

# 氮、磷、钾配比施肥对辣木生长及叶片养分吸收的影响

张敏<sup>1,2</sup>, 杨浩瑜<sup>1,2</sup>, 包立<sup>1,2</sup>, 汪泰<sup>1,2</sup>, 张乃明<sup>2\*</sup>

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201; 2. 云南省土壤培肥与污染修复工程实验室, 云南 昆明 650201)

**摘要:** [目的] 为明确辣木生长对养分的需求及叶片养分吸收状况。 [方法] 研究采取田间小区实验, 设置  $N_{80}$ 、 $N_{80}P_{20}$ 、 $N_{80}K_{40}$ 、 $P_{20}K_{40}$ 、 $N_{80}P_{20}K_{40}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$  和不施肥对照 7 个处理, 测定分析不同氮、磷、钾配比施肥对辣木生长及叶片养分吸收的影响。 [结果] 不同氮、磷、钾配比施肥处理下, 辣木生长速度先快后缓慢, 处理 90 d 后株高、冠幅和鲜叶生物量的最高值及地径的次高值均出现在  $N_{80}$  中,  $N_{60}P_{20}K_{60}$  的株高、地径及  $N_{80}K_{40}$  的鲜叶生物量仅次于  $N_{80}$  处理; 不同氮、磷、钾配比施肥均促进了辣木叶片中全氮、全磷含量的累积, 但降低了全钾含量; 除  $N_{80}$  外, 其它处理叶片叶绿素含量均低于 CK, 高氮处理的叶绿素含量均高于  $P_{20}K_{40}$  和  $N_{60}P_{20}K_{60}$ ,  $N_{80}P_{20}$  高于  $N_{80}K_{40}$ 。 [结论] 各元素对辣木生长影响大小为  $N > K > P$ , 对叶片中叶绿素含量影响大小为  $N > P > K$ , 叶片中营养元素含量大小为  $N > K > P$ 。综合试验结果中辣木主要生长指标的生长及叶片养分吸收情况, 配比施肥最优处理为  $N_{80}$ , 且该施肥处理主要适用于辣木幼龄及速生生长阶段。

**关键词:** 辣木; 配比施肥; 养分吸收; 生长状况

**中图分类号:** S725.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2019)05-0114-07

辣木 (*Moringa oleifera* Lam) 是多年生热带落叶乔木, 原产于印度北部, 是一种具有独特经济价值的热带植物<sup>[1]</sup>; 其叶片、果荚含有多种丰富的矿物质、维生素以及人体所必需的各种氨基酸和微量元素; 作为蔬菜和食品具有增进营养、食疗保健功能, 也可用于医药、保健等方面<sup>[2]</sup>。辣木是一种对周围土壤养分要求不高的植物, 但田间水肥调控和病虫害防治较为困难, 限制了辣木产量及品质的提高<sup>[3]</sup>。张燕平等<sup>[4]</sup>指出, 辣木虽然本身对不同土壤适应性强, 但在排水条件差的土壤环境中会导致根部腐烂; 刘昌芬等<sup>[5]</sup>研究指出, 在栽培过程中, 需根据使用目的不断调整肥料的种类, 因此, 栽培过程中氮、磷、钾合理配施对辣木生长及养分吸收有较大影响; 任开磊等<sup>[6]</sup>得出, 施肥显著促进辣木生长, 其中, 氮肥和钾肥占主导作用,  $N_{150}P_{40}K_{100}$  ( $g \cdot 株^{-1}$ ) 能够促进株高和地径生长,  $N_{85}P_{85}K_{100}$  ( $g \cdot 株^{-1}$ ) 适合冠幅和分枝数生长, 果荚和种子产量的最优组合处理为  $N_{40}P_{150}$

$K_{100}$  ( $g \cdot 株^{-1}$ )。可见, 辣木不同部位的生长需不同肥料配比。徐永强<sup>[2]</sup>研究表明, 氮、磷、钾对辣木株高与地径的影响作用大小为:  $K > P > N$ , 对生物量和鲜叶产量的增产效果大小为:  $K > N > P$ ; 此外, 氮、磷均会降低辣木根冠比, 显著提高辣木叶片叶绿素含量, 钾对根冠及叶绿素含量影响较小。许冰等<sup>[7]</sup>应用“3414”配方施肥表明, 氮肥各施肥配方对辣木幼苗的各项生长指标和生理指标具有显著影响, 磷肥对地径及叶片含水率影响不显著, 对其它指标均有显著影响, 钾肥仅对冠幅增量和叶片含水率有显著影响, 研究结果与徐永强<sup>[2]</sup>的并不一致。国外对辣木施肥的研究表明, 家禽粪便相对于氮、磷、钾肥能显著促进辣木生长并提高辣木叶片的养分含量<sup>[8]</sup>; Imoro 等<sup>[9]</sup>也得出相同结论, 并指出家禽粪便对辣木生长的促进作用优于牛粪粪便; Fagbenro 等<sup>[10]</sup>研究表明, 施用生物炭能明显促进辣木幼苗生长。可见, 农家肥、生物炭等对辣木生长有很大影响。对于养

