

钾对大白菜软腐病发生及保护酶活性的影响

王文峰, 张秀玲, 司东霞, 任爱芝, 李海云* (聊城大学农学院, 山东聊城 252059)

摘要 [目的] 探究钾肥在抗大白菜软腐病中的作用。[方法] 以德高秋丰王和北京新三号为试验材料, 通过大田试验, 研究3个施钾水平下(0, 200, 400 kg/hm² K₂O) 德高秋丰王和北京新三号大白菜产量、软腐病发病率及保护酶活性的变化。[结果] 施钾量为200 kg/hm²时显著提高德高秋丰王的产量, 而北京新三号产量在施钾量达到400 kg/hm²时显著提高; 随施钾量的提高, 两品种大白菜软腐病病情指数都呈现降低的趋势, 施钾量在400 kg/hm²时, 病情指数最低; 两品种的PPO和POD的活性都随施钾量的提高而增强。[结论] 施钾对大白菜产量的效应因品种不同而异, 增施钾肥可以通过提高保护酶的活性降低大白菜软腐病病情指数。

关键词 大白菜; 软腐病; 钾; 保护酶

中图分类号 S634.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)33-0039-03

Effects of Potassium on Soft Rot Incidence and Defense Enzyme Activity in Chinese Cabbage

WANG Wen-feng, ZHANG Xiu-ling, SI Dong-xia, LI Hai-yun* et al (College of Agronomy, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059)

Abstract [Objective] To study effects of potassium on the resistance to soft rot of Chinese Cabbage. [Method] Degaoqiufengwang and Beijingxinsanhao were used as the test materials, effects of three different potassium (0 kg/hm², 200 kg/hm² and 400 kg/hm²) on the yield, soft rot incidence and change of protective enzyme activity in Chinese cabbage were studied using field experiment. [Result] Yield of Degaoqiufengwang increased significantly when the amount of potassium applied was 200 kg/hm², but the yield of Beijingxinsanhao increased significantly when the amount of potassium applied was 400 kg/hm². With the increase of potassium application, the disease index of soft rot in both two varieties of Chinese cabbage showed a downward trend, and the disease index was the lowest when amount of potassium applied at 400 kg/hm². The activities of PPO and POD in both varieties increased with the increase of potassium application amount. [Conclusion] The effect of potassium on the yield of China cabbage varies by variety, application of potassium could reduce the disease index of soft rot in China cabbage through improving the activity of protective enzymes.

Key words Chinese cabbage; Soft rot; Potassium; Protective enzymes

大白菜 (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) 是我国栽培面积最大, 总产量最高^[1]的蔬菜。软腐病作为大白菜三大病害之一, 导致大白菜的产量和品质严重下降, 在大白菜产区已成为普遍关注的重大难题^[2]。而使用化学药剂防治这种细菌病害, 不仅致使致病菌——欧文氏菌属 (*Erwinia*) 产生抗性^[3], 污染环境, 破坏生态平衡, 也会对人们的身体健康造成威胁^[4]。

钾是作物生长发育必需的大量元素, 它在植物体内参与60多种酶的活化, 能够调控细胞渗透、信号转导、气孔运动, 促进光合作用, 调节养分运输与分配, 提高作物抵抗非生物逆境的能力, 进而提高产量^[5]。因此, 钾素有“品质元素”和“抗逆元素”之称。研究表明, 钾能降低玉米茎腐病、烤烟黑胫病、小麦白粉病、棉花黄萎病、油菜黑斑病、烟草赤星病、番茄早疫病、菜薹(菜心)炭疽病和茶树轮斑病的发病率^[6-9]。

钾与大白菜软腐病之间的关系如何, 未见报道。因此, 研究施钾量对大白菜软腐病发病率的影响, 以期明确钾肥在抗大白菜软腐病中的作用, 对于保护环境, 确保农业高效、健康和持续发展具有重要意义。

1 材料与方

1.1 试验材料 大白菜品种为德高秋丰王(德高蔬菜种苗研究所)和北京新三号(京研益农种业科技有限公司)。

基金项目 农业部公益性行业(农业)科研专项(201203013); 山东省高等学校科技计划项目(J13LF03); 聊城大学文化创新基金项目(26312168809)。

