

网络出版时间:2014-09-10 18:19

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.059

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.059.html>

磷肥用量对菘蓝干物质积累及其 营养元素吸收的影响

温春秀^a, 刘灵娣^a, 王丽英^b, 李若楠^b,
田 伟^a, 陈丽莉^b, 张彦才^b

(河北省农林科学院 a 经济作物研究所, b 农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051)

【摘 要】 【目的】研究磷肥用量对菘蓝干物质积累及其营养元素吸收的影响。【方法】于 2011-05-14, 通过大田试验, 研究磷肥(P_2O_5)用量分别为 0, 90, 180, 360, 540 kg/hm² 时, 菘蓝干物质累积量以及氮、磷、钾累积吸收量的变化。【结果】在菘蓝生长 60~180 d, 不同施磷水平下, 菘蓝总干物质累积量均随生长期的推进呈现出逐渐增加的变化趋势, 即“S”型曲线; 磷肥用量在 0~180 kg/hm² 时, 菘蓝总干物质累积量、干物质日增长量、根干物质分配率均随着磷肥用量的增加而提高; 当磷肥用量超过 180 kg/hm² 时, 总干物质累积量、干物质日增长量、根干物质分配率反而下降。菘蓝植株的氮、磷、钾吸收累积量动态变化与其干物质积累规律类似, 总体均呈“S”型增长趋势。在整个生长期, 以磷肥施用量为 180 kg/hm² 的处理菘蓝植株和根系的氮、磷、钾累积吸收量最高; 而当磷肥用量超过 180 kg/hm² 时, 植株和根系的氮、磷、钾素累积吸收量反而下降。菘蓝对氮的吸收量最大, 钾次之, 磷最少, 当磷肥用量达到 180 kg/hm² 时, 菘蓝全生育期对氮、磷、钾素累积吸收量均达到最高值, 分别为 1 370.22, 192.44, 682.44 mg/株。【结论】在本试验土壤肥力条件下, 磷肥(P_2O_5)的推荐用量为 180 kg/hm², 且是作为基肥一次性施入。

【关键词】 菘蓝; 磷肥; 干物质; 氮磷钾吸收

【中图分类号】 S567.23⁺9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)10-0159-07

Effects of phosphate fertilizer rate on dry matter accumulation and nutrient absorption of *Isatis indigotica* Fort.

WEN Chun-xiu^a, LIU Ling-di^a, WANG Li-ying^b, LI Ruo-nan^b,
TIAN Wei^a, CHEN Li-li^b, ZHANG Yan-cai^b

(a Institute of Cash Crops, b Institute of Agricultural Resources and Environment,
Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050051, China)

Abstract: 【Objective】The paper studied the effects of phosphate fertilizer on dry matter accumulation and nutrient absorption of *Isatis indigotica* Fort.. 【Method】Effects of different P fertilization levels (0, 90, 180, 360, and 540 kg/hm²) on accumulation of dry matter and uptake and accumulation of nitrogen, phosphorus, and potassium of *Isatis indigotica* were studied through a field experiment from May to November, 2011. 【Result】In 60 to 180 d of *Isatis indigotica* growth period, total dry matter accumulation gradually increased with an “S” shape as the advance of growing stage under different phosphorus levels. Total dry matter accumulation, daily dry matter increment, and root dry matter allocation rate of *Isatis indigotica* increased as the increase of phosphate amount within 0—180 kg/hm², while they started to de-

〔收稿日期〕 2013-07-11

〔基金项目〕 河北省科技计划项目(11270907D)

〔作者简介〕 温春秀(1965—), 女, 河北藁城人, 研究员, 主要从事药用植物栽培、育种研究。E-mail: wenchunxiu@126.com

〔通信作者〕 张彦才(1956—), 男, 河北武邑人, 研究员, 主要从事植物营养与施肥技术研究。E-mail: zyc_1956@yahoo.com.cn

cline when the amount was $>180 \text{ kg/hm}^2$. N, P and K absorption accumulations changed similarly as dry matter accumulation with the "S" shape. In the whole growth stage, plant, leaf and root of *Isatis indigotica* had the highest uptake and accumulation of nitrogen, phosphorus, potassium when phosphorus amount was 180 kg/hm^2 , while they decreased when the amount was $>180 \text{ kg/hm}^2$. The absorption capacity of N was the highest, followed by K and P. With the phosphate rate of 180 kg/hm^2 , the highest accumulation amounts of N, P and K in the whole growing period were 1 370. 22, 192. 44, and 682. 44 mg/plant, respectively. 【Conclusion】 The recommended amount of phosphate (P_2O_5) was 180 kg/hm^2 and it should be applied once as base fertilizer.

