

ISSN 0564-3929

# Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会  
科学出版社

主办  
出版

2015

第 52 卷 第 4 期

Vol.52 No.4



# 土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

## 目 次

### 综述与评论

亚硝酸盐型甲烷厌氧氧化微生物生态学研究进展····· 沈李东 (713)

### 土壤科学与现代农业

近30年江西省耕地土壤全氮含量时空变化特征····· 赵小敏 邵 华 石庆华等 (723)

北京市土壤重金属潜在风险预警管理研究····· 蒋红群 王彬武 刘晓娜等 (731)

秸秆深还对土壤团聚体中胡敏酸结构特征的影响····· 朱 姝 窦 森 陈丽珍 (747)

生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响····· 俞映惊 薛利红 杨林章等 (759)

水肥对高产无性系油茶果实产量的影响····· 张文元 郭晓敏 涂淑萍等 (768)

### 研究论文

基于VRML的土壤电导率三维空间变异性虚拟现实建模研究····· 李洪义 顾呈剑 但承龙等 (776)

不同样点数量对土壤有机质空间变异表达的影响····· 海 南 赵永存 田 康等 (783)

基于稳定同位素的土壤水分运动特征····· 靳宇蓉 鲁克新 李 鹏等 (792)

中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究····· 吴良泉 武 良 崔振岭等 (802)

不同施肥方式下滩涂围垦农田土壤有机碳及团聚体有机碳的分布····· 候晓静 杨劲松 王相平等 (818)

长期施肥对浙江稻田土壤团聚体及其有机碳分布的影响····· 毛霞丽 陆扣萍 何丽芝等 (828)

不同时期施用生物炭对稻田N<sub>2</sub>O和CH<sub>4</sub>排放的影响····· 李 露 周自强 潘晓健等 (839)

秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响····· 刘 园 M. Jamal Khan 靳海洋等 (849)

单一电解质体系下恒电荷土壤胶体扩散双电层中滑动层厚度的计算····· 丁武泉 朱启红 王 磊等 (859)

化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究····· 李世业 成杰民 (869)

离子型稀土矿尾砂地植被恢复障碍因子研究····· 刘文深 刘 畅 王志威等 (879)

辽东与山东半岛土壤中有机氯农药残留特征研究····· 朱英月 刘全永 李 贺等 (888)

长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性····· 高嵩涓 曹卫东 白金顺等 (902)

豆科间作对番茄产量、土壤养分及酶活性的影响····· 代会会 胡雪峰 曹明阳等 (911)

### 研究简报

蚕豆根系分泌物中氨基酸含量与枯萎病的关系····· 董 艳 董 坤 汤 利等 (919)

小麦与蚕豆间作对根际真菌代谢功能多样性的影响····· 胡国彬 董 坤 董 艳等 (926)

不同年限毛竹林土壤固氮菌群落结构和丰度的演变····· 何冬华 沈秋兰 徐秋芳等 (934)

长期不同施肥模式下砂姜黑土的固碳效应分析····· 李 玮 孔令聪 张存岭等 (943)

果园生草对<sup>15</sup>N利用及土壤累积的影响····· 彭 玲 文 昭 安 欣等 (950)

封面图片：离子型稀土矿废弃地全景（由汤叶涛、刘文深提供）

DOI: 10.11766/trxb201406220317

# 水肥对高产无性系油茶果实产量的影响\*

张文元 郭晓敏 涂淑萍 胡冬南<sup>†</sup>

(江西农业大学园林与艺术学院, 南昌 330045)

**摘要** 以肥料氮(N)、磷(P)、钾(K)不同施用量和灌溉水量(H<sub>2</sub>O)为试验因子,采用二次通用旋转组合设计,研究了水肥对油茶鲜果产量的影响。结果表明,N、P、K和H<sub>2</sub>O的用量对油茶鲜果产量均存在显著的影响,且N与K、K与H<sub>2</sub>O对油茶鲜果产量存在显著的互作效应。试验因子间的交互作用使油茶鲜果产量明显提高,达到最大值时4个因子的编码值分别为:N为1.03、P为0.62、K为1.19、H<sub>2</sub>O为0.92,即全年每株油茶施有效养分N 181.8 g、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 48.6 g、K<sub>2</sub>O 287.1 g,灌水29.2 kg,相当于每hm<sup>2</sup>施用N 795 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 80 kg、K<sub>2</sub>O 474 kg,灌水48 m<sup>3</sup>。采用该方案,油茶鲜果产量可达到最大为5 131 kg hm<sup>2</sup>。

**关键词** 油茶;水肥;互作效应;鲜果产量

**中图分类号** S718.5 **文献标识码** A

油茶(*Camellia oleifera* Abel)是世界上四大木本食用油料树种之一,也是我国南方特有的木本油料树种。油茶具有一年种植长期受益的特点,且不与传统油料作物争用耕地,因此,“储油于山”已成为国家食用油发展的重大战略。为了提高油茶林地生产力,人们在油茶林地养分管理<sup>[1-5]</sup>和保水措施<sup>[6-7]</sup>等方面做了一些有益的研究与探索,这些研究或者针对养分或者针对水分开展,而将养分和水分结合在一起讨论水肥对油茶果实产量的研究鲜有报道。

