

钾肥类型对菜心(菜薹)生长、细胞保护酶和内源激素的影响

黄旺平^{1,2}, 康云艳¹, 杨暹^{1*}, 赵普艳¹, 张晓艳¹, 叶珺琳¹, 李仕芳³

(1. 华南农业大学园艺学院, 广州 510642; 2. 广东省农业科学院蔬菜研究所, 广州 510640; 3. 深圳市华盛实业股份有限公司, 广东 深圳 518001)

摘要: 为探讨钾肥类型对菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)的作用效应, 研究了不同钾肥类型和水平对菜心生长、细胞保护酶和内源激素的影响。结果表明, 氯化钾或硫酸钾处理可提高菜心叶片的 POD 和 CAT 活性、IAA 和 GA₃ 含量, 降低 MDA 含量, 提高菜薹产量。随着钾水平的提高, 叶片 IAA 和 GA₃ 含量、POD 和 CAT 活性以及菜薹质量明显提高, MDA 含量降低。当施钾 90 kg hm⁻² 时, 叶片的 GA₃ 和 IAA 含量显著下降, 而 POD 活性和菜薹产量没有显著变化。在相同水平下, 氯化钾与硫酸钾对植株生长、菜薹产量、叶片 GA₃ 含量的影响不显著。当施钾 0~90 kg hm⁻² 时, 氯化钾处理的叶片 POD 活性显著高于硫酸钾处理; 而施钾 135~180 kg hm⁻² 时, 氯化钾处理的叶片 POD 活性则显著低于硫酸钾处理。除了 90 kg hm⁻² 氯化钾处理的 CAT 活性和 45 kg hm⁻² 氯化钾处理的 MDA 含量低于硫酸钾处理以及 90 kg hm⁻² 和 180 kg hm⁻² 氯化钾处理的 IAA 含量高于硫酸钾处理的外, 相同水平氯化钾和硫酸钾处理的 CAT 活性、MDA 含量和 IAA 含量没有显著差异。可见, 钾肥类型对菜心的活性氧代谢系统及内源激素含量有一定的影响, 但氯化钾与硫酸钾对菜心的施用效果相当, 生产上可采用氯化钾代替硫酸钾以节约肥料成本, K₂O 施用量以 90 kg hm⁻² 为宜。

关键词: 钾肥; 菜心; 产量; 细胞保护酶; 内源激素

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.05.010

Effects of Potassium Fertilizer Types on Growth, Cell Protective Enzymes and Endogenous Hormones of Flowering Chinese Cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)

HUANG Wang-ping^{1,2}, KANG Yun-yan¹, YANG Xian^{1*}, ZHAO Pu-yan¹, ZHANG Xiao-yan¹, YE Jun-lin¹, LI Shi-fang³

(1. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Vegetable Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. Shenzhen Huasheng Enterprise Group Company Limited, Shenzhen 518001, Guangdong, China)

Abstract: In order to understand the effects of potassium fertilizer types on flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee), its growth, cell protective enzymes and endogenous hormones were studied treated by different types and levels of potassium fertilizer. The results showed that both KCl and K₂SO₄ fertilizer could increase activities of POD and CAT, contents of IAA and GA₃, and the yield of flowering Chinese cabbage, but decreased MDA content. With increment of potassium levels from 0 to 90 kg hm⁻², the contents of IAA and GA₃, the activities of POD and CAT and flower stalk yield increased significantly, however, when the potassium levels increased continuously, the contents of IAA and GA₃ decreased quickly, and POD

收稿日期: 2014-11-11

接受日期: 2015-02-09

基金项目: 广东省科技计划项目(2012B020303001, 2012A020603009); 广东省现代农业产业技术体系特色蔬菜产业创新团队项目(粤农[2009]380号); 国家自然科学基金项目(31201631, 31301767); 深圳市技术创新计划(20141013110401)资助