Key words: *Isatis indigotica* Fort. ; phosphate (P); dry matter; N, P, K absorption

菘蓝 (*Isatis indigotica* Fort.) 是十字花科 (Cruciferae) 菘蓝属一年或二年生药用植物, 其根和叶分别是常用中药板蓝根和大青叶的主要来源, 具有清热解毒、凉血利咽的作用^[1]。近些年随着市场需求量的与日俱增, 人工栽培的菘蓝面积不断扩大, 然而, 在生产上药农多沿用对农作物的施肥技术, 不能根据植株生长发育和营养需求规律确定肥料的最佳用量、比例和最佳施用期, 这不仅影响了药材的产量与品质, 而且造成了肥料浪费和土壤的污染^[2]。磷为植物生长所必需的营养元素之一, 是植物体内许多重要有机化合物(如核酸、核蛋白、磷脂、植素、三磷酸腺苷)的组分之一, 并以多种方式参与植物体内各种代谢过程, 对促进作物生长发育, 提高作物产量和品质有着明显的作用^[3]。近年来有关磷肥对一些中药材生长发育、产量和品质的效应研究也有相关报道^[4-7], 而有关菘蓝磷肥适宜用量及磷肥对菘蓝物质积累和其营养元素吸收分配特征等方面的研究尚未见报道。为此, 本试验在前期研究工作^[8-9]的基础上, 研究了施用磷肥对菘蓝干物质、养分累积和分配的影响, 旨在为菘蓝规范化生产中科学施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为普通菘蓝 (*Isatis indigotica* Fort.); 供试肥料为发酵鸡粪 (N 1. 58%、 P_2O_5 3. 08%、 K_2O 1. 72%), 尿素 (含 N 46. 0%), 过磷酸钙 (含 P_2O_5 12. 0%), 硫酸钾 (含 K_2O 50. 0%)。

1.2 试验设计

试验在河北省农林科学院大河试验园区进行, 供试土壤类型属于黏壤质石灰性褐土, 试验地 0~20 cm 基础土样养分含量为: 有机质 16. 4 g/kg, 全氮 0. 61 g/kg, 硝态氮 5. 74 mg/kg, 速效磷 17. 63 mg/kg, 速效钾 70. 80 mg/kg。本试验共设置 5 个

处理, 分别为 P_0 (不施磷肥)、 P_{90} (P_2O_5 90 kg/hm²)、 P_{180} (P_2O_5 180 kg/hm²)、 P_{360} (P_2O_5 360 kg/hm²)、 P_{540} (P_2O_5 540 kg/hm²)。根据已有的研究结果^[9]并结合试验地土壤养分状况, 各处理中 N、 K_2O 用量分别为 225, 180 kg/hm²。小区面积为 28 m² (4 m×7 m), 行株距为 25 cm×10 cm。菘蓝于 2011-05-14 播种, 2011-11-14 收获。

1.3 施肥方法

试验在基施发酵鸡粪 7. 5 t/hm² 的基础上进行, 各处理中 100% 磷肥及 50% 的氮肥、50% 的钾肥作为基肥施入, 其余 50% 的氮肥、50% 的钾肥在菘蓝生长 90 d 后追施。

1.4 测定项目及方法

于菘蓝生长 60 d (07-14)、90 d (08-14)、120 d (09-14)、150 d (10-14)、180 d (11-14), 在每个小区随机取 1 m² 的菘蓝样品 (地上部分+地下部分), 105 ℃ 杀青 1 h 后于 50 ℃ 烘干至质量恒定, 测定大青叶和板蓝根干质量, 然后以采样株数折算单株地上部分、地下部分干物质累积量; 将所有样品烘干粉碎, 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后, 分别用凯氏定氮法测定全氮含量, 用钒钼黄比色法测定全磷含量, 用火焰光度计法 (FP6400A) 测定全钾含量。

1.5 数据处理及分析

采用 DPSv 2. 00 软件及 EXCEL 2003 进行数据统计、分析、作图。

植株氮(磷或钾)素累积吸收量 (mg/株) = 植株全氮 (全磷或全钾) 含量 (%) × 植株干质量 (mg/株);

干物质日增长量 (g/株) = (本月取样单株干质量 - 上月取样单株干质量) / 30;

干物质阶段累积率 = (本月取样单株干质量 - 上月取样单株干质量) / 收获期单株干质量 × 100%;