大量研究表明,水分和养分对作物生长的作用不是孤立的,而是相互作用相互影响<sup>[8-9]</sup>。有研究表明,单独施肥或灌水对油茶产油量的影响不明显,而施肥和灌溉相结合则能显著提高产油量<sup>[10]</sup>,说明油茶林地中水和肥同等重要。本试验针对养分(N、P、K)和水分对油茶鲜果实产量的影响进行了多因素、多水平试验,旨在探索适合油茶高产的最佳水肥栽培模式,为油茶林可持续经营提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于江西省九江市星子县海会油茶基地,属中亚热带湿润气候区,土壤成土母质为花岗岩、片麻岩、石英砂岩等残积和残积坡积物发育的红壤,土层深厚,土壤孔隙通透性状况良好,pH4.4,铵态氮38.0 mg kg<sup>-1</sup>,硝态氮23.5 mg kg<sup>-1</sup>,有效磷6.3 mg kg<sup>-1</sup>,速效钾50.4 mg kg<sup>-1</sup>。试验油茶为2005年春栽植的赣无系列高产无性系,栽植密度为2.0 m × 2.5 m。

### 1.2 试验设计

试验设4因素(N、P、K、H<sub>2</sub>O)5水平,采用Design-Expert 6.0.1进行二次通用旋转组合设计<sup>[11]</sup>,各因素水平编码及年单株用量见表1,经优化(中心点试验重复6次)后共30个处理(表2)。选择立地条件、长势均较为一致油茶林布置试验,每处理10株,处理间留保护株。试验实施起始时间为2010年4月。

\* 国家自然科学基金项目(31260194)、国家科技支撑项目(2010BAD14B14)和国际植物营养研究所(IPNI)项目(Jiangxi-29)资助

<sup>†</sup> 通讯作者:胡冬南(1971—),女,江西余干人,博士,教授,主要从事林木营养与养分管理方面的研究。E-mail: dnhu98@163.com

作者简介:张文元(1977—),男,安徽六安人,博士,讲师,主要从事林木营养与养分管理方面的研究。E-mail: zwy15@126.com

收稿日期:2014-06-22;收到修改稿日期:2014-09-03

表1 各因素水平编码及用量

Table 1		Level coding and application rate of each factor	Unit: g plant <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>				
代码 Code	因素 Factors	变化间距 Range	水平 Levels				
			-2	-1	0	1	2
X <sub>1</sub>	N	60	0	60	120	180	240
X <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30	0	30	60	90	120
X <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	90	0	90	180	270	360
X <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	10 000	0	10 000	20 000	30 000	40 000

三种养分分别以市售的尿素、钙镁磷和氯化钾施入，各养分的0水平（纯养分含量为N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>）根据前期测土配方试验结果确定，0水平灌水量（20 kg 株<sup>-1</sup>）根据当地历年气象条件凭经验确定。肥料分别于4月（花前肥）上旬和10月下旬（果前肥）施入，每次施用总量的1/2，施肥方法为沟施法（沿树冠滴水线挖环状沟施入）。灌水于6—9月份进行，每10 d浇灌一次，每次灌水量为设计总量的1/10，共灌水10次，如遇雨天则延迟到天晴实施。

### 1.3 测定方法

于2012年和2013年霜降采摘油茶果实，分单

株测定鲜果产量，以各处理平均值为测定结果。

### 1.4 数据处理

试验数据采用DPS统计分析软件和Design-Expert 6.0.1数据处理系统进行分析处理。

## 2 结 果

### 2.1 数学模型的建立与检验

以养分N (X<sub>1</sub>)、P (X<sub>2</sub>)、K (X<sub>3</sub>) 和H<sub>2</sub>O (X<sub>4</sub>) 四个因子为决策变量，以2012年和2013年两年油茶鲜果产量平均值为目标函数（表2），根据二次通用旋转组合设计方案对试验结果进行统计与分析。

表2 试验处理及鲜果产量

Table 2						Experimental treatments and fruit yield					
No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	产量 Yield (g plant <sup>-1</sup> )	No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	产量 Yield (g plant <sup>-1</sup> )
1	1	1	1	1	3 162	16	-1	-1	-1	-1	1 227
2	1	1	1	-1	2 656	17	-2	0	0	0	1 347
3	1	1	-1	1	2 467	18	2	0	0	0	2 373
4	1	1	-1	-1	2 047	19	0	-2	0	0	1 568
5	1	-1	1	1	2 790	20	0	2	0	0	2 260
6	1	-1	1	-1	1 969	21	0	0	-2	0	1 616
7	1	-1	-1	1	1 900	22	0	0	2	0	2 309
8	1	-1	-1	-1	1 611	23	0	0	0	-2	1 351
9	-1	1	1	1	2 501	24	0	0	0	2	2 362
10	-1	1	1	-1	1 766	25	0	0	0	0	2 739
11	-1	1	-1	1	1 857	26	0	0	0	0	2 532
12	-1	1	-1	-1	1 545	27	0	0	0	0	2 638
13	-1	-1	1	1	1 907	28	0	0	0	0	2 726
14	-1	-1	1	-1	1 484	29	0	0	0	0	2 723
15	-1	-1	-1	1	1 602	30	0	0	0	0	2 568

注：X<sub>1</sub>代表N素，X<sub>2</sub>代表P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>，X<sub>3</sub>代表K<sub>2</sub>O，X<sub>4</sub>代表H<sub>2</sub>O Note: X<sub>1</sub>—N, X<sub>2</sub>—P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, X<sub>3</sub>—K<sub>2</sub>O, X<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O

