



王道波, 李伏生, 周瑞阳. 氮磷钾肥运筹对红麻养分利用的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(6): 33-40.

# 氮磷钾肥运筹对红麻养分利用的影响

王道波<sup>1,2</sup>, 李伏生<sup>1</sup>, 周瑞阳<sup>1</sup>

(1 广西大学 农学院, 广西南宁 530004; 2 钦州学院 资源与环境学院, 广西 钦州 535099)

**摘要:**【目的】研究氮磷钾肥运筹对红麻 *Hibiscus cannabinus* L. 不同器官养分含量和吸收以及土壤速效养分含量的影响, 以探讨不同红麻品种养分利用特点, 为红麻高产高效栽培提供合理施肥依据. 【方法】通过盆栽试验, 试验设 2 种红麻品种, 即福红 992 与红优 2 号; 3 种施肥水平, 即低肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 分别为 0.10、0.05 和 0.10 g·kg<sup>-1</sup>), 中肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 分别为 0.15、0.75 和 0.15 g·kg<sup>-1</sup>) 和高肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 分别为 0.20、0.10 和 0.20 g·kg<sup>-1</sup>); 以及 3 种施肥方式, 即全部 NK 肥作基肥(T<sub>1</sub>), 60% 的 NK 肥作基肥和 40% 的 NK 肥作追肥(T<sub>2</sub>) 以及全部 NK 肥作追肥(T<sub>3</sub>). 【结果和结论】随着肥料用量的增加, 红麻各器官中 NPK 含量、植株 NPK 吸收总量以及土壤速效 NPK 含量均出现增加的趋势. 随着 NK 肥追肥比例的上升, 红麻各器官中 NP 含量, 以及植株 NP 吸收总量均出现下降的趋势; 麻皮中 P 含量、各器官 K 含量、土壤速效养分、红麻吸 K 量均出现上升的趋势. 在本文试验条件下, 高肥且全部做基肥施用, 有利于红麻对养分的吸收和土壤速效养分含量的提高.

**关键词:** 红麻; 肥料用量; 肥料运筹; 养分吸收; 土壤速效养分

中图分类号: S563.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2014)06-0033-08

## Effects of NPK fertilizer management on nutrient use of kenaf, *Hibiscus cannabinus* L.

WANG Daobo<sup>1,2</sup>, LI Fusheng<sup>1</sup>, ZHOU Ruiyang<sup>1</sup>

(1 College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2 College of Resources and Environment, Qinzhou University, Qinzhou 535099, China)

**Abstract:** 【Objective】 The effects of NPK fertilizer management on nutrient contents and uptakes in different organs and soil available nutrient contents were studied to investigate the nutrient use of different kenaf varieties, so as to provide rational fertilization for high yield and high efficient cultivation of kenaf. 【Method】 The pot experiments included two kenaf varieties, i. e. Fuhong 992 and Hongyou 2, three fertilization levels, i. e. low fertilization (N 0.10 g·kg<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.05 g·kg<sup>-1</sup> and K<sub>2</sub>O 0.10 g·kg<sup>-1</sup>), medium fertilization (N 0.15 g·kg<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.075 g·kg<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 0.15 g·kg<sup>-1</sup>) and high fertilization (N 0.20 g·kg<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.10 g·kg<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 0.20 g·kg<sup>-1</sup>), and three fertilization methods, i. e. T<sub>1</sub> (all N and K fertilizers as basal fertilizer), T<sub>2</sub> (60% N and K fertilizers as basal fertilizer, 40% N and K fertilizers as topdressing) and T<sub>3</sub> (all N and K fertilizers as topdressing). 【Result and conclusion】 The contents of N, P and K in various organs, plant NPK uptakes and the contents of available N, P and K in soil increased with the increase of fertilizer rate. With the increase of the rate of NK for top dressing, N contents in various organs, P contents in root, leaf and pole and plant N and P uptakes reduced while P contents in bark, K contents in various organs, plant K uptakes and the contents of available N, P and K

收稿日期: 2013-12-08 优先出版时间: 2014-09-30

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20141003.1133.009.html>

作者简介: 王道波(1978—), 男, 副教授, 博士, E-mail: d. b. wang@foxmail. com; 通信作者: 李伏生(1963—), 男, 教授, 博士, E-mail: zhenz@gxu. edu. cn

基金项目: “863”计划项目(2011AA100504); 广西自然科学基金(2013GXNSFBA019090); 现代农业产业技术体系建设专项(NYCYTX-19-E16); 广西高校科技项目(2013LX237)

in soil increased. In this study, for Fuhong 992 and Hongyou 2, high fertilization with all N and K fertilizers as basal fertilizer can increase the nutrient absorption of kenaf and the contents of available nutrients in soil.

**Key words:** kenaf; fertilizer rate; fertilizer management; nutrient uptake; soil available nutrient

红麻 *Hibiscus cannabinus* L. 是锦葵科 Malvaceae 木槿属 *Hibiscus* 的短日照一年生韧皮纤维作物, 生长快、抗逆好, 广泛用于纺织、造纸等方面, 尤其作为生物质新能源, 越来越受到重视<sup>[1-3]</sup>. 近年来, 国内外有关氮磷钾肥运筹对不同作物养分利用的影响有较多的研究, 且不同作物对氮磷钾肥运筹的响应不尽相同. 关于肥料运筹对红麻的影响, 国内外的研究主要集中在产量方面, 且不同研究的结论不同. Kipriotis 等<sup>[4]</sup>、Manzanares 等<sup>[5]</sup>和 Patanè 等<sup>[6]</sup>研究表明, 施 N 0 ~ 150 kg · hm<sup>-2</sup> 时, 红麻产量没有显著差异. 而 Tigka 等<sup>[7]</sup>和 Kuchindra 等<sup>[8]</sup>研究表明, 在不同土壤和气候条件下, 施 N 86 ~ 224 kg · hm<sup>-2</sup> 显著增加红麻产量. 叶继标等<sup>[9]</sup>研究指出, 留种红麻宜采取控前、攻中、补后的施肥模式, 其肥料分配比例为基肥占总施肥量的 10% ~ 15%, 始花肥占 70% ~ 80%, 壮粒肥占 10% ~ 15%, 每 667 m<sup>2</sup> 施肥量控制在 N 13 ~ 18 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6 ~ 9 kg、K<sub>2</sub>O 11 ~ 19 kg. 余同海等认为<sup>[10]</sup> 每 667 m<sup>2</sup> 施肥量控制在 N 12.5 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4.0 kg、K<sub>2</sub>O 7.5 kg 时, 红麻纤维产量最高. 李祖士等<sup>[11]</sup>对造纸用红麻的研究表明, 每 667 m<sup>2</sup> 施尿素 7.5 kg 和过磷酸钙 10 kg 作基肥, 尿素 15 kg、过磷酸钙 5 kg 和硫酸钾 15 kg 作追肥时, 产量最高.

