

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201903047

氮磷钾施用量对辣木生长及养分累积的影响*

程世敏, 黄丽娜**, 赵增贤, 魏守兴, 魏军亚
(中国热带农业科学院 热带作物品种资源研究所, 海南 儋州 571737)

摘要:【目的】研究不同氮磷钾用量对辣木生长及养分吸收累积的影响, 进一步了解辣木对氮磷钾养分的需求, 为以采摘新梢为目的的辣木栽培提供施肥依据。【方法】采用盆栽试验, 以氮磷钾施肥量为试验因素, 每因素分别设计高、低 2 个水平: 每千克土壤中氮纯养分用量为 0.28 和 0.12 g, 每千克土壤中磷纯养分用量为 0.33 和 0.17 g, 每千克土壤中钾纯养分用量为 0.33 和 0.17 g, 另设不施肥处理为对照, 比较不同处理下辣木的生物量及养分吸收累积情况。【结果】高氮处理辣木新梢和茎秆的干物质累积量均显著高于低氮处理 ($P<0.05$), 分别为低氮处理的 1.47 倍和 1.19 倍。在氮磷钾纯养分组合用量分别为 0.28、0.33 和 0.17 g/kg 的处理下, 植株单株整体养分累积量最高为 19.02 g, 单株新梢干物质累积量最高为 103.53 g。【结论】氮用量显著影响辣木新梢生长, 氮磷钾纯养分组合用量分别为 0.28、0.33 和 0.17 g/kg 为本试验条件下最优处理。

关键词: 辣木; 施肥用量; 生长; 养分吸收

中图分类号: S 794

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2021) 01-0147-08

Effects of NPK Fertilization Dosages on the Growth and Nutrient Accumulation of *Moringa oleifera*

CHENG Shimin, HUANG Lina, ZHAO Zengxian, WEI Shouxing, WEI Junya

(Institute of Tropical Crops Genetic Resources, Chinese Academy of
Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China)

Abstract: [Purpose] The effects of different NPK dosages on the growth and nutrient absorption and accumulation of *Moringa oleifera* were studied, and the demand of *M. oleifera* for NPK nutrients was further studied, which provided the fertilization basis for cultivation of *M. oleifera* with the purpose of picking tender stems. [Method] The pot experiment was carried out with the application of nitrogen, phosphorus and potassium as the experimental factors. The high and low levels were designed for each factor respectively. The pure nutrient dosage of nitrogen was 0.28 g and 0.12 g per kilogram of soil. The pure nutrient dosage of phosphorus was 0.33 g and 0.17 g per kilogram of soil. The pure nutrient dosage potassium was 0.33 g and 0.17 g per kilogram of soil, and no fertilizer treatment was used as control. The biomass, nutrient absorption and accumulation of *M. oleifera* under different treatments were compared. [Results] The dry matter accumulation in leaves and stems of *M. oleifera* with high nitrogen treatment was significantly higher than that of low nitrogen treatment ($P<0.05$), which was 1.47 times and 1.19 times higher than that. Among them, the highest total nutri-

收稿日期: 2019-03-20

修回日期: 2019-12-25

网络首发时间: 2021-01-15 10:08:19

*基金项目: 海南省自然科学基金(20163126); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(1630032018011)。

作者简介: 程世敏(1986—), 男, 广东肇庆人, 硕士, 研究实习生, 主要从事植物营养与肥料研究。

E-mail: 867944012@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 黄丽娜(1984—), 女, 山东菏泽人, 博士, 助理研究员, 主要从事热带作物养分高效利用及新型肥料研究。E-mail: huanglinahappy@sina.com

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20210114.1054.004.html>



ent accumulation per plant was 19.02 g, and the highest dry matter accumulation of leave per plant was 103.53 g under the $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ treatment. [**Conclusion**] The dosage of nitrogen significantly affected the growth of leave and tender shoots of *M. oleifera*, and $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ was the best treatment under the experimental conditions.

Keywords: *Moringa oleifera*; fertilization dosage; growth; nutrient accumulation

辣木 (*Moringa oleifera*) 为辣木科辣木属多年生速生小乔木, 具有非常高的经济效益和生态价值。近年辣木种植作为一个新兴产业, 在中国获得了广泛的应用和发展, 其丰富的营养价值得到深入挖掘^[1-3], 其产业链也进一步完善^[4-5]。2015 年以来, 辣木研究热度大幅增长, 成分分析和功能开发等研究报告倍增。就整个辣木产业而言, 与终端产品开发利用相比, 品种选育和栽培技术等研究明显不足。因此, 研究辣木需肥特性以进一步完善辣木栽培技术很有必要。关于辣木施肥与栽培方面, 相关研究认为大田栽培条件下 $N_{150}P_{40}K_{100}$ (纯养分 N 150 g/株, P_2O_5 40 g/株, K_2O 100 g/株) 处理最有利于株高及地径生长, $N_{85}P_{85}K_{100}$ 处理最有利于冠幅和分枝数的增加, $N_{40}P_{150}K_{100}$ 处理则有利于果荚产量的提高^[6]; 还有研究认为氮肥是株高、地径和冠幅生长的主要影响因素, $N_{150}P_{60}K_{60}$ 处理为辣木最佳施肥推荐量^[7]; 也有研究指出钾对辣木的株高、地径及生物量等影响作用最大, 氮影响最小^[8]。然而, 我们研究发现: 不同栽培及管理方式下辣木对养分的需求各异, 当辣木以采摘新梢为主及以结荚为主时, 其对不同养分的需求差异较大。辣木新梢可以作为蔬菜食用, 也可用于生产辣木茶等, 采摘新梢为辣木重要栽培方式之一。为此, 本研究针对性地开展了不同施肥比例对辣木新梢产量及养分吸收累积的影响, 筛选出最适施肥比例, 为以摘新梢为目的栽培方式下辣木施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试作物: 印度辣木 (*Moringa oleifera*), 辣木苗由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所蔬菜研究室提供, 定植前平均苗高 32.8 cm, 茎粗 5.74 mm。