对各处理果实产量进行二次多项式回归, 得到以油茶鲜果产量为目标函数的二次回归模型:  $Y=2\ 654+281.8X_1+203.8X_2+223.5X_3+246.1X_4-176.5X_1^2-163.4X_2^2-150.9X_3^2-177.4X_4^2+38.18X_1X_2+70.26X_1X_3+12.07X_1X_4+22.31X_2X_3+4.06X_2X_4+68.08X_3X_4$

对该回归模型的拟合度进行方差分析, 结果表明 (表3), 该模型的  $F=34.84$ ,  $p < 0.000\ 1$ ,

说明模型理论值与实际测得值的拟合程度均达到了显著水平。模型的失拟项不显著, 其  $F=2.55$ ,  $p > 0.05$ , 表明在该条件下, 试验重复性较好, 且试验因子之外的未控制因素对油茶鲜果产量的影响不显著, 误差能够控制在较小范围内, 可以用该模型进行优化分析。

表3 回归系数显著性检验结果

Table 3 Regression coefficients of Duncan test

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of square	自由度 df	均方 Mean squares	F	p
模型 Model	7.899E+006	14	5.642E+005	34.84	< 0.000 1
失拟项 Lack of fit	2.032E+005	10	20 316	2.55	0.156 2
$X_1$	1.906E+006	1	1.906E+006	117.7	< 0.000 1
$X_2$	9.973E+005	1	9.973E+005	61.58	< 0.000 1
$X_3$	1.199E+006	1	1.199E+006	74.00	< 0.000 1
$X_4$	1.453E+006	1	1.453E+006	89.74	< 0.000 1
$X_1^2$	8.543E+005	1	8.543E+005	52.75	< 0.000 1
$X_2^2$	7.291E+005	1	7.291E+005	45.02	< 0.000 1
$X_3^2$	6.248E+005	1	6.248E+005	38.58	< 0.000 1
$X_4^2$	8.632E+005	1	8.632E+005	53.30	< 0.000 1
$X_1X_2$	23 327	1	23 327	1.44	0.248 7
$X_1X_3$	78 979	1	78 979	4.88	0.043 2
$X_1X_4$	2 331	1	2 331	0.14	0.709 7
$X_2X_3$	7 964	1	7 964	0.49	0.493 9
$X_2X_4$	263.8	1	263.8	0.016	0.900 1
$X_3X_4$	74 159	1	74 159	4.58	0.049 2

## 2.2 单因子效应分析

由回归模型显著性检验结果 (表3) 还可看出, 鲜果产量回归模型中  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$  的系数和二次项  $X_1^2$ 、 $X_2^2$ 、 $X_3^2$ 、 $X_4^2$  的系数均达极显著, 说明在该试验条件下, N、P、K 和  $H_2O$  对油茶鲜果产量均有极显著影响。此外, 回归模型中二次项系数均为负值, 表明这四项试验因子都具有最佳值, 用量过多或不足均会影响油茶鲜果产量的变化。

根据二次回归通用旋转设计原理, 对二次回归模型采用“降维法”得出单因子对油茶鲜果产量的效应方程:

$$\text{N因素: } Y=2\ 654+281.8X_1-176.5X_1^2$$

$$\text{P因素: } Y=2\ 654+203.9X_2-163.0X_2^2$$

$$\text{K因素: } Y=2\ 654+223.5X_3-150.9X_3^2$$

$$\text{H}_2\text{O因素: } Y=2\ 654+246.1X_4-177.4X_4^2$$

根据各单因子的效应函数作图1。由图1可知, 油茶鲜果产量在各因子用量水平为  $-2 < X < 2$  时, 随着N、P、K和 $H_2O$ 的用量增大呈现抛物线的变化趋势, 即氮肥、磷肥、钾肥和水的供用量到一定值的时候, 油茶鲜果产量达到最大, 此时再增加肥料用量和水的供应量, 油茶鲜果产量反而会降低, 说明在油茶林水肥管理中, 无论是肥还是水, 用量不是越大越好, 而是各有其最佳用量。

对于氮肥而言, 在P、K和 $H_2O$ 的用量处于0水平 (即  $P_2O_5=60\ \text{g}\ \text{株}^{-1}$ 、 $K_2O=180\ \text{g}\ \text{株}^{-1}$ 、灌水

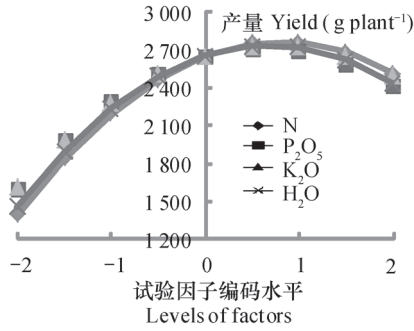


图1 单因子对油茶鲜果产量的影响

Fig. 1 Effect of each single factor on fruit yield

20 kg 株<sup>-1</sup>) 的条件下, 其水平值为0.80 (即 N=168.0 g 株<sup>-1</sup>) 时, 单株油茶果实产量达到最大为2 766 g 株<sup>-1</sup>; 当其他三个因子处于0水平时, 磷肥水平值为0.63 (即 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=48.9 g 株<sup>-1</sup>) 可使油茶果实产量达到最大为2 718 g 株<sup>-1</sup>; 而对于钾肥的需求, 在其他三个因子的水平为0的条件下, 每株补充 K<sub>2</sub>O 156.6 g 使油茶果实产量达到最大值 2 737 g 株<sup>-1</sup>,

