

# 不同形态氮素营养对大白菜芝麻状斑点病发生的影响

郭莹<sup>1,2</sup>, 杨晓云<sup>1,\*</sup>, 司朝光<sup>1</sup>, 张淑霞<sup>1</sup>, 张清霞<sup>1</sup>, 王媛<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>青岛市农业科学研究院, 山东青岛 266100; <sup>2</sup>青岛农业大学园林园艺学院, 山东青岛 266109)

**摘要:** 选择高感“大白菜芝麻状斑点病”品系 03B9 大白菜为试材, 调查不同形态氮素营养对其发病的影响; 并选择高抗品系 C24、P8-1 和高感品系 03B9、P8-2 为试材, 在总氮素浓度为 25 mmol·L<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分别为 3:7、5:5 和 7:3 的水培条件下, 研究氮代谢和抗氧化系统生理指标的变化。结果表明: 铵态氮促进芝麻状斑点病发生的作用高于硝态氮和酰胺态氮。随铵态氮比例的增大, 感病品系 03B9 和 P8-2 较抗病品系病斑数显著增多, 叶柄中 PPO 活性和铵态氮、MDA 含量及电导率升高, NR 活性和多酚含量降低; 抗病品系 C24 和 P8-1 叶柄中 GDH 活性和多酚含量升高, PPO 活性、MDA 含量及电导率变化不明显。推测营养液中铵态氮的比例增加, 影响感病品系氮素代谢中有关酶类的活性, 使体内铵态氮过量积累, 导致细胞膜系统受到伤害, 使液泡内的酚类物质与细胞质中的多酚氧化酶接触, 引起褐变, 在叶柄表面表现出芝麻斑点症状。

**关键词:** 大白菜; 芝麻状斑点病; 氮素

**中图分类号:** S 634.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2011) 08-1489-09

## Effects of Different Ratios of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N on Black Sesame Spot in Chinese Cabbage

GUO Ying<sup>1,2</sup>, YANG Xiao-yun<sup>1,\*</sup>, SI Chao-guang<sup>1</sup>, ZHANG Shu-xia<sup>1</sup>, ZHANG Qing-xia<sup>1</sup>, and WANG Yuan<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Qingdao Academy of Agricultural Sciences, Qingdao, Shandong 266100, China; <sup>2</sup>College of Horticulture and Landscape, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

**Abstract:** Chinese cabbage line 03B9 with high sensitivity to Black sesame spot were used as material to investigate the effects of (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, urea, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and KNO<sub>3</sub> on Black sesame spot in Chinese cabbage. 03B9 and P8-2 with high sensitivity, C24 and P8-1 with high resistance to Black sesame spot were selected as materials, in hydroponic culture to study the effects of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios (3 : 7, 5 : 5, 7 : 3) with a total nitrogen concentration of 25 mmol·L<sup>-1</sup> on nitrogen metabolism and antioxidant system. The determination indicators included activities of nitrate reductase (NR), glutamine synthetase (GS), glutamate dehydrogenase (GDH), polyphenoloxidase (PPO), the electric conductivity, and contents of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, malondialdehyde (MDA)

收稿日期: 2011-03-01; 修回日期: 2011-07-06

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2008BADB1B01-3)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: yangxy\_qd@yahoo.com.cn)

and polyphenol. The results showed that ammonium nitrogen affected the occurrence of Black sesame spots more seriously than nitrate nitrogen and different  $\text{NO}_3^- \text{-N} : \text{NH}_4^+ \text{-N}$  ratios affected the number of Black sesame spots. With the elevation of ammonium nitrogen ratio, the number of Black sesame spots in lines 03B9 and P8-2 increased more seriously than that in lines C24 and P8-1. In lines 03B9 and P8-2, the activity of PPO, electric conductivity, content of ammonium nitrogen and MDA increased, while the activity of NR and content of phenolics decreased. In lines C24 and P8-1, the activity of GDH and content of phenolics increased, while the activity of PPO, electric conductivity and content of MDA did not change significantly. It was presumed that in the high sensitive lines of Chinese cabbage, the increasing of the proportion of ammonium nitrogen influenced the activities of enzymes related to nitrogen metabolism, and then excessive ammonium nitrogen accumulated in plants, thus caused the injury of cell membrane. When contacted with PPO in cytoplasm phenolic compounds in vacuole were oxidized to quinone substances, and caused browning on the surface of petiole showing symptom of Black sesame spots. This research laid the foundation for further study on the mechanism of Black sesame spot in Chinese cabbage.

