

网络出版时间:2019-04-01 15:19

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.10.003

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190401.1518.006.html>

氮磷钾不同配比对藤椒产量和品质的影响

唐海龙, 龚 伟, 王景燕, 罗小梅, 熊 靓, 郑隆迪, 胡杨夏

(四川农业大学 林学院 林业生态工程四川省重点实验室, 四川 成都 611130)

【摘 要】 【目的】探讨提高藤椒产量和品质的适宜氮磷钾施用量,为制定科学的藤椒施肥管理措施提供参考。【方法】以 6 年生藤椒为试验材料,利用二次回归“3414”正交试验设计,设置 N、P、K 的 3 个肥料因素,各因素均设 4 个水平,4 个水平分别为:0 水平指不施肥,2 水平指当地最佳施肥量($N\ 330\ \text{g/株}$ 、 $P_2O_5\ 50\ \text{g/株}$ 、 $K_2O\ 200\ \text{g/株}$),1 水平=2 水平 $\times 0.5$,3 水平=2 水平 $\times 1.5$ (过量施肥水平),共 14 个处理,研究氮、磷、钾配方施肥处理对藤椒产量和品质的影响。【结果】与不施肥处理相比,各施肥处理新鲜花椒产量增加了 24.4%~74.7%。氮、磷和钾肥平均肥料贡献率分别为 22.7%,16.0%和 13.5%,肥料贡献率表现为氮肥>磷肥>钾肥;氮、磷和钾肥平均农学效率分别为 4.9,22.5 和 4.5 kg/kg,肥料农学效率表现为磷肥>氮肥>钾肥。氮、磷和钾肥处理的花椒果皮千粒质量和挥发性芳香油、麻味物质、醇抽提物、不挥发性乙醚抽提物含量及品质综合值与不施肥处理($N_0P_0K_0$)相比,分别提高 7.5%~21.6%,10.1%~40.2%,19.8%~60.7%,6.3%~32.3%,15.7%~48.1%和 218.3%~754.6%。氮磷、氮钾和磷钾互作效应在一定用量范围内能促进藤椒产量和品质的提高。通过建立新鲜花椒产量和品质综合值的肥料效应三元二次方程函数,获得藤椒高产优质的最佳推荐施肥量为: $N\ 323.4\sim 346.7\ \text{g/株}$ (平均为 335.1 g/株), $P_2O_5\ 49.0\sim 51.3\ \text{g/株}$ (平均为 50.2 g/株), $K_2O\ 214.1\sim 227.6\ \text{g/株}$ (平均为 220.9 g/株)。【结论】适宜的氮磷钾肥用量能提高藤椒产量和品质,得到了研究区藤椒最佳施肥量。

【关键词】 氮磷钾配施;产量;花椒品质;竹叶花椒

【中图分类号】 S573⁺.9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)10-0018-09

Effects of different N, P and K ratios on yield and quality of *Zanthoxylum armatum*

TANG Hailong, GONG Wei, WANG Jingyan, LUO Xiaomei,
XIONG Jing, ZHENG Longdi, HU Yangxia

(Sichuan Provincial Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, College of Forestry,
Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: 【Objective】 This study obtained optimal nitrogen, phosphorus and potassium application rate and ratio for high yield and quality of *Zanthoxylum armatum* to provide basis for formulating reasonable fertilization management measures. 【Method】 In this experiment, 6 years old *Zanthoxylum armatum* was selected for the “3414” experimental design to study the effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers at four different levels on the yield and quality of *Zanthoxylum armatum*. Level 0 applied no fertilizer, level 2 applied the best local rates of $N\ 330\ \text{g/plant}$, $P_2O_5\ 50\ \text{g/plant}$, and $K_2O\ 200\ \text{g/plant}$. Level 1 applied half amount of Level 2, while Level 3 applied 1.5 times of Level 2. 【Results】 Fertilization with nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer significantly increased the fresh fruit yield of *Zanthoxylum ar-*

【收稿日期】 2018-09-07

【项目基金】 国家重点研发计划项目(2018YFD1000605);四川省农作物育种攻关项目(2016NYZ0035);四川省农业科技成果转化项目(16NZ0067)

【作者简介】 唐海龙(1990—),男,四川广安人,博士,主要从事花椒培育及水肥管理研究。E-mail: tanghl2010@163.com

【通信作者】 龚 伟(1980—),男,四川崇州人,教授,博士,主要从事经济林培育及土壤生态研究。E-mail: gongwei@sicau.edu.cn

matum by 24.4%—74.7%. The average fertilizer contribution rates of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer were 22.7%, 16.0% and 13.5%, respectively. The contribution rates were in the order of nitrogen > phosphorus > potassium. The fertilizer agronomy rates were 4.9, 22.5 and 4.5 kg/kg with the order of phosphorus > nitrogen > potassium. The 1000-grain-weight of seed capsule, volatile oil content, numb-taste components content, ethanol-soluble extract content, non-volatile ether extract content and quality comprehensive value were increased by 7.5%—21.6%, 10.1%—40.2%, 19.8%—60.7%, 6.3%—32.3%, 15.7%—48.1% and 218.3%—754.6%, respectively. The interaction of nitrogen and phosphorus, nitrogen and potassium or phosphorus and potassium interaction effects promoted the yield and quality of capsicum in certain ranges. By establishing the fertilizer effect function for the comprehensive value of *Zanthoxylum armatum* fresh fruit yield and quality comprehensive value, the recommended fertilizer amounts in study area were: N 323.4—346.7 g/plant (averagely 335.1 g/plant), P_2O_5 49.0—51.3 g/plant (averagely 50.2 g/plant), K_2O 214.1—227.6 g/plant (averagely 220.9 g/plant). 【Conclusion】 Appropriate nitrogen, phosphorus and potassium application rates are important to improve the yield and quality of *Zanthoxylum armatum*, and this study obtained the optimal amounts for the study area.