收稿日期: 2019-02-04 修回日期: 2019-04-10

基金项目: 云南省对外科技合作计划-院士专家工作站(2015IC022); 云南省科技创新人才计划项目(2015HC018)

\* 通讯作者: 张乃明. E-mail: zhangnaiming@sina.com

分吸收,李嘉等<sup>[11]</sup>研究表明,辣木叶片中N元素含量最高,其次是K元素,总体呈现 $N > K > P > Mg > Ca > Mn > Zn > Fe > Cu$ 的趋势。综合以上研究,目前施肥对辣木生长影响研究众多,但研究结果并不一致,存在较大差异,对于辣木叶片养分吸收的研究也较少。因此,本研究通过设置不同氮、磷、钾配比施肥,初步研究其对辣木生长和叶片养分吸收的影响,旨在为辣木生产中科学合理的施肥提供理论依据。

## 1 试验地概况

试验在云南省农业科学院热区生态农业研究所辣木研究中心的试验基地进行。试验地位于云南省楚雄州元谋县干热河谷盆地(101°52' E, 25°41' N),海拔1 489.3 m;年均降水量为613.8 mm,主要集中在5—10月,7月降雨量最多(平均为137.8 mm),冬春雨少,3—5月不足60.6 mm;年均气温21.9℃,最冷月(12月)均温14.9℃,最热月(5月)均温27.1℃;年日照时数2 670.4 h,平均日照时数7.3 h·d<sup>-1</sup>,气候干热,高温少雨,属于典型的南亚热带季风河谷气候区。供试土壤为以燥红土为主,其本底土壤肥力分析的化学性质为:pH值为6.57,有机质为8.26 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮为66.35 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷为17.16 mg·kg<sup>-1</sup>,有效钾为69.31 mg·kg<sup>-1</sup>,全氮为0.68 g·kg<sup>-1</sup>,全磷为0.43 g·kg<sup>-1</sup>,全钾为18.62 g·kg<sup>-1</sup>。

## 2 供试材料及试验方法

### 2.1 供试材料

供试辣木为印度传统辣木,由云南省农业科学院热区生态农业研究所辣木中心提供。辣木种植前将试验地土壤翻耕疏松并去除杂草,然后采用挖塘直播方式进行,植塘规格为40 cm×40 cm×40 cm,其配置密度株行距为1.5 m×1.5 m(每个小区6.8 m<sup>2</sup>),各处理种植采用完全随机区组排列,小区间设保护行。分别选取长势良好并经矮化、修剪整形的株型、大小及长势均匀的辣木幼苗(株高120 cm,地径50 mm左右)于2016年4月15日种植。种植前在塘中施入农家肥(干鸡粪),施入量为200 g·株<sup>-1</sup>。

尿素(N 46%)由云南云天化集团有限公司生产,过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%)由安宁洪源经贸有限公司生产,硫酸钾(水溶性)(K<sub>2</sub>O 52%)由广西新方向化

学工业有限公司生产。

### 2.2 试验方法

试验设7个处理:CK(空白处理)、N<sub>80</sub>、N<sub>80</sub>P<sub>20</sub>、N<sub>80</sub>K<sub>40</sub>、P<sub>20</sub>K<sub>40</sub>、N<sub>80</sub>P<sub>20</sub>K<sub>40</sub>、N<sub>60</sub>P<sub>20</sub>K<sub>60</sub>,各处理施肥量见表1,每个处理3次重复(每次重复3株),共21个试验小区。在辣木定植成活后的2016年4月25日和5月29日分2次施肥,肥料混合均匀后分别在离辣木植株基部30 cm处采用环状沟施(沟宽和深均为20 cm)。所有处理除施肥水平存在差异外,其它管理措施均保持一致,种植后每隔30 d测量辣木的生长指标(株高、地径、冠幅);2016年7月24日在每个试验小区选3株代表性辣木,在树体中上部东南西北4个方向枝条上挑选50片长势均匀、大小形状相似的叶片测定辣木叶片的叶绿素含量,并称质量;将3株辣木的其余叶片全部采收,称质量,与另外50片叶的质量求和,求其平均值,即为辣木叶片的鲜叶生物量;之后将辣木鲜叶杀青、烘干后研磨过筛,测定叶片中全氮、全磷、全钾含量。