供试钵钵: 规格为 35.0 cm×28.0 cm×40.0 cm

(上直径×下直径×高), 每盆装土 25.0 kg。

供试土壤: 砖红壤, pH 为 5.03, 有机质含量为 1.05 g/kg, 速效氮含量为 40.71 mg/kg, 速效磷含量为 5.24 mg/kg, 速效钾含量为 37.76 mg/kg。

供试肥料: 尿素 (N 46.6%)、氯化钾 (K_2O 60.0%) 和过磷酸钙 (P_2O_5 18.0%)。

1.2 试验设计

本试验基于以往的研究结果, 采用三因素二水平完全试验设计组合, 以氮磷钾施肥量为试验因素, 其中每千克土壤中氮纯养分高低用量为 0.28 和 0.12 g; 每千克土壤中磷纯养分高低用量为 0.33 和 0.17 g; 每千克土壤中钾纯养分高低用量为 0.33 和 0.17 g。另设不施肥处理为对照, 共 9 个处理 (表 1)。每盆定植 1 株, 以单株为 1 个重复, 处理 15 株。

表 1 各试验处理纯养分施肥水平
Tab. 1 Pure nutrient fertilization levels
in every treatment g

处理 treatment	N	P_2O_5	K_2O
$N_{0.28}P_{0.33}K_{0.33}$	0.28	0.33	0.33
$N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$	0.28	0.33	0.17
$N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$	0.28	0.17	0.33
$N_{0.28}P_{0.17}K_{0.17}$	0.28	0.17	0.17
$N_{0.12}P_{0.33}K_{0.33}$	0.12	0.33	0.33
$N_{0.12}P_{0.33}K_{0.17}$	0.12	0.33	0.17
$N_{0.12}P_{0.17}K_{0.33}$	0.12	0.17	0.33
$N_{0.12}P_{0.17}K_{0.17}$	0.12	0.17	0.17
$N_0P_0K_0$	0.00	0.00	0.00

1.3 试验方法

本试验于 2016 年 5—8 月于中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所试验基地大棚 ($N19^{\circ}29'7.44''$, $E109^{\circ}29'21.10''$) 进行。2016 年 5 月 12 日将辣木苗移植于装有 25.0 kg 试验土壤的钵钵中。其中氮、磷、钾肥均以追肥形式施入, 每 15 d 施肥 1 次。辣木自定植之日起每 20 d 测定株高、茎粗等生长指标, 5 月 31 日统一对辣

木进行从土面往上 80 cm 处摘顶处理, 往后每 20 d 采摘新梢, 并记录每次新梢质量。2016 年 8 月 21 日采摘最后一次新梢并破坏性取样, 从 15 个重复中选出 9 株有代表性的单株, 以 3 株为 1 个混合样品, 每处理分根、茎两部分采集。

辣木样品称鲜质量, 经 105 ℃ 杀青 30 min, 在 75 ℃ 下烘干至恒质量, 分别记录其干质量, 用粉碎机粉碎装入密封袋保存待测。辣木样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮, 氮、磷、钾含量分别采用靛酚蓝比色法、钼锑抗比色法和火焰分光光度法测定^[9]。

1.4 数据处理与统计

试验数据均采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同养分搭配对辣木单株各部位干物质累积及分配的影响

由表 2 可见: 与 $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ 处理相比, 施肥处理能显著提高新梢、茎秆及整株干物质累积量, 分别提高 205.38%、99.97% 和 74.68%, 表明施肥有利于辣木干物质累积, 尤其是新梢的干物质累积。分析辣木各部位干物质累积量可知: $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$ 处理的新梢干物质累积量最高为 103.53 g/株, 其次为 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.17}$ 、 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.33}$ 处理分别为 93.98 和 92.94 g/株。总体而言, 高氮各处理明显高于低氮各处理; 茎秆则以 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.17}$

处理最高 (269.00 g/株), 但与 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$ 、 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.33}$ 处理间无显著差异; 整株干物质累积量表现为 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.33}$ 最高 (478.98 g/株), 其次为 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$ 和 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.17}$ 处理分别为 461.12 和 461.38 g/株, 同样以高氮处理综合相对较优; 而各处理间根部干物质质量均无显著差异。