**Key words:** *Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* (Lour.) Olsson; Black sesame spot; nitrogen

大白菜 [*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* (Lour.) Olsson] 芝麻状斑点病是大白菜叶柄及叶脉上出现大量黑色或黑褐色芝麻状斑点, 斑点上没有霉状物或腐烂状物附着, 主要集中在叶柄的表皮细胞, 很少深入到叶肉细胞中(图 1), 其英文名称有 Gomasho (松本美枝子, 1991; Burt et al., 2006), Petiole spotting (Phillips & Gersbach, 1989)、Pepper spot (Studstill et al., 2007)、Black speck (Brecht et al., 1987) 和 Black fleck (Studstill et al., 2007) 等。作者曾将该病称之为“大白菜小黑点病”(杨晓云等, 2006a, 2006b, 2007)。由于“芝麻状斑点病”比“小黑点病”更能如实反映出该种生理性病害的症状, 并且国外多将这种病害称之为“Gomasho”, “Gomasho”其意为“芝麻症”, 因此本文将此病害更名为“芝麻状斑点病”。

近年来, 芝麻状斑点病的发生越来越严重, 影响了大白菜的外观品质和商品性, 成为制约中国大白菜出口的重要限制因素。日本学者早在 20 世纪 60 年代注意到该病的严重性, 认为种植期延长, 作型多样化和化肥施用量过高是造成发病的主要原因, 并阐明该病是由于内在遗传基础与外在栽培措施、环境条件等共同作用而导致的生理性病害(松本美枝子, 1991)。

引起芝麻状斑点病发生的原因尚不完全清楚。Studstill 等(2007)对大白菜的芝麻状斑点病发生原因及影响因素进行了综述: 高氮肥用量会加重该病发生, 尤其是过多施用铵态氮(Dimsey & Bairnsdale, 1997);  $\text{NO}_3^-$  过剩或硝酸还原酶活性降低,  $\text{NO}_2^-$  积累在叶柄中, 会造成该病的发生(Phillips & Gersbach, 1989); 高氮肥和磷肥的使用是造成芝麻状斑点病发生的关键因素, 且土壤 pH 过高(pH 8.0) 以及土壤中铜离子水平高, 硼离子水平低都会加重病症(Daly & Tomkins, 1997); 贮藏条件也影响芝麻状斑点病的发生, Brecht 等(1987)的试验证明病症在 5 °C 条件下比在 0 °C 和 10 °C 条件下发展得快, 乙烯不会加重病症, 提高  $\text{CO}_2$  浓度(10%) 能阻止病症加重。

青岛市农业科学研究院大白菜课题组对大白菜芝麻状斑点病进行了多年的研究, 发现该病的发生存在基因型差异, 表现为数量性状, 并初步筛选出一批易感型品种与高抗型品种资源, 还证实了不同的土壤条件、栽培措施、气候条件、贮藏方式以及前茬作物都会影响该病的发生及发生程度(杨晓云等, 2006a, 2006b, 2007)。不同抗病品种对不同的氮素形态敏感性不同, 在相同氮素用量的条件下, 施用铵态氮肥比施用硝态氮和酰胺态氮肥, 增高了芝麻状斑点病的发病率(于业志等, 2007)。但氮素形态如何影响芝麻状斑点病的发生, 尚未见相关报道。本研究中主要以高抗芝麻状斑点病大白菜品系 C24、P8-1 (成株单叶芝麻状斑点 < 50 个) 和高感品系 03B9、P8-2 (成株单叶芝

麻状斑点 > 400 个) 为试材 (杨晓云 等, 2006b), 利用无土栽培技术, 研究硝铵比对氮代谢、抗氧化系统两方面生理指标的影响, 为大白菜芝麻状斑点病发生机理的进一步研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 不同形态的氮素试验

试验于 2009 年 6—9 月在青岛市农业科学研究院进行。以高感芝麻状斑点病品系 03B9 大白菜为供试材料, 种子经催芽后于 6 月 5 日播种, 在温室中生长。6 月 28 日植株 5 片真叶时移栽到 10 cm × 10 cm 营养钵中。7 月 6 日分别用 100 mL 氮浓度为 25 mmol · L<sup>-1</sup> 的硝态氮 [硝酸钾 (含氮量 13.86%, 下同)、硝酸钙 (11.86%)]、铵态氮 [氯化铵 (26.42%)、硫酸铵 (21.21%) 和硝酸铵 (35%)] 和酰胺态氮 [尿素 (46%)] 对植株灌根, 对照浇清水 100 mL。7 月 29 日和 8 月 21 日重复上述处理。9 月 12 日调查硝态氮、铵态氮、酰胺态氮 3 种氮营养各处理的植株叶柄正反面黑芝麻状斑点数, 每个处理调查 10 株。