表1 氮、磷、钾配比施肥方案

Table 1 The fertilization scheme of different

N, P and K ratio

g·株<sup>-1</sup>

处理 Treatment	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CK	0	0	0
N <sub>80</sub>	80	0	0
N <sub>80</sub> P <sub>20</sub>	80	20	0
N <sub>80</sub> K <sub>40</sub>	80	0	40
P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	0	20	40
N <sub>80</sub> P <sub>20</sub> K <sub>40</sub>	80	20	40
N <sub>60</sub> P <sub>20</sub> K <sub>60</sub>	60	20	60

### 2.3 指标测定方法

辣木株高和冠幅采用卷尺测量,精确到0.1 cm,其中,冠幅为东西、南北冠幅之和的平均值;地径采用游标卡尺测定株干近地表处的直径,精确到0.01 mm;采用称重法测定辣木鲜叶生物量。辣木叶片称鲜质量后,在每个重复处理中选取一定量成熟功能叶片经105℃杀青2 h,然后在80℃下烘干至恒质量,再用粉碎机粉碎研磨后过60目筛装入密封袋保存待测养分含量。称取0.2 g研磨过筛后的辣木叶片用浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消解,分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰分光光度计法测定全氮、全磷和全钾;叶绿素总含量采用混合液(乙醇:丙酮:蒸馏水=4.5:4.5:1)提取-分光光度计法测定后经计算得到。

### 2.4 数据处理

试验测试的各个指标均为3次重复测定的平均

值,采用 SPSS22.0 软件对数据进行显著性检验( $P < 0.05$ ),同时采用 Microsoft Excel 2013 绘制图表。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同氮、磷、钾配比施肥对辣木生长的影响

由表2可知:在施肥30 d后, $N_{60}P_{20}K_{60}$ 的辣木株高最高(215.7 cm),显著高于 $N_{80}K_{40}$ 、 $N_{80}P_{20}K_{40}$ ;施肥60 d后, $N_{80}$ 与 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 处理的辣木株高较高,显著高于 $N_{80}K_{40}$ 和 $N_{80}P_{20}K_{40}$ ,CK、 $N_{80}P_{20}$ 、 $P_{20}K_{40}$ 间差异不显著;施肥90 d后, $N_{80}$ 的辣木株高在各处理中最高,达288.7 cm; $N_{80}P_{20}K_{40}$ 处理的株高最低,显著低于CK;在整个试验阶段,辣木株高生长的速度呈先快后慢的趋势。

表3表明:施肥当天各处理的地径差异不显著;施肥30 d后, $N_{80}P_{20}K_{40}$ 处理的地径最低,仅为60.84 mm,显著低于CK、 $N_{80}$ ;施肥60 d后,各处理间地径存在差异,这个阶段各配比施肥处理的辣木地径生长呈放缓趋势, $N_{80}P_{20}K_{40}$ 处理的地径最低,显著低于

表2 不同氮磷钾配比施肥对辣木株高生长的影响  
Table 2 Effects of different ratio of N, P and K fertilizers on plant height growth of *Moringa oleifera*

处理 Treatment	株高 Plant height/cm			
	0 d	30 d	60 d	90 d
CK	120	202.6 ± 6.15ab	236.5 ± 13.91ab	273.9 ± 17.70ab
$N_{80}$	120	207.6 ± 3.21ab	248.1 ± 10.38a	288.7 ± 17.10a
$N_{80}P_{20}$	120	203.0 ± 12.96ab	235.4 ± 11.09ab	261.7 ± 11.36abc
$N_{80}K_{40}$	120	193.7 ± 7.80b	221.4 ± 7.42b	250.2 ± 7.76bc
$P_{20}K_{40}$	120	203.9 ± 16.59ab	234.2 ± 15.99ab	248.0 ± 18.02bc
$N_{80}P_{20}K_{40}$	120	192.8 ± 3.61b	216.4 ± 1.69b	242.3 ± 2.35c
$N_{60}P_{20}K_{60}$	120	215.7 ± 12.02a	251.1 ± 23.00a	282.2 ± 23.61a

注:表中同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Notes: Different small letters in the same column indicated significant in different treatments ( $P < 0.05$ ), the same below.

