

文章编号:1001-1498(2016)06-0820-06

# 配方施肥对辣木生长效应及其 初果期产量构成的影响

任开磊, 郑益兴, 吴疆翀, 彭兴民, 张燕平\*

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

**摘要:** [目的] 研究不同配方施肥对辣木生长效应及产量构件因素的影响, [方法] 采用正交设计  $L_9(3^4)$  因素 3 水平进行施肥试验。[结果] 施肥处理对各时期生长有显著的促进作用, 且营养生长期 N 肥和 K 肥占主导作用。适合株高和地径生长的最优组合为  $N_{150}P_{40}K_{100}$ , 而适合冠幅和分枝数生长的最优组合为  $N_{85}P_{85}K_{100}$ 。生殖生长各指标较对照均有明显提高。低浓度的氮肥和高浓度的磷钾肥有助于辣木的开花和座果, 同时提高果荚产量和种子产量, 明显促进产量增加以及花序数、成熟果数、百粒质量和座果率的提高。[结论] 合理的配比施肥显著促进辣木的生长效应以及提高产量, 果荚产量和种子产量的最优组合为  $N_{40}P_{150}K_{100}$ 。

**关键词:** 辣木; 施肥; 生长效应; 产量

中图分类号: S794.9

文献标识码: A

## Influence of Formula Fertilization on the Growth and Early Fruiting Yield Components of *Moringa oleifera*

REN Kai-lei, ZHENG Yi-xing, WU Jiang-chong, PENG Xing-min, ZHANG Yan-ping

(Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650000, Yunnan, China)

**Abstract:** [Objective] To study the effect of different formula fertilization on the growth and yield component of *Moringa oleifera*. [Methods] Orthogonal design  $L_9(3^4)$  with 3 factors 3 levels fertilization experiment was carried out. [Results] The results showed that fertilization treatment significantly promoted the growth in each period, and N fertilizer and K fertilizer dominated role in the vegetative growth. The optimal combination suitable for the growth of plant height and ground diameter was  $N_{150}P_{40}K_{100}$ , while that for the crown and the number of branch growth was  $N_{85}P_{85}K_{100}$ . The reproductive growth increased obviously compared to control. Low concentration of nitrogen and high concentration of phosphate and potash fertilizer contributed to *M. oleifera* flowering and fruit setting, and improved the pod and seed yields, and significantly increased the ordinal numbers, the numbers of mature fruit, hundred kernel weight and fruit-set rate. [Conclusion] Reasonable proportion of formula fertilization could significantly promote growth and increase production of *M. oleifera*. The optimal combination is  $N_{40}P_{150}K_{100}$  regarding the pod and seed yields.

**Keywords:** *Moringa oleifera*; fertilization; growth effect; production

辣木 (*Moringa oleifera* Lam.), 为辣木科辣木属多年速生乔木, 具有喜温耐旱、耐贫瘠, 生境范围适

应性广, 抗逆性强等特点<sup>[1-4]</sup>, 广泛分布于中南美洲、非洲、亚洲和太平洋岛屿的热带地区<sup>[5-6]</sup>。采取

收稿日期: 2016-07-08

基金项目: 林业公益性行业专项(201504113); 中国林科院基本科研业务费(CAFYBB2014QA016)、(Rirical2014003M)。

作者简介: 任开磊, 男, 在读硕士研究生。主要研究方向: 经济林栽培。

\* 通讯作者。

培肥地力的措施是获得高产的关键,合理的配方施肥能够促进林木生长,有着明显的增产、增益效果<sup>[7]</sup>,盲目的施肥既不符合植物生长和需肥规律,还会造成肥料浪费和土壤板结,同时加剧环境污染<sup>[8]</sup>。因此,采用科学施肥来提高辣木的产量和质量,提高肥料利用率,实现集约经营显得尤为重要。王永林等<sup>[9]</sup>通过对辣木幼苗氮磷钾施肥效应研究发现,氮磷钾合理配施可加快幼苗生长速度,且可加强自身的抗逆性;不同氮素水平下辣木的产量试验表明,合理的氮肥可使辣木达到较高的产量<sup>[10]</sup>。目前,关于辣木施肥的前期研究,多集中在苗期和单施肥方面,而与其产量形成相关的配方施肥鲜有报道。本研究以印度传统辣木为试验材料,通过正交设计设置不同的田间试验施肥组合,以期了解不同配比施肥对辣木生长效应和初果期产量构成因素的影响,旨在为辣木果用林的优质高产提供科学的施肥依据。