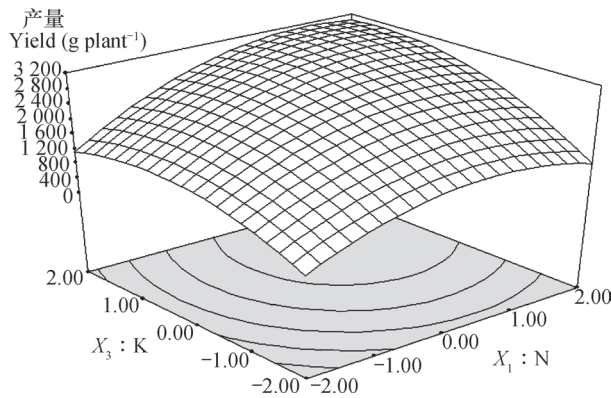


图2 X<sub>1</sub> (N) 与 X<sub>3</sub> (K) 互作效应图

Fig. 2 Effect of interaction between X<sub>1</sub> (N) and X<sub>3</sub> (K)

由图2可知, 当养分元素N用量一定时, 增加K的施入量, 油茶果实产量呈现出抛物线变化, 当养分元素K用量一定时, 增加N的施入量, 油茶果实产量也呈现相同的变化趋势; 即表明, 在一定范围内, 任何一种养分施用量的增加对油茶果实产量都具有促进作用, 但是用量过多则会产生抑制作用。从图中还可以看出, 当N或K任一种肥料的施入量较少时, 油茶果实产量都将受到影响而无法获得高产, 即油茶果实产量的最大值不仅与N的施入量有关, 同时也受到K肥施入量的影响, 当两种肥料用量均增加到一定量后, 油茶果实产量达到最大值 3 174 g 株<sup>-1</sup>, 明显大于N或K单因子效应分析中的

此时其水平值为0.74; 当N、P、K按0水平施入, 灌水的最佳水平值为0.69, 即每株灌水26.9 kg油茶果实产量达到最大值2 740 g 株<sup>-1</sup>。

### 2.3 因子互作效应分析

上述推算N、P、K和H<sub>2</sub>O的最佳用量时没有考虑这些因子之间的相互作用, 而事实上这四个因子共存于土壤同一体系中, 各因子间可能存在协同或抑制作用, 特别是水与肥料养分因子间存在着密切的联系。

表3列出了N、P、K和H<sub>2</sub>O四个因子两两互作效应的回归系数显著性。从表3中数据可知, X<sub>1</sub> (N) 与 X<sub>3</sub> (K)、X<sub>3</sub> (K) 与 X<sub>4</sub> (H<sub>2</sub>O) 的互作效应达到显著水平 ( $p_{X_1X_3}=0.043$ ,  $p_{X_3X_4}=0.049$ ), 表明在该试验条件下, 养分元素N与K之间、K与H<sub>2</sub>O之间的互作效应对油茶鲜果产量有明显影响。在其余两个试验因子为0水平时, 通过Design-Expert 6.0.1数据处理系统作图, 可以直观地反映出两因子之间的互作效应 (图2、图3)。

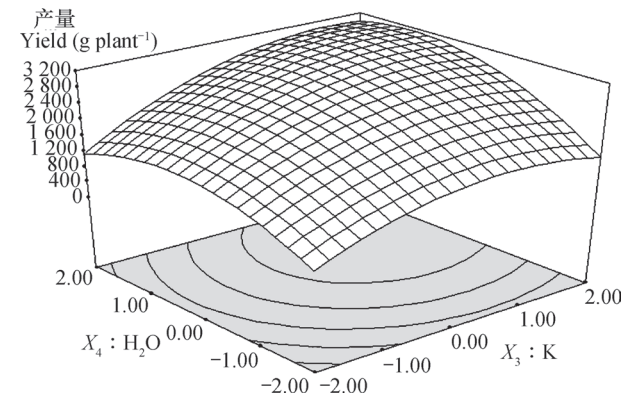


图3 X<sub>3</sub> (K) 与 X<sub>4</sub> (H<sub>2</sub>O) 互作效应图

Fig. 3 Effect of interaction between X<sub>3</sub> (K) and X<sub>4</sub> (H<sub>2</sub>O)

最大值; 说明N和K两种肥料存在明显的正向互作效应, 对油茶果实产量起着协同促进作用。

从图3中可以看出, 油茶果实产量随K和H<sub>2</sub>O的用量的增加呈抛物线变化, 当K肥用量和灌水量均增加到一定值时, 油茶果实产量达到最大值3 173 g 株<sup>-1</sup>, 明显大于H<sub>2</sub>O或K单因子效应分析中的最大值。当其中任一因素水平偏低, 油茶果实产量的最大值都较低, 而灌水量过大或钾肥用量过多, 也不利于油茶结实。

### 2.4 模型的优化

从表3中各因子回归系数显著性检验结果还可知, 试验因子N与P、N与H<sub>2</sub>O、P与K、P与H<sub>2</sub>O的

交互效应系数显著性检验不显著, 因此, 需对回归模型进行优化, 剔除不显著项, 得到优化后的回归模型:  $\bar{y}=2654+281.8X_1+203.8X_2+223.5X_3+246.1X_4-176.5X_1^2-163.0X_2^2-150.9X_3^2-177.4X_4^2+70.26X_1X_3+68.08X_3X_4$ 。

根据该模型, 可算出最大理论值并确定此时的水肥水平(表4), 采用该方案, 油茶鲜果产量可达最大值  $Y_{\max}=3\ 110\ \text{g}\ \text{株}^{-1}$ , 所对应的试验因子编码