CK、 $N_{80}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ ;施肥90 d后,与0~30、30~60 d的地径生长速度相比,60~90 d的地径增长趋势更加缓和, $N_{80}P_{20}K_{40}$ 依然显著低于CK、 $N_{80}$ 、 $N_{80}P_{20}$ 和 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 。

表3 不同氮磷钾配比施肥对辣木地径、冠幅生长的影响

Table 3 Effects of different ratio of N, P and K fertilizers on the ground diameter and the crown width growth of *Moringa oleifera*

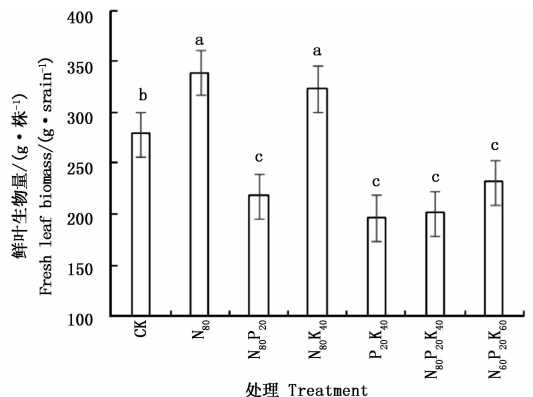
处理 Treatment	地径 Ground diameter /mm				冠幅 Crown width /cm			
	0 d	30 d	60 d	90 d	0 d	30 d	60 d	90 d
CK	52.96 ± 3.66a	74.26 ± 2.89a	75.46 ± 2.20a	79.42 ± 2.47a	0	40.7 ± 3.07ab	41.7 ± 2.89ab	46.5 ± 2.25ab
$N_{80}$	53.79 ± 5.48a	72.90 ± 5.57a	76.02 ± 5.81a	77.38 ± 6.49a	0	41.9 ± 3.43a	44.4 ± 3.55a	48.5 ± 2.25a
$N_{80}P_{20}$	51.31 ± 6.25a	70.85 ± 10.27ab	72.48 ± 10.37ab	76.37 ± 10.04a	0	36.4 ± 1.11abc	40.8 ± 1.77ab	45.4 ± 1.10ab
$N_{80}K_{40}$	46.68 ± 1.43a	64.96 ± 1.21ab	67.25 ± 2.24ab	69.63 ± 1.07ab	0	36.7 ± 4.30abc	38.7 ± 4.24ab	43.4 ± 3.26bc
$P_{20}K_{40}$	48.35 ± 3.53a	66.08 ± 3.56ab	67.66 ± 2.42ab	69.57 ± 2.71ab	0	33.2 ± 3.14c	36.2 ± 3.25b	38.9 ± 2.13c
$N_{80}P_{20}K_{40}$	46.97 ± 4.43a	60.84 ± 5.74b	64.36 ± 5.59b	65.04 ± 5.48b	0	33.4 ± 0.61c	36.9 ± 0.65b	40.5 ± 0.17c
$N_{60}P_{20}K_{60}$	51.29 ± 5.67a	71.26 ± 4.31ab	75.39 ± 5.11a	76.43 ± 4.39a	0	34.7 ± 4.56bc	38.5 ± 6.50ab	43.1 ± 4.15bc

注:施肥当天的辣木刚长出新叶不久,故未做冠幅的测量。

Notes: The *Moringa oleifera* on the day of fertilization just grew new leaves soon, so did not do the crown width measurements.

表3表明:在施肥后30 d,除 $N_{80}$ 外,其它处理的辣木冠幅均低于CK,尤其是 $P_{20}K_{40}$ 和 $N_{80}P_{20}K_{40}$ 显著低于CK和 $N_{80}$ ;施肥60 d后,除 $N_{80}$ 外,其它处理的辣木冠幅依然低于CK,与前期不同的是施肥处理与CK的冠幅差值呈降低的趋势,说明随着施肥后生长时期的加长,各配比施肥对辣木冠幅生长的消极作用正在减弱;在施肥后90 d, $N_{80}$ 与CK和 $N_{80}P_{20}$ 处理差异不显著,与其它处理差异显著;除 $N_{80}$ 外,其它处理均低于CK。

图1表明: $N_{80}$ 鲜叶生物量最高, $P_{20}K_{40}$ 的最低; $N_{80}$ 和 $N_{80}K_{40}$ 处理的鲜叶生物量显著高于CK及其它处理,而含磷肥的 $N_{80}P_{20}$ 、 $P_{20}K_{40}$ 、 $N_{80}P_{20}K_{40}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 处理间差异不显著,且鲜叶生物量均显著低于CK。



注:图中不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。  
Notes: Different small letters indicated significant in different treatments ( $P < 0.05$ ), the same below.