## 1 试验地概况

试验设置在云南省红河州元阳县马街乡蔓延坡。该地年平均气温 24.4℃,极端最高气温 44.5℃,极端最低温 -2.6℃;年降水量为 700 mm,年蒸发量 1 900 mm,年平均日照时数 1 770.1 h,属亚热带季风类型气候。试验地土壤为红河南岸河谷地带堆积土,为河湖沉积岩,以燥红土为主,其本底土壤肥力分析的理化性质为:pH 值 6.75,有机质 4.18 g·kg<sup>-1</sup>,全氮 0.071 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 0.028 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 1.79 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮 37.95 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷 1.92 mg·kg<sup>-1</sup>,有效钾 111.79 mg·kg<sup>-1</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 供试苗的培养

供试辣木种子 2014 年 6 月采自中国林科院资源昆虫研究所元江试验站。2015 年 5 月进行种子育苗和袋苗培育,6 月定植。全垦、植塘整地,施 1 500 kg·hm<sup>-2</sup>当地农家肥作基肥,直到本试验前无任何肥力补充。植塘规格 40 cm×40 cm×40 cm,株行距 2 m×4 m。选用株高和冠幅基本一致的健康苗(平均株高 30 cm,平均地径 0.29 cm),定植 2 周后调查造林成活率并及时补植。

### 2.2 试验设计

试验采用 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 正交设计,设置 N、P、K 共 3 个因素:即尿素(含有效 N 46%)、过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≥16.0%)、硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O≥50%),其中,N 设为 40、

85、150 g·株<sup>-1</sup> 3 个水平,P 设为 40、85、150 g·株<sup>-1</sup> 3 个水平,K 设为 25、50、100 g·株<sup>-1</sup> 3 个水平,共 9 个处理(表 1)。采用完全随机区组排列,每处理重复 3 次,每重复 4 株苗,共 27 个试验小区。小区间设保护行,不考虑交互作用<sup>[11]</sup>,以 CK 不施肥为对照。采用距离树干基部半径 30 cm 的环状沟(沟宽 20 cm,深 25 cm)施肥。施肥量根据试验林生长所需肥的特点分别在 2015 年 6 月、9 月和 2016 年 3 月按 1:1:2 比例对应施肥总量进行。

表 1 N、P、K 三因素正交试验设计

处理	因素		
	N/(g·株 <sup>-1</sup> )	P/(g·株 <sup>-1</sup> )	K/(g·株 <sup>-1</sup> )
1	40	40	25
2	40	85	50
3	40	150	100
4	85	40	50
5	85	85	100
6	85	150	25
7	150	40	100
8	150	85	25
9	150	150	50

### 2.3 测定项目与方法

2.3.1 营养生长指标的测定 2015 年 8 月和 11 月以及 2016 年 4 月和 5 月进行株高、地径、冠幅和分枝数的调查,其中,株高和冠幅采用卷尺进行测量,精确到 1 cm,冠幅为东西、南北冠幅之和的平均值;地径用数显卡尺测定株干近地表处的直径,精确到 0.01 cm;逐株计数其 1 级、2 级及以上分枝数。

2.3.2 生殖生长指标的测定 2016 年 4 月起调查辣木每株花序数量及每花序小花数量,至 6 月始逐一记录每株成熟果荚数量,直至第一季果荚全部成熟。单株采收成熟果荚,用卷尺和数显卡尺测其长和宽(分别精确到 0.1 cm 和 0.01 cm),用电子天平称其果荚质量(精确到 0.01 g),之后每果荚脱粒计数其种子数,并称质量,测其纵、横径。

种形指数 = 种子纵径/种子横径

单株果荚产量 = 单株果荚平均数量 × 果荚平均质量(干质量)

种子产量 = 单株果荚平均数量 × 每荚种子平均质量(干质量)

百粒质量为多次随机从单株收获的种子中抽样 100 粒的平均质量。

2.3.3 试验地土壤养分的测定 试验前土壤取样进行本底数据测定,土壤样品的分析参考 LY/T1210-1999《森林土壤样品的采集与制备标准》<sup>[12]</sup>可知,