通过表 2 还可分析得出各处理不同部位占辣木整株的比例规律。各处理新梢平均占比为 17.75%, 以各高氮处理占比较高均在 19.40% 以上, 其中又以 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.33}$ 和 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$ 处理新梢所占比例最大, 分别为 23.21% 和 22.45%, 而新梢占比最小的为 $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ 处理仅为 10.68%; 各处理茎秆平均占比为 50.69%, 以 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$ 和 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.17}$ 两处理占比最大, 分别达到 56.59% 和 59.30%, $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ 处理最小为 45.08%; 各处理根平均占比为 31.56%, 其中 $\text{N}_{0.12}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.33}$ 和 $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ 处理最大, 分别为 39.02% 和 44.24%, 而根占比最小的处理为 $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$, 仅为 20.96%。由此可见, $\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$ 处理最有利于提高辣木地上部比例, 而 $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ 处理则最有利于提高地下部比例。从整体而言, 高氮处理更有利于提高辣木新梢及茎秆比例, 但不利于辣木根比例的增加。

2.2 氮磷钾养分水平对辣木单株各部位干物质累积的影响

从图 1a 可见: 高氮各处理新梢及茎秆平均干物质累积量分别为 93.01 g/株和 236.37 g/株, 均显著高于低氮处理, 分别为低氮处理的 1.47 倍

表 2 各处理辣木单株干物质累积量及分配规律

Tab. 2 Dry matter accumulations and distribution per plant of *M. oleifera* in different treatments

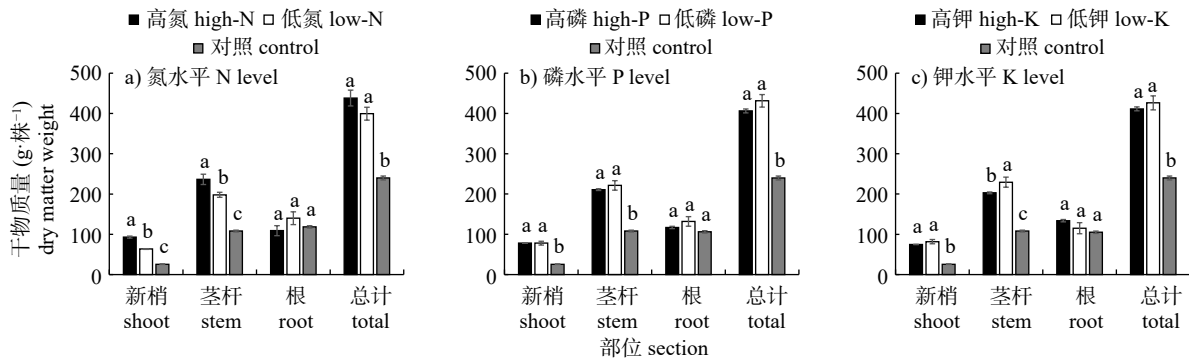
试验处理 treatment	新梢 shoot		茎秆 stem		根 root		总和 total
	累积量/(g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/(g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/(g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	
$\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.33}$	81.60±1.65 c	23.21	174.85±18.89 c	49.72	95.19±35.79 a	27.07	351.64±47.31 b
$\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$	103.53±2.58 a	22.45	260.93±12.86 a	56.59	96.66±22.09 a	20.96	461.12±7.01 a
$\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.33}$	92.94±1.36 b	19.40	240.29±3.85 ab	50.17	145.75±25.89 a	30.43	478.98±24.76 a
$\text{N}_{0.28}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.17}$	93.98±2.51 b	20.37	269.00±18.42 a	59.30	98.40±8.06 a	21.33	461.38±22.93 a
$\text{N}_{0.12}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.33}$	64.82±1.16 de	15.79	209.26±15.11 bc	50.98	136.42±31.35 a	33.23	410.50±31.36 ab
$\text{N}_{0.12}\text{P}_{0.33}\text{K}_{0.17}$	63.88±2.20 de	15.89	198.51±13.36 c	49.38	139.58±54.01 a	34.72	401.97±58.61 ab
$\text{N}_{0.12}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.33}$	59.55±1.13 e	14.72	187.13±10.56 c	46.26	157.84±36.85 a	39.02	404.52±29.41 ab
$\text{N}_{0.12}\text{P}_{0.17}\text{K}_{0.17}$	65.60±0.47 d	17.23	189.19±13.95 c	49.70	125.90±4.71 a	33.07	380.69±9.90 ab
$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$	25.62±1.01 f	10.68	108.09±5.08 d	45.08	106.07±6.80 a	44.24	239.78±11.41 c

注: 同列数据后不同小写字母表示相同部位不同施肥处理间干物质质量差异显著 ($P \leq 0.05$, $n=9$); 多重比较采用 Duncan's 新复极差法。

Note: Different lowercase letters in the same columns represent significant differences ($P \leq 0.05$, $n=9$); multiple comparisons were performed using Duncan's new complex range method.