图1 辣木鲜叶生物量比较

Fig.1 Comparison of fresh leaf biomass of *Moringa oleifera*

### 3.2 不同氮、磷、钾配比施肥对辣木叶片全氮、全磷、全钾及叶绿素总含量的影响

由图2可知:不同氮、磷、钾配比施肥对辣木叶片全氮含量均有不同程度的影响, $N_{80}K_{40}$ 的叶片全氮含量最高( $29.03\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),显著高于CK和 $N_{80}P_{20}K_{40}$ ;  $P_{20}K_{40}$ 叶片的全氮含量也显著高于CK。总体看,不同氮、磷、钾配比施肥提高了辣木叶片中全氮含量。 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 的辣木叶片全磷含量最高( $8.43\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),与CK、 $N_{80}$ 、 $N_{80}P_{20}$ 、 $P_{20}K_{40}$ 相比,显著提高了50.26%、30.49%、31.92%、32.96%,说明 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 对提高辣木叶片全磷含量的作用最明显; $N_{80}P_{20}K_{40}$ 叶片的全磷含量也显著高于CK,说明 $N_{80}P_{20}K_{40}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 配比施肥对辣木叶片全磷含量的促进效果优于其他处理。总体看,不同氮、磷、钾配比施肥不同程度提高了辣木叶片的全磷含量。

由图3可知:不同氮、磷、钾配比施肥对辣木叶

片全钾含量的影响与辣木叶片中全氮、全磷含量影响不同;各处理与CK相比,辣木叶片中全钾含量都不同程度降低,其中, $P_{20}K_{40}$ 的叶片全钾含量最低( $14.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),显著低于CK、 $N_{80}P_{20}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ ,与CK相比,其全钾含量降低了13.07%;CK、 $N_{80}P_{20}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 的辣木叶片全钾含量高于其它处理,说明 $N_{80}P_{20}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 配比施肥对辣木叶片全钾含量的促进效果优于其他处理。 $N_{80}$ 叶片中叶绿素总含量最高( $2.33\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),除CK和 $N_{80}P_{20}$ 外,显著高于其它处理; $P_{20}K_{40}$ 的叶绿素总含量最低( $1.82\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),显著低于CK、 $N_{80}$ 、 $N_{80}P_{20}$ ,其叶绿素含量比CK降低了21.98%;同时, $N_{80}K_{40}$ 、 $N_{80}P_{20}K_{40}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 间叶片中叶绿素总含量差异不显著。总体看,除 $N_{80}$ 外,其它处理与CK相比,辣木叶片的叶绿素总含量均有不同程度的降低。

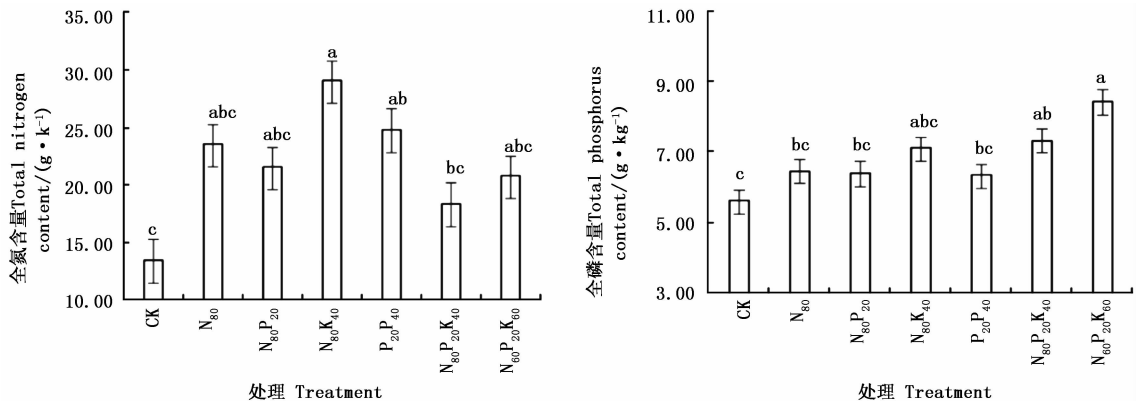


图2 辣木叶片全氮、全磷含量比较

Fig. 2 Comparison of leaves of *Moringa oleifera* total nitrogen and total phosphorus content