取值为:  $X_1=1.03$ ,  $X_2=0.62$ ,  $X_3=1.19$ ,  $X_4=0.92$ , 该方案的可信度为97.3%。也即油茶鲜果产量达到最大时的最佳水肥栽培方案为: 全年每株油茶增施有效养分N 181.8 g、 $\text{P}_2\text{O}_5$  48.6 g、 $\text{K}_2\text{O}$  287.1 g, 灌水 29.2 kg。相当于每 $\text{hm}^2$ 施用N 795 kg、 $\text{P}_2\text{O}_5$  80 kg、 $\text{K}_2\text{O}$  474 kg, 灌水48  $\text{m}^3$ , 采用该方案, 油茶鲜果产量可达5 131  $\text{kg}\ \text{hm}^2$ 。

表4 产量最大时的试验因子水平及实际用量

Table 4 Levels and actual rates of the test factors when the yield was maximum

试验因子 Factors	水平 Levels	实际用量 The actual amount ( $\text{g}\ \text{plant}^{-1}$ )
N	1.03	181.8
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.62	48.60
$\text{K}_2\text{O}$	1.19	287.1
$\text{H}_2\text{O}$	0.92	29 200

### 3 讨论

水分是植物赖以生存的物质, 是各种生理生化反应的介质, 充足的水分可促进油茶良好生长, 进而增加油茶产量。李荣喜等<sup>[6]</sup>研究表明, 在油茶林中使用保水剂可有效提高油茶幼树保存率和油茶叶片的叶绿素总含量, 王玉娟等<sup>[7]</sup>研究稻草覆盖对油茶幼林林地土壤温度及新梢的影响结果表明, 覆草下的油茶长势良好, 新梢长度高于对照, 说明水分是影响油茶生长的重要因子。水分供应不足, 油茶会出现“七月干球, 八月干油”和推迟开花等现象。本研究表明, 水分对油茶果实产量的影响达到极显著水平, 水分不足, 油茶果实产量明显下降, 但值得注意的是, 过量供水也不利于油茶生长与结实。

油茶主要生长在南方, 林地养分条件较差, 普遍缺乏N、P、K等主要养分元素<sup>[12]</sup>。众多研究表明<sup>[1, 13]</sup>, 适量施肥能明显提高油茶果实产量, 本研究也得到相同的规律, 在所设定的用量水平范围内, 油茶鲜果产量随N、P、K三种养分的增加而得到提高, 但到一定量之后再增加肥料反而减产, 说明油茶施肥非常必要, 但用量不是越大越好, 而是各有其最佳用量。

植物利用的养分和水分主要来自于土壤, 而

土壤是一个复合体系, 水和养分往往是同时影响着植物的生长, 且水肥之间、肥料各养分之间都存在非常密切的关系, 水分不足会影响营养物质的输送和传递, 肥力不足影响到根系对水分的吸收和利用。合理施肥具有一定的调水作用, 适量灌溉具可起到调肥作用, 这些规律在苹果<sup>[14]</sup>、脐橙<sup>[15]</sup>、杨树<sup>[16]</sup>等多年木本植物中均得到了证实。此外, 氮、磷、钾养分因子间也可能存在交互作用, 这些交互作用对植物生长起着正向或负向作用<sup>[17-19]</sup>。本研究结果也表明, 氮、磷、钾和水并不是单独起作用, 而是存在着相互协调的密切关系, 一个因素用量的变化会使其他三个因素的效果受到影响; 当各因子的量适宜时, 因子间的互作表现为明显的正向协同效应, 而当任一因子的用量不足或超过一定水平时, 则表现为效应不明显或拮抗效应, 对结实不利。单因子效应分析时, 在其他三个因子水平值为0时, 油茶果实产量随着因子水平的提高呈抛物线变化, 最高产量均能达到2 718  $\text{g}\ \text{株}^{-1}$ 以上, 而通过K肥与N肥、K肥与 $\text{H}_2\text{O}$ 的因子交互效应分析可知, 当其中任一因子水平较低时, 无论是增加肥料用量还是灌水量, 其增产效果均不明显, 且果实产量最大值较低。因此, 在油茶林地养分管理中, 不仅要考虑养分的合理配比, 同时还要特别注意养分与水的均衡供应。本试验中氮、磷、钾0水平值的

用量是根据前期测土配方试验结果确定的最优组合, 该试验没有考虑水分因素的影响。本试验在考虑氮、磷、钾肥用量的同时, 增加了灌水量作为试验因素, 得到的最佳氮、磷、钾用量水平值均大于0, 说明在充足的水分状态下, 可适量加大氮、磷、钾肥的用量, 促进油茶结实。

油茶果实产量的形成与树体生长、开花座果等诸多生长发育环节有关, 本研究只揭示了果实产量对水肥的直接响应, 水肥对油茶树体的生长、开花座果的影响及其与果实产量之间的关系还有待于进一步深入研究。

