64.808X_5^2 + 0.010X_1X_5 + 0.028X_2X_5 \quad (2)$$

其中相关系数 $R^2 = 0.1471$。回归系数显著性检验 $P = 0.1$,回归系数差异不显著,因此回归方程拟合较差,说明各因素耦合作用对叶片含磷量影响的规律性不强,但失拟性检验也为 0.1,大于 0.05,说明试验重复性非常好。

从以上的回归方程一次项系数可以看出,5 个因子对叶片磷含量影响的权重为 BRs > H_2O > P > K > N,当每株施 N 91.01 g、P_2O_5 54.72 g、K_2O 136.84 g、H_2O 8.91 kg、BRs 浓度 0.036 mg/L 时叶片含磷最多达到 0.64 mg/g,由于指标临界值太大,不能形成优化方案。

2.2.2 各单因子对叶片含磷量的影响分析 5 个因素中,当其只存在一个因素,其他因素为零时,从 X 轴归一化 X - Y 图(图 2)可以看出,各因素对叶片含磷量的影响曲线都呈现类似开口朝下的抛物

线,在开始都出现一定的增加,然后出现下降趋势。钾的施入没有抑制叶片对磷的积累,并在不同程度上促进了叶片对磷的积累,但是随着钾施入量的增加,叶片含磷量增加幅度不断变小。土壤灌水达到了一定量后,叶片中含磷水平逐渐下降,由于整个灌水量的曲线在施钾曲线之下,说明灌水对叶片磷含量的影响没有比施钾的影响大。施磷浓度较低时,比较施钾及灌溉处理,对叶片磷含量影响较缓慢。随着施用浓度的增加,叶片磷含量呈直线下降,最终叶片磷含量比其他 4 个因素都低。施氮和喷芸苔素内酯对叶片含磷量的影响比较接近,随着施用量的增加,两者曲线接近平行。从 5 个因素分析来看,当施入量相对较低时更有利于叶片磷的积累,因此生产上不宜过量增加该 5 个因素的用量,否则,不仅仅是浪费,还会对植物产生伤害。

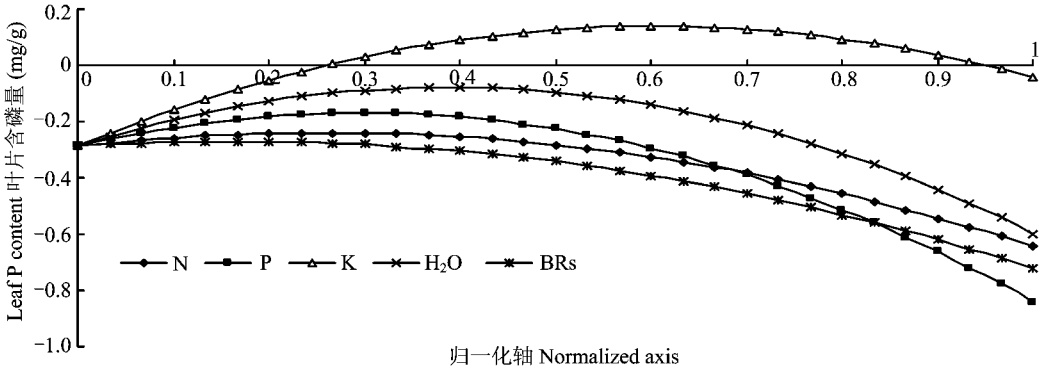

图 2　不同因素对叶片磷含量影响

Fig. 2　Effects of different factors on leaf P content

2.3　不同处理对叶片钾含量的影响

2.3.1 各因素耦合作用对叶片含钾量影响的回归分析　不同处理叶片钾含量见表 2，采用 DPS12.1 软件进行不同组合叶片钾含量二次多项式回归,得回归方程(3)：

$$Y = 8.298 - 0.003X_1 - 0.047X_2 - 0.016X_3 - 0.215X_4 - 37.543X_5 + 0.008X_4^2 + 475.102X_5^2 - 0.029X_1X_5 + 0.002X_2X_4 - 0.061X_2X_5 + 0.001X_3X_4 - 0.413X_4X_5 \quad (3)$$