作者简介: 黄旺平, 男, 硕士, 主要从事蔬菜栽培生理与育种研究。E-mail: yx16@tom.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: yangxian@scau.edu.cn

activities and flower stalk yield kept stable. Under the same potassium levels of two types of potassium fertilizer, the plant growth, flower stalk yield and GA_3 contents in leaves had no differences. At 0–90 kg hm^{-2} potassium fertilizer, the POD activity in leaves fertilized by KCl were higher than those by K_2SO_4 , but at levels of 135–180 kg hm^{-2} , the POD activity in leaves by K_2SO_4 were higher than those by KCl. CAT activity in leaves fertilized by 90 kg hm^{-2} KCl and MDA contents in leaves by 45 kg hm^{-2} KCl were lower than those by the same levels of K_2SO_4 . In contrary, IAA contents treated with 90 kg hm^{-2} and 180 kg hm^{-2} KCl were higher than those by K_2SO_4 . At other fertilizer levels, the effects of two types of potassium fertilizer on CAT activity, MDA and IAA contents had no difference. Therefore, although two potassium types had different influence on activate oxygen metabolism and endogenous hormones in flowering Chinese cabbage, they had no effects on growth and flower stalk yield at the same levels of potassium fertilizer. Thus, KCl fertilizer could instead of K_2SO_4 fertilizer to save the cost in production, and the suitable level of KCl fertilizer was 90 kg hm^{-2} .

Key words: Potassium fertilizer; Flowering Chinese cabbage; Yield; Cell protective enzyme; Endogenous hormone

菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee)又名菜薹,是十字花科(Cruciferae)芸薹属中以菜薹为产品的一种蔬菜,为我国特产蔬菜,是目前华南地区栽培规模最大的蔬菜之一,在蔬菜周年供应以及出口创汇中起着举足轻重的作用。

钾是植物生长发育所必需的矿质营养元素之一,对植物生长和新陈代谢起着重要作用。全世界 1.30×10^{10} hm^2 土壤中,受到养分胁迫的约占 22.5%,仅有 10.1% 是无胁迫或轻度胁迫的土壤,养分胁迫土壤约占 40% 缺钾,中国 1/3 左右的耕地缺钾或严重缺钾,在热带和亚热带地区土壤缺钾现象尤为严重^[1]。研究表明,适宜钾营养可提高蔬菜产量和品质^[2-3],不同植物种类或同种植物(作物)的不同品种对土壤缺钾的生理反应以及对钾元素的吸收利用效率存在明显差异^[4]。近年来,关于蔬菜施钾效应的研究较多,但有关钾肥种类或品种对植株生长的影响研究较少。目前生产上使用的钾肥主要为氯化钾和硫酸钾,硫酸钾价格比氯化钾高出 40% 左右,且普遍认为硫酸钾的施用效果优于氯化钾,但也存在异议。本研究以菜心为材料,研究氯化钾和硫酸钾对菜心生长、产量及其生理特性的影响,为钾肥的合理选用和施用提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

试验于 2012 年 7–9 月在华南农业大学蔬菜试验基地进行。以栽培面积较广的菜心‘油青 12 号’品种(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee ‘Youqing 12’)为材料(广州市蔬菜

研究所提供),钾肥为氯化钾($K_2O \geq 60\%$)和硫酸钾($K_2O \geq 50\%$)(由广州天河奥特农业新技术有限公司提供)。种植前基地土壤 pH 5.98,全氮 1.431 $g\ kg^{-1}$,有效磷 86.53 $mg\ kg^{-1}$,有效钾 66.77 $mg\ kg^{-1}$ 。

1.2 方法

氯化钾(KCl)和硫酸钾(K_2SO_4)各设 4 个 K_2O 水平,分别为 45、90、135、180 $kg\ hm^{-2}$,以不施钾肥(0 $kg\ hm^{-2}$)为对照。植株生长期间各处理均施尿素(N) 210 $kg\ hm^{-2}$ 和过磷酸钙(P_2O_5) 150 $kg\ hm^{-2}$ 。磷肥于播种前做基肥施用,氮肥、钾肥分 3 次追肥施用(幼苗期 15%、叶片生长期 35%、菜薹形成期 50%)。每处理设置 3 次重复,每重复小区 10 m^2 ,随机区组排列,其他管理与常规生产一致。

于采收期随机取 15 株测量株高、叶面积、菜薹粗度、菜薹重量和单株重量。采取功能叶切碎混匀称重后用锡纸包好,保存在超低温冰箱($-76^\circ C$),用于测定叶片过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量、内源激素 IAA 和 GA_3 含量。POD、CAT 活性测定按杨暹等^[5]的方法进行。