### 1.2 不同比例硝态氮与铵态氮试验

试验于 2009 年 7—12 月在青岛市农业科学研究院进行。以多年田间种植表现高抗芝麻状斑点病的大白菜品系 C24、P8-1 和高感品系 03B9、P8-2 为供试材料 (其中 C24 和 03B9 类型相同, 表现为耐热, 早熟, 卷心; P8-1 和 P8-2 类型相同, 均表现叶色黄绿, 中早熟合抱或浅叠抱, 球较松散)。种子催芽后, 于 7 月 8 日播种, 在温室中生长。7 月 23 日植株 5 片真叶时移栽至 1/2 Hoagland 营养液配方的培养箱中缓苗。培养箱是容积为 28 L 的周转箱, 每箱装营养液 25 L, 上面覆盖 36 个孔的塑料盖板, 每孔定植 1 株, 利用增氧泵进行连续增氧。7 d 后进行处理试验。设氮总量为 25 mmol · L<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分别为 3 : 7、5 : 5 和 7 : 3, 共 3 个比例, 每 2 个品种 1 箱, 共 6 箱。大量元素营养液配方见表 1; 微量元素和 Fe 盐含量按 Hoagland and Snyder 营养液配方。

表 1 不同比例硝态氮与铵态氮大量元素营养液配方  
Table 1 Macroelement formulas of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios / (mmol · L<sup>-1</sup>)

成分 Composition	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N : NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		
	3 : 7	5 : 5	7 : 3
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1.25	4.00	4.0
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0	2.00	4.5
KNO <sub>3</sub>	5.00	2.50	5.0
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8.75	5.25	1.5
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	1.25	0
CaSO <sub>4</sub>	0	0	0
CaCl <sub>2</sub>	3.75	1.00	1.0
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2.00	2.00	2.0
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.00	1.00	1.0

8 月 10 日对不同硝铵比氮素营养各处理植株取样, 调查每株叶柄正反面芝麻状斑点数, 每个处理调查 12 株。调查结束后, 取第 1~6 片叶柄, 一部分用于测定电导率, 其余样品迅速放入 -70 °C 冰箱中贮存, 用于测定各生理指标。

硝酸盐含量采用水杨酸比色法测定; 硝酸还原酶活性采用活体法 (高俊凤, 2006) 测定; 铵态氮采用 KCl 浸提靛酚蓝比色法测定; 谷氨酰胺合成酶 (GS) 参照周忠新等 (2005) 的方法测定; NADH-GDH 活性按照王云华等 (2004) 的方法测定; 多酚含量采用 Folin-Cioaltea 法 (Tadolini et al., 2000) 测定, 以每克鲜样中没食子酸毫克当量 (GAE) 表示多酚含量; 丙二醛 (MDA) 含量参照赵

世杰 (2004) 的方法测定; 多酚氧化酶 (PPO) 的活性采用邻苯二酚氧化法测定。每个处理均设 3 次重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同形态氮营养对病害发生的影响

大白菜芝麻状斑点病 (图 1) 与施用氮肥密切相关。

高感芝麻状斑点病品系 ‘03B9’ 大白菜施用任何一种氮素营养均比清水对照增加病斑的发生, 其中施用铵态氮 (硫酸铵、氯化铵和硝酸铵) 达到极显著水平, 铵态氮促进病斑的增加高于硝态氮和酰胺态氮 (表 2), 这与于业志等 (2007) 研究结果一致。大白菜生产中为减轻芝麻状斑点病的发生, 应避免施用铵态氮肥。



图 1 大白菜芝麻状斑点病典型症状

Fig. 1 Typical symptoms of Black sesame spot in Chinese cabbage

表 2 氮素形态对 ‘03B9’ 大白菜芝麻状斑点病发生的影响

Table 2 Effects of nitrogen forms on Black sesame spot in Chinese cabbage ‘03B9’