Key words: combined application nitrogen, phosphorus and potassium; yield; quality; *Zanthoxylum armatum*

氮、磷和钾是植物生长发育必需的 3 种营养元素,对其长势、产量和品质具有重要作用。植物吸收利用的氮磷钾除了土壤本身所固持的养分外,很大程度依靠外界氮磷钾肥的补充。已有研究发现,施肥是作物产量形成的重要组成部分^[1]。刘彦伶等^[2]研究发现,氮磷钾平衡施肥对玉米的增产效果显著高于氮磷、氮钾和磷钾配施。薛亮等^[3]研究发现,氮磷钾肥配施后甜瓜产量提高了 16.4%~66.0%,经济效益明显增加,氮磷互作对产量和经济效益为正效应,而磷钾互作的影响均不显著,氮钾互作影响均为负效应。陈凤真^[4]研究发现,氮磷钾配施不仅能显著提高黄瓜对氮磷钾的吸收及产量,还能促进植株对钙镁等元素的吸收。赵佐平等^[5]研究发现,氮磷钾配施处理苹果产量比对照增产 59.3%,且肥料成本低于化肥配施有机肥。以上研究表明,合理的氮磷钾肥配比和施用量能显著增强植株对养分的吸收,提高产量和品质。

竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)为芸香科花椒属植物,具有生长快、结果早、收益好和根系发达等优点,具有较强的水土保持和助农增收作用^[6]。目前,竹叶花椒在川东山丘区种植面积较大,仅广安市种植面积已超过 1 万 hm^2 ^[7]。大部分椒园处于粗放式管理或不科学管理状态,对竹叶花椒的施肥基本是按照传统种植经验进行,氮磷钾配比不当或施用量过多,不仅影响竹叶花椒产量和品质,而且会造成潜在的环境污染^[8]。迄今为止,有关花椒施肥方面的研究报道较少,王景燕等^[9]和何友军等^[10]研究

了氮磷钾肥配施对花椒幼苗生长和抗性的影响,孟庆翠等^[11]研究了氮磷钾肥配施对花椒产量的影响,但有关氮磷钾肥配施对花椒品质的研究还未见报道。为此,本研究以竹叶花椒栽培品种藤椒为对象,研究氮磷钾配方施肥对 6 年生藤椒产量和品质的影响,并利用隶属函数对不同配比施肥效果进行综合评价,筛选出最优氮磷钾肥施用量,以期为研究区竹叶花椒的科学施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

试验地位于川东丘陵区岳池县长田乡藤椒基地(106°29' E, 30°43' N),属中亚热带湿润季风气候,年均降水量 1 204 mm,年平均气温 17.5℃,无霜期 330 d,年总日照时数 1 182 h^[12-13]。供试土壤为紫色土,土层厚度 40 cm 左右;试验区海拔 490~540 m,坡度 12°左右。6 年生藤椒林为 2010 年秋季坡地退耕后形成的,株行距为 2 m×3 m,藤椒从 3 龄开始采用以采代剪和采收后枝叶还地的管理措施。试验前 0~20 cm 土层土壤含有机质 9.82 g/kg,全氮 0.70 g/kg,全磷 0.35 g/kg,全钾 19.6 g/kg,碱解氮 56.1 mg/kg,有效磷 31.4 mg/kg,速效钾 91.3 mg/kg, pH 值 7.69。

1.2 试验设计

采用“3414”不完全正交回归设计方案,设置 N、P、K 3 个肥料因素,各因素均设 4 个水平。4 个水平分别为:0 水平指不施肥,2 水平指当地最佳施肥

量的近似值,1 水平=2 水平×0.5,3 水平=2 水平×1.5(过量施肥水平),其中 2 水平的施肥量为: N 330 g/株,P₂O₅ 50 g/株,K₂O 200 g/株。每个处理为 6 m×6 m 的试验小区,每个小区 6 株,3 次重复,共计 252 株。试验设计及施肥处理见表 1。试验于 2016 年 7 月初(果实采收后)开始,氮肥(尿

素)、磷肥(过磷酸钙)和钾肥(硫酸钾)分 4 次施入,分别于 2016 年 7 月、2016 年 10 月、2017 年 2 月和 2017 年 5 月按总施肥量的 30%,20%,30%和 20%施入。在 2017 年 6 月底花椒采摘时分别测定各处理的单株产量,每个处理小区采集约 500 g 新鲜花椒带回实验室测定果实品质。

表 1 “3414”施肥处理的试验设计方案
Table 1 Experimental design of the “3414” fertilizing treatments

编号 Code	施肥处理 Treatment	施肥梯度 Gradient	全年施肥量/(g·株 ⁻¹) Annual fertilizer amount		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	N ₀ P ₀ K ₀	CK	0	0	0
2	N ₀ P ₂ K ₂	N ₀	0	50	200
3	N ₁ P ₂ K ₂	N ₁	165	50	200
4	N ₂ P ₀ K ₂	P ₀	330	0	200
5	N ₂ P ₁ K ₂	P ₁	330	25	200
6	N ₂ P ₂ K ₂	N ₂ /P ₂ /K ₂	330	50	200
7	N ₂ P ₃ K ₂	P ₃	330	75	200
8	N ₂ P ₂ K ₀	K ₀	330	50	0
9	N ₂ P ₂ K ₁	K ₁	330	50	100
10	N ₂ P ₂ K ₃	K ₃	330	50	300
11	N ₃ P ₂ K ₂	N ₃	495	50	200
12	N ₁ P ₁ K ₂		165	25	200
13	N ₁ P ₂ K ₁		165	50	100
14	N ₂ P ₁ K ₁		330	25	100

1.3 指标测定及计算方法

单株产量为采收后直接测定的鲜质量,花椒果皮产量是将新鲜花椒风干后,去除花椒籽和杂质后的质量,千粒质量为 1 000 粒风干花椒果皮的质量。花椒挥发性芳香油含量采用蒸馏抽提法测定^[14],麻味物质含量采用甲醇浸提-紫外分光光度法测定^[15],醇溶抽提物含量采用乙醇浸提蒸干法测定^[16],不挥发性乙醚抽提物含量采用无水乙醚浸提蒸干法测定^[17]。