IAA、 GA_3 含量测定采用闫师杰等^[6]的 HPLC 法进行提取、纯化、分离。HPLC 检测条件为:色谱柱为 C18 柱(250 $mm \times 4.6$ mm , 5 μm , Hypersil);流动相为甲醇:乙腈:0.02 $mol\ L^{-1}$ K_2HPO_4 (pH 3.5) = 15:15:70;流速为 1 $mL\ min^{-1}$;柱温 $35^\circ C$;紫外检测波长 210 nm ;进样量 10 μL ;外标法测定。

试验均设置 3 次重复,采用 LSD 法进行多重比较分析,以 $P < 0.05$ 表示差异显著,试验数据采用 Excel 2003 和 SAS 9.0 软件进行统计分析。

2 结果和分析

2.1 钾肥种类对植株生长和菜薹产量的影响

从表 1 可以看出,施用钾肥对菜心植株高度有影响,当施用 180 kg hm^{-2} 氯化钾和 135 kg hm^{-2} 硫酸钾时,植株高度显著大于对照,但施用同一钾肥水平,在菜心植株高度上氯化钾和硫酸钾的差异不显著。

施用 45 kg hm^{-2} 氯化钾或硫酸钾对菜薹粗度的影响不显著,随着钾水平的提高,菜薹的粗度显著高于对照。当氯化钾或硫酸钾达到 90 kg hm^{-2} 后,施用氯化钾或硫酸钾对菜薹粗度的影响都不显著。在相同的钾水平下,氯化钾与硫酸钾对菜薹粗度的影响也不显著。

施用 135 kg hm^{-2} 氯化钾或 $45\sim 135 \text{ kg hm}^{-2}$ 硫酸钾可显著促进叶片生长,增加叶面积。相同钾水平下,除 90 kg hm^{-2} 硫酸钾处理的叶面积大于氯化

钾处理的外,氯化钾与硫酸钾处理的差异不显著。以 90 kg hm^{-2} 硫酸钾处理的植株叶面积最大。

施用钾肥可促进菜心菜薹生长,提高菜薹产量。除 45 kg hm^{-2} 氯化钾处理的菜薹产量显著低于 90 kg hm^{-2} 处理的外,其他处理间的菜薹产量差异不显著;90 和 135 kg hm^{-2} 硫酸钾处理的菜薹产量显著高于 45 kg hm^{-2} 处理,但 90、135 和 180 kg hm^{-2} 硫酸钾处理间的差异不显著,45 和 180 kg hm^{-2} 处理间的差异也不显著。在相同钾水平下,氯化钾处理与硫酸钾处理对菜薹生长和产量的差异不显著。单株鲜重的变化基本与菜薹鲜重的变化一致。

这些表明,钾肥类型对菜心生长和菜薹产量的影响不显著,但不同钾水平对植株生长和菜薹产量有明显的影 响,随着钾水平的提高,菜薹产量不断增加,但当钾肥高于 90 kg hm^{-2} 时,施钾对菜薹产量的影响不大。

表 1 钾肥类型对菜心生长和产量的影响

Table 1 Effect of potassium fertilizer types on growth and yield of flowering Chinese cabbage

K (kg hm^{-2})	株高 (cm) Plant height	茎粗 (cm) Stalk diameter	叶面积 (cm^2) Leaf area	菜薹鲜重 (g) Stalk weight per plant	单株鲜重 (g) Fresh weight per plant
0	18.9±1.50b	0.848±0.02d	276.5±17.39d	14.32±1.27d	15.78±1.27d
KCl	45	22.6±0.81ab	0.960±0.05bcd	309.9±14.99bcd	19.50±1.43bc
	90	20.7±0.58ab	1.068±0.05ab	328.7±20.26bcd	24.78±1.49a
	135	21.3±1.26ab	1.040±0.04ab	345.5±27.15bc	22.64±2.40ab
	180	22.8±1.02a	0.997±0.06abc	293.5±33.19cd	19.90±0.79abc
K ₂ SO ₄	45	21.4±0.81ab	0.900±0.03cd	342.1±9.06bc	16.36±1.36cd
	90	21.8±1.74ab	1.112±0.02a	434.0±14.98a	23.10±0.72ab
	135	23.6±1.94a	1.085±0.06ab	364.2±16.90b	23.04±1.09ab
	180	20.4±0.51ab	1.111±0.51a	309.6±27.01bcd	19.44±2.28bc

同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level.