分配率 = (某生长部位某时期干质量 / 某时期干物质总质量) × 100%。

2 结果与分析

2.1 磷肥对菘蓝干物质积累及分配率的影响

表 1 显示,不同施磷水平下,菘蓝总干物质积累量在整个生长期内表现出相似的变化规律,均随生长期的推进而逐渐增加;在菘蓝生长期中,各处理菘蓝的干物质阶段累积率均呈现快—慢—快—慢的增

加趋势。从出苗到生长 60 d 时,菘蓝进入生长高峰期,各处理干物质日增长量为 0.29~0.31 g/株,干物质阶段累积率均达到 50% 以上。与其他处理相比,磷肥 180 kg/hm² 处理菘蓝在整个生长期中干物质日增长量、阶段累积率都保持较高、较稳定的水平。

表 1 磷肥对菘蓝干物质积累及分配率的影响

Table 1 Effects of P fertilizer on dry matter accumulation of <i>Isatis indigotica</i> Fort.					
生长时间/d Time	磷肥 用量/(kg·hm ⁻²) Amount of phosphate fertilizer	总干物质积累量/ (g·株 ⁻¹) Total dry matter accumulation	干物质日增长量/ (g·株 ⁻¹) Dry matter daily growth rates	干物质阶段累积率/% Dry matter accumulation rate	根干物质分配率/% Root dry matter partition ratio
60	0	18.07 a	0.30 a	67.31 a	45.86 a
	90	18.30 a	0.30 a	56.20 c	44.43 a
	180	18.83 a	0.31 a	53.79 c	45.00 a
	360	18.71 a	0.30 a	61.52 b	43.37 a
	540	18.29 a	0.29 a	60.51 b	43.80 a
90	0	18.79 b	0.02 b	2.67 c	44.34 a
	90	20.40 a	0.07 a	6.45 b	44.27 a
	180	20.85 a	0.07 a	5.79 b	48.09 a
	360	20.21 a	0.08 a	7.84 b	48.04 a
	540	20.16 a	0.09 a	9.86 a	48.11 a
120	0	19.26 c	0.02 b	1.75 b	45.75 a
	90	20.84 b	0.01 b	1.37 b	49.15 a
	180	22.63 a	0.06 a	5.08 a	46.40 a
	360	21.05 b	0.03 b	2.89 b	46.99 a
	540	20.24 bc	0.00 c	0.28 c	49.60 a
150	0	23.50 d	0.14 b	15.79 b	40.20 a
	90	30.59 b	0.32 a	29.94 a	33.87 b
	180	32.60 a	0.33 a	28.48 a	33.58 b
	360	25.97 c	0.16 b	16.90 b	39.43 a
	540	25.31 cd	0.17 b	17.70 b	40.45 a
180	0	26.85 c	0.11 a	12.48 a	38.52 a
	90	32.56 a	0.07 b	6.05 b	33.34 a
	180	35.00 a	0.08 b	6.87 b	33.20 a
	360	29.13 b	0.11 a	10.84 a	36.76 a
	540	28.65 b	0.11 a	11.65 a	37.25 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。
Note:Different lowercase letters in each column indicate significant difference at $P<0.05$.

相关性分析结果显示,施磷水平与各时期总干物质积累量呈抛物线相关,即当 P₂O₅ 用量在 0~180 kg/hm² 时,菘蓝干物质积累量随着磷肥用量的增加而提高,P₂O₅ 用量超过 180 kg/hm² 时,菘蓝总干物质积累量反而下降。其中,在菘蓝生长 60 d 时,磷肥用量为 0,90,180,360 kg/hm² 处理间总干物质积累量无显著差异,但均显著高于磷肥用量为 540 kg/hm² 处理;在 90~150 d,各施磷处理的总干物质积累量明显高于不施磷处理;至收获时(180 d),磷肥用量为 90~180 kg/hm² 处理菘蓝干物质积累量显著高于其他处理,其中磷肥用量为 180

kg/hm² 处理菘蓝总干物质积累量较磷肥用量为 0,90,360,540 kg/hm² 处理分别提高了 30.35%,7.49%,20.15%和 22.16%(表 1)。由此可见,相对于其他磷肥施用量而言,180 kg/hm² 磷肥较有利于菘蓝干物质积累量的增加。
表 1 还显示,当磷肥用量相同时,菘蓝根干物质分配率呈先上升后下降再上升的趋势;除了 150 d 外,其余时间各处理根干物质分配率差异均未达到显著水平。在 90 d 以前,磷肥用量为 180 kg/hm² 处理菘蓝根干物质分配率高于其他处理;90 d(包括 90 d)以后,磷肥用量 180 kg/hm² 处理菘蓝根干物