作者简介 王文峰(1996—), 男, 山东福山人, 本科生, 专业: 园艺。
* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事园艺植物栽培生理研究。

收稿日期 2017-08-28

1.2 试验设计 2016年8—11月在山东省聊城市东昌府区聊城大学农学院实验基地进行。供试土壤基础肥力: 有机质 7.52 g/kg, 全氮 0.853 g/kg, 速效磷 10 mg/kg, 速效钾 90 mg/kg。施钾量(K₂O)设3个水平, 分别为0(CK)、200、400 kg/hm², 肥源为硫酸钾。各处理氮(N)、磷(P₂O₅)用量相同, 分别为300 kg/hm²和125 kg/hm², 肥源为二铵和尿素。其中, 磷肥和钾肥作基肥一次施用, 氮肥分基肥(40%)和追肥(60%)施用。2016年8月30日播种, 行距0.6 m, 株距0.4 m。重复3次, 小区面积18.2 m², 随机排列, 11月18日收获, 调查软腐病病情指数; 每小区选取3株分别放置塑料袋中, 封口置于25℃室内, 11月28日再次调查软腐病发病情况。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 产量。 收获时每小区选取生长一致的植株5株, 测定地上部产量鲜重, 并计算产量。

1.3.2 软腐病病情指数。 收获时每小区取生长一致的植株5株, 分别调查由根部上数5片叶叶片软腐病情况, 软腐病病情分级如下: 0级, 无病斑; 1级, 病斑占叶片1/4以下; 2级, 病斑占叶片1/4~1/2; 3级, 病斑占叶片1/2~3/4; 4级, 病斑占叶片3/4以上。每小区另选3株分别放置塑料袋中封口, 置于25℃室内, 11月28日再次调查软腐病发病情况。病情指数(disease index)计算公式为:

$$DI = \frac{\sum (s_i \times n_i)}{S \times N} \times 100 \quad (1)$$

式中, DI—病情指数; s_i —某一发病级别; n_i —相应发病级别的病叶数; N —调查总叶片数; S —最高病级。

1.3.3 保护酶活性。 收获时每小区选取生长一致的植株3

株,取其中间纵剖面叶片0.5 g,用预冷的磷酸缓冲液研磨提取离心,上清液用于保护酶活性测定。采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性,用邻苯二酚法测定多酚氧化酶(PPO)活性,均以每毫克Pr每分钟吸光度变化0.01为1个酶活性单位(U)。

1.4 数据处理 用Excel 2010及SPSS 19.0统计软件中的Duncan法($P=0.05$)对数据进行处理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 施钾量对大白菜产量的影响 由表1可知,大白菜2个品种的产量对施钾量的响应并不完全一致。德高秋丰王产量在施钾量为200 kg/hm²最高,显著高于对照;施钾量增加为400 kg/hm²时产量又有所下降,但与其他两处理相比差异不显著。北京新三号产量则是随施钾量的增加而升高,施钾量为400 kg/hm²最高,显著高于其他2个处理。

2.2 施钾量对大白菜软腐病病情指数的影响 由图1可以看出,随着施钾量的增加,德高秋丰王和北京新三号的软腐病病情指数都基本呈现出逐渐降低的趋势(11月18日),德高秋丰王病情指数3个处理间差异均达显著水平,北京新三号在施钾量为400 kg/hm²时病情指数显著低于对照。贮藏10 d后(11月28日)两品种的软腐病病情指数也是基本随施钾量的升高而降低。可见钾可以有效降低大白菜软腐病的