2.2 钾肥种类对酶活性的影响

叶片 POD 活性 由图 1 可以看出,施用钾肥能够显著提高叶片 POD 活性。随着钾施用水平的提高,叶片 POD 活性也提高。氯化钾和硫酸钾均以 90 kg hm^{-2} 处理的叶片 POD 活性最高,超过 90 kg hm^{-2} 处理的叶片 POD 活性明显下降。在 $0\sim 90 \text{ kg hm}^{-2}$ 钾水平下,相同水平氯化钾处理的叶片 POD 活性显著高于硫酸钾处理的;而钾水平为 $135\sim 180 \text{ kg hm}^{-2}$ 时,氯化钾处理的叶片 POD 活性

则显著低于硫酸钾处理。以 90 kg hm^{-2} 的氯化钾处理叶片的 POD 活性显著高于其他处理。

叶片 CAT 活性 由图 2 可以看出,施用钾肥能够显著地提高叶片 CAT 活性。 180 kg hm^{-2} 氯化钾处理的叶片 CAT 活性显著高于 135 kg hm^{-2} 处理的,但与 45、 90 kg hm^{-2} 处理的没有显著差异,而 45、90 和 135 kg hm^{-2} 处理间的差异也不显著。45 和 135 kg hm^{-2} 硫酸钾处理的叶片 CAT 活性差异不显著,135 和 180 kg hm^{-2} 处理间也没有显著

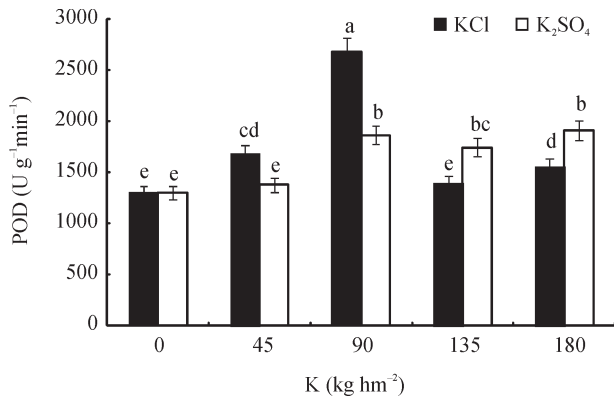


图1 钾肥种类对叶片 POD 活性的影响。柱上不同英文字母表示差异显著($P < 0.05$)。下图同。

Fig. 1 Effect of potassium fertilizer types on POD activity in leaves. Different letters above column indicate significant difference at 0.05 level. The same is following Figures.

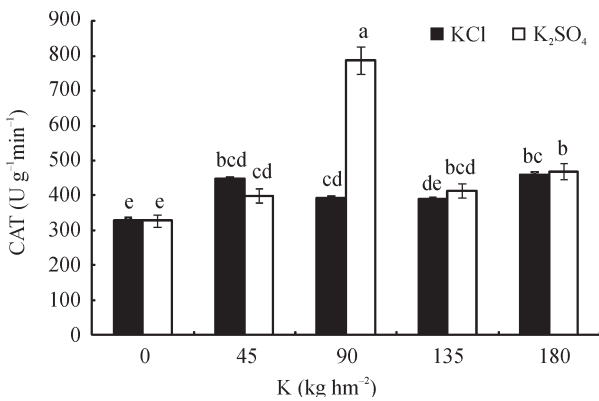


图2 钾肥类型对叶片 CAT 活性的影响

Fig. 2 Effect of potassium fertilizer types on CAT activity in leaves

差异,而 90 kg hm⁻² 处理的显著高于其他处理。除 90 kg hm⁻² 硫酸钾处理的叶片 CAT 活性显著高于氯化钾处理的外,相同水平的氯化钾和硫酸钾处理的叶片 CAT 活性没有显著的差异。