其中相关系数 $R^2 = 0.6196$。经回归系数显著性检验得 $P = 0.35$,大于 0.05,因此回归方程拟合较差,表明各因素耦合作用对叶片含钾量的影响复杂,不能通过回归曲线较好地反映，而失拟性检验为 0.33 大于 0.05,表明试验重复性较好。

从回归方程(3)一次项系数的大小可以看出,5 个因子对叶片含钾量影响的权重依次为 BRs > H_2O > P > K > N。当每株施 N 0 g、P_2O_5 120 g、K_2O 240 g、H_2O 20 kg、BRs 浓度 0 mg/L 时,叶片含钾最多达到 11.55 mg/g。通过 DPS 分析发现,当叶片含钾量大于 5.70 mg/g 时,在 95% 水平下分布区间内各因素取值范围分别为每株 123.89 g < N < 131.17 g、58.27 g < P_2O_5 < 61.99 g、112.28 g < K_2O < 119.55 g、10.36 kg < H_2O < 10.96 kg、0.049 mg/L < BRs 浓度 < 0.052 mg/L。叶片含钾大于 5.70 mg/g 时,2318 个方案中各变量取值的频率分布情况见表 4,叶片平均含钾量预期为 7.07 mg/g。

2.3.2 各单因子对叶片含钾量的影响分析　从 X 轴归一化 X - Y（图 3）可以看出,5 个因素中,当其他因素为零,只有一个因子存在时,所有因素对叶片钾含量的影响,出现一致的变化趋势,即施用量低时略有下降,随着施用量的增加叶片含钾量增加。其中施氮对叶片钾含量增加量最大,其次是 BRs。

2.4　不同处理对种仁出油率的影响

2.4.1 各因素耦合作用对种仁出油率影响的回归分析　不同处理种仁出油率见表 5,经二次多项式回归分析,得回归方程(4)：

$$Y = 0.3748 + 0.001X_3 - 0.002X_4 - 0.490X_5 + 17.875X_5^2 - 0.001X_1X_5 - 0.012X_2X_5 - 0.003X_3X_5 - 0.013X_4X_5 \quad (4)$$

其中相关系数 $R^2 = 0.5193$。经回归系数显著性检验 P 值为 0.68,大于 0.05,因此回归方程拟合

表4 不同处理对叶片钾含量在各变量取值的频率分布

Table 4 Frequency distribution of K content in leaves

水平 Level	氮 N		磷 P		钾 K		H_2O		BRs	
	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency
-2	487	0.21	573	0.25	566	0.24	452	0.19	575	0.25
-1	389	0.17	406	0.18	449	0.19	405	0.17	417	0.18
0	376	0.16	344	0.15	381	0.16	412	0.18	333	0.14
1	475	0.2	431	0.19	418	0.18	481	0.21	408	0.18
2	591	0.25	564	0.24	504	0.22	568	0.25	585	0.25

注(Note): BRs—芸苔素内酯 Brassinolides; FN—Frequency number.