病情指数。

表1 施钾量对大白菜产量的影响

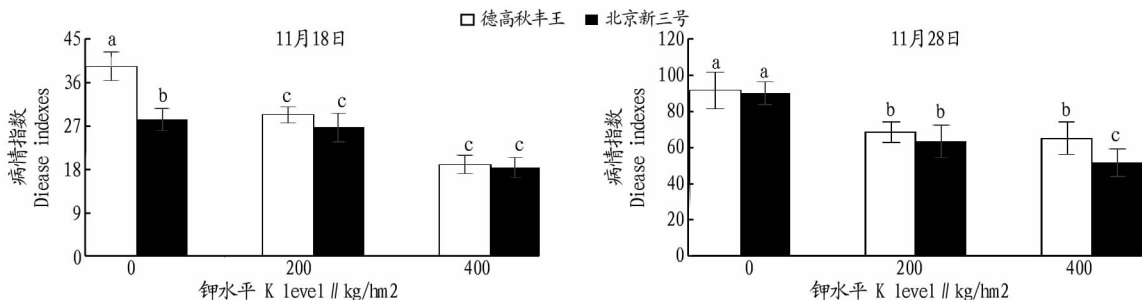
施钾量(K ₂ O) Potassium rate (K ₂ O)//kg/hm ²	产量 Yield//t/hm ²	
	德高秋丰王 Degaoqiufengwang	北京新三号 Beijingxinsanhao
0(CK)	128.3 b	137.0 b
200	141.2 a	140.0 b
400	131.8 ab	150.9 a

注:不同的小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercase letters stand for significant differences at 0.05 level

2.3 施钾量对大白菜保护酶活性的影响 由图2可知,与不施钾相比,施钾基本能提高德高秋丰王和北京新三号的3种保护酶活性,但两品种的3种保护酶活性随施钾量的增加变化规律不尽相同。德高秋丰王CAT活性随施钾量的升高呈先升后降的趋势,施钾量为200 kg/hm²最高,显著高于对照;北京新三号CAT活性则随施钾量的升高而升高。

施钾可提高两品种的POD活性,施钾量400、200 kg/hm²处理德高秋丰王POD活性差异不显著,仅比对照增加5.80%和10.07%。北京新三号POD活性随着施钾量的增加显著增强,与对照相比,施钾量为400、200 kg/hm²增加幅度分别为49.01%和83.83%,远高于德高秋丰王的增加幅度。



注:不同的小写字母表示在0.05水平差异显著

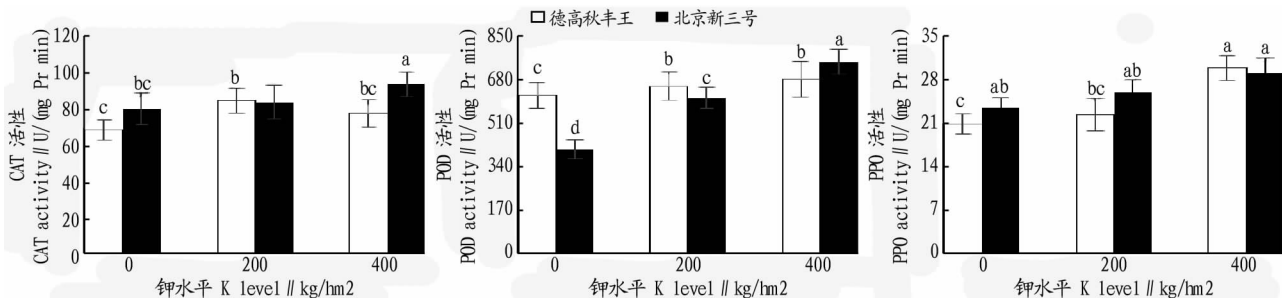
Note: Different lowercase letters stand for significant differences at 0.05 level

图1 施钾量对大白菜软腐病病情指数的影响

Fig. 1 Effects of potassium rate on soft rot disease index of Chinese cabbage

德高秋丰王和北京新三号的PPO活性基本随着施钾量的上升呈现出上升的趋势,都是在施钾量为400 kg/hm²时达到最高。施钾量为400 kg/hm²时北京新三号PPO活性与对

照相比差异不显著,德高秋丰王PPO活性则显著高于对照。可见3种保护酶活性对施钾量的反应因品种不同而异。



注:不同的小写字母表示在0.05水平差异显著

Note: Different lowercase letters stand for significant differences at 0.05 level