叶片 MDA 含量 由图 3 可以看出,施用钾肥可以降低叶片 MDA 含量,降低膜脂过氧化作用。除 135 kg hm⁻² 氯化钾处理的叶片 MDA 含量与对照差异不显著外,其他处理的 MDA 含量均显著低于对照,且差异不显著。45 kg hm⁻² 硫酸钾处理的 MDA 含量与对照差异不显著,但显著高于其他处理;135 kg hm⁻² 硫酸钾处理的显著高于 90 和 180 kg hm⁻² 处理,后两者间的差异不显著。除 45 kg hm⁻² 氯化钾处理的叶片 MDA 含量显著低于硫酸钾处理的外,相同水平的氯化钾和硫酸钾处理的叶片 MDA 含量没有显著差异。

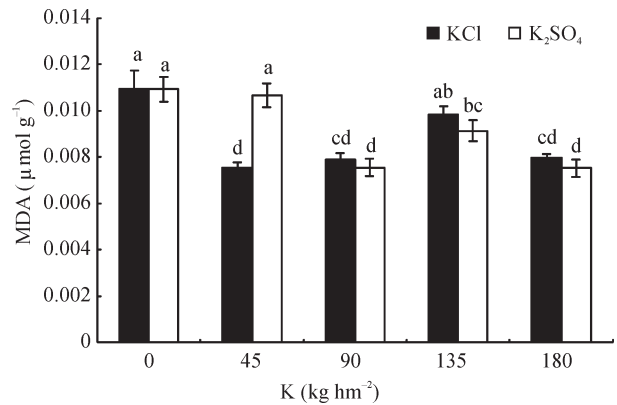


图3 钾肥类型对叶片 MDA 含量的影响

Fig. 3 Effect of potassium fertilizer types on MDA content in leaves

2.3 钾肥类型对叶片内源激素含量的影响

GA₃ 含量 由图 4 可以看出,施用钾肥能够显著提高菜心叶片 GA₃ 含量。随着钾水平的提高,叶片 GA₃ 含量显著提高,但超过 90 kg hm⁻² 时,叶片 GA₃ 含量则显著下降。氯化钾和硫酸钾均以 90 kg hm⁻² 处理的叶片 GA₃ 含量最高。在相同钾水平下,钾肥类型对叶片 GA₃ 含量没有显著的影响。

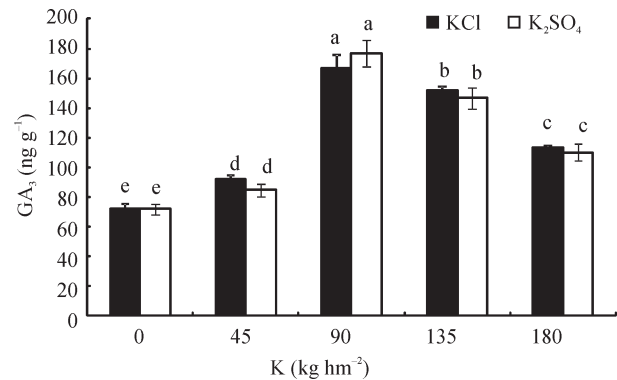


图4 钾肥类型对叶片 GA₃ 含量的影响

Fig. 4 Effect of potassium fertilizer types on GA₃ content in leaves

IAA 含量 由图 5 可以看出,施用钾肥能够显著提高菜心叶片 IAA 含量。随着钾水平的提高,叶片 IAA 含量逐渐提高,但超过 90 kg hm⁻² 时,叶片 IAA 含量则逐渐下降。氯化钾和硫酸钾都以 90 kg hm⁻² 处理的叶片 IAA 含量最高。90 和 180 kg hm⁻² 氯化钾处理的叶片 IAA 含量显著高于硫酸钾处理,而其他处理的叶片 IAA 含量没有显著差异。