处理 Treatment	芝麻状斑点数 The number of black sesame spots
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	158.1 aA
NH <sub>4</sub> Cl	157.1 aA
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	155.7 aAB
尿素 Urea	149.3 abABC
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	122.1 bcABC
KNO <sub>3</sub>	113.8 cABC
对照 (水) Control (Water)	108.8 cC

### 2.2 不同比例硝态氮与铵态氮对芝麻状斑点病发生的影响

不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 下大白菜芝麻状斑点病斑的发生情况调查结果 (图 2) 表明, 感病品系 03B9、P8-2 与抗病品系 C24、P8-1 病斑数差异明显; 硝铵比影响病斑的发生, 病斑数随铵态氮比例增加而增加, 这说明提高营养液中铵态氮的比例会加重发病。

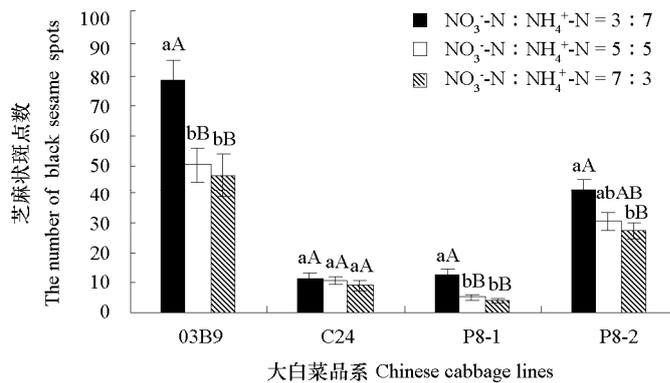


图 2 不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 对芝麻状斑点病发生的影响

Fig. 2 Effects of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios on the number of Black sesame spot in Chinese cabbage

### 2.3 不同比例硝态氮与铵态氮对叶柄中硝态氮和铵态氮含量的影响

在营养液总氮素浓度一定的情况下, 各品系叶柄中硝态氮含量差异较小, 且不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 处理间差异不显著(图 3)。说明用氮浓度为 25 mmol · L<sup>-1</sup> 的营养液栽培, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 比例在 3 : 7 到 7 : 3 之间变化并不能显著影响植株体内硝态氮含量。

随着营养液中铵态氮比例的提高, 4 个品系铵态氮含量则逐渐升高(图 4)。感病品系铵态氮含量显著高于抗病品系。抗病品系 P8-1 的 7 : 3 处理铵态氮含量最低, 为 86.75 mg · kg<sup>-1</sup>; 感病品系 03B9 的 3 : 7 处理含量最高, 为 233.42 mg · kg<sup>-1</sup>。抗、感品系铵态氮含量的差异, 与斑点发生趋势一致, 铵态氮可能是影响芝麻状斑点病发生的关键因素。

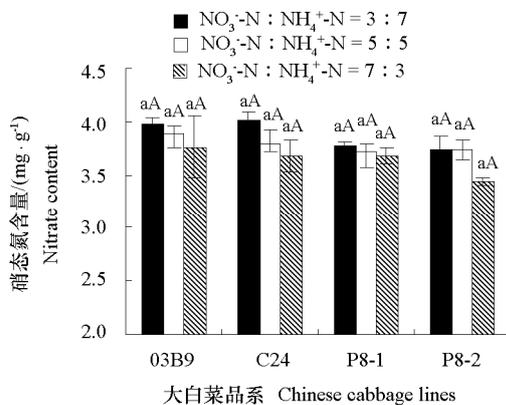


图 3 不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 对叶柄硝态氮含量的影响

Fig. 3 Effects of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios on nitrate nitrogen content in Chinese cabbage petioles

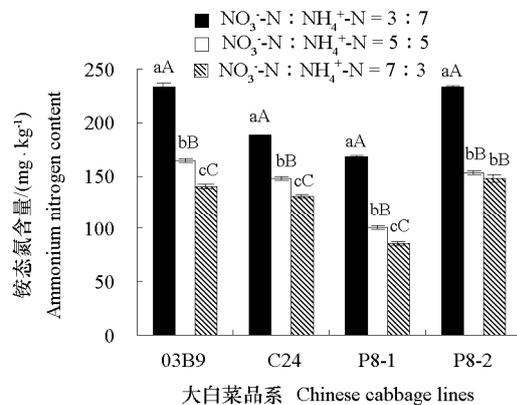


图 4 不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 对叶柄铵态氮含量的影响

Fig. 4 Effects of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios on ammonium nitrogen content in Chinese cabbage petioles