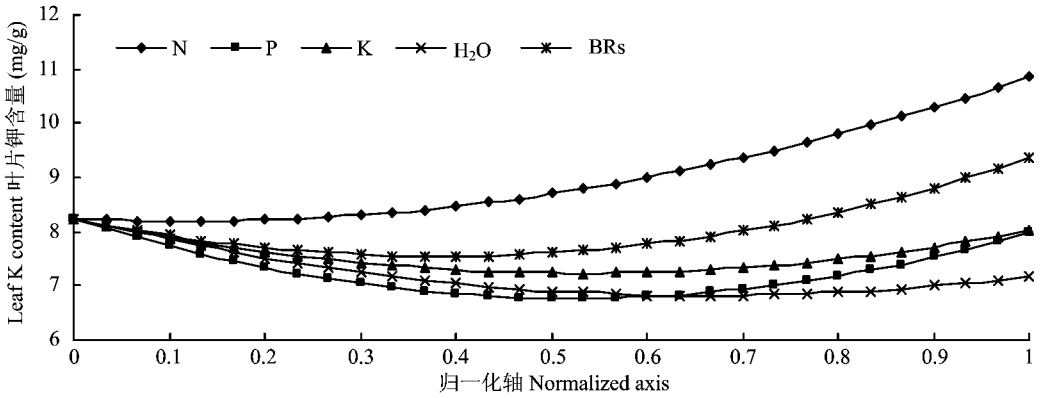

图3 不同因素对叶片钾含量影响

Fig. 3 Effects of different factors on K content in leaves

较差,表明各因素耦合作用对种仁出油率影响的规律性不强,失拟性检验为 $P=0.62$,大于0.05,表明试验重复性较好。

从回归方程系数可以看出,5个因子对种仁出油率影响权重依次是BRs > H_2O > K > N > P,当N为240 g、P_2O_5 为120 g、K_2O 为240 g、H_2O 为0 kg、BRs浓度为0 mg/L时,理论出油率最高达到60.2%,由DPS分析发现,当出油率大于46%时,在95%的分布区间内各因素取值范围分别是每株:130.28 g < N < 141.55 g、75.22 g < P_2O_5 < 80.26 g、122.43 g < K_2O < 133.14 g、7.78 kg < H_2O < 8.76 kg和0.043 mg/L < BR浓度 < 0.049 mg/L,平

表5 不同处理对种仁出油率在各变量取值的频率分布

Table 5 Frequency distribution of seed oil contents in different treatments

水平 Level	氮 N		磷 P		钾 K		H_2O		BRs	
	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency
1	137	0.16	75	0.086	131	0.15	275	0.32	300	0.34
2	147	0.17	107	0.12	172	0.2	180	0.21	159	0.18
3	163	0.19	180	0.21	197	0.23	138	0.16	71	0.081
4	197	0.23	249	0.29	198	0.23	129	0.15	72	0.083
5	228	0.26	261	0.3	174	0.2	150	0.17	270	0.31

注(Note): BRs—芸苔素内酯 Brassinolides; FN—Frequency number.

均预期产出 49.3%。出油率大于 0.46 时,872 个方案中各变量取值的频率分布情况见表 5,平均出油率为 0.49。

2.4.2 各单因子对种仁出油率的影响分析　从 X 轴归一化 X－Y 图(图 4)可以看出,5 个因素中,当其他因子为零时,各因素对种仁出油率影响有一定差异,随着 BRs 喷施量增加,开始出油率影响不明显,到后来出现明显上升的趋势,磷素情况刚好相反,灌水量和施氮量对出油率影响较小,随着量的增加出油率有小幅增加,钾素较其他 4 个因素影响最明显,当钾素施入增加时,出油率明显增加,最后出油率出现了恒定的趋势。

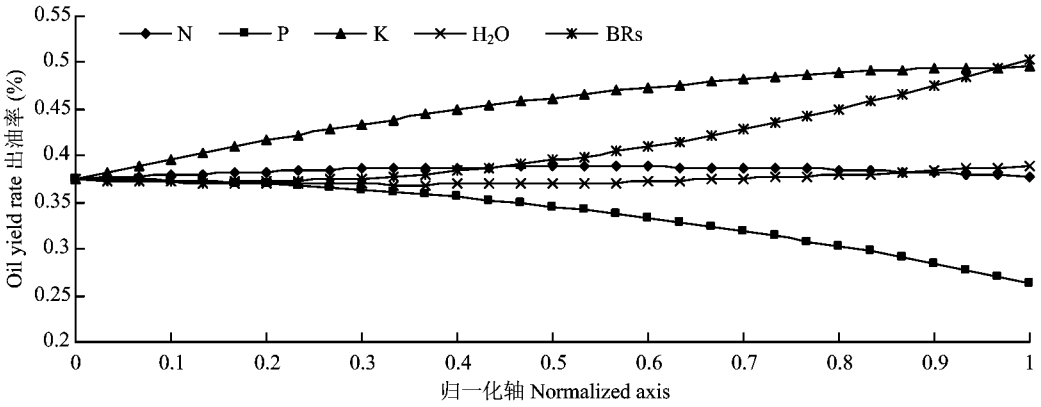

图 4　不同因素对种仁出油率影响

Fig. 4　Effects of different factors on oil contents of seeds

2.5　不同处理对开花数量的影响

2.5.1 各因素耦合作用对开花数量回归分析　对不同处理油茶开花数量进行方差分析,得出回归系数显著性检验,得 $P=0.0439$,小于 0.05,说明二次回归方程能较好地拟合了不同因素处理对开花数量的影响,而失拟性检验 $P=0.0073$,小于 0.01,说明该试验重复性较差。对表 2 不同处理种仁出油率进行二次多项式回归,得回归方程(5)：

$$Y=187.771-3.369X_1-1.094X_2+0.475X_3+12.933X_4+1156.667X_5+0.012X_1^2-0.005X_2^2-0.004X_3^2-0.149X_4^2-20950.000X_5^2+0.001X_1X_2+0.001X_1X_3+0.001X_1X_4-0.292 \quad (5)$$