3 讨论

钾肥的合理施用能促进植株生长、改善果实品质

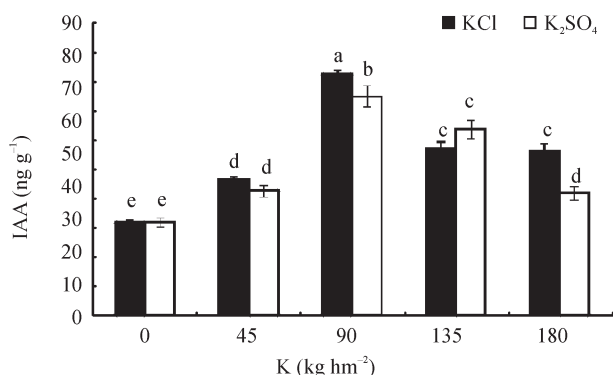


图5 钾肥类型对叶片 IAA 含量的影响

Fig. 5 Effect of potassium fertilizer types on IAA content in leaves

质方面起着十分重要的作用。施钾能显著提高蔬菜的产量和品质,但超量增施钾肥则降低产量和品质^[3,7]。王千等^[8]认为相同水平的硝酸钾和硫酸钾对番茄(*Lycopersicon esculentum*)的生长和产量无显著影响。本研究结果表明,施钾能够增加植株叶面积,提高单株鲜重和菜薹产量,不同钾水平对植株生长和菜薹产量有明显的影响,随着钾水平的提高,菜薹产量不断增加,但施钾超过 90 kg hm⁻²对菜薹产量的影响不显著;相同钾水平下,氯化钾与硫酸钾对菜心生长和菜薹产量的影响差异不显著。可见,氯化钾与硫酸钾在菜心上的施用效果相当,生产上采用氯化钾代替硫酸钾,可以节约肥料成本, K₂O 施用量以 90 kg hm⁻²为宜。

在逆境条件下,植物体内产生的过多活性氧(ROS)可引起膜脂的脱脂化和过氧化,破坏生物膜结构和功能;而 SOD、POD 和 CAT 等保护酶能在一定程度上消除活性氧和过氧化物的不利影响,维持细胞膜的稳定性^[9]。适量施钾肥可以提高大豆(*Glycine max*)叶片保护酶 POD、CAT 活性^[10],但也有报道施钾可以提高叶片中 CAT 活性,降低 POD 活性,减少 MDA 的产生和积累^[11-12],过量施钾导致 MDA 大量积累,加重活性氧对细胞膜的伤害^[13]。王晓光等^[14]认为,随着钾浓度的降低,大豆膜脂过氧化程度增强,MDA 含量增加,同时也激发了大豆体内 CAT 和 POD 等保护酶类活性的提升。但蒋永涛等^[15]认为,低钾胁迫下黄瓜(*Cucumis sativus*)植株的 CAT 和 POD 活性下降,MDA 含量随钾浓度的降低而升高。本研究结果表明,适宜水平的氯化钾或硫酸钾均可显著地提高菜心叶片 POD、CAT 活性,降低叶片 MDA 含量,降低膜脂过氧化作用。0~90 kg hm⁻²氯化钾处理的叶片 POD 活性显著高于硫酸钾处理的;而 135~180 kg hm⁻²

氯化钾处理的叶片 POD 活性则显著低于硫酸钾处理的。除氯化钾为 90 kg hm⁻²的 CAT 活性、45 kg hm⁻²的 MDA 含量低于硫酸钾处理以及氯化钾为 90 和 180 kg hm⁻²的 IAA 含量高于硫酸钾处理外,相同水平的氯化钾和硫酸钾处理的 CAT 活性、MDA 含量和 IAA 含量没有显著性差异。可见,合理施用氯化钾或硫酸钾均可调节菜心叶片活性氧代谢系统,抑制膜过氧化作用,避免了活性氧对植株的伤害,因而促进植株生长,提高菜薹产量。然而,135 kg hm⁻²的氯化钾处理的 POD 和 CAT 活性较低,MDA 含量较高,但其菜薹产量却较高,这可能与该处理的植株含有较高的 IAA 和 GA₃ 促进生长有关。结果还表明,CAT 活性以 90 kg hm⁻²硫酸钾处理的最高,且与 180 kg hm⁻²处理的差异显著,但 MDA 含量在两处理间无显著差异,这可能是硫酸钾处理的植株体内 CAT 不是清除活性氧自由基的关键保护酶,关键的保护酶可能是 POD 之故。