参照 Manna 等^[18]和谢军等^[19]的方法,计算藤椒增产率(yield increase rate,YIR,%),地力贡献率(soil contribution rate,SCR,%),肥料贡献率(fertilizer contribution rate,FCR,%)和农学效率(Ag-ronomic efficiency,AE,kg/kg),计算公式如下:

增产率=(Y-Y₀)/Y₀×100%;
地力贡献率=Y₀/Y×100%;
肥料贡献率=(Y-Y₀)/Y×100%;
肥料农学效率=(Y-Y₀)/F。

式中:Y、Y₀和 F 分别表示施肥处理新鲜花椒产量、不施肥处理新鲜花椒产量和肥料施用量。

花椒品质是多个相关指标综合反映的结果,为系统评价配方施肥对藤椒品质的影响差异,采用隶属函数法,对各处理花椒果皮千粒质量、挥发性芳香油含量、麻味物质含量、醇溶抽提物含量和不挥发性

乙醚抽提物含量指标进行转换,计算公式为: $X(u)=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$,其中 X、X_{min}、X_{max} 分别为各指标的平均值、最小值和最大值,将转化后各指标隶属度值累加求得品质综合值,综合值越大,表示花椒品质越好。

1.4 数据处理与分析

数据采用 Excel 2013 和 SPSS 22.0 进行统计与分析,采用 Matlab 8.3 绘制三维图,不同施肥处理藤椒各指标间的显著性检验采用单因子方差分析(ANOVA)和最小显著极差法(SSR)。根据“3414”试验设计的特点,固定氮磷钾 3 个因素中的 2 个(均为 2 水平),可对另一个因素的用量效果进行单因素分析^[20]。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾不同配比对藤椒产量的影响

表 2 显示,氮、磷和钾肥配施对新鲜花椒产量影响显著,氮、磷和钾肥处理小区的新鲜花椒平均产量均显著高于不施肥处理 1,新鲜花椒产量增加 24.4%~74.7%,其中以处理 6(N₂P₂K₂)的平均产量最高,比不施肥处理 1 增加了 74.7%;其次为处理 10(N₂P₂K₃)和处理 7(N₂P₃K₂),分别比处理 1 增加了 63.6%和 59.3%;其他氮、磷和钾均衡施肥处理 3,5,9,11,12,13 和 14 之间的新鲜花椒产量无显

著差异。缺氮处理 2($N_0P_2K_2$)新鲜花椒产量比不施肥处理 1 增加了 24.4%,较平衡施肥处理 6 降低了 28.8%;缺磷处理 4($N_2P_0K_2$)新鲜花椒产量比不施肥处理 1 增加了 37.4%,较平衡施肥处理 6 降低了

21.3%;缺钾处理 8($N_2P_2K_0$)新鲜花椒产量比不施肥处理 1 增加了 42.2%,较平衡施肥处理 6 降低了 18.6%。花椒果皮产量与新鲜花椒产量变化规律基本一致。

表 2 氮磷钾不同配比对藤椒产量的影响

Table 2 Effect of different formula fertilization treatments on yield of *Zanthoxylum armatum*

编号 Code	施肥处理 Treatment	新鲜花椒产量/(g·株 ⁻¹) Fresh fruit yield	果皮产量/(g·株 ⁻¹) Seed capsule yield	新鲜花椒增产率/% Yield increasing rate	地力贡献率/% Soil contribution rate
1	$N_0P_0K_0$	3 653.6±198.1 f	924.2±50.8 f	—	100.0
2	$N_0P_2K_2$	4 545.7±204.8 e	1 108.1±58.5 e	24.4	80.4
3	$N_1P_2K_2$	5 684.4±419.0 bc	1 375.2±61.7 bcd	55.6	64.3
4	$N_2P_0K_2$	5 020.8±388.1 de	1 259.6±61.0 d	37.4	72.8
5	$N_2P_1K_2$	5 758.5±329.1 abc	1 406.7±75.8 bcd	57.6	63.5
6	$N_2P_2K_2$	6 380.9±452.0 a	1 563.0±71.8 a	74.7	57.3
7	$N_2P_3K_2$	5 821.4±355.6 abc	1 484.6±78.1 ab	59.3	62.8
8	$N_2P_2K_0$	5 195.9±376.3 cd	1 302.7±61.0 cd	42.2	70.3
9	$N_2P_2K_1$	5 704.2±394.3 bc	1 415.6±72.5 bc	56.1	64.1
10	$N_2P_2K_3$	5 977.4±312.0 ab	1 468.9±105.2 ab	63.6	61.1
11	$N_3P_2K_2$	5 637.0±311.6 bcd	1 380.7±115.4 bcd	54.3	64.8
12	$N_1P_1K_2$	5 616.4±319.5 bcd	1 295.1±76.7 cd	53.7	65.1
13	$N_1P_2K_1$	5 787.7±329.2 abc	1 273.7±62.8 cd	58.4	63.1
14	$N_2P_1K_1$	5 614.4±349.3 bcd	1 343.9±95.1 bcd	53.7	65.1

本研究中,各施肥处理的地力贡献率为 57.3%~80.4%,而分别缺氮、磷、钾肥的处理 2,4 和 8 的地力贡献率均明显高于其他施肥处理,分别达 80.4%,72.8%和 70.3%。分别对氮(处理 2,3,6 和 11)、磷(处理 4,5,6 和 7)和钾(处理 6,8,9 和 10)不同施肥水平的肥料贡献率和农学效率(图 1)进行分析可知,随着施用量的增加,氮、磷和钾肥的贡献率均呈先增加后降低的趋势,平均肥料贡献率分别

为 22.7%,16.0%和 13.5%,贡献率表现为氮肥>磷肥>钾肥。随着施用量的增加,氮和磷肥的农学效率均下降,钾肥的肥料农学效率呈先增加后降低的变化趋势,氮、磷和钾肥的平均农学效率分别为 4.9,22.5 和 4.5 kg/kg,农学效率表现为磷肥>氮肥>钾肥。说明合理的氮、磷和钾肥配比施用,不仅能显著提高藤椒产量,而且可以提高肥料贡献率,降低产量对土壤肥力的依赖性。