质分配率与其他处理相比处于偏低水平。

苕蓝根的干物质累积量随着生长期的推进均呈增加趋势,其中磷肥用量为 180 kg/hm² 处理其各个时期根干物质累积量最高,分别较磷肥用量为 0, 90, 360 和 540 kg/hm² 处理提高了 12.33%, 7.06%, 8.53% 和 8.90% (图 1)。

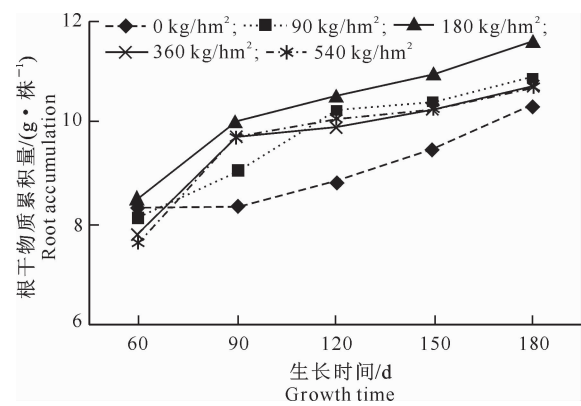


图 1 磷肥对苕蓝根干物质累积量的影响
Fig. 1 Effects of P fertilizer on dry matter accumulation of *Isatis indigotica* Fort. root

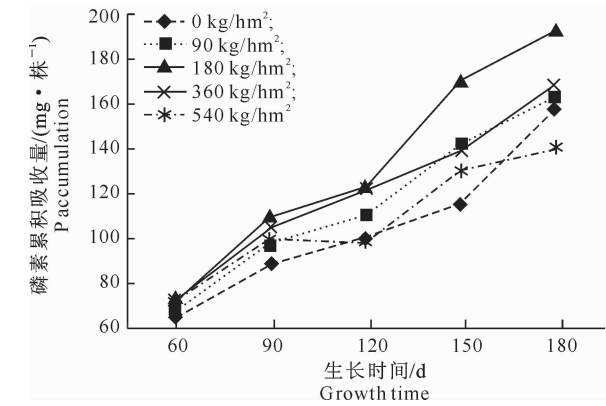


图 2 磷肥对苕蓝植株磷素累积吸收量的影响
Fig. 2 Effects of P fertilizer on phosphorus accumulation of *Isatis indigotica* Fort. plant

2.2.2 氮素累积吸收量 图 4 显示,与不施磷肥处理相比,施用适量的磷肥能够促进苕蓝植株对氮素的吸收;各处理苕蓝植株氮素累积吸收量均呈“S”型增长趋势,其吸收的高峰期分别出现在生长 90 和 150 d。当磷肥用量在 0~180 kg/hm² 时,苕蓝植株氮素累积吸收量随着磷肥用量的增加而提高;当磷肥用量达到 180 kg/hm² 时,苕蓝植株氮素累积吸收量达到最高值;之后随着磷肥用量的继续增加,植株氮素累积吸收量则呈下降趋势。

图 5 显示,当磷肥用量在 0~180 kg/hm² 时,苕蓝根部氮素累积吸收量均随着磷肥施用量的增加而

2.2 磷肥对苕蓝磷、氮和钾素累积吸收量的影响

2.2.1 磷素累积吸收量 图 2 显示,与不施磷肥处理相比,施用磷肥直接促进了苕蓝植株对磷素的吸收和利用,各处理苕蓝植株磷素累积吸收量均随着生长期推进呈增加趋势,呈“S”型曲线变化;除不施磷处理外,其他施磷处理苕蓝植株对磷的吸收均呈现快(0~90 d)—慢(90~120 d)—快(120~150 d)—慢(150~180 d)的增加趋势;当磷肥用量在 0~180 kg/hm² 时,苕蓝植株磷素累积吸收量随着磷肥用量的增加而提高;用量超过 180 kg/hm² 时,苕蓝植株磷素累积吸收量反而下降。

图 3 显示,当磷肥用量在 0~180 kg/hm² 时,苕蓝根部磷素累积吸收量随着磷肥用量的增加而提高;当磷肥用量超过 180 kg/hm² 时,根部磷素累积吸收量均呈下降趋势。由此可知,适量的磷肥对促进根系发育,进而促进植物生长发育和新陈代谢,争取作物高产、优质起着重要作用^[10],过量则使作物生长受到抑制,进而降低作物的品质和产量^[11]。