和 1.19 倍, 但高低氮水平处理间根及整株干物质累积量无显著差异。由图 1b 显示: 高磷与低磷水平各处理辣木新梢、茎秆、根及整株干物质平均累积量无显著差异, 这说明本试验条件下磷水平对干物质的影响相对较小。由图 1c 显示: 钾水平对辣木新梢、根及整株的干物质累积量影响不大, 然而低钾水平各处理辣木茎秆平均干

物质量为 229.94 g/株, 反而高于高钾处理的 202.88 g/株, 且二者有显著差异。整体而言, 各施肥处理辣木新梢、茎秆及整株干物质平均累积量均显著高于对照, 而高氮处理表现最优。可见, 本试验栽培条件下对于辣木生长而言, 氮肥对其干物质累积量的影响最大。



注: 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P \leq 0.05$); 下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference between different treatments ($P \leq 0.05$); the same as below.

图 1 氮磷钾施肥水平对辣木干物质累积的影响

Fig. 1 Effect of NPK fertilization level on the dry matter accumulation of *M. oleifera*

2.3 施肥处理对辣木单株不同部位养分累积量及分配的影响

由表 3 可见: 辣木新梢、茎秆、根及整株的养分吸收量以钾最高、氮次之、磷最低, 且不同处理间氮磷钾养分吸收量的差异随着辣木部位有所不同。 $N_0P_0K_0$ 处理新梢、茎秆、根及整株的氮磷钾养分吸收均显著低于施肥处理, 说明施肥有助于促进辣木氮磷钾养分的吸收。各处理间新梢氮累积量以 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ 处理最高 (4.92 g/株), 显著高于 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 以外的其他施肥处理; $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 和 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.17}$ 处理的磷累积量稍高, 但均与其他施肥处理无显著差异; 钾累积量以 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ 处理最高 (8.08 g/株), $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 和 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.17}$ 处理次之。综上所述, $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ 和 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 处理有利于辣木新梢的养分累积。就茎秆养分累积而言, $N_{0.28}$ 水平下的 4 个高氮处理氮、钾吸收量均无显著差异, 平均为 2.55、7.25 g/株; 磷吸收量以 $N_{0.12}P_{0.33}K_{0.17}$ 处理最高, 且其他施肥处理间均无显著差异。由此可知, 高氮能显著促进茎秆部位养分吸收。此外, 辣木根氮、钾养分吸收量均以 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 处理最高, 且各施肥处理间磷吸收

量无显著差异, 说明 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 处理适合根养分吸收。进一步分析可知: $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ 处理和 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 处理的氮磷钾养分吸收量均表现最高, 表明这 2 个施肥处理有利于提高辣木氮磷钾吸收。综合以上分析可知: $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 最利于辣木新梢、茎秆、根及整株氮磷钾养分吸收。

通过表 3 进一步分析还可以得出: 不同施肥处理下氮磷钾养分在辣木各部位中的分配规律。各处理新梢、茎秆及根的氮磷钾总养分平均占比分别为 49.58%、35.58% 和 15.94%, 其中新梢中氮累积量占整株平均比例为 60.15%, 而占比最高的处理为 $N_{0.12}P_{0.17}K_{0.17}$ 和 $N_0P_0K_0$, 分别为 68.18% 和 63.05%, 占比最低的处理则为 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.33}$ 和 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 等高氮处理。这表明总施肥量低处理下, 新梢中氮累积量在整株中所占比例反而高, 相反总施肥量高特别是施氮量高的处理新梢中氮累积量在整株中所占比例反而低。辣木茎秆中的氮累积量在整株中的占比规律则刚好与新梢中相反, 以 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.33}$ 和 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 等高氮处理茎秆中的氮累积量占比较高, $N_{0.12}P_{0.17}K_{0.17}$ 和 $N_0P_0K_0$ 处理最低, 分别仅为 22.65% 和 21.67%。而辣木根部中氮累积量占比则以 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.33}$ 和

表 3 不同施肥处理对辣木单株 NPK 养分累积量及分配的影响

Tab. 3 Effects of different fertilization treatments on the accumulation per plant and distribution of NPK nutrients in *M. oleifera*