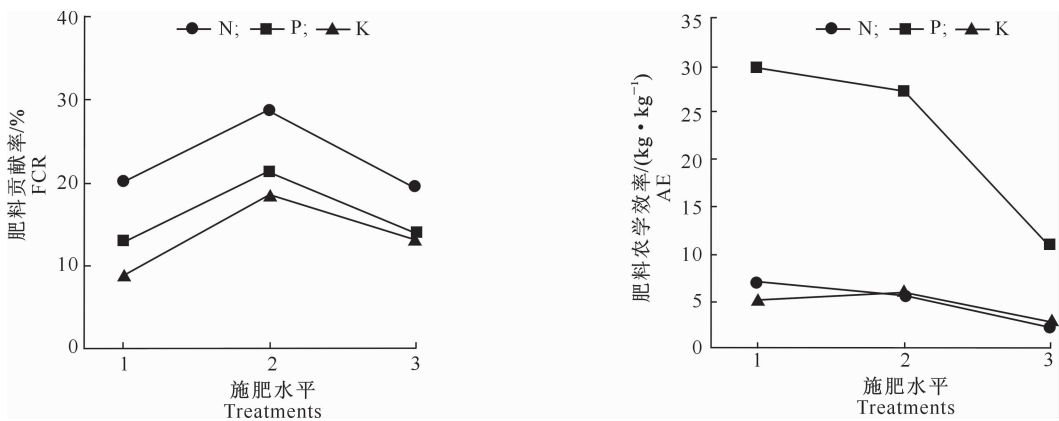


图 1 氮磷钾不同施肥水平下藤椒的肥料贡献率和农学效率

Fig. 1 Fertilizer contribution rate (FCR) and agronomic efficiency of fertilizer (AE) of *Zanthoxylum armatum* in different formula fertilization treatments

2.2 氮磷钾不同配比对藤椒品质的影响

表 3 显示,氮、磷和钾肥配施对藤椒品质各指标影响显著,氮、磷和钾肥处理的果皮千粒质量、挥发性芳香油、麻味物质、醇溶抽提物和不挥发性乙醚抽

提物含量均高于不施肥的处理 1,较处理 1 分别增加了 7.5%~21.6%,10.1%~40.2%,19.8%~60.7%,6.3%~32.3%和 15.7%~48.1%。缺肥处理 2,4 和 8 的果皮千粒质量均低于氮、磷和钾均

衡施肥的 10 个处理(处理 3,5,6,7,9,10,11,12,13 和 14),较千粒质量最高的处理 6(N₂P₂K₂)降低了 11.6%,10.8%和 9.3%。挥发性芳香油和醇溶抽提物含量对氮、磷和钾配方施肥的响应规律与千粒质量基本相同。处理 6(N₂P₂K₂)和处理 10(N₂P₂K₃)麻味物质含量明显高于其他处理,且两者之间无显著差异。缺肥处理 2,4 和 8 的麻味物质含量均低于均衡施肥处理,且缺氮处理 2 的麻味物质含量最低,缺磷处理 4 与缺钾处理 8 的麻味物质含量之间无显著差异,处理 2,4,8 较麻味物质含量最高的处理 6(N₂P₂K₂)分别降低了 25.4%,19.0%和 19.8%。缺钾处理 8 的不挥发性乙醚抽提物含量与均衡施肥处理间无显著差异;缺氮处理 2 和缺磷处

理 4 的不挥发性乙醚抽提物含量均低于均衡施肥处理,较不挥发性乙醚抽提物含量最高的处理 6(N₂P₂K₂)降低了 21.9%和 15.2%。

由表 3 可知,施肥处理能显著提高藤椒品质综合值,较处理 1 增加了 218.3~754.6%,其中处理 6,7 和 10 的品质综合值明显高于其他施肥处理,且这 3 个处理间品质综合值无显著差异,其品质综合值分别是不施肥处理 1 的 8.5,7.3 和 7.7 倍。说明氮、磷和钾肥合理配施不仅能显著提高花椒果皮千粒质量及挥发性芳香油、麻味物质、醇溶抽提物和不挥发性乙醚抽提物含量,而且能大幅度提升花椒的综合品质。

表 3 氮磷钾不同配比对藤椒品质的影响

Table 3 Average quality parameters of *Zanthoxylum armatum* fruit in different formula fertilization treatments

编号 Code	施肥处理 Treatment	千粒质量/g 1 000-grain weight of dry fruit	挥发性芳香油/ (mL·hg ⁻¹) Volatile oil content	麻味物质/ (mg·g ⁻¹) Numb-taste components content	醇溶抽提物/ (g·hg ⁻¹) Ethanol-soluble extract content	不挥发性乙醚抽提物/ (g·hg ⁻¹) Non-volatile ether extract content	品质综合值 Quality comprehensive value
1	N ₀ P ₀ K ₀	16.57±0.88 d	10.48±0.54 d	8.77±0.50 f	16.28±0.76 d	10.85±0.48 d	0.50±0.11 e
2	N ₀ P ₂ K ₂	17.81±0.87 cd	11.54±0.53 cd	10.51±0.49 e	17.30±0.83 cd	12.55±0.64 c	1.59±0.26 d
3	N ₁ P ₂ K ₂	19.36±0.93 abc	13.94±0.68 ab	12.93±0.67 bc	20.70±1.18 ab	15.01±0.79 ab	3.53±0.24 b
4	N ₂ P ₀ K ₂	17.97±1.06 bcd	11.83±0.56 cd	11.41±0.53 de	18.92±0.92 bc	13.63±0.68 bc	2.19±0.17 cd
5	N ₂ P ₁ K ₂	19.59±1.00 ab	14.13±0.68 ab	12.83±0.70 bc	20.44±1.10 ab	14.96±0.76 ab	3.55±0.20 b
6	N ₂ P ₂ K ₂	20.15±0.80 a	14.69±0.80 a	14.09±0.82 a	21.53±1.26 a	16.07±0.85 a	4.27±0.55 a
7	N ₂ P ₃ K ₂	19.60±0.92 ab	14.27±0.62 ab	12.89±0.70 bc	20.58±1.3 ab	15.40±0.89 ab	3.67±0.26 ab
8	N ₂ P ₂ K ₀	18.43±0.75 bc	12.44±0.58 bc	11.76±0.48 cd	19.23±0.96 b	14.05±0.81 ab	2.56±0.21 c
9	N ₂ P ₂ K ₁	19.33±0.99 abc	13.61±0.86 ab	12.71±0.73 bc	20.20±0.92 ab	14.70±0.83 ab	3.32±0.59 b
10	N ₂ P ₂ K ₃	19.82±0.96 a	14.38±0.62 a	13.29±0.59 ab	20.79±1.20 ab	15.53±0.75 ab	3.84±0.30 ab
11	N ₃ P ₂ K ₂	19.56±0.85 ab	14.22±0.92 ab	12.60±0.82 bcd	20.45±0.97 ab	15.06±0.72 ab	3.54±0.58 b
12	N ₁ P ₁ K ₂	19.05±0.91 abc	13.67±0.57 ab	12.56±0.64 bcd	20.09±1.22 ab	14.87±0.65 ab	3.26±0.29 b
13	N ₁ P ₂ K ₁	19.40±0.79 abc	13.88±0.85 ab	12.72±0.58 bc	20.22±0.89 ab	14.96±0.68 ab	3.42±0.09 b
14	N ₂ P ₁ K ₁	19.11±0.76 abc	13.53±0.54 ab	12.44±0.68 bcd	20.00±1.15 ab	14.66±0.71 ab	3.18±0.57 b