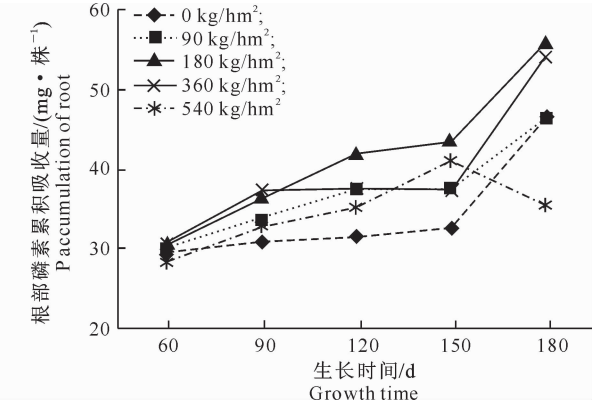


图 3 磷肥对苕蓝根部磷素累积吸收量的影响
Fig. 3 Effects of P fertilizer on phosphorus accumulation of *Isatis indigotica* Fort. root

增加;之后随着磷肥用量的提高,苕蓝根部氮素累积吸收量反而下降。

2.2.3 钾素累积吸收量 由图 6 可知,在整个生长期中,各处理苕蓝植株的钾素累积吸收量均随着生长期推进总体呈增加趋势。与不施磷肥相比,施用磷肥能够促进苕蓝对钾素的吸收和利用。不同磷肥处理对苕蓝钾素累积吸收的影响与其对氮、磷素的影响类似,当磷肥用量在 0~180 kg/hm² 时,苕蓝植株钾素累积吸收量随着磷肥用量的增加而提高;在磷肥用量达到 180 kg/hm² 时,苕蓝钾素累积吸收量达到最高值;磷肥用量为 360~540 kg/hm² 时,植株

钾素累积吸收量则呈下降趋势。可知 180 kg/hm² 磷肥更有利于促进作物对钾元素的吸收和利用。

图 7 显示,随着生长期的推进,各处理菘蓝根部钾素累积吸收量呈逐渐增加趋势;在菘蓝生长 90 d 之前,各磷肥处理菘蓝根部钾素的累积吸收量无明显差异;90~180 d,磷肥用量为 180 kg/hm² 处理菘蓝根部钾素累积吸收量明显高于其他处理。

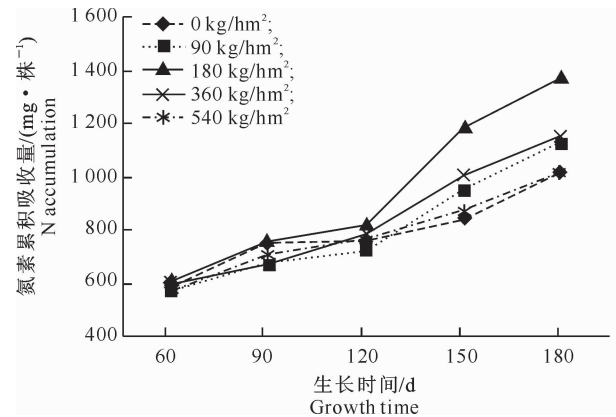


图 4 磷肥对菘蓝植株氮素累积吸收量的影响

Fig. 4 Effects of P fertilizer on nitrogen accumulation of *Isatis indigotica* Fort. plant

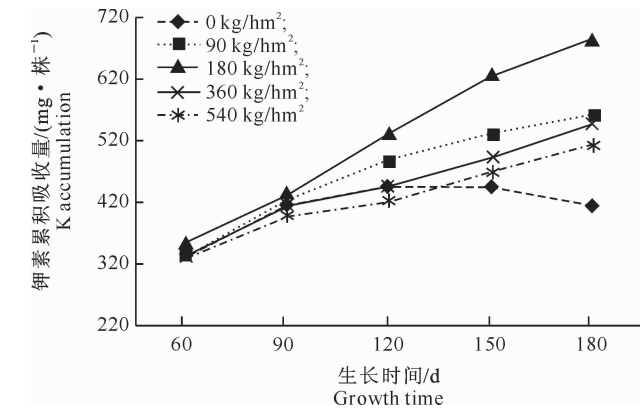


图 6 磷肥对菘蓝植株钾素累积吸收量的影响

Fig. 6 Effects of P fertilizer on potassium accumulation of *Isatis indigotica* Fort. plant