### 2.4 不同比例硝态氮与铵态氮对硝酸还原酶、谷氨酰胺合成酶和谷氨酸脱氢酶活性的影响

大白菜 4 个品系硝酸还原酶 (NR) 活性随着营养液中硝态氮比例的升高而逐渐增加, 与各品系斑点数发生趋势相反(图 5)。其中品系 03B9 处理间差异最大, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N = 3 : 7 处理 NR 活性为 27.9 μg · h<sup>-1</sup> · g<sup>-1</sup>, 在 7 : 3 处理中为 85.928 μg · h<sup>-1</sup> · g<sup>-1</sup>, 后者是前者的 3.08 倍, 表明营养液中铵态氮比例增加能抑制叶柄中 NR 活性, 从而影响氮素同化, 造成芝麻状斑点病的发生。

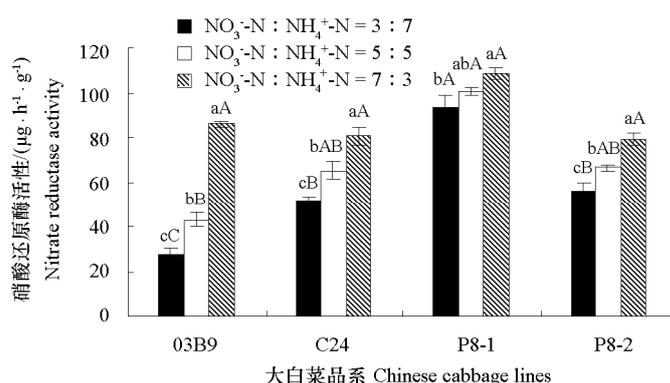


图 5 不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 对大白菜叶片硝酸还原酶活性的影响

Fig. 5 Effects of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios on the activity of nitrate reductase in Chinese cabbage leaves

谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性受硝铵比影响程度不一致, 各品系 GS 活性差异较大 (图 6)。感病品系均是营养液硝铵比为 5 : 5 时 GS 活性最高; 抗病品系中, C24 品系 GS 活性与硝铵比成正比, P8-1 品系成反比。同一类型材料抗病品系 GS 活性高于感病品系, 说明抗病品系铵态氮同化效率高高于感病品系。

在氮形态对大白菜叶柄内谷氨酸脱氢酶 (GDH) 活性的影响 (图 7) 中, 感病品系 03B9 和 P8-2 受 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 比例影响较小, 无显著差异。抗病品系 C24 和 P8-1 在铵态氮的比例增加时, GDH 活性升高, 说明抗病品系 C24 和 P8-1 在营养液中铵态氮含量升高时能够刺激 GDH 活性, 提高铵态氮的同化能力, 防止过多铵态氮积累对植株的毒害作用。

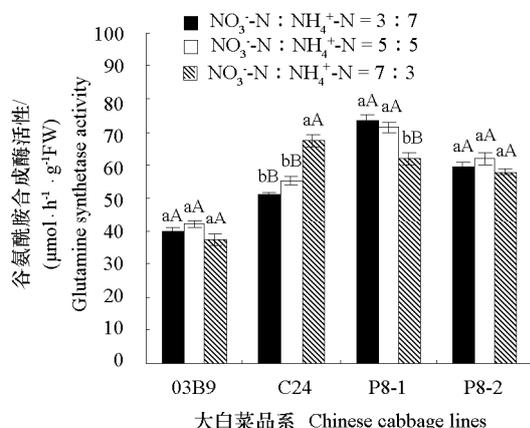


图 6 不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 对大白菜叶柄谷氨酰胺合成酶活性的影响

Fig. 6 Effects of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios on the activity of GS in Chinese cabbage petioles

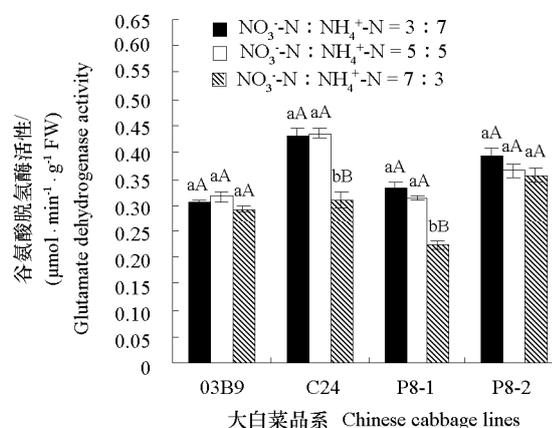


图 7 不同比例 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 对大白菜叶柄谷氨酸脱氢酶活性的影响

Fig. 7 Effects of different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ratios on glutamate dehydrogenase activity in Chinese cabbage petioles