2.3 藤椒高产优质的推荐施肥量分析

根据“3414”试验设计,分析了氮磷、氮钾和磷钾肥两因素对新鲜花椒产量和品质综合值的交互作用。首先分别将氮(N)、磷(P₂O₅)和钾肥(K₂O)施用量分别固定在 330,50 和 200 g/株,然后利用 Matlab 插值回归拟合方程后绘制两因素间的交互作用曲面图,结果见图 2。由图 2 可知,氮磷互作效应中,新鲜花椒产量和品质综合值均随氮磷施用量的增加呈先增大后降低的趋势,新鲜花椒产量达到最大值的氮(N)、磷(P₂O₅)施用量分别为 313.8 和 51.8 g/株,品质综合值达最大值的氮(N)、磷(P₂O₅)施用量分别为 334.2 和 53.9 g/株。氮钾互作效应中,新鲜花椒产量和品质综合值的变化规律与氮磷互作效应规律相似,新鲜花椒产量达到最大值的氮(N)、钾(K₂O)施用量分别为 309.8 和 234.8 g/株,品质综合值达最大值的氮(N)、钾(K₂O)施用

量分别为 331.1 和 251.1 g/株。磷钾互作效应中,新鲜花椒产量和品质综合值均随磷钾施用量的增加呈先增加后下降的变化规律,新鲜花椒产量达到最大值的磷(P₂O₅)、钾(K₂O)施用量分别为 49.2 和 310.1 g/株,品质综合值达最大值的磷(P₂O₅)、钾(K₂O)施用量分别为 45.0 和 285.1 g/株。说明氮磷、氮钾和磷钾互作,在一定范围内可促进藤椒产量和品质的提升,过量则有抑制作用。

将新鲜花椒产量(Y_Y)作为目标变量,氮(x₁)、磷(x₂)和钾肥用量(x₃)作为自变量,对试验数据回归拟合得到藤椒产量与氮、磷、钾肥的三元二次方程为:

$$Y_Y=3\ 663.258+6.208x_1+41.549x_2+4.394\times$$
$$x_3-0.016x_1^2-0.475x_2^2-0.021x_3^2+$$
$$0.019x_1x_2+0.015x_1x_3-0.005x_2x_3;$$

$R^2=0.910,F=17.111,P<0.01。$

同理,将品质综合值(Y_Q)作为目标变量,氮(x_1)、磷(x_2)、钾肥用量(x_3)作为自变量,回归得到的方程为:

$$Y_Q=0.514+0.008x_1+0.057x_2+0.007x_3-2.256\times10^{-5}x_1^2-7.446\times10^{-4}x_2^2-3.346\times10^{-5}x_3^2+5.442\times10^{-5}x_1x_2+$$

$2.284\times10^{-5}x_1x_3+2.070\times10^{-6}x_2x_3;$

$R^2=0.905,F=33.757,P<0.01。$

采用矩阵方程模型进行求解,得到新鲜花椒产量最大时的氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)施用量分别为 323.4,49.0 和 214.1 g/株,品质综合值最大时的氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)施用量分别为 346.7,51.3 和 227.6 g/株。