3 讨论

磷是作物生长发育必需的三大营养元素之一,其合理施用可显著促进药用植物的生长发育和干物质的积累;干物质是作物光合作用产物的最终形态,其积累、分配和转运与经济产量形成密切相关^[12]。菘蓝作为根、叶同收的中药材,与黄芪^[13]、丹参^[14]等以根入药的中药材不同,确定磷肥最佳用量不仅要满足菘蓝生长对磷素的需求,还要使菘蓝植株达到根、叶协调生长的目的。本研究结果表明,当磷肥

综合菘蓝氮、磷、钾累积规律可知,菘蓝对氮的吸收量最大,钾次之,磷最少;在磷肥施用量为 0~180 kg/hm² 时,菘蓝全生长期对氮、磷、钾素累积吸收量随着磷肥用量的增加而提高;当磷肥用量达到 180 kg/hm² 时,菘蓝全生长期对氮、磷、钾素累积吸收量均达到最高值,分别为 1 370. 22, 192. 44, 682. 44 mg/株。

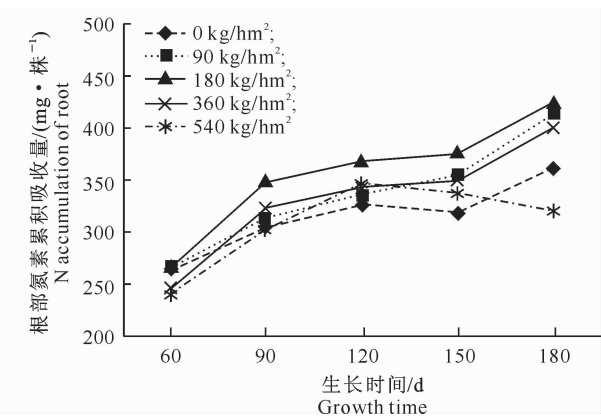


图 5 磷肥对菘蓝根部氮素累积吸收量的影响

Fig. 5 Effects of P fertilizer on nitrogen accumulation of *Isatis indigotica* Fort. root

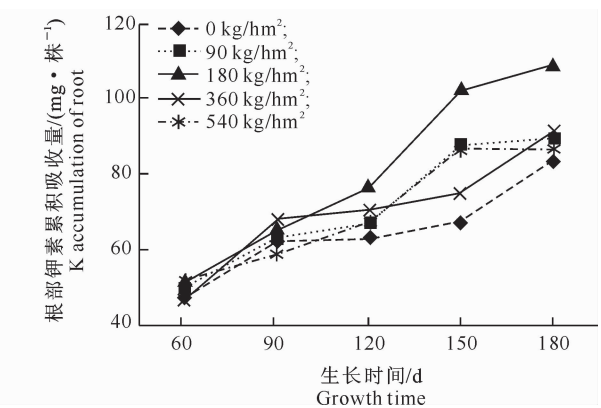


图 7 磷肥对菘蓝根部钾素累积吸收量的影响

Fig. 7 Effects of P fertilizer on potassium accumulation of *Isatis indigotica* Fort. root

(P₂O₅)用量在 0~180 kg/hm² 时,菘蓝总干物质累积量、干物质日增长量、根干物质分配率随着磷肥用量的增加而提高,当磷肥用量超过 180 kg/hm² 时,总干物质累积量、干物质日增长量、根干物质分配率反而下降。

作物的高产、优质是以较高的生物量为前提的,而生物量累积和产量的形成以养分吸收为基础^[15-16]。本研究结果表明,磷肥用量在 0~180 kg/hm² 时,随着磷肥用量的增加,菘蓝对氮、磷、钾的累积吸收量明显增加,当磷肥用量为 180 kg/hm²

时,菰蓝植株和根系的氮、磷、钾累积吸收量均达最高;当磷肥用量超过 180 kg/hm² 时,菰蓝植株和根系的氮、磷、钾累积吸收量反而下降。一般认为,磷与氮之间存在协同作用,由于磷参与氮代谢、硝酸盐还原、氮同化以及蛋白质合成等过程,适量的磷肥可以促进作物对氮素的吸收,使植物长得更好^[17]。此外,适量的磷肥能够促进作物对钾元素的吸收和利用^[18]。

4 结 论

在本试验条件下,增施磷肥能够促进菰蓝全生长期内总干物质累积量的增加;各磷肥处理菰蓝的干物质累积量均呈现快—慢—快—慢的增加趋势,其变化趋势呈“S”型曲线。磷肥(P₂O₅)用量在0~180 kg/hm² 时,菰蓝总干物质累积量随着磷肥用量的增加而提高;当磷肥用量超过 180 kg/hm² 时,菰蓝总干物质累积量反而下降。