## 2.5 不同比例硝态氮与铵态氮对叶柄电导率和 MDA 含量的影响

感病品系 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为 3 : 7 与 7 : 3 电导率差异显著, 且明显高于抗病品系 (图 8)。抗病品系叶柄电导率受硝铵比例影响较小, 说明感病品系叶柄中细胞膜结构遭到破坏, 电解质外渗。

MDA 是脂质过氧化的产物, 可以表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱 (王

爱国 等, 1996)。感病品系 MDA 含量明显高于抗病品系, 且高铵处理与低铵处理差异显著 (图 9)。说明硝铵比对感病品系细胞膜结构有较大影响, 营养液中铵态氮比例升高, 使大白菜叶柄内铵态氮积累, 造成细胞膜损伤, 使细胞膜发生脂膜过氧化反应, 表现出 MDA 含量的升高。

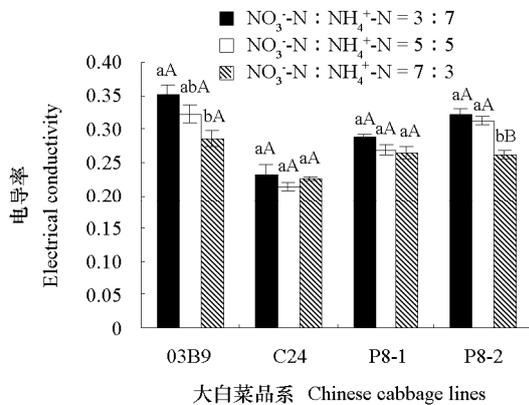


图 8 不同比例  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 对叶柄电导率的影响

Fig. 8 Effects of different  $\text{NO}_3^-$ -N :  $\text{NH}_4^+$ -N ratios on electrical conductivity in Chinese cabbage petioles

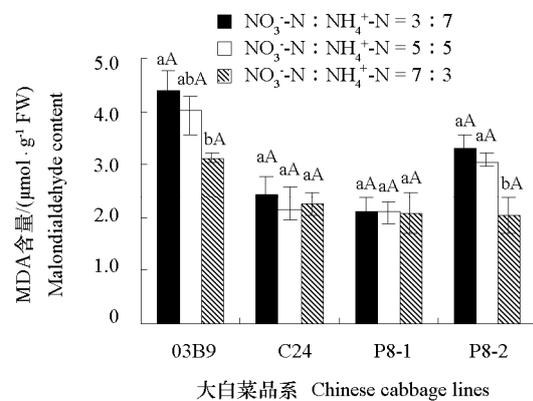


图 9 不同比例  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 对叶柄 MDA 含量的影响

Fig. 9 Effects of different  $\text{NO}_3^-$ -N :  $\text{NH}_4^+$ -N ratios on MDA content in Chinese cabbage petioles

## 2.6 不同比例硝态氮与铵态氮对叶柄多酚含量和多酚氧化酶活性的影响

在不同比例  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 对叶柄多酚含量的影响 (图 10) 中, 抗病品系多酚含量随硝铵比升高而降低, 表明在抗病品系中提高营养液中铵态氮含量能增加多酚含量。感病品系与抗病品系相反, 随硝铵比升高多酚含量增加。03B9 品系在营养液硝铵比为 3:7 时多酚含量最低, 与其黑芝麻状斑点发生情况最重相一致, 因此认为芝麻状斑点病发生与多酚被氧化有关。

在氮形态对叶柄多酚氧化酶 (PPO) 活性的影响 (图 11) 中, 感病品系 03B9 和 P8-2 叶柄 PPO 活性高于抗病品系 C24 和 P8-1, 并且随硝态氮比例升高, PPO 活性明显降低, 与黑芝麻状斑点发生趋势相反; 而硝铵比对抗病品系叶柄多酚氧化酶活性影响较小, 因此芝麻状斑点病的发生可能与多酚氧化酶活性增加有关, 多酚在 PPO 的作用下氧化成醌类物质, 表现出黑芝麻状斑点症状。