## 4 结 论

本试验的N、P、K和H<sub>2</sub>O四个因子对油茶果实产量均有极显著影响, 说明该试验条件下施肥和灌水是决定油茶果实产量的非常关键的因素。此外, K肥与N肥、K肥与H<sub>2</sub>O的也对油茶鲜果产量存在显著的影响, 它们协同促进油茶果实的形成, 使油茶鲜果产量明显提高, 当产量达到最大时, 其最佳水肥方案为: 全年每株油茶施N 181.8 g、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 48.6 g、K<sub>2</sub>O 287.1 g, 灌水29.2 kg, 采用该方案, 油茶鲜果产量可达到3 110 g 株<sup>-1</sup>, 公顷产量5 131 kg。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 申巍, 杨水平, 姚小华, 等. 施肥对油茶生长和结实特性的影响. 林业科学研究, 2008, 21 ( 2 ) : 239—242. Shen W, Yang S P, Yao X H, et al. Studies on the effects of fertilization on growth and fruiting of oil tea *Camellia* ( In Chinese ) . Forest Research, 2008, 21 ( 2 ) : 239—242
- [ 2 ] 胡玉玲, 胡冬南, 袁生贵, 等. 施肥和芸苔素内酯对油茶无性系生长指标及产量的影响. 中南林业科技大学学报, 2010, 30 ( 2 ) : 16—22. Hu Y L, Hu D N, Yuan S G, et al. Effects of different fertilizer and concentration of brassinolide on growth and yield of three *Camellia oleifera* varieties ( In Chinese ) . Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30 ( 2 ) : 16—22
- [ 3 ] 李金柱, 江雄波, 邓先珍, 等. 施肥对油茶生长结实特性影响研究初报. 湖北林业科技, 2011 ( 4 ) : 17—18. Li J Z, Jiang X B, Deng X Z, et al. Preliminary report on the effects of fertilization on the growth and fruiting of *Camellia oleifera* Abel ( In Chinese ) . Hubei Forestry Science and Technology, 2011 ( 4 ) : 17—18
- [ 4 ] 胡冬南, 胡玉玲, 牛德奎, 等. 施肥配比与芸苔素内酯对油茶生长的影响研究. 林业科学研究, 2011, 24 ( 4 ) : 505—511. Hu D N, Hu Y L, Niu D K, et al. Effects of fertilizer formula and brassinolide on growth of *Camellia oleifera* ( In Chinese ) . Forest Research, 2011, 24 ( 4 ) : 505—511
- [ 5 ] 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. 经济林研究, 2012, 30 ( 4 ) : 36—40. Li Q, Hu D N, Zhang H, et al. Effects of different types of fertilizers on spring shoot growth, fruit shape index and yield in *Camellia oleifera* ( In Chinese ) . Nonwood Forest Research, 2012, 30 ( 4 ) : 36—40
- [ 6 ] 李荣喜, 胡红莲, 黄永芳, 等. 6种保水剂对油茶生长和光合特性的影响. 经济林研究, 2012, 30 ( 4 ) : 47—51. Li R X, Hu H L, Huang Y F, et al. Effects of six water retention agents on growth and photosynthetic characteristics in *Camellia oleifera* ( In Chinese ) . Nonwood Forest Research, 2012, 30 ( 4 ) : 47—51
- [ 7 ] 王玉娟, 陈永忠, 王瑞, 等. 覆草间种对油茶林土壤养分及生长量影响的主成分分析. 中南林业科技大学学报, 2010, 30 ( 6 ) : 43—49. Wang Y J, Chen Y Z, Wang R, et al. A principal component analysis on effects of covering straw and inter-planting on *Camellia oleifera* forest soil nutrient and growth ( In Chinese ) . Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30 ( 6 ) : 43—49
- [ 8 ] 高延军, 张喜英. 冬小麦品种间水分利用效率的差异及其影响因子分析. 灌溉排水学报, 2004 ( 5 ) : 45—50. Gao Y J, Zhang X Y. Discrepancies of WUE of different winter wheat varieties and analysis of the interrelated factors ( In Chinese ) . Journal of Irrigation and Drainage, 2004 ( 5 ) : 45—50
- [ 9 ] 张丽华, 赵洪祥, 谭国波, 等. 水肥耦合对大豆光合特性及产量的影响. 大豆科学, 2010, 29 ( 2 ) : 268—271. Zhang L H, Zhao H X, Tan G B, et al. Influence of water and fertilizer coupling on photosynthetic characters and yield of soybean ( In Chinese ) . Soybean Science, 2010, 29 ( 2 ) : 268—271
- [ 10 ] 吴建军, 鲁北南. 施肥和灌溉对油茶主要经济性状的影响. 经济林研究, 1997, 15 ( 2 ) : 27—29. Wu J J, Lu B N. Effects of fertilization and irrigation on main economic targets of *Camellia oleifera* Abel ( In Chinese ) . Nonwood Forest Research, 1997, 15 ( 2 ) : 27—29
- [ 11 ] 任露泉. 试验优化设计与分析: 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2003. Ren L Q. Optimum design and analysis of experiments ( In Chinese ) 2nd Ed. Beijing: Higher Education Press, 2003