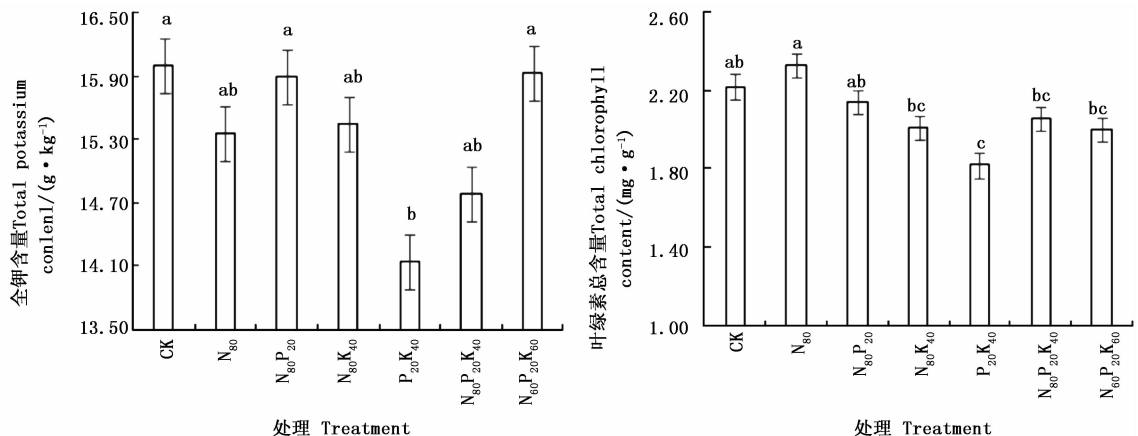


图3 辣木叶片全钾含量、叶绿素总含量比较

Fig. 3 Comparison of leaves of *Moringa oleifera* total potassium and total chlorophyll content

## 4 讨论

辣木株高、地径、冠幅、鲜叶生物量等可作为生长指标来评价配比施肥的效果<sup>[2]</sup>。从整个试验阶段看,不同氮、磷、钾配比施肥处理下,辣木株高、地径、冠幅的生长速度呈先急剧上升后放缓的趋势,研究结果与前人一致<sup>[12]</sup>,这可能与肥效有关,前期施肥后,辣木养分来源较充足,随着辣木吸收、土壤吸附及损失,导致后期肥效减弱,不足以满足辣木生长需求;而杨焱<sup>[13]</sup>研究指出,9 d 施肥 1 次可获得最好的辣木产量。李玲等<sup>[14]</sup>发现,氮、磷、钾、钙缺乏对辣木幼苗生长会造成不同程度的影响,缺氮影响最大。从本试验结果看, $N_{80}$ 处理的辣木生长及叶片养分吸收情况总体优于其它处理,说明氮素在辣木生长中占主导作用,与李玲等<sup>[14]</sup>、许冰等<sup>[7]</sup>研究结果一致,但与徐永强<sup>[2]</sup>研究结果并不相同,可能有二个原因:一是辣木的繁育措施不同,或者是水分、密度、病虫害调控措施不同<sup>[15]</sup>;二是可能与供试土壤缺氮富磷、钾有关。因此,辣木对氮素需求更大。本研究比较得出, $N_{60}P_{20}K_{60}$ 的辣木株高、地径仅次于 $N_{80}$ 处理,且明显高于其它钾的处理。可见,除氮素外,钾对于促进辣木的株高、地径也起到重要作用,与任开磊等<sup>[6]</sup>研究结果一致;徐冰等<sup>[7]</sup>研究表明,钾能促进冠幅增长量。本研究结果中,钾肥对辣木生长影响较小,与徐永强<sup>[2]</sup>研究结果相同;种植 90 d 后,除 CK 和 $N_{80}P_{20}$ 外, $N_{80}$ 与其它处理的冠幅差异显著,除 $N_{80}$ 外,整个试验期其它处理的冠幅均低于 CK;所有处理地径均低于 CK,且株高除 $N_{80}$ 、 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 外,其它处理的株高也均低于 CK,这说明不同氮、磷、钾配比施肥可能会对辣木生长起抑制作用。这可能有二个原因:一是肥料配比影响所致,也就是施肥不合理;二是可能土壤 pH 值过高所致,土壤 pH 值高于 6.2 时会导致辣木生长迟缓<sup>[16]</sup>,可见,合理的配比施肥对辣木生长极为重要<sup>[17]</sup>。从本研究结果看, $N_{80}$ 和 $N_{80}K_{40}$ 的鲜叶生物量显著高于 CK,其它含磷处理显著低于这 3 个处理,而 $N_{60}P_{20}K_{60}$ 又高于其它磷处理,说明对辣木鲜叶生物量影响元素为 $N > K > P$ ,与徐永强<sup>[2]</sup>的 $K > N > P$ 结果不同,同样也可能与土壤本身特性有关,也有可能与水分胁迫导致生物量有所不同<sup>[18]</sup>。本研究中,氮肥施用对辣木生长有较强的促进作用,而磷肥和钾肥作用不明显甚至出现负作用,可能与当地气温及土壤水分有极大关系,辣木喜温暖、潮湿、年降水量为 1 000 ~ 2 000 mm 地区,而当地年平