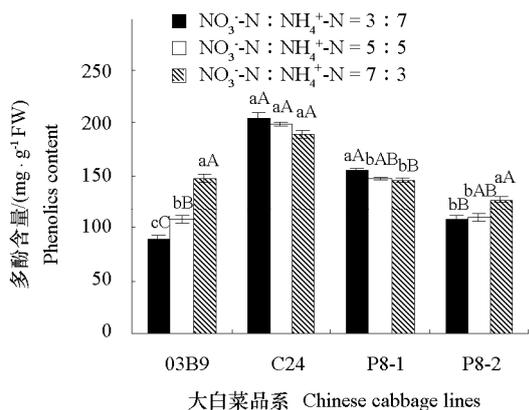


图 10 不同比例  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 对叶柄多酚含量的影响

Fig. 10 Effects of different  $\text{NO}_3^-$ -N :  $\text{NH}_4^+$ -N ratios on total phenolics in petioles

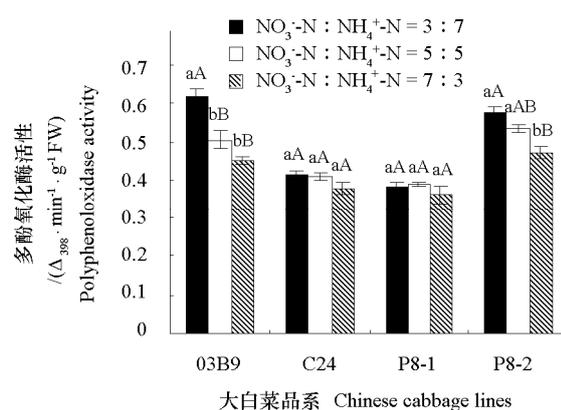


图 11 不同比例  $\text{NO}_3^-$ -N 与  $\text{NH}_4^+$ -N 对叶柄多酚氧化酶活性的影响

Fig. 11 Effects of different  $\text{NO}_3^-$ -N :  $\text{NH}_4^+$ -N ratios on PPO activity in petioles

### 3 讨论

Magnar (1976) 研究表明, 同时供给作物两种形态的氮素, 植株吸收硝态氮的数量会因  $\text{NH}_4^+$  的存在而降低。其原因可能是  $\text{NH}_4^+$  的同化酶降低了硝酸盐转运蛋白活性或其合成速率, 也可能是其存在抑制了其体内硝酸盐的同化作用。但 Mngel 和 Kirkby (1982) 认为  $\text{NH}_4^+$  抑制了硝酸还原酶的活性。硝酸还原酶被认为是硝态氮吸收同化过程中主要的限速酶, 尤其是喜硝态氮作物, 硝酸还原酶在氮素同化营养中起着关键的作用, 直接影响着硝态氮在作物体内转化与吸收。本研究结果与 Mngel 和 Kirkby (1982) 的结果相似, 随营养液中硝铵比降低, 植株体内铵态氮含量升高, 硝酸还原酶活性降低, 而植株体内硝态氮含量受硝铵比影响较小。

谷氨酸脱氢酶 (GDH) 普遍存在于植物体内。由于高浓度的铵能诱导 GDH 活性增强, 推测 GDH 可能在缓解  $\text{NH}_4^+$  对植物毒害方面有一定的作用 (黄国存和田波, 2001)。大白菜芝麻状斑点病抗病品系铵态氮含量低于感病品系, 可能是抗病品系较高的 GDH 活性提高了铵态氮的同化能力, 防止了过多铵态氮积累对植株的毒害作用。

本试验结果表明, 铵态氮比例增大能使感病品系 MDA 含量升高。近年来的大量研究表明, 植物在逆境胁迫或衰老过程中, 细胞内活性氧代谢平衡被破坏而有利于活性氧的积累。由于活性氧引发或加剧的膜脂过氧化作用, 造成细胞膜系统损伤, 从而产生 MDA, 所以可以通过测定植物中 MDA 的含量来判断植物受到逆境的伤害 (刘国花, 2006)。本研究中 MDA 变化规律与黑芝麻状斑点病发生趋势一致, 说明细胞膜受到损伤与芝麻状斑点病的发生有关。

抗、感品系多酚含量差异明显, 高铵能促进抗病品系多酚含量的升高; 而感病品系在高铵处理下细胞膜遭到破坏, 可能使液泡内的酚类物质与细胞质中的多酚氧化酶接触, 导致酚类物质被氧化成醌类物质, 出现褐变。