植物激素对植物的生长、发育、分化和衰老过程起调节作用。研究表明,IAA、GA₃ 作为重要的内源激素,具有促进植物生长和延缓衰老的作用^[16]。施钾或增加钾有利于 IAA、和 GA₃ 的合成,提高叶片中 IAA 和 GA₃ 的含量^[13,17]。低钾胁迫使水稻(*Oryza sativa*)叶片 IAA、GA 含量下降^[18]。本研究结果表明,施用氯化钾或硫酸钾肥均能显著提高菜心叶片 IAA 和 GA₃ 含量,随着钾水平的提高,叶片 IAA、GA₃ 含量显著提高,但超过 90 kg hm⁻²时,叶片 IAA、GA₃ 含量则显著下降。在相同钾水平下,钾肥类型对叶片 GA₃ 含量没有显著的影响,但对 IAA 含量的影响不同。施用 90 kg hm⁻²氯化钾或硫酸钾,叶片的 GA₃ 和 IAA 含量最高,与此同时,植株重量也最高,这可能是丰富的内源生长素促进了菜薹膨大的结果。

综上所述,植物的生长发育受多种生理生化代谢的影响,氯化钾或硫酸钾均能明显影响菜心叶片的细胞保护酶活性及膜脂过氧化作用,提高 POD 和 CAT 活性,降低 MDA 含量,有效抑制活性氧对植株的伤害,维持植株细胞膜的稳定性,增加植株内源激素 IAA 和 GA₃ 含量,各种生理生化代谢协调作用促进了植株生长和菜薹的形成,提高菜薹产量,氯化钾和硫酸钾的施用效果相当,但过量施钾对菜心生长与产量影响不显著。因此,合理选择钾肥和科学施用对于提高菜心产量,降低生产成本,提高效益具有重要的意义。