菰蓝植株的氮、磷、钾吸收累积量动态变化与干物质积累规律类似,总体均呈“S”型增长趋势;与不施磷肥处理相比,适宜的磷肥用量能够促进菰蓝对氮、磷、钾的吸收和利用;在菰蓝整个生长期中,磷肥用量为 180 kg/hm² 处理植株和根系的氮、磷、钾累积吸收量最高;而当磷肥用量超过 180 kg/hm² 时,植株和根系的氮、磷、钾累积吸收量反而下降。

综合以上结果可知,在本试验土壤肥力条件下,磷肥(P₂O₅)的推荐用量为 180 kg/hm²,且是作为基肥一次性施入。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:2010 版(一部) [M]. 北京:中国医药科技出版社,2010.
National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China:2010 (I) [M]. Beijing:Chinese Medical Science and Technology Press,2010. (in Chinese)

[2] 左惠芳,陈 超,庞焕玲. 实施 GAP 的关键之一:合理施肥 [J]. 中南药学,2003,1(3):163-165.
Zuo H F,Chen C,Pang H L. Rational fertilization:Key to implementation of GAP [J]. Central South Pharmacy, 2003, 1 (3):163-165. (in Chinese)

[3] 陆景陵,胡霭堂. 植物营养学 [M]. 北京:中国农业大学出版社,1992:51.
Lu J L,Hu A T. Plant nutrition [M]. Beijing:China Agricultural University Press,1992:51. (in Chinese)

[4] 赵 英,王秀全,任跃英. 磷、钾肥与人参产量 [J]. 中药材,2002,25(8):543-544.
Zhao Y,Wang X Q,Ren Y Y. Phosphate,potash fertilizer and the yield of ginseng [J]. Journal of Chinese Medicinal Materi-

als,2002,25(8):543-544. (in Chinese)

[5] 吴家胜,应叶青,曹福亮,等. 施磷对银杏叶产量及黄酮含量的影响 [J]. 东北林业大学学报,2003,31(1):17-18.
Wu J S,Ying Y Q,Cao F L,et al. Effects of nitrogen application on leaf output and flavone content in ginkgo leaves [J]. Journal of Northeast Forestry College,2003,31(1):17-18. (in Chinese)

[6] 王渭玲,梁宗锁,孙 群,等. 不同氮磷施用量对丹参产量及有效成份的影响 [J]. 中国农学通报,2005,21(3):218-221.
Wang W L,Liang Z S,Sun Q,et al. N P fertilization recommendation of *Salvia miltiorrhiza* by quadratic best design [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005,21(3):218-221. (in Chinese)

[7] 刘大会,刘 伟,朱端卫,等. 磷肥施用量对药用菊花生长、产量和养分吸收的影响 [J]. 西南农业学报,2010,23(5):1575-1580.
Liu D H,Liu W,Zhu D W,et al. Effect of phosphate fertilizer supply on growth,yield and nutrient absorption of *Chrysanthemum morifolium* (Ramat.) [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2010,23(5):1575-1580. (in Chinese)

[8] 温春秀,谢晓亮,田 伟,等. 菰蓝氮磷钾配比试验研究 [J]. 世界科学技术,2006,8(4):73-76.
Wen C X,Xie X L,Tian W,et al. Study on the formula fertilizing of nitrogen,phosphor and kalium of *Isatis indigotica* Fort [J]. World Science and Technology-Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica,2006,8(4):73-76. (in Chinese)

[9] 温春秀,翟彩霞,刘灵娣,等. 氮肥对菰蓝生长及氮素吸收的影响 [J]. 西北农业学报,2013,22(6):131-135.
Wen C X,Zhai C X,Liu L D,et al. Effects of N fertilizer on growth and N content of *Isatis indigotica* [J]. Acta Agricultrae Boreali-Occidentalis Sinica,2013,22(6):131-135. (in Chinese)

[10] 廖 红,严小龙. 高级植物营养 [M]. 北京:科学出版社,2003.
Liao H,Yan X L. Senior plant nutrition [M]. Beijing:Science Press,2003. (in Chinese)

[11] 付东明,聂 晶. 再谈磷素营养与施磷肥 [J]. 内蒙古农业科技,2012(4):60-63.
Fu D M,Nie J. Talk about P nutrition and phosphate [J]. Inner Mongolia Science Technology,2012(4):60-63. (in Chinese)