图2 施钾量对大白菜保护酶活性的影响

Fig. 2 Effects of potassium rate on PPO activity of Chinese cabbage

3 结论与讨论

土壤钾养分的缺少,势必造成农作物产量和质量下降,已有报道表明钾素缺乏可导致植株瘦小,叶面积减少,叶片失绿,最终抑制植株生长和产量形成^[10]。该研究结果也表明,未施钾处理(对照)的两品种大白菜产量最低,施钾量为 200 kg/hm² 显著提高德高秋丰王产量,北京新三号产量则是施钾量为 400 kg/hm² 最高。这是因为同一作物不同品种对钾的吸收、分配、转运和利用效率等方面存在很大的差异^[11]。

钾能有效降低玉米茎腐病^[7]、棉花黄萎病^[6]、苹果树腐烂病^[8]、烤烟两黑病^[12] 的发病率,该研究表明,适当增施钾肥,能有效降低德高秋丰王和北京新三号的软腐病病情指数,说明钾肥能降低大白菜软腐病发病率。

过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)可以降低或消除活性氧对膜脂的攻击能力,是植物适应多种逆境胁迫的重要酶类,被称为植物保护酶系统,酶活性与植物对逆境的抗性大小呈正相关。多酚氧化酶(PPO)是儿茶酚氧化酶和漆酶的统称,有关 PPO 活性同抗病性的关系已有许多报道^[13]。近年来,越来越多的研究表明,POD 在植物的抗病过程中起着重要的作用,可以把它作为抗病的指标^[14]。

钾营养主要通过提高 PPO 活性增强菜薹抗病品种对炭疽病的抗性,感菜薹品种的 PPO 和 POD 活性随着钾营养处理水平的提高都呈先上升后下降趋势^[9]。该试验收获期对照处理的德高秋丰王软腐病病情指数明显高于北京新三号,说明前者相对后者属于易感品种,其 CAT 活性也是随施钾量的提高呈现先上升后下降的趋势。已有报道 PPO 和 POD 参与大白菜软腐病抗性机制^[15],随着施钾量的上升,德高秋丰王和北京新三号的 POD 和 PPO 都呈现上升的趋势,且抗性相对较强的北京新三号 POD 活性在 3 种酶中上升幅度最大,说明 POD 在钾诱导的大白菜抗软腐病过程中发挥着重要的作用。

该研究仅在酶活性方面对钾提高大白菜软腐病抗性的原因进行了初步分析,钾素在大白菜酚类物质合成代谢、病

程相关蛋白表达及抗软腐反应中的信号传导等方面的作用还有待进一步研究。

钾对大白菜的增产效应因品种不同大小不一,施钾可以调控大白菜的保护酶特别是 POD 和 PPO 活性,从而提高机体对软腐病的抗性,保护酶活性对施钾量的反应因品种不同而异。生产上为提高大白菜产量、防止或减轻软腐病的发生,应根据不同品种进行合理施钾。