部位 section	养分 nutrients	N _{0.28} P _{0.33} K _{0.33}		N _{0.28} P _{0.33} K _{0.17}		N _{0.28} P _{0.17} K _{0.33}		N _{0.28} P _{0.17} K _{0.17}		N _{0.12} P _{0.33} K _{0.33}	
		累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion
新梢 shoot	N	3.75±0.19 c	50.61	4.92±0.55 a	57.41	4.71±0.49 ab	54.77	3.91±0.16 b	57.25	2.51±0.21 b	60.92
	P	0.86±0.16 b	58.90	0.92±0.04 b	46.94	1.40±0.36 ab	66.35	1.09±0.17 ab	60.22	0.81±0.06 b	50.94
	K	6.35±0.08 c	42.53	8.08±0.26 a	43.70	6.96±0.16 b	39.52	7.01±0.22 b	43.51	5.07±0.05 d	39.58
茎秆 stem	N	2.39±0.34 a	32.25	2.62±0.17 a	30.57	2.95±0.08 ab	34.30	2.24±0.15 ab	32.80	1.05±0.17 cd	25.49
	P	0.38±0.05 bc	26.03	0.74±0.12 b	37.76	0.48±0.06 bc	22.75	0.53±0.05 bc	29.28	0.50±0.03 bc	31.45
	K	6.04±0.88 ab	40.46	7.64±0.42 a	41.32	8.22±0.03 a	46.68	7.10±0.47 a	44.07	5.31±0.35 b	41.45
根 root	N	1.27±0.42 ab	17.14	1.03±0.22 bc	12.02	1.83±0.30 a	21.28	0.68±0.06 bcd	9.96	0.56±0.12 cd	13.59
	P	0.21±0.08 a	14.38	0.31±0.10 a	15.82	0.35±0.08 a	16.59	0.19±0.01 a	10.50	0.28±0.07 a	17.61
	K	2.54±0.94 b	17.01	2.76±0.89 ab	14.93	4.88±1.14 a	27.71	2.01±0.18 b	12.48	2.43±0.57 b	18.97
总计 total	N	7.41±0.86 ab	—	8.57±0.50 a	—	8.60±0.93 a	—	6.83±0.34 b	—	4.12±0.43 c	—
	P	1.46±0.22 b	—	1.96±0.19 ab	—	2.11±0.42 ab	—	1.81±0.11 ab	—	1.59±0.09 b	—
	K	14.93±1.68 abc	—	18.49±0.26 a	—	17.61±3.52 ab	—	16.11±0.44 abc	—	12.81±0.72 bc	—

部位 section	养分 nutrients	N _{0.12} P _{0.33} K _{0.17}		N _{0.12} P _{0.17} K _{0.33}		N _{0.12} P _{0.17} K _{0.17}		N ₀ P ₀ K ₀	
		累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion	累积量/ (g·株 ⁻¹) accumulation	比例/% proportion
新梢 shoot	N	2.54±0.22 b	61.20	2.46±0.15 b	58.43	2.85±0.14 b	68.18	1.28±0.15 c	63.05
	P	0.97±0.12 b	41.10	0.85±0.06 b	48.30	0.88±0.10 b	44.90	0.27±0.02 c	40.30
	K	4.58±0.10 de	34.18	4.14±0.17 e	32.34	4.64±0.34 de	40.24	2.57±0.15 f	36.25
茎秆 stem	N	1.15±0.16 cd	27.71	1.25±0.06 bcd	29.69	0.93±0.18 d	22.25	0.44±0.02 e	21.67
	P	1.18±0.30 a	50.00	0.62±0.09 bc	35.23	0.78±0.04 b	39.80	0.29±0.02 c	43.28
	K	5.14±0.30 b	38.36	5.74±0.40 b	44.84	5.01±0.87 b	43.45	2.81±0.11 c	39.63
根 root	N	0.46±0.19 cd	11.08	0.50±0.14 bcd	11.88	0.41±0.02 cd	9.81	0.31±0.02 cd	15.27
	P	0.32±0.11 a	13.56	0.32±0.07 a	18.18	0.29±0.04 a	14.80	0.11±0.01 a	16.42
	K	2.27±0.89 b	16.94	2.92±0.69 ab	22.81	1.88±0.06 b	16.31	1.71±0.11 b	24.12
总计 total	N	4.15±0.29 c	—	4.21±0.11 c	—	4.18±0.17 c	—	2.03±0.18 d	—
	P	2.36±0.38 a	—	1.76±0.11 ab	—	1.96±0.18 ab	—	0.67±0.03 c	—
	K	13.40±1.66 bc	—	12.80±0.35 bc	—	11.53±0.48 c	—	7.09±0.17 d	—

注: 同行数据后不同小写字母表示相同部位不同处理间养分含量差异显著 ($P \leq 0.05$, $n=9$); 多重比较采用 Duncan's 新复极差法。

Note: Different lowercase letters in the same lines represent significant differences ($P \leq 0.05$, $n=9$); multiple comparisons were performed using Duncan's new complex range method.

N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}处理最高, 分别为 17.14% 和 21.28%, N_{0.12}P_{0.17}K_{0.17} 和 N_{0.28}P_{0.17}K_{0.17} 处理最低, 分别仅为 9.18% 和 9.96%, 整体而言, 辣木新梢、茎秆中的氮累积量占比受施氮量的影响较大, 而辣木根部中氮累积量占比则受施钾量影响更为明显。辣木各部位中磷、钾累积量占比规律不如氮明显。

2.4 施肥水平对辣木单株养分累积的影响

2.4.1 氮水平对辣木单株养分累积的影响

图 2a 表明: 高氮施肥各处理辣木新梢、茎

秆、根及整株氮平均累积量均显著高于低氮及对照处理, 分别为低氮处理的 1.67、2.13、2.52 及 1.88 倍, 为对照处理的 3.38、5.27、3.90 及 3.87 倍。从图 2b 可见: 高氮施肥各处理辣木新梢磷平均累积量显著高于低氮处理, 但茎秆磷平均累积量则反而少于低氮处理; 根及整株的磷平均累积量与低氮处理相当。图 2c 表明: 高氮施肥各处理辣木新梢及整株钾平均累积量显著高于低氮处理, 分别为低氮处理的 1.54 和 1.33 倍, 而茎秆