本试验地土壤中 N、P 元素含量较少,而 K 含量富足。

## 2.4 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行数据处理和方差分析,应用邓肯氏(Duncan's)法进行多重比较<sup>[13]</sup>,在  $\alpha = 0.05$  水平上进行显著性检验。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同施肥处理对辣木生长效应的影响

辣木营养生长期(即幼苗期和速生期)和生殖

生长期(即开花期和成熟期)的调查结果(表 2、3)表明:不同肥料配比处理的各生长期各营养指标均优于对照。幼苗期阶段,处理 7 的株高和地径最大,处理 5 最利于树冠扩展和枝条萌发;速生期处理 5、6、7 的株高和地径长势均较好,处理 5 的冠幅也最大,但枝条萌发最多的是处理 7。生殖生长阶段,开花期和结果期生长规律较相似,且株高、地径和冠幅生长的最大值和营养生长期的最大值出现在同一处理,但此时分枝数的最大值在处理 7。

表 2 不同处理对辣木株高和地径生长的影响

处 理	株高/cm				地径/mm			
	幼苗期	速生期	开花期	结果期	幼苗期	速生期	开花期	结果期
CK	46.8 ± 4.0e	109.5 ± 9.5c	209.6 ± 24.0c	225.4 ± 20.3d	7.70 ± 0.56f	16.08 ± 1.43d	24.91 ± 4.35d	27.95 ± 4.32d
1	55.2 ± 2.5de	164.3 ± 13.8bc	246.3 ± 21.7bc	280.0 ± 18.5cd	8.81 ± 0.45ef	21.55 ± 1.73cd	32.76 ± 2.55cd	38.84 ± 2.70cd
2	64.0 ± 3.2bc	187.1 ± 22.9ab	292.9 ± 33.0abc	313.3 ± 33.3bcd	9.56 ± 0.50def	27.43 ± 3.28abc	40.77 ± 4.20bcd	44.89 ± 5.08bc
3	69.2 ± 3.8abc	187.8 ± 27.6ab	310.3 ± 27.8abc	338.8 ± 30.4abc	11.27 ± 0.61bcd	30.84 ± 4.21abc	46.08 ± 5.83abc	50.03 ± 5.73bc
4	72.2 ± 3.2abc	212.6 ± 26.5ab	346.3 ± 45.7ab	371.7 ± 48.0abc	11.91 ± 1.01abc	35.45 ± 5.02ab	54.80 ± 7.90ab	57.31 ± 8.28ab
5	75.4 ± 4.0ab	244.7 ± 18.4a	373.3 ± 27.9a	412.1 ± 25.5a	13.16 ± 0.63ab	37.88 ± 3.14a	58.87 ± 4.76a	67.65 ± 1.99a
6	71.5 ± 3.7abc	239.6 ± 20.4a	366.5 ± 37.7a	406.7 ± 38.0ab	12.22 ± 0.78abc	37.00 ± 4.76a	54.72 ± 6.34ab	58.36 ± 6.37ab
7	79.0 ± 4.6a	248.8 ± 16.9a	335.0 ± 22.8ab	377.5 ± 27.5abc	13.48 ± 0.58a	38.56 ± 2.65a	52.24 ± 4.46ab	55.29 ± 5.18abc
8	60.8 ± 5.6cd	158.3 ± 18.1bc	250.1 ± 28.2bc	290.0 ± 22.8cd	10.44 ± 1.05cde	24.67 ± 2.88bcd	33.87 ± 4.12cd	39.13 ± 3.67cd
9	56.9 ± 3.0de	196.7 ± 25.0ab	298.8 ± 35.7abc	332.5 ± 29.4abc	10.15 ± 0.63cde	29.87 ± 4.80abc	44.10 ± 6.80abc	50.61 ± 6.60bc