氮磷钾肥运筹对红麻养分吸收利用的影响研究相对较少, 朱元洪等<sup>[12]</sup>的结果表明, 施肥可以显著提高红麻养分含量, 氮磷含量都以叶片最高, 麻皮次之; 麻皮和叶片含钾量均显著高于麻秆. 朱强等<sup>[13]</sup>认为, N 在叶片中的分布最多, 韧皮部次之而麻骨中为最低, P、K 在麻株体内分布相对较均匀. 本文基于红麻本身存在遗传多样性及不同品种对养分吸收和利用的差异, 以传统栽培种和杂交种为材料, 研究不同氮磷钾肥运筹对红麻养分含量和吸收量以及土壤速效养分含量的影响, 以探讨不同红麻品种养分利用特点, 为红麻高产高效栽培提供合理施肥依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

红麻品种为福红 992 (传统栽培种) 和红优 2 号 (杂交种), 由广西大学农学院提供. 供试土壤采自广西大学教学实习基地的赤红壤, pH 5.0、有机质 19.2 g · kg<sup>-1</sup>、碱解氮 (N) 77.6 mg · kg<sup>-1</sup>、速效磷 (P) 21.1

mg · kg<sup>-1</sup>、速效钾 (K) 59.8 mg · kg<sup>-1</sup>, 田间持水量 ( $w$ ) 28%.

### 1.2 盆栽试验

试验在广西大学农学院网室中进行. 设 2 种红麻品种、3 种肥料用量和 3 种施肥方式, 共 18 个处理, 每个处理重复 3 次. 3 种肥料用量: 低肥 (N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 分别为 0.10、0.05 和 0.10 g · kg<sup>-1</sup>); 中肥 (N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 分别为 0.15、0.75 和 0.15 g · kg<sup>-1</sup>); 高肥 (N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 分别为 0.20、0.10 和 0.20 g · kg<sup>-1</sup>); 3 种施肥方式: 1) T<sub>1</sub>, 全部 N 和 K 肥作基肥, 在装盆时与土壤混匀施入; 2) T<sub>2</sub>, 60% 的 NK 肥作基肥, 在装盆时与土壤混匀施入, 余下 40% 的 NK 肥用作旺长初期追肥, 分别在株高为 50 和 100 cm 时随灌水施入; 3) T<sub>3</sub>, 全部 NK 肥作追肥, 追肥时期与方式同 T<sub>2</sub>. 所有处理 P 肥全部用作基肥, 在装盆时与土壤混匀施入. N 肥为尿素 [ $w$ (N) 46%], P 肥为重过磷酸钙 [ $w$ (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 54%], K 肥为氯化钾 (含 [ $w$ (K<sub>2</sub>O) 60%]), 所用肥料全部为分析纯.

### 1.3 试验管理

试验在塑料桶 (上部开口直径 32 cm、底部直径 28 cm、高 28 cm) 中进行, 每桶装过筛后的风干土 20 kg. 2012 年 5 月 29 日播种, 每盆播 12 粒种子, 留取大小一致的 2 株红麻幼苗 (高约 10 cm). 苗期各处理灌水量控制在田间持水量 ( $w$ ) 55% ~ 65% 的范围内; 旺长初期、旺长盛期和现蕾结果期各处理灌水量控制在田间持水量 75% ~ 85% 的范围内. 根据其质量确定土壤含水量, 用称重法确定灌水量, 用量筒量取灌水, 苗期隔 1 d 称桶质量 1 次, 进入旺长初期以后每天称桶质量 1 次. 各处理其他管理措施相同. 6 月 25 日喷施 90% 敌百虫 (体积比 1:1 000)、百菌灵 (质量比 1:1 000) 消除和预防红麻病虫害.

### 1.4 测定方法

分别采集各处理茎秆、麻皮、叶片和根系, 在 90 °C 杀青 30 min 后于 65 °C 烘干至恒质量, 磨碎后样品经 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 湿灰化法消煮后, 用奈氏比色法测定全氮含量, 钼锑抗比色法测定全磷含量, 用火焰光度法测定全钾含量. 土壤碱解氮用碱解扩散法测定, 速效磷用 0.5 mol · L<sup>-1</sup> HCl + 0.025 mol · L<sup>-1</sup> (1/2H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 法测定, 速效钾用 1 mol · L<sup>-1</sup> 中性 NH<sub>4</sub> Ac 浸提、火焰光度法测定<sup>[14]</sup>. 各处理红麻养分

吸收总量为收获时叶片、根系、茎秆和麻皮等器官 N、P 和 K 吸收量相加所得;各器官 N、P 和 K 吸收量为各器官中 N、P 和 K 含量分别与其对应器官干物质质量相乘所得。

### 1.5 统计分析

试验数据在 SPSS 17.0 软件中使用通用线性模型单因素变量法进行方差分析,方差分析包括品种、肥料用量和运筹,不同指标各处理平均值的比较采用 Duncan's 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 红麻不同器官养分含量

2.1.1 根系全氮、全磷和全钾含量 由表 1 看出,对于红优 2 号和福红 992 来说,与低肥相比,高肥和中肥根系全氮含量分别提高 50.9% 和 42.6%、34.5% 和 26.9%,除福红 992 的 T<sub>3</sub> 处理外,差异均显著;但高肥和中肥根系全氮含量之间的差异,仅红优 2 号 T<sub>1</sub> 时差异显著,其余差异不显著。与 T<sub>1</sub> 相比,

T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 根系全 N 含量均降低,福红 992 平均全 N 含量分别降低 34.5% 和 26.9%,差异显著;红优 2 号的 T<sub>3</sub> 处理降低 43.47%,差异显著。