及根部则与低氮处理间无显著差异。总体而言,无论高氮低氮各处理辣木平均养分累积量均显著高于对照,高施氮量更有利于辣木养分累积,尤其是新梢养分的累积。

2.4.2 磷水平对辣木单株养分累积的影响

图 3 表明:与对照相比,无论高磷还是低磷均有利于提高辣木对氮、磷、钾养分的吸收累积,就辣木整株养分累积而言,高磷及低磷各处理辣木平均氮累积量分别为 6.06 和 5.96 g/株,是对照处理的 2.99 和 2.94 倍,磷累积量分别为 1.84 和 1.91 g/株,是对照处理的 2.75 和 2.85 倍,

而钾累积量最高分别为 14.91 和 14.51 g/株,是对照处理的 2.10 和 2.05 倍;但高磷水平各处理辣木新梢、茎秆、根及整株的氮、磷、钾养分平均累积量均与低磷处理间无显著差异。这说明本试验条件下,高磷水平 0.33 g/kg 土和低磷水平 0.17 g/kg 土之间的差异不足以影响辣木对氮、磷、钾养分的累积。

2.4.3 钾水平对辣木单株养分累积的影响

从图 4a 可见:高钾施肥各处理辣木根部氮平均累积量为 1.04 g/株,显著高于低钾处理,为低钾处理的 1.60 倍,而新梢、茎秆及整株则与低

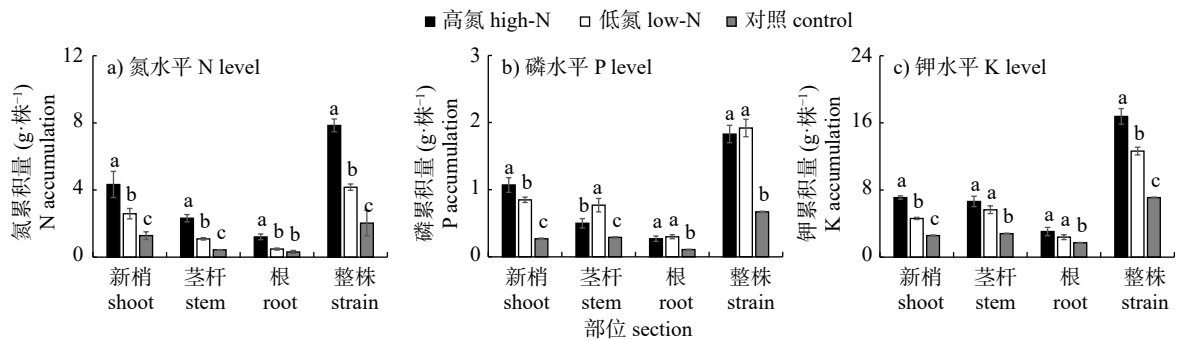


图 2 施氮水平对辣木单株氮磷钾养分累积的影响

Fig. 2 Effect of nitrogen application level on the NPK accumulation per plant of *M. oleifera*

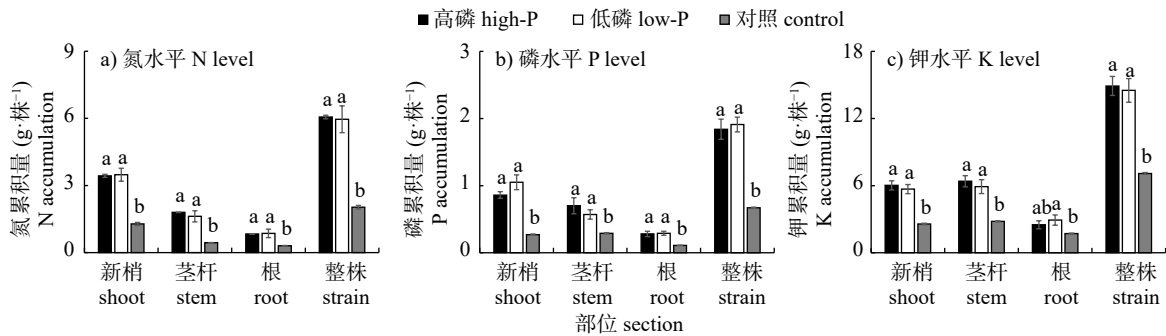


图 3 施磷水平对辣木单株氮磷钾养分累积的影响

Fig. 3 Effect of phosphorus application level on the NPK accumulation per plant of *M. oleifera*

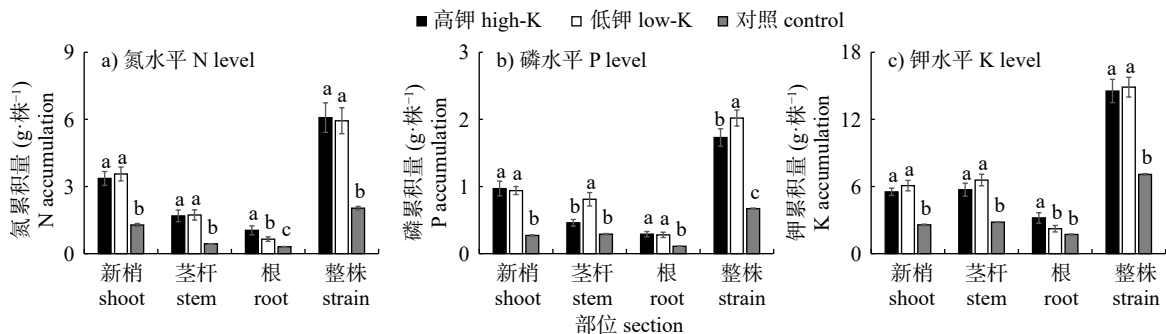


图 4 施钾水平对辣木单株氮磷钾养分累积的影响

Fig. 4 Effect of potassium application level on NPK accumulation per plant of *M. oleifera*