注:数据为平均值 ± 标准误。同一列数后不同英文字母为达到新复极差检验 5% 显著水平,下同。

表 3 不同处理对辣木冠幅和分枝数的影响

处 理	冠幅/cm				分枝数/个			
	幼苗期	速生期	开花期	结果期	幼苗期	速生期	开花期	结果期
CK	31.8 ± 1.9c	47.9 ± 1.9d	57.8 ± 2.1c	67.9 ± 3.4c	5.5 ± 0.3c	10.8 ± 0.7d	15.3 ± 1.1c	17.5 ± 1.0c
1	52.3 ± 3.9ab	71.7 ± 5.1cd	90.0 ± 5.7bc	110.2 ± 8.1bc	6.8 ± 0.5bc	15.0 ± 1.0c	21.8 ± 1.1b	26.2 ± 1.3b
2	56.8 ± 3.5ab	99.1 ± 10.0abc	125.1 ± 14.3ab	144.0 ± 16.1ab	7.5 ± 0.5ab	17.0 ± 1.5bc	22.5 ± 1.4b	26.0 ± 1.2b
3	50.5 ± 3.1b	80.2 ± 6.7bc	115.8 ± 14.6ab	139.5 ± 20.1b	6.9 ± 0.4bc	17.0 ± 1.5bc	22.7 ± 1.9b	27.9 ± 2.4ab
4	47.0 ± 3.0b	76.0 ± 5.3bcd	118.0 ± 12.1ab	149.6 ± 18.7ab	8.4 ± 0.5ab	17.0 ± 1.3bc	23.1 ± 1.5b	26.7 ± 1.4b
5	62.4 ± 4.3a	112.9 ± 8.6a	165.6 ± 16.0a	205.2 ± 18.7a	9.3 ± 0.5a	20.2 ± 0.9b	25.8 ± 1.3ab	29.1 ± 1.0ab
6	54.6 ± 3.3ab	104.5 ± 13.7ab	133.3 ± 13.9ab	159.3 ± 17.0ab	9.1 ± 0.8a	17.5 ± 1.7bc	24.0 ± 1.8b	26.8 ± 1.9b
7	54.9 ± 3.9ab	96.5 ± 14.0abc	129.7 ± 22.1ab	160.3 ± 23.6ab	8.3 ± 0.4ab	24.5 ± 0.9a	28.6 ± 1.0a	32.2 ± 0.9a
8	48.0 ± 4.2b	70.0 ± 6.2cd	120.0 ± 21.3ab	158.7 ± 25.5ab	7.3 ± 0.8abc	18.9 ± 2.0bc	23.8 ± 2.0b	27.3 ± 1.8b
9	49.6 ± 5.0b	83.8 ± 12.2bc	119.6 ± 21.2ab	165.2 ± 28.8ab	8.1 ± 0.8ab	18.1 ± 1.3bc	22.1 ± 1.5b	25.8 ± 1.2b

### 3.2 不同 N、P、K 水平对辣木生长动态变化的影响

图 1~4 显示:不同 N、P、K 水平施肥下的辣木在不同生长期的生长差异及其动态变化。由图 1、2 可知:不同施肥水平其株高和地径生长总体生长节律类似,从幼苗期到速生期株高和地径生长速率均较快,但植株进入生殖生长后出现滞后现象。从图 3 看出:不同肥料水平对各时期冠幅的生长效应均表现为持续增加。从图 4 可知:辣木分枝数对施肥的响应表现为从幼苗期到成熟期促进萌发的状态,但生长速率以速生期为转折点,表现为逐渐放缓的

趋势。

### 3.3 因素水平组合的产量构件指标

3.3.1 不同施肥组合对辣木生殖生长下产量构件的影响 由表 4 可以看出:施肥明显促进辣木的生殖生长,较对照组均有明显提高。处理 5 座果率最大,处理 7 单果质量和单果种子数均最大;处理 4 果形指数和种形指数最大;处理 3 花序数、成熟果数、百粒质量、种子产量和果荚产量最大,分别为 51.5 簇、23.8 个、21.67 g、101.24 g 和 293.73 g,为相应对照的 7.1、9.5、1.5、7.3、7.2 倍。