对红优 2 号来说,T<sub>1</sub> 下,与低肥相比,高肥和中肥根系全磷含量分别提高 28.5% 和 17.2%,差异显著。对于福红 992 来说,T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 下,与低肥相比,高肥根系全磷含量分别提高 78.4% 和 64.4%,差异显著。对红优 2 号来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 根系全磷含量下降 40.1% 和 49.6%,差异显著。对于福红 992 来说,高肥和中肥下,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>3</sub> 根系全磷含量分别降低 51.3% 和 23.5%,差异显著(表 1)。

对红优 2 号和福红 992 来说,与低肥相比,高肥根系全钾含量分别增加 24.3% 和 42.9%;除红优 2 号 T<sub>3</sub> 外,其余处理差异均显著。对红优 2 号来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 根系全钾含量增加了 29.7% 和 42.9%,差异显著,且低肥的 T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 之间的差异也显著。对于福红 992 的低肥来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>2</sub> 提高 29.8%,差异显著(表 1)。

表 1 NPK 肥运筹对不同品种红麻根系和叶片养分含量的影响<sup>1)</sup>

Tab.1 Effects of NPK fertilizer management on root and leaf nutrient contents of different kenaf varieties w/%

品种	肥料用量	施肥方法	根系			叶片		
			全 N	全 P	全 K	全 N	全 P	全 K
红优 2 号	高肥	T <sub>1</sub>	0.33 ± 0.01aA	0.30 ± 0.01aA	0.20 ± 0.02bA	3.81 ± 0.17aA	0.32 ± 0.01aA	2.03 ± 0.30bA
		T <sub>2</sub>	0.30 ± 0.03bA	0.17 ± 0.02bA	0.25 ± 0.02aA	3.73 ± 0.39aA	0.25 ± 0.01bA	2.19 ± 0.38bA
		T <sub>3</sub>	0.19 ± 0.02cA	0.14 ± 0.03bA	0.26 ± 0.04aA	2.20 ± 0.06bA	0.25 ± 0.02bA	3.55 ± 0.24aA
	中肥	T <sub>1</sub>	0.29 ± 0.01aB	0.27 ± 0.03aA	0.15 ± 0.02bB	2.87 ± 0.46aB	0.28 ± 0.05aB	1.82 ± 0.01bA
		T <sub>2</sub>	0.31 ± 0.02aA	0.16 ± 0.05bA	0.21 ± 0.01aB	2.64 ± 1.11abB	0.25 ± 0.02bA	1.18 ± 0.13cB
		T <sub>3</sub>	0.17 ± 0.02bA	0.14 ± 0.03bA	0.23 ± 0.03aA	2.09 ± 0.62bA	0.23 ± 0.03bA	3.28 ± 0.41aA
	低肥	T <sub>1</sub>	0.23 ± 0.01aC	0.23 ± 0.03aB	0.15 ± 0.03bB	1.90 ± 0.40aC	0.23 ± 0.01aC	1.34 ± 0.02bB
		T <sub>2</sub>	0.19 ± 0.04bB	0.16 ± 0.02bA	0.19 ± 0.03aB	1.62 ± 0.67abC	0.24 ± 0.00aA	1.33 ± 0.17bC
		T <sub>3</sub>	0.12 ± 0.02cB	0.13 ± 0.01bA	0.23 ± 0.05aA	1.08 ± 0.14bB	0.12 ± 0.01bB	2.68 ± 0.29aB
福红 992	高肥	T <sub>1</sub>	0.31 ± 0.03aA	0.33 ± 0.05aA	0.23 ± 0.06aA	3.82 ± 0.60aA	0.26 ± 0.00aA	2.01 ± 0.14bA
		T <sub>2</sub>	0.23 ± 0.01bA	0.29 ± 0.05aA	0.24 ± 0.003aA	3.77 ± 0.12aA	0.26 ± 0.00aA	2.12 ± 0.54bA
		T <sub>3</sub>	0.18 ± 0.02cA	0.16 ± 0.05bA	0.24 ± 0.01aA	2.93 ± 0.61bA	0.25 ± 0.00aA	3.64 ± 0.35aA
	中肥	T <sub>1</sub>	0.29 ± 0.01aA	0.20 ± 0.02aB	0.17 ± 0.02bB	2.60 ± 0.28aB	0.24 ± 0.00abB	1.56 ± 0.34bB
		T <sub>2</sub>	0.23 ± 0.02bA	0.20 ± 0.03aB	0.19 ± 0.02abB	2.36 ± 0.19abB	0.24 ± 0.01aA	1.68 ± 0.10bB
		T <sub>3</sub>	0.16 ± 0.01cAB	0.15 ± 0.03bA	0.20 ± 0.02aB	2.26 ± 0.50bB	0.23 ± 0.01bB	3.04 ± 0.17aB
	低肥	T <sub>1</sub>	0.23 ± 0.01aB	0.19 ± 0.01aB	0.14 ± 0.02bB	1.98 ± 0.10aC	0.23 ± 0.01aB	1.34 ± 0.02bB
		T <sub>2</sub>	0.15 ± 0.02bB	0.18 ± 0.05aB	0.18 ± 0.02aB	1.69 ± 0.08abC	0.24 ± 0.01aA	1.45 ± 0.21bB
		T <sub>3</sub>	0.15 ± 0.01bB	0.14 ± 0.02aA	0.17 ± 0.01abB	1.44 ± 0.41bC	0.22 ± 0.01aB	2.62 ± 0.31aC

1) T<sub>1</sub> 表示全部 NK 肥作基肥,T<sub>2</sub> 表示 60% 的 NK 肥作基肥、40% 的 NK 肥作追肥,T<sub>3</sub> 表示全部 NK 肥作追肥;表中数值为平均值 ± 标准误差,相同品种相同肥料用量不同施肥方式比较用小写字母标注,相同品种相同施肥方式不同肥料用量的比较用大写字母标注,同列数据后凡是有一个相同小(大)写字母者,表示差异不显著(P > 0.05, Duncan's 法)。

2.1.2 叶片全氮、全磷和全钾含量 由表 1 看出,对红优 2 号和福红 992 来说,与低肥相比,高肥和中肥叶片全氮含量分别提高 111.5% 和 64.9%、106.1% 和 41.5%,除红优 2 号 T<sub>3</sub> 外,其他处理差异

均显著。对于红优 2 号和福红 992,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>3</sub> 叶片全氮含量降低了 37.4% 和 21.1%,除福红 992 的中肥外,差异显著。

对红优 2 号 T<sub>1</sub> 处理来说,与低肥相比,高肥和

中肥叶片全磷含量分别提高 34.8% 和 21.1%, 差异显著. 对福红 992 号  $T_1$ 、 $T_3$  处理来说, 与低肥相比, 高肥叶片全磷含量分别提高 13.9% 和 16.7%, 差异显著. 对红优 2 号来说, 与  $T_1$  相比,  $T_2$  和  $T_3$  叶片全磷含量降低 11.2% 和 21.3%, 除低肥的  $T_1$  和  $T_2$  之间差异不显著外, 其余差异显著, 且低肥的  $T_2$  和  $T_3$  之间差异显著(表 1).