钾处理无显著差异。图 4b 表明: 高钾施肥各处理辣木新梢及根部磷平均累积量与低氮处理间无显著差异, 但茎秆及整株的磷平均累积量反而显著低于低钾处理, 仅为低钾处理的 57% 和 86%。图 4c 表明: 高钾施肥各处理辣木根部钾平均累积量显著高于低钾处理, 为低钾处理的 1.43 倍, 而新梢、茎秆及整株则与低钾处理间无显著差异, 这与氮累积量规律相似。总体而言, 高钾施肥量有利于辣木根部氮及钾的累积, 但不利于辣木茎秆磷的累积。

3 讨论

合适的氮、磷、钾供应比例是作物获得优质高产的关键^[10-13]。氮、磷、钾合理配施有利于协调作物平衡生长, 促进作物对养分的吸收与利用^[14]。已有研究结果表明: 氮、磷是影响桉树有机酸形成的主要因素, 高氮低磷条件不利于桉树养分的吸收; 氮素能有效促进白桦和毛白杨等林木的株高及根系生长^[15-17]。本研究结果也表明: 氮素对辣木各部位的干物质累积量及养分的累积有较好的促进作用, 同时高氮低磷低钾处理明显不利于辣木根部营养的吸收, 这与人研究结果相似。但研究结果还显示, 高氮低磷高钾处理下辣木整体干物质累积及其对养分的吸收反而较优, 这与上述高氮低磷条件不利于桉树养分的吸收结果不完全一致。这主要是因为本研究不单研究氮磷养分的搭配, 更引入钾养分进行综合考虑, 因此, 氮、磷、钾三大营养应该合理搭配施用才能充分体现整体效果。李玲等^[18]通过研究辣木幼苗缺素发现, 缺氮条件下植株症状最容易出现, 表现也最为明显, 而缺磷处理症状表现相对不明显。另外, 王斌等^[19]研究了不同施肥比例对枣树的影响, 结果表明: 高氮最能促进枣树生长、结果和提高果实品质, 在维持合适的高氮水平下, 磷、钾发挥的作用更为明显。这与本研究结果相似, 同样体现了氮营养在辣木生长过程中发挥着重要的作用。任开磊等^[6]研究认为: 辣木营养生长期, 氮肥和钾肥在影响辣木各部位生长上占主导作用。本研究也得出相似结果: 辣木新梢、茎秆中的氮累积量占比主要受施氮量的影响较多, 而辣木根部中氮累积量占比则受施钾量影响更为明显。

辣木叶片一直以来是人们研究的热点, 其所含各种营养物质极其丰富, 因此, 很大部分的辣

木园是以采摘辣木新梢为目的而种植。已有研究表明: 辣木干叶粉所含的钙是牛奶的 4 倍, 蛋白质是牛奶 2 倍, 钾是香蕉 3 倍, 铁是菠菜 3 倍, 维生素 C 是柑橘的 7 倍, 维生素 A 是胡萝卜的 4 倍^[20]。辣木干叶粗蛋白含量达 33%, 还有其他多种氨基酸、脂肪酸、维生素及中微量元素均为较高含量水平^[21]。由表 2 可知: 在所有试验处理中新梢干物质质量只占辣木整株总干质量比例的 10.68%~23.21%, 平均仅为 17.75%。但由表 3 可见: 辣木新梢整体养分累积量较高, 远远高于干物质质量占整株 31% 的块根, 甚至高于干物质质量占整株 50% 左右的茎秆。所有处理辣木新梢氮养分平均累积量是块根的 4.10 倍, 是茎秆的 1.93 倍; 磷养分平均累积量是块根的 3.31 倍, 是茎秆的 1.44 倍; 钾养分平均累积量是块根的 2.11 倍, 茎秆的 0.92 倍; 这也印证了辣木叶片养分相对集中、含量高等特点, 是辣木叶片得到广泛开发利用的关键原因。

辣木块根具有辛辣味, 且含有一定量的辣木素及凤尾辣木素, 有一定的杀菌作用^[22-23], 同时; 块根作为辣木最主要的营养吸收部位, 其大小与形态极其重要。本研究结果显示: 由于辣木块根自身个体差异较大, 不同处理间物质累积量均无显著差异, 故其受施肥比例影响的规律不能准确地通过干物质质量数据体现, 但透过块根营养累积分配情况可以得出: 氮磷钾养分在块根中的平均比例为 1 : 0.34 : 3.31。从生长量来看, 各高钾处理中除 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.33}$ 处理可能整体养分偏高影响生长外, $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 、 $N_{0.12}P_{0.33}K_{0.33}$ 和 $N_{0.12}P_{0.17}K_{0.33}$ 等高钾处理块根干物质累积量均为较高水平。此外, 从钾水平对辣木养分累积影响的分析中也得出, 高钾施肥量有利于辣木根部氮及钾的累积, 因此, 高钾比例更有利于辣木块根生长。