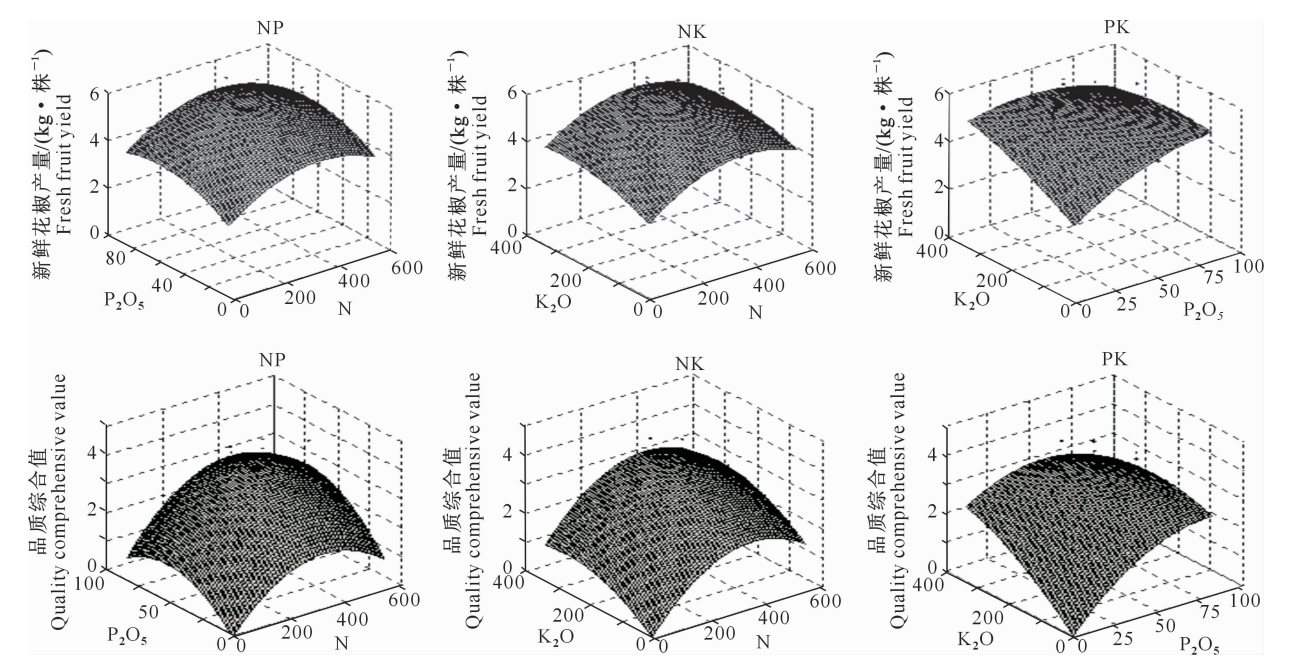


图 2 N、P、K 对藤椒产量和品质综合值的相互效应分析

Fig. 2 Interaction effect of N,P and K fertilizers on yield and quality comprehensive value of *Zanthoxylum armatum*

3 讨 论

氮、磷和钾肥是植物生长发育所必需的大量矿物质元素,适当施入均能提高植株生物量或产量,且氮磷钾配施能显著促进植株生长,进而增加产量^[21]。本研究发现,施用氮、磷、钾肥均能提高花椒的产量,肥料贡献率为氮肥>磷肥>钾肥,这与孟庆翠等^[11]、张国桢等^[22]和蔡东升等^[23]的研究结果均相似。本研究也发现,能获得最大花椒产量的氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)施用量分别为 323.4,49.0 和 214.1 g/株,获得最大品质综合值的氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)施用量分别为 346.7,51.3 和 227.6 g/株。这一阈值与孟庆翠等^[11]在花椒上的研究结果相似,但与其推荐施肥量有一定差异,可能与花椒栽培品种以及花椒对养分的吸收利用效率存在差异有关。申建波等^[24]指出,土壤的基础肥力越高,作物的生产潜力就越大,越容易获得高产。本研究中,基础地力贡献率为 57.3%~80.4%,说明试

验藤椒林地在以采代剪和枝叶还土管理的措施下,能维持较高的土壤肥力;同时,按生长期分次施肥,能及时补充藤椒生长结实所需的养分,增加藤椒树势和产量,从而提高了肥料利用率和农学效率。

氮是植物体内蛋白质的重要组成部分,直接影响植株的产量和品质,对植物生长发育及组织形成起到重要作用^[25]。磷作为植物体内代谢的调节者,直接参与植物体内的碳水化合物、蛋白质以及脂肪代谢^[26]。钾虽然不直接参与构成生物大分子,但它参与光合作用、同化产物运输、碳水化合物代谢以及蛋白质合成等过程,有助于植物体内的各种酶发挥作用^[27]。花椒品质中,外观色泽可通过研究分辨色泽来判断,果粒大小和果皮厚度可通过千粒质量来反映,而花椒挥发性芳香油和麻味物质含量等可更为精确直观地反映花椒的芳香度、含油量和麻味程度等^[28]。研究表明,氮磷钾配方施肥能显著提高土壤养分含量,增强植株养分吸收、光合能力和抗性,进而提高果实品质^[29]。本研究发现,氮磷钾肥配施

均能明显增加藤椒千粒质量及挥发性芳香油、麻味物质、醇溶抽提物、不挥发性乙醚抽提物含量和品质综合值,且随着氮、磷和钾肥施用量的增加均呈先增加后降低的变化趋势,这与柴仲平等^[30]、Tomo等^[31]和 Zhao 等^[32]的研究结果相似,说明氮磷钾合理配施对提高果实品质具有重要作用。

合理施肥是作物生产过程中重要的栽培管理措施^[33],但养分间的交互作用使各营养元素之间的关系变得复杂,要明确不同养分间的交互作用,得到适宜的养分配比,才能充分发挥肥料的作用^[34]。本研究分别对氮磷、氮钾和磷钾之间的交互作用进行了分析,发现在一定施肥量范围内,氮水平的提高有利于磷钾肥效的发挥,过量施用氮肥则抑制磷钾的肥效;磷肥对氮钾肥效和钾肥对氮磷肥效的影响与氮肥对磷钾肥效的影响相同。氮磷、氮钾和磷钾互作效应在一定用量范围内促进了藤椒产量和品质的提升,过量施用氮、磷和钾肥,则互作效应受到抑制。鲁剑巍等^[35]研究发现,磷钾肥配施对油菜产量产生了显著的正交互作用。张玉龙等^[36]研究发现,在一定用量范围内,氮磷对水稻产量有正交互作用,增加氮肥用量有利于磷肥肥效的发挥。苏伟等^[37]研究发现,氮、磷、钾肥之间存在一定的交互作用,互相影响肥效的发挥,中等水平的肥料用量有利于各养分效果的发挥。本研究结果与鲁剑巍等^[35]和苏伟等^[37]的研究结果相同,与张玉龙等^[36]的研究结果有一定差异,可能是本研究中土壤接近中性,而张玉龙等^[36]试验中土壤偏酸性,从而使氮磷间互作效应产生了差异。另外,分析氮磷、氮钾和磷钾交互效应对新鲜花椒产量和品质综合值影响的转折点发现,氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)转折点的值分别为 309.8~334.2,45.0~53.9 和 234.8~310.1 g/株,这与三元二次拟合得到最佳氮、磷和钾肥施用量在同一范围内,也在一定程度上说明了肥效交互效应与回归方程拟合结果具有一致性。