均降水量仅为 600 mm 左右,由此土壤水极为缺乏,水肥协同效应受抑制;此外,可能是在干旱条件下辣木更易于缺乏氮养分。

本研究结果显示,辣木叶片吸收营养元素含量总体呈现出 $N > K > P$ ,研究结果与李嘉等<sup>[11]</sup>、刘忠妹等<sup>[19]</sup>一致,这与影响辣木生长的元素相同,进一步表明辣木生长所需的养分含量大小,同时也说明辣木对氮、钾具有高富集特性。有研究表明,辣木叶片中大量元素含量由高到低依次是 $K > Ca > P > Mg > Na$ <sup>[20]</sup>,这可能是由于生态区、采样时间和采摘部位不同导致辣木叶片营养成分不同<sup>[21]</sup>;也有研究表明:辣木的叶片养分含量变化与地理分布及土壤特性有关<sup>[22]</sup>。从各处理看,不同处理的辣木叶片全氮、全磷、全钾含量并不相同,且最大值出现在不同处理中,这说明氮磷钾能协同作用参与辣木生长,而辣木又能在不同氮磷钾配比施肥下主动调节体内元素的丰富度<sup>[23]</sup>。辣木叶片全氮、全磷含量均高于 CK,而全钾含量均不同程度低于 CK,这说明不同配比施肥可能促进辣木叶片中的全氮、全磷吸收,抑制全钾吸收,具体原因还有待进一步探究;当然出现这种原因也可能是因为季节、光照、温度和水分的影响<sup>[20]</sup>。在不同配比施肥对辣木叶片叶绿素含量的影响方面,除 $N_{80}$ 外,其它处理均低于 CK,且高氮处理的叶绿素含量均高于 $P_{20}K_{40}$ 和 $N_{60}P_{20}K_{60}$ , $N_{80}P_{20}$ 高于 $N_{80}K_{40}$ ,这说明氮磷能够增加辣木叶片中叶绿素含量,与徐永强<sup>[2]</sup>研究结果基本一致。

## 5 结论

不同氮、磷、钾配比施肥处理下辣木生长速度先快后缓慢,各元素对辣木生长和叶片养分吸收影响大小均为 $N > K > P$ ,对叶绿素含量影响大小为 $N > P > K$ 。辣木株高、冠幅、鲜叶生物量和叶绿素总含量的最高值及地径的次高值均出现在 $N_{80}$ 中。综合分析结果表明,不同氮、磷、钾配比施肥对辣木生长及叶片养分吸收影响均不同,配比施肥最优处理为 $N_{80}$ ,该施肥处理适用于辣木幼龄及速生生长阶段。

### 参考文献:

- [1] Fuglie L J. The Miracle Tree: *Moringa oleifera*, natural nutrition for the tropics [M]. Senegal, Dakar: Church World Service, 1999: 68.
- [2] 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.
- [3] 盘李军, 刘小金. 辣木的栽培及开发利用研究进展[J]. 林业与环境科学, 2010, 26(3): 71 - 77.