对红优 2 号和福红 992 来说, 与低肥相比, 高肥和中肥叶片全钾含量分别增加 45.0% 和 17.1%、43.5% 和 16.3%, 除中肥的  $T_2$  外, 差异显著. 对红优 2 号和福红 992 来说, 与  $T_1$  相比,  $T_3$  叶片全钾含量分别提高 83.3% 和 89.7%, 差异显著, 且  $T_2$  和  $T_3$  之间

差异也显著(表 1).

2.1.3 麻皮全氮、全磷和全钾含量 由表 2 看出, 对红优 2 号来说, 与低肥相比, 高肥和中肥麻皮全氮含量分别提高 91.6% 和 56.7%, 差异显著, 且  $T_1$  和  $T_2$  处理下, 高肥和中肥之间的差异也显著. 对福红 992 来说,  $T_1$  处理下, 与低肥相比, 高肥麻皮全氮含量提高了 23.7%;  $T_3$  处理下, 与低肥相比, 中肥麻皮全氮含量提高 26.4%; 其余差异均不显著. 对红优 2 号和福红 992 来说, 与  $T_1$  相比,  $T_2$  和  $T_3$  麻皮全氮含量分别降低 26.5% 和 36.4%、31.8% 和 41.9%, 差异显著, 且红优 2 号高肥下  $T_2$  和  $T_3$  之间的差异显著.

表 2 NPK 肥运筹对不同品种红麻茎秆和麻皮养分含量的影响<sup>1)</sup>

Tab.2 Effects of NPK fertilizer management on bark and pole nutrient contents of different kenaf varieties

品种	肥料用量	施肥方法	麻皮			茎秆			w/%
			全 N	全 P	全 K	全 N	全 P	全 K	
红优 2 号	高肥	$T_1$	0.96 ± 0.04aA	0.13 ± 0.01bA	1.46 ± 0.66bA	0.82 ± 0.13aA	0.11 ± 0.01aA	0.85 ± 0.27bA	
		$T_2$	0.79 ± 0.08bA	0.14 ± 0.00bB	1.34 ± 0.16bA	0.70 ± 0.15bA	0.10 ± 0.01aA	1.41 ± 0.13aA	
		$T_3$	0.48 ± 0.08cA	0.14 ± 0.01aA	2.34 ± 0.16aA	0.61 ± 0.05bA	0.04 ± 0.01bA	1.35 ± 0.43aA	
	中肥	$T_1$	0.77 ± 0.16aB	0.13 ± 0.00bA	1.26 ± 0.42bA	0.75 ± 0.10aA	0.10 ± 0.02aA	0.47 ± 0.18bA	
		$T_2$	0.51 ± 0.08bB	0.15 ± 0.01aA	1.26 ± 0.69bA	0.60 ± 0.10bA	0.07 ± 0.00bB	1.19 ± 0.31aAB	
		$T_3$	0.54 ± 0.06bA	0.15 ± 0.01aA	1.99 ± 0.09aA	0.54 ± 0.10bA	0.04 ± 0.01fcAB	1.12 ± 0.26aAB	
	低肥	$T_1$	0.47 ± 0.11aC	0.12 ± 0.01bB	0.24 ± 0.07cB	0.49 ± 0.13aB	0.04 ± 0.01aB	0.44 ± 0.09aA	
		$T_2$	0.31 ± 0.04bC	0.12 ± 0.00bC	0.77 ± 0.10bB	0.19 ± 0.02bB	0.05 ± 0.01aC	0.77 ± 0.09aB	
		$T_3$	0.37 ± 0.01bB	0.13 ± 0.01aB	1.53 ± 0.47aB	0.19 ± 0.02bB	0.03 ± 0.00bB	0.79 ± 0.08aB	
福红 992	高肥	$T_1$	0.93 ± 0.19aA	0.14 ± 0.00bA	1.23 ± 0.26cA	0.65 ± 0.05bA	0.09 ± 0.01aA	0.59 ± 0.03bA	
		$T_2$	0.61 ± 0.05bA	0.14 ± 0.00bAB	1.74 ± 0.18bA	0.77 ± 0.06aA	0.06 ± 0.00bA	1.19 ± 0.83aA	
		$T_3$	0.51 ± 0.03bAB	0.15 ± 0.00aA	2.42 ± 0.03aA	0.54 ± 0.11bA	0.05 ± 0.02cA	1.00 ± 0.76aA	
	中肥	$T_1$	0.78 ± 0.08aB	0.12 ± 0.00bB	0.57 ± 0.07bB	0.63 ± 0.14aA	0.04 ± 0.01aB	0.22 ± 0.06aA	
		$T_2$	0.54 ± 0.03bA	0.13 ± 0.00aB	1.63 ± 0.05aAB	0.44 ± 0.03bB	0.03 ± 0.00bB	0.60 ± 0.21aB	
		$T_3$	0.52 ± 0.07bA	0.14 ± 0.01aB	2.01 ± 0.41aB	0.47 ± 0.09bAB	0.02 ± 0.00bB	0.54 ± 0.49aAB	
	低肥	$T_1$	0.75 ± 0.05aB	0.12 ± 0.00bB	0.37 ± 0.04bB	0.41 ± 0.04aB	0.03 ± 0.01aC	0.20 ± 0.10aA	
		$T_2$	0.53 ± 0.06bA	0.14 ± 0.01aA	1.27 ± 0.34aB	0.42 ± 0.02aB	0.02 ± 0.01aB	0.54 ± 0.10aB	
		$T_3$	0.41 ± 0.05cB	0.14 ± 0.00aB	1.46 ± 0.07aC	0.37 ± 0.03aB	0.01 ± 0.00aB	0.47 ± 0.41aB	

1)  $T_1$  表示全部 NK 肥作基肥,  $T_2$  表示 60% 的 NK 肥作基肥、40% 的 NK 肥作追肥,  $T_3$  表示全部 NK 肥作追肥; 表中数值为平均值 ± 标准误差, 相同品种相同肥料用量不同施肥方式比较用小写字母标注, 相同品种相同施肥方式不同肥料用量的比较用大写字母标注, 同列数据后凡是有一个相同小(大)写字母者, 表示差异不显著( $P > 0.05$ , Duncan's 法).