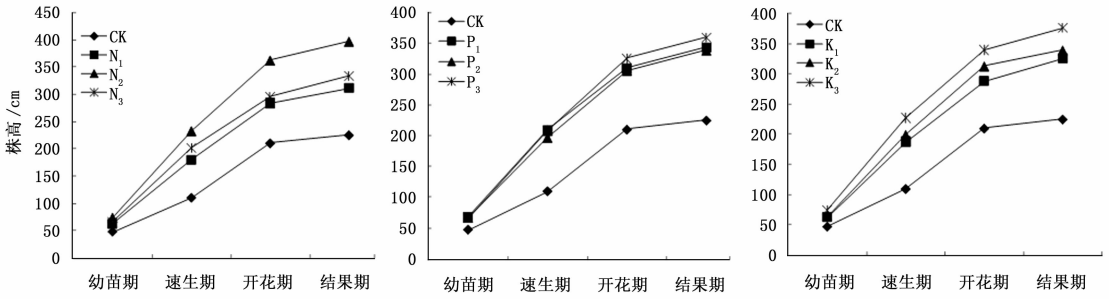


图1 不同 N、P、K 水平辣木株高生长折线图

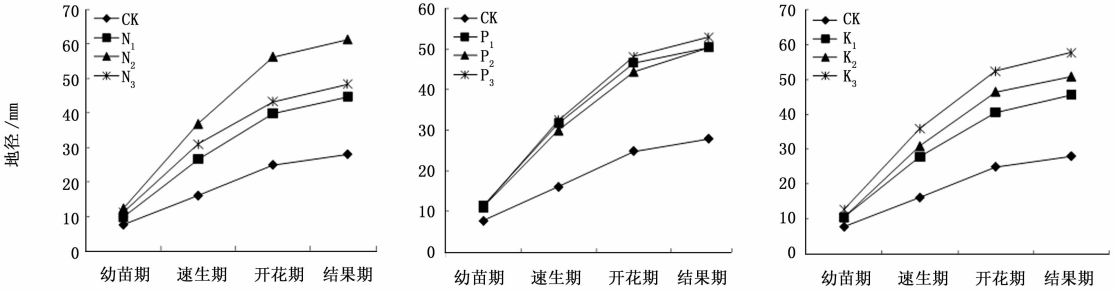


图2 不同 N、P、K 水平辣木地径生长折线图

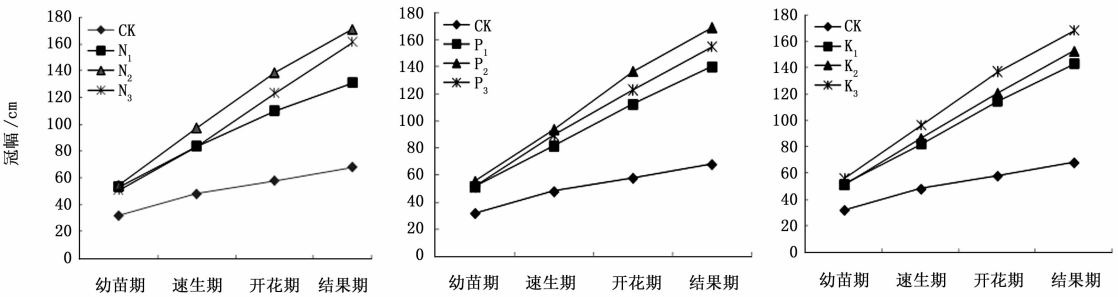


图3 不同 N、P、K 水平辣木冠幅生长折线图

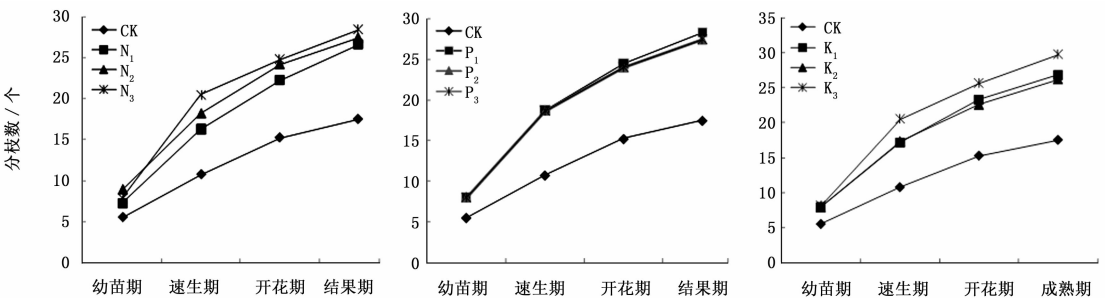


图4 不同 N、P、K 水平辣木分枝数折线图

3.3.2 影响辣木产量构件的主导效应及其优水平组合 从表5可知:施N、P、K对果形指数影响差异不显著,N和P肥对单果质量、N肥对座果率以及P肥对单果种子数的影响均差异不显著,其余各指标的差异均显著( $P < 0.05$ ),尤其是施肥对花序数、成熟果数、果荚产量和种子产量以及P肥对百粒质量