其中相关系数 $R^2=0.7623$。

从回归方程系数可以看出,5 个因子对种仁出油率影响权重依次是 BRs > H_2O > N > P > K,当 N 为 0 g、P_2O_5 为 0 g、K_2O 为 0 g、H_2O 为 20 kg、BRs 浓度为 0 mg/L 时,理论开花数量达到最高(386.93 朵),通过 DPS 分析,当每株开花数量超过 107.57 朵时,在 95% 的分布区间内各因素取值范围分别是每株：85.97 g < N < 100.07 g、52.47 g < P_2O_5 < 57.67 g、111.78 g < K_2O < 121.44 g、10.24 kg < H_2O < 11.11 kg、0.044 mg/L < BRs 浓度 < 0.049 mg/L。开花数量大于 107.57 时,974 个方案中各变量取值的频率分布情况见表 6,平均开花数量为 175.63 朵。

表 6　不同处理对开花数量在各变量取值的频率分布

Table 6　Frequency distribution of number of flower in different treatments

水平 Level	氮 N		磷 P		钾 K		H_2O		BRs	
	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency	频数 FN	频率 Frequency
1	539	0.55	217	0.22	156	0.16	161	0.17	174	0.18
2	63	0.065	217	0.22	226	0.23	181	0.19	238	0.24
3	11	0.011	202	0.21	245	0.25	204	0.21	237	0.24
4	19	0.02	185	0.19	211	0.22	221	0.23	191	0.2
5	342	0.35	153	0.16	136	0.14	207	0.21	134	0.14

注(Note)：BRs—芸苔素内酯 Brassinolides；FN—Frequency number

2.5.2 各单因子对开花数量的影响分析　从图5可以看出，水分对油茶开花数量的影响最大，随着土壤灌水量增加，开花数量呈近直线增加趋势；当钾和BRs施用量较低时，开花数量增加，当施用量增加至一定量时，油茶开花受到抑制，开花数量出现下降[13]；油茶开花数量随施磷量增加呈直线下降；随着施氮量的增加，初期开花量下降，后期开花数量增加，这一研究与胡玉玲[14]的结果不完全一致，其机制还有待进一步研究。

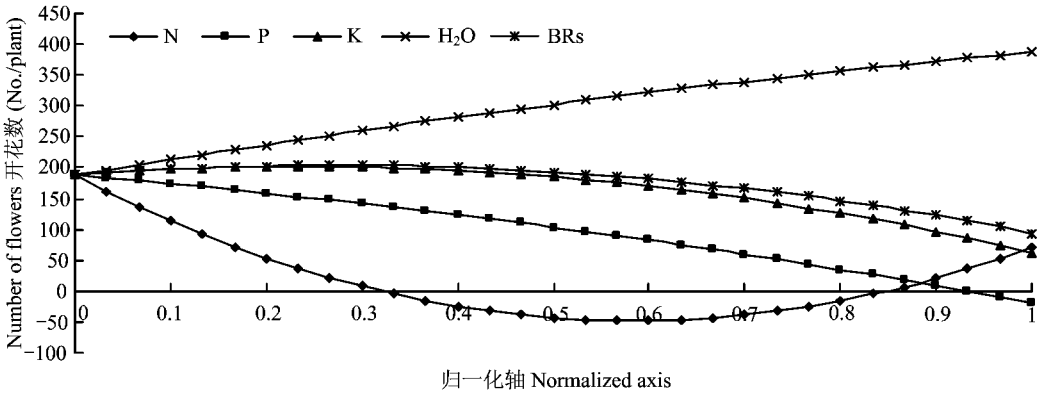

图5　不同因素对开花数量影响

Fig.5　Effects of different factors on the number of flowers

3　讨论与结论

本试验的五个因子当中，以芸苔素内酯(BRs)对油茶叶片氮、磷、钾含量、开花数量及种仁出油率的影响最大，这和BRs对植物的作用特点[15-16]高度一致，其次是水，由于水是良好的溶剂，亦是各项生理生化反应的底物，所有的生命活动必须在含水量适宜时才能发挥作用，因此激素和水是影响植物生长的瓶颈因子[17]。氮、磷、钾肥对各项指标的影响相对较小，其原因可能与土壤作为一个较大的养分库以及氮、磷、钾在植物体内可以移动有关[18-19]。