对红优 2 号来说, 与低肥相比, 高肥和中肥麻皮全磷含量分别提高 14.6% 和 17.5%, 差异显著. 对于福红 992 来说, 与低肥相比,  $T_1$  和  $T_3$  处理下, 高肥麻皮全磷含量分别提高 15.9% 和 5.8%, 差异显著. 对红优 2 号和福红 992 来说, 与  $T_1$  处理相比,  $T_2$  和  $T_3$  处理麻皮全磷含量分别提高 5.4% 和 11.1%、9.7% 和 13.8, 除红优 2 号的低肥和福红 992 的高肥外, 差异均显著(表 2).

对红优 2 号和福红 992 来说, 与低肥相比, 高肥和中肥麻皮全 K 含量分别提高 102.2% 和 77.3%、73.9% 和 35.8%, 除福红 992 在  $T_1$  和  $T_2$  处理下中肥和低肥之间差异不显著以外, 其余差异均显著. 且福红 992 在  $T_1$  和  $T_3$  处理下, 中肥与高肥之间差异显著. 对红优 2 号来说, 与  $T_1$  处理相比,  $T_3$  处理麻皮全钾含量提高 98.4%, 差异显著; 与  $T_2$  处理相比,  $T_3$  处理麻皮全钾含量提高 73.9%, 差异显著; 低肥下,  $T_1$  和  $T_2$  之

间的差异显著.对福红992来说,与T<sub>1</sub>相比,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>麻皮全钾含量分别提高114.2%和171.8%,差异显著;高肥下,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>之间的差异显著(表2).

2.1.4 茎秆全氮、全磷和全钾含量 由表2看出,对红优2号和福红992来说,与低肥相比,高肥和中肥茎秆全氮含量分别提高144.3%和116.0%、63.1%和28.0%,除福红992的T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理下,中肥和低肥茎秆全氮之间的差异不显著外,其余差异均显著.福红992在T<sub>2</sub>处理下,与中肥相比,高肥提高75.0%,差异显著.除福红992的低肥外,与T<sub>1</sub>相比,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>茎秆全氮含量分别下降28.0%和34.9%、5.0%和20.2%,除福红992高肥的T<sub>3</sub>外,差异显著.

对红优2号来说,与低肥相比,高肥和中肥茎秆全磷含量分别提高了109.5%和74.4%,除T<sub>3</sub>处理的中肥和低肥之间差异不显著外,其余差异均显著.对福红992来说,与低肥相比,高肥茎秆全磷含量提高228.8%、T<sub>1</sub>时中肥提高59.6%,差异显著,而其

余差异均不显著.对红优2号和福红992来说,与T<sub>1</sub>相比,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>茎秆全磷含量有所降低,说明施足NK基肥,有助于茎秆中磷元素的积累(表2).

对红优2号和福红992来说,与低肥相比,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>处理的高肥茎秆全钾含量分别提高82.9%和71.8%、121.5%和115.4%,差异显著.对红优2号的高肥和中肥来说,与T<sub>1</sub>相比,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>茎秆全钾含量分别提高97.3%和87.7%,差异显著.对福红992来说,与T<sub>1</sub>相比,高肥时T<sub>2</sub>提高103.6%,差异显著(表2).

### 2.2 红麻养分吸收量

由图1a<sub>1</sub>~a<sub>3</sub>看出,对于红优2号和福红992来说,与低肥相比,高肥和中肥单株吸N量分别提高284.6%和190.2%、115.4%和71.3%,说明红麻吸N量随着肥料用量的增加而增加.与T<sub>1</sub>相比,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>红麻吸N量分别降低30.7%和57.1%、29.2%和50.6%,说明随着NK追肥量的增加,红麻吸N量减少.此外,增加肥料用量对红优2号养分吸收量的促进作用高于福红992.