和种形指数以及K肥对单果种子数、座果率百粒质量和单果质量的影响均极显著( $P < 0.01$ )。

由表6进一步极差分析,除果形指数和种形指数的主导因素是N肥外,其余产量构件的主导因素均是K肥,但各水平优水平组合不尽相同。花序数、单果质量、百粒质量等指标对N肥需求量较高,均以

表4 不同处理组合辣木产量构件指标的多重比较分析

处理	花序数/ 簇	成熟果数/ 个	座果率/%	单果质量/ g	单果种子 数/个	果形指数	种形指数	百粒质量/g	种子产量/g	果荚产量/g
CK	7.3±1.1c	2.5±0.4d	2.35±0.24d	9.18±0.25c	12.9±0.4c	0.051±0.001b	1.21±0.02d	14.49±0.32e	13.93±1.13e	40.65±3.01e
1	7.5±1.3c	2.6±0.4d	2.54±0.22d	11.30±0.43bc	13.3±0.9c	0.052±0.002ab	1.26±0.02bed	15.15±0.24de	26.53±1.87de	76.66±6.29de
2	23.9±3.5b	8.0±1.6cd	2.91±0.15cd	11.96±0.67b	14.5±0.7bc	0.055±0.002ab	1.29±0.02abc	18.83±0.42b	34.71±7.11cde	97.80±19.43cde
3	51.5±8.3a	23.8±3.3a	3.66±0.27ab	12.46±0.51ab	15.9±0.7ab	0.054±0.002ab	1.30±0.02abc	21.67±0.57a	101.24±12.69a	293.73±39.25a
4	19.5±3.0bc	6.1±1.0cd	2.50±0.26d	11.15±1.24bc	17.2±0.8a	0.058±0.004a	1.35±0.02a	16.42±0.48cd	22.26±3.84e	66.74±11.39de
5	16.3±1.6bc	10.5±0.8bc	4.17±0.33a	14.49±0.74a	16.6±0.9ab	0.058±0.001a	1.27±0.02bed	19.92±0.66b	50.76±3.68bed	148.66±10.31cd
6	15.1±1.7bc	6.3±0.9cd	2.80±0.13cd	13.34±0.60ab	14.7±0.9bc	0.056±0.002ab	1.35±0.01a	16.75±0.39c	28.78±4.34de	82.30±12.13de
7	43.8±9.7a	14.8±3.1b	3.29±0.17bc	14.66±1.16a	17.9±0.9a	0.055±0.002ab	1.23±0.03cd	21.33±0.38a	74.86±18.95b	228.50±58.88ab
8	22.8±3.1b	7.4±1.5cd	2.62±0.26cd	11.29±0.87bc	13.5±0.5c	0.054±0.002ab	1.21±0.02d	15.50±0.42cde	28.59±5.96de	83.56±17.32de
9	42.3±5.8a	13.8±1.7b	3.02±0.20bed	11.49±1.12bc	16.7±0.8ab	0.056±0.002ab	1.31±0.04ab	19.08±0.51b	58.65±11.23bc	168.80±32.12bc

表5 因素水平间辣木产量及其构件指标的方差分析

变异来源	自由度	花序数		成熟果数		单果种子数		座果率		百粒质量	
		SS	F	SS	F	SS	F	SS	F	SS	F
N	2	6 772.019	11.681**	410.13	5.328**	54.111	3.929*	0.604	0.473	19.572	3.676*
P	2	4 833.463	8.337**	992.13	12.888**	31.034	2.254	4.239	3.32*	44.753	8.405**
K	2	8 875.796	15.309**	2 218.352	28.816**	173.81	12.622**	23.289	18.239**	483.449	90.792**

变异来源	自由度	单果质量		果形指数		种形指数		果荚产量		种子产量	
		SS	F	SS	F	SS	F	SS	F	SS	F
N	2	21.189	1.257	1.128	2.277	0.098	7.608**	83 703.19	4.94**	9 757.811	5.25**
P	2	0.854	0.051	0.614	0.175	0.068	5.271**	103 740.7	6.122**	13 179.9	7.092**
K	2	110.613	6.562**	0.452	1.295	0.054	4.233*	407 600.5	24.055**	45 091.2	24.263**