- [12] 胡冬南, 刘亮英, 张文元, 等. 江西油茶林地土壤养分限制因子分析. 经济林研究, 2013, 31 (1): 1—6. Hu D N, Liu L Y, Zhang W Y, et al. Analysis on limiting factors of soil nutrient of *Camellia oleifera* forest in Jiangxi (In Chinese). Nonwood Forest Research, 2013, 31 (1): 1—6
- [13] 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. 林业科学研究, 2007, 20 (5): 650—655. Chen Y Z, Peng S F, Wang X N, et al. Study of high yield cultivation technologies of oil tea *Camellia (Camellia oleifera)* --Formulate fertilization (In Chinese). Forest Research, 2007, 20 (5): 650—655
- [14] 王进鑫, 张晓鹏, 高保山. 水肥耦合对矮化富士苹果幼树的促长促花作用研究. 干旱地区农业研究, 2004, 22 (3): 47—50. Wang J X, Zhang X P, Gao B S. Accelerating function of fertilizer and irrigation on shoot growth and flowering of young dwarfing apple tree (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22 (3): 47—50
- [15] 汪瑞清, 刘仁根, 肖运萍, 等. 水肥耦合对赣南脐橙园脐橙品质的影响. 广东农业科学, 2009 (6): 86—88. Wang R Q, Liu R G, Xiao Y P, et al. Effect of water and fertilizer treatment on quality of naval orange in Gannan orange park (In Chinese). Guangdong Agricultural Sciences, 2009 (6): 86—88
- [16] 王梓, 马履一, 贾忠奎, 等. 1年生欧美107杨地上生物量水肥耦合效应. 东北林业大学学报, 2011, 39 (3): 49—51. Wang Z, Ma L Y, Jia Z K, et al. Coupling effect of water and fertilizer on aboveground biomass of one-year-old *Populus × euramericana* cv. "74/76" (In Chinese). Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39 (3): 49—51
- [17] 胡芳名, 谢碧霞, 王晓明. 枣树经济施肥与氮素营养诊断的研究. 林业科学, 1992, 28 (1): 12—21. Hu F M, Xie B X, Wang X M. Economical fertilization and nitrogen nutritional diagnosis for common jujube trees (In Chinese). Scientia Silvae Sinicae, 1992, 28 (1): 12—21
- [18] de Groot C C, Marcelis L F M, van den Boogaard R, et al. Interaction of nitrogen and phosphorus nutrition in determining growth. Plant and Soil, 2003, 248 (1/2): 257—268
- [19] 吴楚, 范志强, 王政权. 氮磷供应状态对水曲柳幼苗氮磷吸收与生长的影响. 林业科学, 2005, 41 (5): 196—200. Wu C, Fan Z Q, Wang Z Q. Influences of nitrogen and phosphorus supply on their absorption and growth of *Fraxinus mandshurica* seedlings (In Chinese). Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41 (5): 196—200

## EFFECTS OF WATER AND FERTILIZER ON FRUIT YIELD OF HIGH-YIELDING CLONAL *CAMELLIA OLEIFERA* ABEL

Zhang Wen Yuan Guo Xiaomin Tu Shuping Hu Dongnan<sup>†</sup>

(College of Landscape Architecture and Art, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**Abstract** *Camellia oleifera* Abel is the unique woody oil plants in south China, it has high development and utilization value. Water and fertilizer are two important factors that affect the yield of *C. oleifera* Abel. Combined with nutrients and moisture to discuss the effects of water and fertilizer on the yield of *C. oleifera* Abel can provide the scientific basis for sustainable management of *C. oleifera* Abel forests. The experiment was set in Xinzi county Jiujiang City in Jiangxi Province, and 7-year old Gan-wu high yield clones of *C. oleifera* Abel were used as materials. Adopting quadratic general rotary unitized design, 5 different levels of application volumes of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and irrigation water (H<sub>2</sub>O) were designed to explore the effects of water and fertilizer on fruit yield of *C. oleifera* Abel. The results of single factor effect analysis indicated that the N, P, K and H<sub>2</sub>O has significant effects on fruit yield of *C. oleifera* Abel. When the amount levels of each factor was  $-2 < X < 2$ , the fruit yield *C. oleifera* Abel showed parabolic trend with the increment of N, P, K and H<sub>2</sub>O. With the conditions of setting other factors for middle level, no matter fertilizer or water, the more were not the better, but each has its optimum amount. In order to get the maximum of fruit yield of *C. oleifera* Abel, the optimum amount of nitrogen fertilizer was N

168.0 g plant<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 48.9 g plant<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 156.6 g plant<sup>-1</sup>, and the optimum amount of irrigation was 26.9 kg plant<sup>-1</sup>.

The results of interaction analysis of N, P, K and H<sub>2</sub>O four factor showed that there had significant interactions effect between nutrient element N and K, K and H<sub>2</sub>O on fruit yield of *C. oleifera* Abel. Within a certain range, N and K has obviously positive synergistic effect, the increment of N or K will promote the fruit yield of *C. oleifera* Abel. But the excessive amount of fertilizer could cause the inhibition, and either N or K fertilizer applied into a small quantity, the fruit production of *C. oleifera* Abel would be affected and could not obtained high yield. When two species fertilizer increased suitable measure, fruit production reached maximum value 3 174 g plant<sup>-1</sup>, it's obviously higher than the maximum value in N or K single factor effect analysis. The interaction effect between K and H<sub>2</sub>O interaction showed a similar pattern, when K fertilizer and irrigation also increased to a certain value, the maximum fruit yield of *C. oleifera* Abel reached to 3 173 g plant<sup>-1</sup>, any lower levels of these factors would lead to lower maximum fruit yield of *C. oleifera* Abel. What's more, the excessive irrigation or potassium are not conducive to fruit yield of *C. oleifera* Abel. Therefore, in the management of *C. oleifera* Abel forest, we should not only take into account the reasonable ratio of nutrients, but also pay attention to the balance between nutrients and water.

Fertilization and irrigation are critical factors that determine fruit yield of *C. oleifera* Abel, and the interactions between these factors significantly affect the fruit yield of *C. oleifera* Abel, when the yield reached maximum, the coding value of the four factors, N, P, K and H<sub>2</sub>O, was 1.03, 0.62, 1.19 and 0.92, respectively. That is to say, if each plant receives available nutrients 181.8 g N, 48.6 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 287.1 g K<sub>2</sub>O and 29.2 kg water annually, or the *C. oleifera* Abel field is applied with 795 kg N, 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 474 kg K<sub>2</sub>O, and irrigated with 48 m<sup>3</sup> water per hectare, fresh fruit yield of *C. oleifera* Abel can reach as high as 5 131 kg hm<sup>-2</sup>.