参考文献

- [1] Hao Y S, Jiang C C, Xia Y, et al. A review on the mechanism of potassium uptake and regulation in plants [J]. *Chin Agri Sci Bull*, 2011, 27(1): 6–10.
郝艳淑, 姜存仓, 夏颖, 等. 植物钾的吸收及其调控机制研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(1): 6–10.
- [2] Asao T, Asaduzzaman M, Mondal M F, et al. Impact of reduced potassium nitrate concentrations in nutrient solution on the growth, yield and fruit quality of melon in hydroponics [J]. *Sci Hort*, 2013, 164: 221–231.
- [3] Ning X J, Yu H J, Jiang W J, et al. Effects of different potassium levels applied at blooming stage on the growth, yield and quality of tomato in green-house [J]. *Soil Fertil Sci China*, 2011(6): 35–38.
宁秀娟, 余宏军, 蒋卫杰, 等. 不同钾水平对温室番茄生长、产量和品质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2011(6): 35–38.
- [4] Wu Y J, Zhang W, Fu C L, et al. A review on genotypic differences of potassium nutrition in plants [J]. *Guangdong Agri Sci*, 2012, 9(3): 132–134.
吴宇佳, 张文, 符传良, 等. 植物钾素营养基因型差异的研究进展 [J]. *广东农业科学*, 2012, 9(3): 132–134.
- [5] Yang X, Chen X Y, Yang Y Y. The effects of waterlogging stress on flower stalk formation and cell protective system in flowering Chinese cabbage [J]. *China Veget*, 2000, 1(2): 7–10.
杨暹, 陈晓燕, 杨运英. 涝害逆境对菜心的菜薹形成与细胞保护系统的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2000, 1(2): 7–10.
- [6] Yan S J, Guo L W, Wu C E, et al. Simultaneous determination of three kinds of endogenous hormones content in seeds of post-harvest Yalipear by high performance liquid chromatography [J]. *Chin J Anal Chem*, 2010, 38(6): 843–847.
闫师杰, 郭李维, 吴彩娥, 等. 高效液相色谱法同时测定鸭梨种子中3种内源激素 [J]. *分析化学*, 2010, 38(6): 843–847.
- [7] Marques D J, Broetto F, Da Silva E C, et al. Changes in leaf proline and fruit production induced by potassium stress in eggplant [J]. *J Food Agri Environ*, 2011, 9(2): 191–194.
- [8] Wang Q, Zhang S X, Yi Y L. Effect of potassium nitrate and sulphate on growth, root morphological traits, potassium uptake and utilization efficiency of tomato seedlings [J]. *J Nucl Agri Sci*, 2012, 26(2): 391–395.
王千, 张淑香, 依艳丽. 硝酸钾和硫酸钾对番茄幼苗生长、根系形态及钾素吸收和生理利用效率的影响 [J]. *核农学报*, 2012, 26(2): 391–395.
- [9] Ashraf M. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers [J]. *Biotechn Adv*, 2009, 27(1): 84–93.
- [10] Liu Y, Zhang M Y, Han G, et al. Effect of potassium on soybean leaf protective enzymes and yield under drought stress [J]. *Soyb Sci*, 2011, 30(2): 341–346.
刘颖, 张明怡, 韩光, 等. 干旱胁迫下钾对大豆叶片保护酶活性及产量的影响 [J]. *大豆科学*, 2011, 30(2): 341–346.
- [11] Li Z T, Chen E Y, Zhang M L, et al. Effect of potassium application methods on antioxidant enzyme activities, yield, and potassium use efficiency of cotton [J]. *Acta Agri Sin*, 2012, 38(3): 487–494.
李宗泰, 陈二影, 张美玲, 等. 施钾方式对棉花叶片抗氧化酶活性、产量及钾肥利用效率的影响 [J]. *作物学报*, 2012, 38(3): 487–494.
- [12] Gao P P, Zheng G H, Wu Y H, et al. Effect of exogenous potassium on photosynthesis and antioxidant enzymes of rice under iron toxicity [J]. *Russ J Plant Physiol*, 2014, 61(1): 47–52.
- [13] Guo Y, Song X L, Wang Q C, et al. Effect of potassium nutrition on endogenous hormone and free radicals in cotton seedling [J]. *Acta Agri Bore Sin*, 2006, 21(1): 59–62.
郭英, 宋宪亮, 王庆材, 等. 施钾对棉花苗期叶片内源激素与氧自由基代谢的影响 [J]. *华北农学报*, 2006, 21(1): 59–62.
- [14] Wang X G, Wang Y, Li X T, et al. Effects of low potassium on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity of soybean leaves [J]. *Chin J Oil Crop Sci*, 2010, 32(4): 512–517.
王晓光, 王岩, 李兴涛, 等. 低钾胁迫对大豆叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(4): 512–517.
- [15] Jiang Y T, Liu C L, Ma Y, et al. Effects of low potassium stress on activities of antioxidant enzymes and growth of cucumber [J]. *Shandong Agri Sci*, 2010(5): 47–50.
蒋永涛, 刘传兰, 马勇, 等. 低钾胁迫对黄瓜生长和抗氧化酶活性的影响 [J]. *山东农业科学*, 2010(5): 47–50.
- [16] He P, Jin J Y. Effect of N and K nutrition on changes of endogenous hormone and metabolism of active oxygen during leaf senescence in spring maize [J]. *Plant Nutr Fertil Sci*, 1999, 5(4): 289–296.
何萍, 金继运. 氮钾营养对春玉米叶片衰老过程中激素变化与活性氧代谢的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(4): 289–296.
- [17] Chen B L, Sheng J D, Jiang P A, et al. Effects of potassium nutrition on distribution of nitrogen, phosphorus and potassium and the hormones content of three plants in cotton with liquid [J]. *J Xinjiang Agri Univ*, 2008, 31(1): 60–63.
陈波浪, 盛建东, 蒋平安, 等. 钾营养对水培棉花氮、磷、钾分配和3种植物激素含量的影响 [J]. *新疆农业大学学报*, 2008, 31(1): 60–63.
- [18] Ku W Z, Peng K Q, Zhang X Q, et al. Effects of low potassium stress on mineral nutrient absorption and phytohormone contents of rice seedling [J]. *Plant Nutr Fertil Sci*, 2009, 15(1): 69–75.
库文珍, 彭克勤, 张雪芹, 等. 低钾胁迫对水稻苗期矿物质营养吸收和植物激素含量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(1): 69–75.