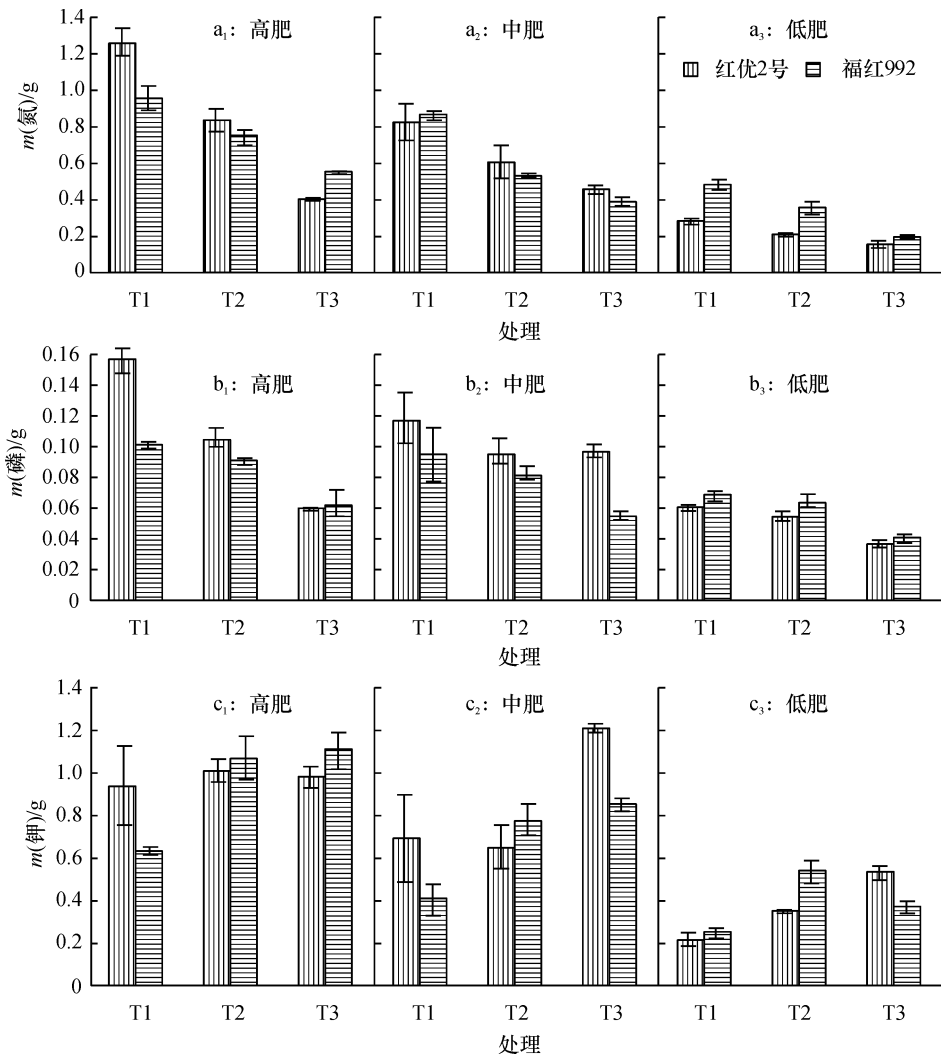


图1 NPK肥运筹对红麻植株养分吸收量的影响

Fig. 1 Effects of NPK fertilizer management on plant nutrient uptakes of kenaf

由图 1b<sub>1</sub> ~ b<sub>3</sub> 看出,对于红优 2 号和福红 992 来说,与低肥相比,高肥和中肥单株吸 P 量分别提高 112.1% 和 104.1%、46.2% 和 33.5%,说明红麻吸 P 量随着肥料用量的增加而增加.与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 单株吸 P 量分别减少 23.7% 和 43.0%、10.2% 和 40.6%,说明随着 NK 追肥量的增加,红麻吸 P 量减少.

由图 1c<sub>1</sub> ~ c<sub>3</sub> 看出,对于红优 2 号和福红 992 来说,与低肥相比,高肥和中肥单株吸 K 量分别提高 166.5% 和 131.9%、142.3% 和 75.2%,说明红麻吸 K 量随着肥料用量的增加而增加.福红 992 在低肥时,T<sub>3</sub> 吸 K 量比 T<sub>2</sub> 有所减少;高、中肥时随着 NK 追肥量的增加,红麻吸 K 量均逐渐增加.

### 2.3 土壤速效养分含量

由表 3 看出,对于福红 992 来说,与低肥相比,高肥土壤碱解氮含量分别提高 14.1%,差异显著.对于红优 2 号来说,与低肥相比,中肥的 T<sub>2</sub> 土壤碱解氮提高 6.7%,高肥的 T<sub>3</sub> 处理土壤碱解氮提高 7.6%,差异显著.对红优 2 号的高肥、福红 992 的低肥来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 土壤碱解氮含量分别提高 9.4% 和 15.1%、10.2% 和 12.8%,差异显著.对于福红 992 的高肥和中肥来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>3</sub> 土壤碱解氮含量分别提高 11.9% 和 13.0%,差异显著.与 T<sub>2</sub> 相比,T<sub>3</sub> 土壤碱解氮含量分别提高 13.8% 和 13.0%,差异显著.

表 3 NPK 肥运筹对土壤速效养分含量的影响<sup>1)</sup>

Tab.3 Effects of NPK fertilizer management on soil available nutrient contents

w/(mg · kg<sup>-1</sup>)

品种	肥料用量	施肥方法	碱解氮	速效磷	速效钾
红优 2 号	高肥	T <sub>1</sub>	75.4 ± 3.8bA	62.7 ± 9.6bA	105.4 ± 8.8aA
		T <sub>2</sub>	82.6 ± 2.5aAB	74.0 ± 2.9aA	110.2 ± 2.8aA
		T <sub>3</sub>	86.8 ± 1.3aA	53.7 ± 8.6bA	107.8 ± 6.2aA
	中肥	T <sub>1</sub>	79.7 ± 5.0aA	46.0 ± 5.1bB	94.5 ± 6.1aB
		T <sub>2</sub>	83.5 ± 2.9aA	66.2 ± 11.0aA	98.7 ± 15.8aB
		T <sub>3</sub>	84.5 ± 1.5aAB	51.1 ± 13.0bA	99.2 ± 9.8aA
	低肥	T <sub>1</sub>	78.3 ± 6.4aA	45.5 ± 9.8aB	64.0 ± 5.2bC
		T <sub>2</sub>	78.3 ± 6.4aB	49.4 ± 11.6aB	81.9 ± 10.2aC
		T <sub>3</sub>	80.7 ± 7.4aB	46.8 ± 3.4aA	80.4 ± 7.0aB
福红 992	高肥	T <sub>1</sub>	86.9 ± 2.5bA	73.4 ± 12.6aA	108.3 ± 13.1bA
		T <sub>2</sub>	85.5 ± 0.2bA	72.4 ± 7.6aA	115.8 ± 6.1abA
		T <sub>3</sub>	97.3 ± 3.7aA	72.5 ± 13.8aA	121.3 ± 2.2aA
	中肥	T <sub>1</sub>	76.8 ± 2.5bB	65.2 ± 3.0aA	79.0 ± 11.1bB
		T <sub>2</sub>	76.9 ± 2.5bB	64.1 ± 3.0aAB	90.6 ± 0.0aB
		T <sub>3</sub>	86.8 ± 1.3aB	44.5 ± 2.8bB	93.5 ± 11.9aB
	低肥	T <sub>1</sub>	73.2 ± 3.1bB	41.9 ± 3.9bB	58.7 ± 2.0bC
		T <sub>2</sub>	80.6 ± 1.5aB	60.5 ± 9.3aB	73.9 ± 1.1aC
		T <sub>3</sub>	82.5 ± 2.5aB	42.8 ± 2.7bB	80.4 ± 9.8aC

1) T<sub>1</sub> 表示全部 NK 肥作基肥,T<sub>2</sub> 表示 60% 的 NK 肥作基肥、40% 的 NK 肥作追肥,T<sub>3</sub> 表示全部 NK 肥作追肥;表中数值为平均值 ± 标准误差,相同品种相同肥料用量不同施肥方式比较用小写字母标注,相同品种相同施肥方式不同肥料用量的比较用大写字母标注,同列数据后凡是有一个相同小(大)写字母者,表示差异不显著(P > 0.05, Duncan's 法).