- [4] 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.
- [5] 刘昌芬, 龙继明, 杨焱, 等. 多功能植物辣木栽培技术研究初报[J]. 中国农学通报, 2007, 23(6): 590-593.
- [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期产量构成的影响[J]. 林业科学研究, 2016, 29(6): 820-825.
- [7] 许冰, 任开磊, 吴疆翀, 等. 辣木幼林对氮、磷、钾肥效应及叶片的生理反应[J]. 林业科学研究, 2016, 29(3): 418-423.
- [8] Dania S O, Akpansubi P, Eghagara O O. Comparative effects of different fertilizer sources on the growth and nutrient content of *Moringa oleifera* seedling in a greenhouse trial [J]. *Advances in Agriculture*, 2014, 5(14): 1-6.
- [9] Imoro A W M, Sackey I, Abubakari A H. Preliminary study on the effects of two different sources of organic manure on the growth performance of *Moringa oleifera* seedlings [J]. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 2012, 2(10): 147-158.
- [10] Fagbenro J A, Oshunsanya S O, Oyeleye B A. Effects of gliricidia biochar and inorganic fertilizer on *Moringa* plant grown in an oxisol [J]. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 2015, 46(5): 619-626.
- [11] 李嘉, 胡诗羲, 王荣香, 等. 不同辣木种质资源叶片营养成分含量分析[J]. 热带作物学报, 2018, 39(1): 34-39.
- [12] Kumar A R, Prabhu M, Ponnuswami V, et al. Scientific seed production techniques in *Moringa* [J]. *Agricultural Reviews*, 2014, 35(1): 69-73.
- [13] 杨焱. 不同采摘方法与施肥间隔对辣木嫩梢产量的影响[J]. 热带农业科技, 2012, 35(1): 39-40.
- [14] 李玲, 殷振华, 亚华金, 等. N、P、K、Ca 缺素培养对辣木幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(16): 52-56.
- [15] 孟源, 胡兵辉. 调控栽培对辣木生长影响的研究进展[J]. 北方园艺, 2017(14): 175-179.
- [16] Innocent P, Fanuel T, Tavagwisa M, et al. Effects of pH, nitrogen and phosphorus on the establishment and growth of *Moringa oleifera lam* [J]. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 2014, 4(3): 211-216.
- [17] 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.
- [18] 韩学琴, 赵广, 廖承飞, 等. 水分胁迫对辣木生物量分配和水分利用效率的影响[J]. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1045-1049.
- [19] 刘忠妹, 李海泉, 许木果, 等. 3种辣木中氮、磷、钾、钙和镁元素含量的比较[J]. 热带作物学报, 2016, 37(3): 461-465.
- [20] 杨东顺, 樊建麟, 邵金良, 等. 辣木不同部位主要营养成分及氨基酸含量比较分析[J]. 山西农业科学, 2015, 43(9): 1110-1115.
- [21] Melesse A, Boguhn J, Schollenberger M, et al. Effects of elevation and season on nutrient composition of leaves and green pods of *Moringa stenopetala* and *Moringa oleifera* [J]. *Agroforestry Systems*, 2012, 86(3): 505-518.
- [22] Anjorin T S, Ikkoh P, Okolo S. Mineral composition of *Moringa oleifera* leaves, pods and seeds from two regions in Abuja, Nigeria [J]. *International Journal of Agriculture Biology*, 2010, 12(3): 431-434.
- [23] 刘鹏, 郝朝运, 陈子林, 等. 不同群落类型中七子花器官营养成分分布及其与土壤养分的关系[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 304-312.

# Effects of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Ratio Fertilization on Growth and Leaf Nutrient Absorption of *Moringa oleifera*

ZHANG Min<sup>1,2</sup>, YANG Hao-yu<sup>1,2</sup>, BAO Li<sup>1,2</sup>, WANG Tai<sup>1,2</sup>, ZHANG Nai-ming<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, Yunnan, China;

2. Yunnan Engineering Laboratory of Soil Fertility and Pollution Remediation, Kunming 650201, Yunnan, China)

**Abstract:** [ **Objective** ] To determine the nutrient requirement and leaf nutrient uptake of *Moringa oleifera*. [ **Method** ] Field experiment was carried out, and seven treatments, i. e.  $N_{80}$ ,  $N_{80}P_{20}$ ,  $N_{80}K_{40}$ ,  $P_{20}K_{40}$ ,  $N_{80}P_{20}K_{40}$ ,  $N_{60}P_{20}K_{60}$  and no fertilization (CK) were set up to analyze and confirm the effects of the different nitrogen, phosphorus and potassium ratio on growth and leaf nutrient absorption of *M. oleifera*. [ **Result** ] Under different ratio of nitrogen, phosphorus and potash fertilizer treatments, *M. oleifera* grew quickly at the beginning and then grew slowly. The highest value of plant height, crown width and fresh leaf biomass and the second highest value of ground diameter appeared in  $N_{80}$ . The plant height and ground diameter increment under  $N_{60}P_{20}K_{60}$  treatment, and fresh leaf biomass under  $N_{80}K_{40}$  treatment were second only to  $N_{80}$  treatment. Different nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilization promoted the accumulation of total nitrogen and total phosphorus in *M. oleifera* leaves, but reduced the total potassium content. Except for  $N_{80}$ , the chlorophyll content in leaves under other treatments were lower than that of the CK, and the chlorophyll content of high-nitrogen treatments were higher than that of  $P_{20}K_{40}$  and  $N_{60}P_{20}K_{60}$ , and the chlorophyll content under  $N_{80}P_{20}$  treatment was higher than that under  $N_{80}K_{40}$  treatment. [ **Conclusion** ] The impact of nutrient elements on the growth of *M. oleifera* follows the order of  $N > K > P$ , the impact on chlorophyll content in *M. oleifera* leaves follows the order of  $N > P > K$ , and the nutrient element content in *M. oleifera* leaves follows the order of  $N > K > P$ . According to the results of the main growth indicators of *M. oleifera* and the nutrient absorption of leaves, the optimal fertilization ratio is the combination of  $N_{80}$ , and the fertilization treatment is suitable for *M. oleifera* in young and fast-growing stages.

**Keywords:** *Moringa oleifera*; proportioning fertilization; nutrient absorption; growth

(责任编辑:徐玉秀)