本研究还可以看出，当对油茶种仁出油率、叶片含钾及含磷量进行二次回归时，得出的回归方程曲线决定系数较小，表明规律性较差，其原因可能是由于这三项测试指标与本试验的5个因素之间不存在直接相关，而主要受环境因子的影响，此外，还与其自身遗传特性有一定的相关性。虽然这些指标方程拟合较差，但是试验重复性较好，仍具有一定的借鉴价值。

从单因子来看，各试验因子对油茶叶片氮、磷、钾含量、开花数量及种仁出油率的影响并不完全一致，有些有促进作用，有些则有抑制作用，有些影响较大，有些影响则较为平缓。因此，在生产上应综合运用各项农业技术措施，掌握各因子对油茶的耦合作用。

氮、磷、钾肥施用量和叶片中氮、磷、钾的含量并没有直接相关，这是因为不同元素间的吸收和利用并不是简单的机械过程，与植物体内其他环境状态、元素的组合及植物的发育阶段密切相关[20-21]。各因素不同水平处理，油茶叶片氮、磷、钾含量存在差异，从而影响植株的开花数量和种仁出油率，进而影响油茶的生产效益，因此通过对油茶定向培育的最优目标考察，选择相应的农业措施，可以为油茶的优质高产高效栽培措施提供参考依据。

参考文献：

[1] 庄瑞林. 中国油茶(第2版)[M]. 北京：中国林业出版社，2008. 1-15.
Zhuang R L. China *Camellia oleifera* (2nd)[M]. Beijing: China Forestry Press, 2008. 1-15.

[2] 韩宁林，赵学民. 油茶高产品种栽培[M]. 北京：中国农业出版社，2009. 1-13.
Han N L, Zhao X M. High-yield varieties cultivated of *Camellia oleifera* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009. 1-13.

[3] 汪洪丽，郭晓敏，赵中华. 油茶生长量、产量与平衡施肥的研究[J]. 江西林业科技，2007，(6)：73-75.
Wang H L, Guo X M, Zhao Z H. Study on the growth and yield of *Camellia oleifera* and its balance fertilization[J]. Jiangxi For. Sci. Technol., 2007, (6): 73-75.

[4] 胡玉玲，胡冬南，郭晓敏，等. 园丰素对油茶生物量及光合影响的初步研究[J]. 江西农业大学学报，2010，32(4)：768

-772.
Hu Y L, Hu D N, Xing X X *et al*. A study on the effects of "Yuanfengsu" on biomass and photosynthesis of *Camellia oleifera* [J]. Acta Agric. Univ. Jiangxiensis, 2010, 32(4): 768-772.

[5] 胡玉玲，胡冬南，袁生贵，郭晓敏. 不同肥料与芸苔素内酯处理对5年生油茶光合和品质的影响[J]. 浙江农林大学学报，2011，28(2)：194-199.
Hu Y L, Hu D N, Yuan S G, Guo X M. Photosynthesis and seed characteristics of five-year-old *Camellia oleifera* with fertilizer and brassinolides (BRs) applications[J]. J. Zhejiang A & F Univ., 2011, 28(2): 194-199.

[6] 胡玉玲，胡冬南，幸潇潇，郭晓敏. 不同芸苔素内酯处理对油茶幼龄林生长的影响[J]. 经济林研究，2011，29(1)：61-66.
Hu Y L, Hu D N, Guo X M, Xing X X. Effects of different BRs treatments on growth of young forest in *Camellia oleifera* [J]. Nonwood For. Res., 2011, 29(1): 61-66.

[7] 李振纪. 油茶施肥与灌溉[J]. 湖南林业科技，1976，(6)：31-32，36.
Li Z J. Fertilization and irrigation of *Camellia oleifera*[J]. Hunan For. Sci. Technol., 1976, (6): 31-32, 36.