对于红优 2 号来说,与低肥相比,高肥的 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 与中肥的 T<sub>2</sub> 土壤速效磷含量分别提高 37.8%、49.8% 和 33.9%,差异显著.对于红优 2 号的高肥和中肥与福红 992 的低肥来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>2</sub> 土壤速效磷含量分别提高 18.1%、43.9% 和 44.2%,差异显著;与 T<sub>2</sub> 相比,T<sub>3</sub> 土壤速效磷含量分别降低 27.4%、22.7% 和 29.2%,差异显著.对于福红 992 的中肥来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>3</sub> 土壤速效磷含量下降 31.7%,差异显著;与 T<sub>2</sub> 相比,T<sub>3</sub> 土壤速效磷含量分别下降了

30.6%,差异显著.

对于红优 2 号和福红 992 来说,与低肥相比,高肥和中肥土壤速效钾含量分别提高 42.9% 和 29.2%、62.2% 和 23.5%,除红优 2 号的 T<sub>3</sub> 处理高肥和中肥之间差异不显著外,其余差异均显著.对红优 2 号的低肥和福红 992 来说,与 T<sub>1</sub> 相比,T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 土壤速效钾含量分别提高 27.9% 和 25.6%、10.2% 和 14.7%,除福红 992 的高肥下 T<sub>2</sub> 外,其余差异显著(表 3).

## 3 讨论与结论

### 3.1 NPK 肥运筹对红麻养分含量和吸收量的影响

随着肥料用量的增加,除了红优2号麻皮中P含量以外,2个红麻品种根、叶、麻皮、茎秆中N、P和K含量均出现增加的趋势.红优2号麻皮中P含量为中肥>高肥>低肥.以往结果表明,随着肥料用量的增加,作物养分含量呈现增加的趋势<sup>[12,15]</sup>.与不施肥处理相比,紫云英NPK含量分别提高16.53%、34.40%和24.47%<sup>[15]</sup>.朱元洪等<sup>[12]</sup>和朱强等<sup>[13]</sup>的结果表明,施肥提高红麻养分含量,与本文研究结果一致.本研究还表明,随着肥料用量的增加,红麻吸收NPK量也增加,这与相关报道一致<sup>[16-17]</sup>.但是,肥料用量过量并不能提高作物养分吸收量<sup>[18-19]</sup>.当茴香N肥用量低于60 kg·hm<sup>-2</sup>时,产量和养分积累逐渐增加,但超过该值时则下降<sup>[18]</sup>.姜涛<sup>[19]</sup>研究也表明,随着氮肥用量的增加,玉米籽粒氮、磷、钾含量呈先增后减趋势.

施肥方式对植物养分含量和吸收量同样起着重要的作用.超高产夏玉米吐丝后适当追肥,能保证灌浆期养分充足供应和养分的充分积累<sup>[20]</sup>;NPK肥40%作基肥施入和60%作为追肥,蓖麻产量最高,养分吸收量最多<sup>[21]</sup>;全部磷钾肥和50%氮作基肥、50%氮作追肥时,大麦产量和养分吸收量均达到最大<sup>[22]</sup>;随着追肥比例的增加,水稻产量和NPK吸收量均增加<sup>[23]</sup>.本研究表明,随着NK肥追肥比例的上升,红麻各器官中N含量、根叶秆中P含量和植株NP吸收总量出现下降的趋势;麻皮中P和各器官K含量、土壤速效养分和红麻吸K量出现上升的趋势.

不同品种之间植物养分含量和吸收量同样存在着差异.朱艳<sup>[24]</sup>指出,随着小麦的进化,其养分含量和吸收利用量有增加的趋势.本研究表明,与福红992(传统栽培种)相比,红优2号(杂交种)的养分吸收对肥料用量变化响应更敏感.所以,肥料用量充足时,红优2号的养分吸收量高于福红992.

### 3.2 NPK 肥运筹对土壤速效养分含量的影响

施肥能显著增加土壤养分含量<sup>[25]</sup>,适量提高肥料用量,能够持续保证土壤中速效养分的供应<sup>[26]</sup>.孟会生等<sup>[27]</sup>指出,施肥能提高碱解氮和速效磷含量.本研究表明,随着肥料用量的增加,土壤碱解氮、速效磷、速效钾均有显著增加的趋势.但是当肥料用量超过一定量,可能会出现负面影响.谢金兰等<sup>[28]</sup>研究指出,虽然土壤碱解氮和速效钾含量随着氮肥施用量增加而增加,但大量施用氮肥会引起土壤酸化.

有研究表明,当用80 kg·hm<sup>-2</sup>的N作为基肥和120 kg·hm<sup>-2</sup>的N作为追肥时,不但玉米产量和养分积累量均达到最高,而且提高了土壤速效养分含

量<sup>[29]</sup>.王蒙等<sup>[30]</sup>研究表明,随着N肥追肥比例的增加,土壤中残留N量增加,损失N量会减少.本文结果表明,随着NK肥追肥比例的增加,土壤碱解氮、速效磷和速效钾均有增加的趋势.

### 3.3 结论

本试验条件下,高肥且全部做基肥施用,有利于红麻对养分吸收和土壤速效养分含量的提高.但红麻生长还受到光照、温度等其他气象因素的影响,不同地区、不同栽培品种都可能对试验结果产生影响.同时,本文是在红麻不同生长时期理论上最佳灌水状态下进行的,在田间推广中,难免会出现水分亏缺或淹水状态,这些问题都需要进一步深入研究.