4 结 论

氮、磷和钾肥配施能明显提高藤椒产量和品质。氮、磷和钾肥平均肥料贡献率分别为 22.7%,16.0%和 13.5%,平均农学效率分别为 4.9,22.5 和 4.5 kg/kg。氮磷、氮钾和磷钾在一定用量范围内相互作用能促进藤椒产量和品质的提升。通过建立新鲜花椒产量和品质综合值的肥料效应三元二次方程函数,获得该地区藤椒最佳产量的氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)施用量分别为 323.4,49.0 和

214.1 g/株,最佳品质综合值的氮(N)、磷(P_2O_5)和钾肥(K_2O)施用量分别为 346.7,51.3 和 227.6 g/株。

【参考文献】

- [1] 许福涛,顾黄辉,徐 军.海门市油菜氮磷钾肥料效应研究:Ⅱ.施肥效益[J].土壤,2012,44(2):237-241.
Xu F T,Gu H H,Xu J. Response of rape to N,P and K fertilizer in Haimen: Ⅱ. fertilizing benefits [J]. Soils, 2012, 44 (2): 237-241.
- [2] 刘彦伶,李 渝,张雅蓉,等.长期氮磷钾肥配施对贵州黄壤玉米产量和土壤养分可持续性的影响[J].应用生态学报,2017,28(11):3581-3588.
Liu Y L,Li Y,Zhang Y R,et al. Effect of long-term application of N,P,K fertilizer on maize yield and yellow soil nutrients sustainability in Guizhou, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(11): 3581-3588.
- [3] 薛 亮,马忠明,杜少平.沙漠绿洲灌区甜瓜氮磷钾用量优化模式研究[J].中国农业科学,2015,48(2):303-313.
Xue L, Ma Z M, Du S P. A Study of the optimized model of N, P, K fertilization on muskmelon in desert oasis area [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(2): 303-313.
- [4] 陈凤真.氮磷钾用量及对比对黄瓜矿质元素吸收和产量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(6):174-180.
Chen F Z. Effects of application and ratio of nitrogen, phosphorus, and potassium on mineral nutrient absorption and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2015, 43(6): 174-180.
- [5] 赵佐平,同延安,刘 芬,等.长期不同施肥处理对苹果产量、品质及土壤肥力的影响[J].应用生态学报,2013,24(11):3091-3098.
Zhao Z P, Tong Y A, Liu F, et al. Effects of different long-term fertilization patterns on Fuji apple yield, quality and soil fertility on Weibei Dryland, Shaanxi Province of Northwest China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 24(11): 3091-3098.
- [6] Liu Y L, Wei A Z. The complete chloroplast genome sequence of an economically important plant, *Zanthoxylum bungeanum*, (Rutaceae) [J]. Conservation Genetics Resources, 2017(9): 25-27.
- [7] 王 山,胡 涛,彭志萍.广安林业扶贫路径:青花椒做成大产业[J].当代县域经济,2017(4):49-50.
Wang S, Hu T, Peng Z P. Path of forestry poverty alleviation in Guang'an: *Zanthoxylum armatum* making big industry [J]. Contemporary County Economy, 2017(4): 49-50.
- [8] 黄 岩,多田琦,遇 瑶,等.施肥对提高秣食豆产量和饲用品质的影响[J].草业学报,2017,26(4):211-217.
Huang Y, Duo T Q, Yu Y, et al. Effect of fertilizer on the yield and forage quality of *Glycine Max* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(4): 211-217.

- [9] 王景燕,唐海龙,龚伟,等.水肥耦合对汉源花椒幼苗生长、养分吸收和肥料利用的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2016,40(3):33-40.
- Wang J Y, Tang H L, Gong W, et al. Effects of water and fertilizer coupling on growth, nutrients absorption and fertilizer use of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim ‘Hanyuan’ seedling [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2016, 40(3): 33-40.
- [10] 何友军,刘友全,李少锋,等.配方施肥对椿叶花椒苗木生长和生理指标的影响[J].中南林业科技大学学报,2008,28(5):42-46.
- He Y J, Liu Y Q, Li S F, et al. Effects of formulated fertilization on the growth and physiological indexes of *Zanthoxylum ailanthoides* Sieb. et Zucc. seedlings [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2008, 28(5): 42-46.
- [11] 孟庆翠,刘淑明,孙丙寅.配方施肥对花椒产量的影响[J].西北林学院学报,2009,24(3):105-108.
- Meng Q C, Liu S M, Sun B Y. The effect of balanced fertilization on yield of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(3): 105-108.
- [12] 魏晋,邓良基,谭宏,等.川中丘陵区土地资源生态安全性评价:以广安市为例[J].四川农业大学学报,2009,27(3):338-344.
- Wei J, Deng L J, Tan H, et al. Assessment of ecological security of land resources in central hilly area of Sichuan Province: a case study of Guang'an City [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2009, 27(3): 338-344.
- [13] 蔡霞光,陈勇.广安市广安区土地治理项目效益研究[J].西南农业学报,2003,16(S1):83-85.
- Cai X G, Chen Y. Studies on benefit of land amelioration in Guang'an district of Guang'an City [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2003, 16(S1): 83-85.
- [14] Lin Y, Han W, Ge W C, et al. Chemical composition of the volatile oil from *Zanthoxylum avicennae* and antimicrobial activities and cytotoxicity [J]. Pharmacognosy Magazine, 2014, 10(1): 164-170.
- [15] 刘雄,阚建全,付陈梅,等.花椒麻味成分的提取与分离技术[J].食品与发酵工业,2004,30(9):112-116.
- Liu X, Kan J Q, Fu C M, et al. Study on extracting and separating spicy components from *Zanthorylum bungeanum* [J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(9): 112-116.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 12729. 10—2008 香辛料和调味品醇溶抽提物的测定[S].北京:中国标准出版社,2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GBT 12729. 10—2008 Speices and condiments: determination of ethanol-soluble extract [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 12729. 12—2008 香辛料和调味品不挥发性乙醚抽提物的测定[S].北京:中国标准出版社,2008.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GBT 12729. 10—2008 Speices and condiments: determination of non-volatile ether extract [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [18] Manna M C, Swarup A, Wanjari R H, et al. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. [J]. Field Crops Research, 2005, 93(2/3): 264-280.
- [19] 谢军,赵亚南,陈轩敬,等.有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J].中国农业科学,2016,49(20):3934-3943.
- Xie J, Zhao Y N, Chen X J, et al. Nitrogen of organic manure replacing chemical nitrogenous fertilizer improve maize yield and nitrogen uptake and utilization efficiency [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(20): 3934-3943.
- [20] 王圣瑞,陈新平,高祥照,等.“3414”肥料试验模型拟合的探讨[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):409-413.
- Wang S R, Chen X P, Gao X Z, et al. Study on simulation of “3414” fertilizer experiments [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(4): 409-413.
- [21] Dordas C. Foliar application of manganese increases seed yield and improves seed quality of cotton grown on calcareous soils [J]. Journal of Plant Nutrition, 2009, 32(1): 160-176.
- [22] 张国桢,李世清.氮磷钾配比对花椒产量的影响及其肥料效应模型分析[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):119-123.
- Zhang G Z, Li S Q. Nitrogen phosphorus and potassium combination influence and its model analysis of the *Znathoxylum bungeanum* [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(6): 119-123.
- [23] 蔡东升,李建明,李惠,等.营养液供应量对番茄产量、品质和挥发性物质的影响[J].应用生态学报,2018,29(3):921-930.
- Cai D S, Li J M, Li H, et al. Effects of nutrient solution supply amount on yield, quality and volatile matter of tomato [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 29(3): 921-930.
- [24] 申建波,毛达如.植物营养研究方法[M].北京:中国农业大学出版社,2011.
- Shen J B, Mao D R. Research methods of plant nutrition [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2011.
- [25] 李合生.现代植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- Li H S. Modern plant physiology [M]. Beiijing, Higher Education Press, 2006.
- [26] 王东光,尹光天,杨锦昌,等.磷肥对闽楠苗木生长及叶片氮磷钾浓度的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(3):40-44.
- Wang D G, Yin G T, Yang J C, et al. Effects of phosphorus fertilization on growth and foliar nutrient(N, P, K) of *Phoebe bournei* seedlings [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2014, 38(3): 40-44.
- [27] 郑元,唐军荣,高柱,等.不同施肥处理对木棉叶片光合特性和幼苗生长的影响[J].植物资源与环境学报,2016,25