参考文献

- [1] 旷碧峰,肖昌华,余茂茂,等. 大白菜高产优质栽培技术[J]. 蔬菜,2012(2):19-22.
- [2] PENNYPACKER B W, SMITH C M, DIOKEY R S, et al. Histopathology of a symptomless chrysanthemum cultivar infected by *Erwinia chrysanthemi* or *E. carotovora* subsp. *carotovora* [J]. *Phytopathology*, 1981, 71: 141-148.
- [3] 臧威,张耀伟,孙剑秋,等. 大白菜软腐菌种群组成及优势菌致病型的研究[J]. 植物资源与环境学报,2006,15(1):26-29.
- [4] NASEBY D C, PASCUAL J A, LYNCH J M. Effect of biocontrol strains of *Trichoderma* on plant growth, *Pythium ultimum* populations, soil microbial communities and soil enzyme activities [J]. *Journal of applied microbiology*, 2000, 88(1):161-169.
- [5] LI X T, CAO P, WANG X G, et al. Comparison of gas exchange and chlorophyll fluorescence of low-potassium-tolerant and-sensitive soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars under low-potassium condition [J]. *Photosynthesis*, 2011, 49(4):633-636.
- [6] 张清华,班战军,刘淑红,等. 施用钾肥对转基因棉花邯棉 559 黄萎病及产量的影响[J]. 河北农业科学,2016,20(4):34-36.
- [7] 李文娟,何萍,金继运. 钾素对玉米茎腐病抗性反应中糖类物质代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(1):55-61.
- [8] 孙广宇,卫小勇,孙悦,等. 苹果树腐烂病发生与叶片营养成分的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(7):107-112.
- [9] 郭巨先,刘玉涛,杨通. 钾营养对菜薹(菜心)炭疽病发生和植株防御酶活性的影响[J]. 中国蔬菜,2012(14):86-89.
- [10] ZÖRB C, SENBAYRAM M, PEITER E. Potassium in agriculture: Status and perspectives [J]. *Journal of plant physiology*, 2014, 171(9):656-669.
- [11] 李海云,司东霞. 钾对不同品种大白菜生长、品质及钾积累的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(10):223-226.
- [12] 左丽娟,赵正雄,杨焕文,等. 增加施钾量对红花大金元烤烟部分生理生化参数及“两黑病”发生的影响[J]. 作物学报,2010,36(5):856-862.
- [13] 梁永超,孙万春. 硅和诱导接种对黄瓜炭疽病的抗性研究[J]. 中国农业科学,2002,35(3):267-271.
- [14] 杨秀娟,甘林,阮宏椿,等. 氮肥对水稻苗 POD、SOD 活性及稻瘟病发生的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2011,40(1):8-12.
- [15] 张耀伟,崔崇土,潘凯. 几种酶在大白菜软腐病抗性机制中的作用研究[J]. 东北农业大学学报,2000,31(3):248-252.
- [16] 的影响[J]. 生态学报,2004,24(5):869-875.
- [17] 郭银生. 光环境调控对水稻幼苗和黑豆芽苗菜生长发育的影响[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [18] KOWALLIK W. Blue light effects on respiration [J]. *Annual review of plant physiology*, 1982, 33:51-57.
- [19] 史宏志,韩锦峰,官春云,等. 红光和蓝光对烟叶生长、碳氮代谢和品质的影响[J]. 作物学报,1999,25(2):215-220.
- [20] 陈文昊,徐志刚,刘晓英,等. LED 光源对不同品种生菜生长和品质的影响[J]. 西北植物学报,2011,31(7):1434-1440.
- [21] 李德全,高辉远,孟庆伟. 植物生理学[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004.
- [22] SUN Q, YODA K, SUZUKI H. Internal axial light conduction in the stems and roots of herbaceous plants [J]. *Journal of experimental botany*, 2005, 56(409):191-203.
- [23] 魏星,顾清,崔艳娇,等. 不同光质对菊芋组培苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2008,24(12):344-349.
- [24] 杜洪涛. 光质对彩色甜椒幼苗生长发育特性的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2005.
- [25] 蒲高斌,刘世琦,刘磊,等. 不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响[J]. 园艺学报,2005,32(3):420-425.

(上接第 38 页)

- [8] 谢宝东,王华田. 光质和光照时间对银杏叶片黄酮、内酯含量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(2):51-54.
- [9] 赵世杰,苍晶. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002.
- [10] 放新建. 蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性的测定[M]//上海植物生理学会. 植物生理学实验手册. 上海:上海科学技术出版社,1985.
- [11] 张治安,张美善,蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 长春:吉林大学出版社,2006.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 李合生,孙群,赵世杰,等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [14] KASPERBAUER M J. Strawberry yield over red versus black plastic mulch [J]. *Crop science*, 2000, 40(1):171-174.
- [15] 刘张奎. 光质对黄瓜生长、生理特性、产量及品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
- [16] 张欢,徐志刚,崔瑾,等. 光质对番茄和莴苣幼苗生长及叶绿体超微结构的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(4):959-965.
- [17] 张明方,李志凌. 高等植物中与蔗糖代谢相关的酶[J]. 植物生理学通讯,2002,38(3):289-295.
- [18] 戴绍军,王洋,阎秀峰,等. 滤光膜对喜树幼苗叶片生长和喜树碱含量