注: \*\*表示  $P < 0.01$ , \*表示  $P < 0.05$ 。

表6 影响产量构件指标的主导因子和优水平组合

类目与时期	极差值(R)			主导因子	优水平组合		
	N	P	K		N	P	K
花序数/簇	19.37	15.31	20.11	K	N <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>
成熟果数/个	5.28	5.97	9.53	K	N <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>
座果率/%	0.18	0.44	1.06	K	N <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
单果质量/g	1.08	0.21	2.34	K	N <sub>3</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>
单果种子数/个	1.56	1.28	2.97	K	N <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>
果形指数	0.004	0.000 9	0.002 5	N	N <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>
种形指数	0.07	0.06	0.05	N	N <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>
百粒质量/g	0.95	1.54	5.17	K	N <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>
种子产量/g	20.23	24.87	47.65	K	N <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>
果荚产量/g	61.05	71.61	142.79	K	N <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>

N<sub>3</sub> 水平处理效果最佳,而低浓度的 N 肥对成熟果数和种子产量的提高有促进作用;座果率、单果质量、单果种子数和果荚产量等指标施 P 肥效果表现为随 P 肥的递增呈先增加后减小的趋势,且在 P<sub>2</sub> 水平处达最大值,其余各指标均随 P 肥的递增,呈不断增加的趋势;随 K 肥的施入,除单果种子数外,其余各指标对 K 肥的响应均表现为高浓度 K 肥效果最佳。据此可以推断,生殖生长期辣木对 P 和 K 肥需求量较大,低浓度的 N 肥生长效应较好,但具体各指标需肥不一。种子产量和果荚产量是辣木产量的组成因素,不同水平施肥对产量的影响均以本研究的低浓

度 N 肥和高浓度 K 肥效果最好,而施 P 肥最大值分别出现在 P<sub>3</sub> 和 P<sub>2</sub> 水平,因此,适合种子产量和果荚产量的优水平组合为 N<sub>1</sub>P<sub>3</sub>K<sub>3</sub> 和 N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub>。

## 4 讨论

辣木生长迅速,对养分需求量巨大<sup>[14]</sup>。合理的配方施肥,能够提供植物生长所需的矿质元素,同时对茎叶生长和果实发育也有重要作用,是高产稳产的关键环节<sup>[15]</sup>。本研究发现:不同生长时期的施肥处理效应不同,营养生长期呈现出慢-快-慢的生长速率趋势。在快速生长期,施肥的不断加保证了养分供给,生长速度加快,株高和地径长势佳,树冠扩展和枝条萌发快,这一结果在许冰等<sup>[16]</sup>、李玲等<sup>[17]</sup>、王永林<sup>[9]</sup>对辣木幼林的施肥研究中得到支持。在生殖生长阶段,由于养分的逐渐转移,表现出随着施肥量的增加使各营养生长指标先增加后下降,这一现象和 Beulah 等<sup>[18]</sup>对辣木的施肥研究规律较类似。在本试验条件下,考虑到试验地所处干热河谷地带,该立地条件缺氮富磷、钾,但结果却显示辣木的生殖生长对于氮肥需求不高,而由于生殖生长期钾肥占主导作用,使得植物本身对钾肥需求

较高。这可能是由于土壤中适当增加土壤匮乏的氮肥和人工施加的磷、钾肥能够促进生殖生长。因此,低浓度的氮肥和高浓度的磷、钾肥有助于生殖生长植株开花和座果;而国内外关于辣木产量施肥方面的研究较少涉及,但该规律和其他物种对施肥的响应结果相同<sup>[19]</sup>。本研究还表明,不同施肥处理显著影响产量指标,且磷钾肥投入量与产量具有相同的趋势,表现为随施肥量的递增产量不断增加,但生长指标总体数值偏低<sup>[20-21]</sup>,这可能是试种地风速较大、水分干旱等生态因素不利于受精和座果;而本研究施肥对果、种形指数的影响未表现出较强规律性,可能由于受温度和水分等生态环境因子<sup>[22]</sup>的影响较大,造成发育和饱满度不一,使得性状差异较大。因此,为满足辣木枝条抽长、树冠增大的营养生长期需求,需要大量氮营养;在生殖生长阶段过多养分的消耗,使得肥料偏向于提高产量的方向发展,为满足产量的要求,着重提高磷钾的施用量。