[12] 张德利,涂永勤,陈仕江,等. 黄连干物质积累变化规律 [J]. 贵州农业科学,2012,40(1):44-46.
Zhang D L,Tu Y Q,Chen S J,et al. Dry matter accumulation of *Rhizoma coptidis* [J]. Guizhou Agricultural Sciences,2012,40(1):44-46. (in Chinese)

[13] 王渭玲,王 振,徐福利. 氮、磷、钾对膜荚黄芪生长发育及有效成分的影响 [J]. 中国中药杂志,2008,33(15):1802-1805.
Wang W L,Wang Z,Xu F L. Effects of nitrogen,phosphorus and potassium application on growth and active ingredient of *Astragalus membranaceus* [J]. China Journal of Chinese Ma-

teria Medica,2008,33(15):1802-1805. (in Chinese)

[14] 翟彩霞,温春秀,王凯辉,等. 氮、磷、钾肥对丹参根系生长及养分含量的影响 [J]. 华北农学报,2008,23(S1):220-223.
Zhai C X,Wen C X,Wang K H,et al. Effects of N,P and K fertilizer on roots growth and nutrition content of *Salvia miltiorrhiza* [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23 (S1):220-223. (in Chinese)

[15] Damisch W. Biomass yield a topical issue in modern wheat breeding programmes [J]. Plant Breeding,1996,107:11-17.

[16] Watt M S,Clinton P W,Whitehead E,et al. Above-ground biomass accumulation and nitrogen fixation of broom (*Cytisus scoparius* L.) growing with juvenile *Pinus radiata* on a dryland site [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 19 (5):93-103.

[17] 李冬梅,魏 氓,张海森,等. 氮、磷、钾用量和对比对温室黄瓜叶片相关代谢酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006,12(3):352-387.
Li D M,Wei M,Zhang H S,et al. Effects of NPK rates and ratios on activities of metabolism enzymes in leaves of cucumber in greenhouse [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006,12(3):352-387. (in Chinese)

[18] 鲁剑巍,陈 防,张竹青. 磷肥用量对油菜产量、养分吸收及经济效益的影响 [J]. 中国油料作物学报,2005,27(1):73-76.
Lu J W,Chen F,Zhang Z Q. Effect of phosphor application rate on rapeseed yield,nutrient absorption and profit [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2005,27(1):73-76. (in Chinese)

(上接第 158 页)

[20] 朱启加,朱慧文,孙艳娜,等. 海洋细菌 NBRC102603 产琼胶酶发酵条件优化 [J]. 中国酿造,2011,230(5):53-55.
Zhu Q J,Zhu H W,Sun Y N,et al. Optimization of fermentation conditions for agarase production by a marine bacterium NBRC102603 [J]. China Brewing, 2011, 230 (5): 53-55. (in Chinese)

[21] 马悦欣,安 军,刘双连,等. 仿刺参消化道内产琼胶酶菌株的选育及培养条件优化 [J]. 大连水产学院学报,2007,22(2):86-91.
Ma Y X,An J,Liu S L,et al. Breeding and its optimal culture of bacterial and agarase-producing strain from digestive tracts in sea cucumber *Apostichopus japonicu* [J]. Journal of Dalian Fisheries University,2007,22(2):86-91. (in Chinese)

[22] Hisashi S,Yoshinori S,Tohru S,et al. Purification and characterization of an extracellular β -agarase from *Bacillus* sp. MK03 [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering,2003,95 (4):328-334.

[23] Sugano Y,Terada I,Arita M,et al. Purification and characterization of a new agaarse from a marine bacterium,*Vibrio* sp. strain JT0107 [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1993,59(5):1549-1554.

[24] Fu X T,Lin H,Kin S M. Purification and characterization of a novel β -agarase agaA34 from *Agarivorans albus* YKW-34 [J]. Appl Microbiol Biotechnol,2008,78:265-273.

[25] 卢 斌,柯才焕,杨 明,等. 一株高产琼胶酶菌株 MA-B22 的分子鉴定与产酶条件优化 [J]. 水产学报,2009,33(6):1037-1043.
Lu B,Ke C H,Yang M,et al. Isolation and identification of a bacterium MA-B22 producing agarase and the optimal cultivation of enzyme production [J]. Journal of Fisheries of China, 2009,33(6):1037-1043. (in Chinese)

[26] 王晓燕,桑卫国. SPSS 正交设计优化琼胶酶产生菌的发酵条件 [J]. 宁波大学学报,2010,23(2):11-16.
Wang X Y,Sang W G. Optimization of fermentation conditions of an agarase-producing bacterium by SPSS orthogonal design [J]. Journal of Ningbo University,2010,23(2):11-16. (in Chinese)