**Key words** *Camellia oleifera* Abel; Water and fertilizer; Synergy; Fruit yield

(责任编辑：汪叔生)

CONTENTS

**Reviews and Comments**

A review of study on microbial ecology of nitrite-dependent anaerobic methane oxidation ..... Shen Lidong ( 721 )

**Soil Science and Modern Agriculture**

- Spatio-temporal variation of total N content in farmland soil of Jiangxi Province in the past 30 years ..... Zhao Xiaomin, Shao Hua, Shi Qinghua, et al. ( 730 )
- Early warning of heavy metals potential risk governance in Beijing ..... Jiang Hongqun, Wang Binwu, Liu Xiaona, et al. ( 745 )
- Effect of deep application of straw on composition of humic acid in soil aggregates ..... Zhu Shu, Dou Sen, Chen Lizhen ( 758 )
- Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil ..... Yu Yingliang, Xue Lihong, Yang Linzhang, et al. ( 766 )
- Effects of water and fertilizer on fruit yield of high-yielding clonal *Camellia oleifera* Abel ..... Zhang Wenyuan, Guo Xiaomin, Tu Shuping, et al. ( 774 )

**Research Articles**

- VRML-based virtual reality modeling of three dimensional variation of soil electrical conductivity ..... Li Hongyi, Gu Chengjian, Dan Chenglong, et al. ( 781 )
- Effect of number of sampling sites on characterization of spatial variability of soil organic matter ..... Hai Nan, Zhao Yongcun, Tian Kang, et al. ( 790 )
- Research on soil water movement based on stable isotopes ..... Jin Yurong, Lu Kexin, Li Peng, et al. ( 800 )
- Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China ..... Wu Liangquan, Wu Liang, Cui Zhenling, et al. ( 816 )
- Effects of fertilization on soil organic carbon and distribution of SOC in aggregates in tidal flat polders ..... Hou Xiaojing, Yang Jingsong, Wang Xiangping, et al. ( 827 )
- Effect of long-term fertilizer application on distribution of aggregates and aggregate-associated organic carbon in paddy soil ..... Mao Xiali, Lu Kouping, He Lizhi, et al. ( 837 )
- Effects of biochar on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from paddy field under rice-wheat rotation during rice and wheat growing seasons relative to timing of amendment ..... Li Lu, Zhou Ziqiang, Pan Xiaoqian, et al. ( 847 )
- Effects of successive application of crop-straw biochar on crop yield and soil properties in cambosols ..... Liu Yuan, M. Jamal Khan, Jin Haiyang, et al. ( 857 )
- Calculation of thickness of shear plane in diffuse double layer of constant charge soil colloid in single electrolyte system ..... Ding Wuqun, Zhu Qihong, Wang Lei, et al. ( 867 )
- Effect of chemical leaching remedying chromium contaminated soil in deserted chemical plant site ..... Li Shiye, Cheng Jiemin ( 877 )
- Limiting factors for restoration of dumping sites of ionic rare earth mine tailings ..... Liu Wenshen, Liu Chang, Wang Zhiwei, et al. ( 887 )
- Residues of organochlorine pesticides in soils of Liaodong and Shandong Peninsulas ..... Zhu Yingyue, Liu Quanyong, Li He, et al. ( 900 )
- Long-term application of winter green manures changed the soil microbial biomass properties in red paddy soil ..... Gao Songjuan, Cao Weidong, Bai Jinshun, et al. ( 909 )
- Effects of intercropping with leguminous crops on tomato yield, soil nutrients and enzyme activity ..... Dai Huihui, Hu Xuefeng, Cao Mingyang, et al. ( 917 )

**Research Notes**

- Relationship of free amino acids in root exudates with wilt disease (*Fusarium oxysporum*) of faba bean ..... Dong yan, Dong Kun, Tang Li, et al. ( 924 )
- Effects of intercropping of wheat and faba bean on diversity of metabolic function of rhizosphere fungal community ..... Hu Guobin, Dong Kun, Dong Yan, et al. ( 933 )
- Evolvement of structure and abundance of soil nitrogen-fixing bacterial community in *Phyllostachys edulis* plantations with age of time ..... He Donghua, Shen Qiulan, Xu Qiufang, et al. ( 941 )
- Effect of long-term fertilization on carbon sequestration in lime concretion black soil relative to fertilization pattern ..... Li Wei, Kong Lingcong, Zhang Cunling, et al. ( 949 )
- Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of <sup>15</sup>N in apple orchard ..... Peng Ling, Wen Zhao, An Xin, et al. ( 955 )

**Cover Picture:** Full view of ionic rare earth mine desert (by Tang Yetao, Liu Wenshen)

# 《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

## 土 壤 学 报

### Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 4 期 2015 年 7 月

## ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 4 July, 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会  
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008  
电话: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica  
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China  
Tel: 025 - 86881237  
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正  
主 管 中 国 科 学 院  
主 办 中 国 土 壤 学 会  
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng  
Superintended by Chinese Academy of Sciences  
Sponsored by Soil Science Society of China  
Undertaken by Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司  
总发行 科 学 出 版 社  
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717  
电话: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company  
Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China  
Tel: 010 - 64017032  
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation  
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929