4 结论

从试验效果来看, 不同施肥比例对辣木茎秆及新梢影响规律较为明显, 其中又以氮用量影响最为显著, 高氮处理整体表现优于低氮处理; 磷、钾用量则对辣木整体影响相对较小; 但 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.33}$ 处理氮、磷、钾用量均为高水平情况下效果反而不如高氮低磷或低钾处理。这可能是由于盆栽试验条件下, $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.33}$ 处理总养

分含量过高反而影响辣木生长。从整体而言,以 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ 、 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 和 $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.17}$ 效果最佳,其中 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ 处理更有利于新梢生长, $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.33}$ 处理更有利于块根生长, $N_{0.28}P_{0.17}K_{0.17}$ 处理更有利于茎秆生长。而本试验以采摘新梢为栽培目的,因此以 $N_{0.28}P_{0.33}K_{0.17}$ 为最优处理。

[参考文献]

- [1] 虎斌真,陶宁萍,许长华.基于食药价值的辣木籽研究进展[J].食品科学,2018,39(15):302. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-201815044.
- [2] 伍斌,郑毅. Cr(VI)生物吸附剂辣木籽的改性研究[J].环境污染与防治,2013,35(12):64. DOI: 10.3969/j.issn.1001-3865.2013.12.013.
- [3] 张婷婷,张博,司丙文,等.辣木叶对育肥猪生长性能、屠宰性能、抗氧化功能和肉品质的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):255. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267x.2018.01.031.
- [4] 段丽丽,贾洪峰,赵美丽.辣木叶粉在曲奇饼干中的应用[J].粮食与油脂,2018,31(1):38. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9578.2018.01.011.
- [5] 吴崑,蔡志华,魏焯昕,等.辣木作为新型植物性蛋白饲料的研究进展[J].动物营养学报,2013,25(3):503. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267X.2013.03.008.
- [6] 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):825. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2016.06.004.
- [7] 许冰,任开磊,吴疆翀,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(3):422. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2016.03.017.
- [8] 徐永强.辣木苗期施肥效应和营养诊断研究[D].北京:中国林业科学研究院,2010.
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1998.
- [10] 高杰,李青凤,彭秋,等.不同养分配比对糯高粱物质生产及氮磷钾利用效率的影响[J].作物杂志,2018(4):138. DOI: 10.16035/j.issn.1001-7283.2018.04.023.
- [11] 刘奎,陆海燕,赵毅辉,等.不同配比桉树专用肥对桉树生长及元素吸收的影响[J].北华大学学报,2018,19(3):389. DOI: 10.11713/j.issn.1009-4822.2018.03.024.
- [12] 王超然.不同水肥比对甘蔗生长及养分状况的影响[D].南宁:广西大学,2018.
- [13] 肖良俊,宁德鲁,李勇杰,等.配方施肥对八角幼林生长结实的影响[J].西北林学院学报,2012,27(3):87. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2012.03.18.
- [14] 王宜伦,韩燕来,张许,等.氮磷钾配比对高产夏玉米产量、养分吸收积累的影响[J].玉米科学,2009,17(6):88. DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.2009.06.026.
- [15] 胡厚臻,李桃祯,李茹,等.氮磷钾配比施肥对巨尾桉叶片及根系有机酸质量分数的影响[J].东北林业大学学报,2016,44(11):62. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2016.11.013.
- [16] 胡磊,李吉跃,尚富华,等.不同施肥处理对毛白杨人工林生长及营养状况的影响[J].中国农学通报,2010,26(9):115.
- [17] 刘福妹,姜静,刘桂丰,等.施肥对白桦树生长及开花结实的影响[J].西北林学院学报,2015,30(2):116. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2015.02.20.
- [18] 李玲,殷振华,亚华金,等. N、P、K、Ca 缺乏培养对辣木幼苗生长的影响[J].中国农学通报,2015,31(16):55.
- [19] 王斌,张月华,王玉奎,等.氮磷钾施肥比例对枣幼树生长和结果的影响[J].园艺学报,2007,34(2):474. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2007.02.040.
- [20] 龚萍.浅谈辣木的药食价值[J].实用中医药杂志,2007,13(7):470. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2814.2007.07.063.
- [21] 张习超,关统伟,郑国城,等.不同施肥方案对辣椒营养生长及抗氧化效果的影响[J].现代农业科技,2018(12):418.
- [22] 陈德华,张孝祺,张惠娜.一种新型功能食用油——辣木籽油[J].广东农业科学,2008(5):17. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874x.2008.05.001.
- [23] 梁潘霞,刘永贤,沙国新,等.广西辣木产业发展现状及富硒辣木发展前景展望[J].热带农业科学,2017,37(8):88. DOI: 10.12008/j.issn.1009-2196.2017.08.018.

责任编辑:何承刚