#### 参考文献:

- [1] TAHERY Y, SHUKOR N A A, ABDUL-HAMID H, et al. Growth characteristics and biomass production of kenaf [J]. *Afric J Biotechnol*, 2011, 10 (63): 13756-13761.
- [2] ALEXOPOULOU E, CHRISTOU M, MARDIKIS M, et al. Growth and yields of kenaf varieties in central Greece [J]. *Ind Crop Prod*, 2000, 11(2/3): 163-172.
- [3] DANALATOSA N G, ARCHONTOULIS S V. Growth and biomass productivity of kenaf under different agricultural inputs and management practices in central Greece [J]. *Ind Crop Prod*, 2010, 32(3): 231-240.
- [4] KIPRIOTIS E, ALEXOPOULOU E, PAPTIOHARI Y, et al. Cultivation of kenaf in north-east Greece: Part II: Effect of variety and nitrogen on growth and dry yield [J]. *J Food Agric Environ*, 2007, 5 (1): 135-139.
- [5] MANZANARES M, TENORIO J L, AYERBE L. Sowing time, cultivar, plant population, and application of N fertilizer on kenaf Spain's central plateau [J]. *Biomass Bioenergy*, 1997, 14 (4): 263-271.
- [6] PATANÈ C, D'AGOSTA G M, MANTINEO M C. et al. Radiation interception and use by kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) canopy under different water and nitrogen supply [C]//Anon. Proceeding of 15<sup>th</sup> european biomass conference. Berlin: [s. n.], 2007: 791-794.
- [7] TIGKAA E L, BESLEMESB D F, DANALATOSB N G, et al. Evaluation of cover-cropping managements on productivity and N-utilization efficiency of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), under different nitrogen fertilization rates and soil types [J]. *Eur J Agron*, 2013, 46:1-9.
- [8] KUCHINDRA N C, NDAHI W B, LAGOKE S T O, et al. The effects of nitrogen and period of weed interference on the fibre yield of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) in the northern Guinea Savanna of Nigeria [J]. *Crop Prot*, 2001, 20: 229-235.
- [9] 叶继标,招雄文.留种红麻施肥期与肥料分配模式的研究[J].福建农业科技,2001(1):9-10.
- [10] 余同海,陈其荣.红麻青皮3号经济施肥研究探讨与分析[J].耕作与栽培,1990(3):57-59.
- [11] 李祖士,俞琦英.密度施肥对造纸用红麻品质和产量的影响[J].耕作与栽培,1995(5):42-45.

- [12] 朱元洪,陈仁飞. 氮磷钾化肥不同用量及配施对红麻产量和品质的影响[J]. 浙江农业科学, 1990(6):273-276.
- [13] 朱强,郁永明,胡兆金. 不同施肥水平对红麻植株体内养分分布及代谢变化的影响[J]. 中国麻作, 1997, 19(4):30-33.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 兰志明,张辉,周仕全,等. 氮磷钾配施对紫云英鲜草产量、养分含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012, (1): 48-52.
- [16] HERBERT F, BAUTISTA J, WILLIAM L, Et al. Nutrient uptake of the diploid potato (*Solanum phureja*) variety Criolla Colombia, as a reference point to determine critical nutritional levels [J]. Agronomía Colombiana, 2012, 30(3): 436-446.
- [17] SONG G Y, XU Z J, YANG H S. Effects of N rates on N uptake and yield in erect panicle rice [J]. Agric Sci, 2013(4):499-508.
- [18] HEIDARI M, JAHANTIGHI H. Effect of water stress and amount of nitrogen fertilizer on grain yield, yield components, essential oils and thymoquinone content in black cumn (*Nigella satival*) [J]. Environ Stress Crop Sci, 2012, 5(1): 33-40.
- [19] 姜涛. 氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 559-565.
- [20] 王宜伦,李潮海,何萍,等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3):559-566.
- [21] 蒋小军. 不同施肥对蓖麻养分吸收和产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2009(1): 69-71.
- [22] 刘双全,李玉影,姬景红,等. 不同施氮水平和方式对大麦养分吸收特性及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2012(12): 32-35.
- [23] YAO Y L, YAMAMOTO Y, WANG Y L, et al. Macro-element absorption at maturity in relation to grain yield in high-yielding rice cultivars [J]. Soil Sci Plant Nutri, 2000, 46(4): 815-824.
- [24] 朱艳. 小麦品种与施肥及土壤肥力间的耦合效应研究[D]. 西安:陕西师范大学,2012.
- [25] 郭萍,文庭池,董玲玲,等. 施肥对土壤养分含量、微生物数量和酶活性的影响[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(3): 362-366.
- [26] DOSSA A, DIEDHIOU EL, KHOUMA M, et al. Crop productivity and nutrient dynamics in a shrub-based farming system [J]. Agron J, 2013, 105(4): 1237-1246.
- [27] 孟会生,王静,闫永康,等. 灌溉和施肥对土地整理区小麦产量和土壤养分的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(9): 40-41.
- [28] 谢金兰,王维赞,朱秋珍,等. 氮肥施用方式对甘蔗产量及土壤养分变化的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(4): 607-610.
- [29] PISSINATI A, OLIVEIRAI M A, PISSINATI A, et al. Management and cost of urea application in maize grown in northern Paraná state, Brazil [J]. Amazon J Agric Environ Sci, 2013, 56(3): 235-241.
- [30] 王蒙,赵兰坡,王立春,等. 不同氮肥运筹对东北春玉米氮素吸收和土壤氮素平衡的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 128-131.

【责任编辑 周志红】

## 欢迎订阅 2015 年《华南农业大学学报》

《华南农业大学学报》是华南农业大学主办的综合性农业科学学术刊物。本刊主要报道农业各学科的科研学术论文、研究简报、综述等,涵盖动物科学与兽医学、农学、园艺学、土壤肥料、植物保护、生物学、林业科学、农业工程与食品科学等学科。本刊附英文目次和英文摘要。读者对象主要是农业院校师生、农业科研人员和有关部门的专业干部。

本刊为《中国科学引文数据库》、《中国科技论文统计源(中国科技核心期刊)》及《中国学术期刊综合评价数据库》等固定刊源,并排列在中国科学引文数据库被引频次最高的中国科技期刊 500 名以内。被《中文核心期刊要目总览》遴选为综合性农业科学核心期刊。为美国《化学文摘》、美国《剑桥科学文摘》、俄罗斯《文摘杂志》、英国《CABI》、英国《动物学记录》、《中国生物学文摘》及国内农业类文摘期刊等多家国内外著名文摘固定刊源。

国内外公开发行,欢迎订阅。双月刊,A4幅面。定价 15.00 元,全年 90.00 元。自办发行,参加全国非邮发报刊联合征订发行,非邮发代号:6573。

订阅款邮汇至:300381 天津市卫津南路李七庄邮局 9801 信箱,全国非邮发报刊联合征订服务部。

《华南农业大学学报》编辑部