[8] 廖健明，马锦林，陈国臣，等. 自流滴灌技术在油茶丰产栽培中的应用试验[J]. 广西林业科学，2009，38(1)：48-51.
Liao J M, Ma J L, Chen G C *et al*. Gravity-flow drip irrigation technique in *Camellia oleifera* high-yield cultivation[J]. Guangxi For. Sci., 2009, 38(1): 48-51.

[9] Hunter A H. Laboratory and greenhouse techniques for nutrient survey to determine the soil amendments required fooptimum plant growth[M]. Florida, USA: Agron Service International, 1980.

[10] 唐启义. DPS数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京：科学出版社，2010. 238-245.
Tang Q Y. DPS data processing system experimental design, statistical analysis and data mining[M]. Beijing: Science Press, 2010. 238-245.

[11] 南京农业大学. 土壤农化分析(第2版)[M]. 北京：中国农业出版社，1996. 171-199，200-229.
Nanjing Forest University. Analysis of soil agrochemical (2ed.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. 171-199, 200-229.

[12] 阎正，陈培云，曹照真，等. 毛细管柱—气相色谱法测定中药膏药中樟脑、薄荷脑、龙脑及异龙脑含量-应用-种改进型索氏提取器[J]. 理化检验(化学分册)，2008，44(12)：1196-1198.
Yan Z, Chen P Y, Cao Z Z *et al*. Capillary column-gas chromatographic determination of camphor, menthol, borneol and isoborneol in plaster of traditional Chinese medicines using a modified soxhlets extractor[J]. Phys. Test. Chem. Anal. (Part B: Chemical analysis), 2008, 44(12): 1196-1198.

[13] 袁德义，王瑞，袁军，等. 不同营养元素及配比对油茶花粉萌发率的影响[J]. 福建农林大学学报，2010，39(5)：471-474.
Yuan D Y, Wang R, Yuan J *et al*. The influence of nutrient elements on pollen germination percentage in Camelliaoleifera [J]. J. Fujian Agric. For. Univ., 2010, 39(5): 471-474.

[14] 胡玉玲，胡冬南，郭晓敏，等. 施肥对赣无系列油茶叶片SPAD值及养分的影响[J]. 林业科技开发，2011，25(2)：20-23.
Hu Y L, Hu D N, Guo X M *et al*. Effects of four fertilizers on chlorophyll SPAD values, nutrients and dry matter accumulation in leaves of Jiangxi clone camellia [J]. China For. Sci-Technol., 2011, 25(2): 20-23.

[15] Clouse S D, Langford M, McMorris T C. A brassinosteroid-insensitive mutant in *Arabidopsis thaliana* exhibits multiple defects in growth and development [J]. Plant Physiol., 1996, 111: 671-678.

[16] Clouse S D, Sasse J M. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development[J]. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 1998, 49: 427-451.

[17] 潘瑞炽. 植物生理学(6版)[M]. 北京：高等教育出版社，2008.
Pan R Z. Plant physiology (6ed.) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008.

[18] 阎凯，付登，何峰，段昌群. 滇池流域富磷区不同土壤磷水平下植物叶片的养分化学计量特征[J]. 植物生态学报，2011，35 (4)：353-361.
Yan K, Fu D, He F, Duan C Q. Leaf nutrient stoichiometry of plants in the phosphorus-enriched soils of the Lake Dianchi watershed, southwestern China [J]. Chin. J. Plant Ecol., 2011, 35(4): 353-361.

[19] Fang L, Yu J, Chen J L. Effect of continuous cropping on leaf nutrient and growth of different species of poplar plantation[J]. Agric. Sci. Technol., 2011, 12(2): 224-227, 252.

[20] 陈星，李亚娟，刘丽，等. 灌溉模式和供氮水平对水稻氮素利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(2)：283-290.
Chen X, Li Y J, Liu L *et al*. Effects of water management patterns and nitrogen fertilizer levels on nitrogen use efficiency of rice[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, 18(2): 283-290.

[21] 徐凤娇，赵广才，田奇卓，等. 施氮量对不同品质类型小麦产量和加工品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(2)：300-306.
Xu F J, Zhao G C, Tian Q Z *et al*. Effects of nitrogen fertilizer on grain yield and processing quality of different wheat genotypes [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, 18(2): 300-306.