(2);55-64.

Zheng Y,Tang J R,Gao Z,et al. Effects of different fertiliza-
tion treatments on photosynthetic characteristics of leaf and
seedling growth of *Bombax ceiba* [J]. Journal of Plant Re-
sources and Environment,2016,25(2):55-64.

[28] Tao X B,Peng W,Xie D S,et al. Quality evaluation of Hanyuan
Zanthoxylum bungeanum Maxim. using computer vision sys-
tem combined with artificial neural network: a novel method
[J]. International Journal of Food Properties,2017,20(12):
3056-3063.

[29] 袁晶晶,同延安,卢绍辉,等. 生物炭与氮肥配施对土壤肥力及
红枣产量、品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2017,23
(2):468-475.

Yuan J J,Tong Y A,Lu S H,et al. Effects of biochar and ni-
trogen fertilizer application on soil fertility and jujube yield
and quality [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2017,
23(2):468-475.

[30] 柴仲平,王雪梅,孙 霞,等. 不同氮磷钾配比滴灌对灰枣产量
与品质的影响 [J]. 果树学报,2011,28(2):229-233.

Chai Z P,Wang X M,Sun X,et al. Influence of N,P,K with
drip irrigation on yield and fruit quality of Huizao jujube [J].
Journal of Fruit Science,2011,28(2):229-233.

[31] Tomo M Milošević,Ivan P Glišić,Ivana S Glišić,et al. Cane
properties, yield, berry quality attributes and leaf nutrient
composition of blackberry as affected by different fertilization
regimes [J]. Scientia Horticulturae,2018,227(1):48-56.

[32] Zhao Z P,Duan M,Yan S,et al. Effects of different fertiliza-
tions on fruit quality,yield and soil fertility in field-grown ki-
wifruit orchard [J]. International Journal of Agriculture and
Biology,2016,10(2):162-171.

[33] Wang L F,Sun J T,Zhang Z B,et al. Winter wheat grain yield
in response to different production practices and soil fertility
in northern China [J]. Soil & Tillage Research,2018,176:10-
17.

[34] 曹鲜艳,徐福利,王渭玲,等. 黄芩产量和黄芩苷含量对氮磷钾
肥料的响应 [J]. 应用生态学报,2012,23(8):2171-2177.

Cao X Y,Xu F L,Wang W L,et al. Responses of *Scutellaria*
baicalensis Georgi yield and root baicalin content to the fertili-
zation rates of nitrogen,phosphorus and potassium [J]. Scien-
tia Agricultura Sinica,2012,23(8):2171-2177.

[35] 鲁剑巍,陈 防,张竹青,等. 磷钾肥配合施用对油菜产量及养
分积累的影响 [J]. 中国油料作物学报,2003,25(2):52-55.

Lu J W,Chen F,Zhang Z Q,et al. Effect of combination of
phosphorus and potassium application on rapeseed yield and
nutrients accumulation [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sci-
ences,2003,25(2):52-55.

[36] 张玉龙,杨 丹,刘鸣达,等. 北方酸性水稻土上氮磷硅肥配施
对水稻产量影响的研究 [J]. 土壤通报,2003,34(5):432-435.

Zhang Y L,Yang D,Liu M D,et al. Combination effects of N,
P and Si in rice yield in acid paddy soil of eastern Liaoning
[J]. Chinese Journal of Soil Science,2003,34(5):432-435.

[37] 苏 伟,鲁剑巍,刘 威,等. 氮磷钾肥用量对紫云英产量效应
的研究 [J]. 中国生态农业学报,2009,17(6):1094-1098.

Su W,Lu J W,Liu W,et al. Effect of N,P and K fertilizer
combination and application rate on yield of *Astragalus sini-*
cus L. [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2009,17(6):
1094-1098.