## 5 结论

在辣木的营养生长期,不同施肥处理呈现出慢-快-慢的生长速率趋势,以处理7(N<sub>150</sub>P<sub>40</sub>K<sub>100</sub>)的株高和地径长势最佳,处理5(N<sub>85</sub>P<sub>85</sub>K<sub>100</sub>)最利于树冠扩展和枝条萌发;在生殖生长阶段,施肥量的增加使各营养生长指标呈现先增加后下降的趋势,处理5为最优组合。不同施肥水平对生殖生长(花序数、成熟果数、百粒质量和座果率、单果质量和单果种子数)有明显促进作用。合理的配方施肥明显促进辣木产量的提高,表现为在一定范围内随着施肥量的增加,辣木的产量不断增加,最优组合为N<sub>40</sub>P<sub>150</sub>K<sub>100</sub>。

## 参考文献:

[1] Fahey J W. *Moringa oleifera*: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1 [J]. *Trees for life Journal*, 2005, 1(5): 1-15.

[2] 张燕平, 段琼芬, 苏建荣. 辣木的开发与利用[J]. *热带农业科学*, 2004, 24(4): 42-48.

[3] 陆 斌, 宁德鲁, 杜春花, 等. 云南的辣木引种试验初报[J]. *西部林业科学*, 2007, 36(4): 20-25

[4] 刘昌芬, 李国华. 辣木的研究现状及其开发前景[J]. *云南热作科技*, 2002, 25(3): 20-24.

[5] Ndabigengesere A, Narasiah K, Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with *Moringa oleifera* seeds [J]. *Environmental Technology*, 1996, 17(10): 1103-1112.

[6] 罗云霞, 陆 斌, 石卓功. 辣木的特性与价值及其在云南引种发展的景况[J]. *西部林业科学*, 2006, 35(4): 137-140.

[7] 黄崇熙, 张津平, 肖国民, 等. 油茶施肥模式对产量的影响及效益选择[J]. *经济林研究*, 1996, 14(2): 25-26.

[8] 李玲安, 李吉跃, 王军辉, 等. 容器苗指数施肥研究综述[J]. *世界林业研究*, 2010, 23(2): 22-27.

[9] 王永林. 辣木幼苗氮磷钾3414施肥效应研究[J]. *中国农业信息*, 2015, 11(6): 37-38.

[10] Mendieta-Araica B, Spöndly E, Reyes-Sánchez N, et al. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different planting densities and levels of nitrogen fertilization [J]. *Agroforestry Systems*, 2012, 87(1): 81-92.

[11] 廖桂宗, 彭世揆. 试验设计与抽样技术[M]. 北京: 中国林业科技出版社, 2000: 35.

[12] 张万儒, 杨光滢, 屠星南. LY\_T 1210-1999《森林土壤样品的采集与制备标准》[S]. 1999.

[13] 杜 强, 贾丽艳. SPSS 统计分析: 从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.

[14] 段琼芬, 张燕平. 辣木的特征特性及其栽培技术[J]. *农技服务*, 2007, 24(6): 101.

[15] 荣 菁, 张宏喜, 石丽丽. 钾肥不同施用量对作物产量的影响[J]. *现代农业科技*, 2011(16): 270.

[16] 许 冰, 任开磊, 郑益兴, 等. 辣木幼林对氮、磷、钾肥响应及叶片的生理反应[J]. *林业科学研究*, 2016, 29(4): 418-423.

[17] 李 玲, 殷振华, 亚华金, 等. N、P、K、Ca 元素培养度辣木幼苗生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(16): 52-56.

[18] Beaulah A, Vadivel E, Rajadurai K R. Effect of organic and inorganic fertilizers on growth characters of *Moringa (Moringa oleifera Lam.)* cv. PKM 1 [J]. *SOUTH INDIAN HORTICULTURE*, 2004, 52(1/6): 183.

[19] 吴书平, 马永学, 纪永民. 氮磷钾优化施肥对夏大豆产量的影响[J]. *大豆科技*, 2009, 29(4): 37-41.

[20] 刘昌芬, 杨 炎, 龙继明, 等. 多油辣木植物学性状和农艺性状观测[J]. *热带农业科技*, 2006, 31(4): 4-5.

[21] Mendieta-Araica B, Spöndly E, Reyes-Sánchez N, et al. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different planting densities and levels of nitrogen fertilization [J]. *Agroforestry systems*, 2013, 87(1): 81-92.

[22] 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.

(责任编辑:张 玲)