综上所述, 本试验结果表明营养液中铵态氮的比例增加, 影响氮素代谢中有关酶类的活性, 使植株体内铵态氮过量积累, 导致细胞膜系统受到伤害, 使液泡内的酚类物质与细胞质中的多酚氧化酶接触, 酚类物质被氧化成醌类物质引起褐变, 在叶柄表面表现出芝麻斑点症状。为了避免或减轻大白菜芝麻状斑点病的发生, 在大白菜生产中应选用抗病品种; 栽培中适当减少氮肥用量, 氮肥用量以每公顷氮素总量不超过 350 kg 为宜; 应适量减少基肥氮素用量并少量分次施用; 应避免使用铵态氮肥, 可优先使用硝态氮肥, 如硝酸钙。

### References

- Brecht J K, Sherman M, Bergsma K, Stall W M, Shuler K D. 1987. Influence of postharvest conditions on black speck of Chinese cabbage. HortScience, 22: 1128.
- Burt J, Phillips D, Gatter D. 2006. Growing Chinese cabbage in Western Australia. Bulletin No.4673 - ISSN 1833 - 7244. <http://www.agric.wa.gov.au/>.
- Daly P, Tomkins B. 1997. Production and postharvest handling of Chinese cabbage (*Brassica rapa* var. *pekinensis*). Barton ACT: Rural Industries Research and Development Corporation.
- Dimsey R, Bairnsdale B N. 1997. Growing Chinese cabbage. Agriculture notes. Department of Primary Industries, State of Victoria, AG0614. ISSN 1329 - 8062.
- Gao Jun-feng. 2006. Plant physiology experiment. Beijing: High Education Press. (in Chinese)
- 高俊风. 2006. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社.
- Huang Guo-cun, Tian Bo. 2001. The physiological role of glutamate dehydrogenase in higher plants. Chinese Bulletin of Botany, 18 (4): 369 - 401. (in Chinese)

- 黄国存, 田 波. 2001. 高等植物中的谷氨酸脱氢酶及其生理作用. *植物学通报*, 18 (4): 369 - 401.
- Liu Guo-hua. 2006. Research progress in mechanism of plant resistance to salt stress. *Journal of Anhui Agri Sci*, 34 (23): 6111 - 6112. (in Chinese)
- 刘国花. 2006. 植物抗盐机理研究进展. *安徽农业科学*, 34 (23): 6111 - 6112.
- Magnar D N. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy*, 28: 71 - 118.
- Mngel K, Kirkby E A. 1982. Principles of plant nutrition. Worblaufen-Bern: International Potash Institute: 353 - 354.
- Phillips D R, Gersbach N B. 1989. Factors influencing petiole spotting (gomasho) in Chinese cabbage. *Acta Hort*, 247: 117 - 121.
- 松本美枝子. 1991. ハクサイゴマ症の発生とその防止法に関する研究. 日本富山县农业技术中心研究报告, 11: 1 - 92.
- Studstill D, Simonne E, Brecht J, Gilreath P. 2007. Pepper spot ("Gomasho") on Napa cabbage. <http://edis.ifas.ufl.edu/hs352>.
- Tadolini B, Juliano C, Piu L, Franconi F, Cabrini L. 2000. Resveratrol inhibition of lipid peroxidation. *Free Radic Res*, 33 (1): 105 - 114.
- Wang Ai-guo, Shao Cong-ben, Luo Guang-hua. 1996. Inquiry into malondialdehyde as index of peroxidation of plant lipids. *Plant Physiology Communications*, (2): 55 - 57. (in Chinese)
- 王爱国, 邵从本, 罗广华. 1996. 丙二醛作为植物脂质过氧化指标的探讨. *植物生理学通讯*, (2): 55 - 57.
- Wang Yun-hua, Wang Zhi-qiang, Zhang Chu-fu, Zhou Zhong-xin, Ma Jing-kun, Ou Ji-quan. 2004. Effects of nitrate nitrogen on activities of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase during development of cucumber cotyledon. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 22 (6): 534 - 538. (in Chinese)
- 王云华, 王志强, 张楚富, 周忠新, 马敬坤, 欧吉权. 2004. 硝态氮对黄瓜子叶谷氨酰胺合成酶和谷氨酸脱氢酶活性的影响. *武汉植物学研究*, 22 (6): 534 - 538.
- Yang Xiao-yun, Zhang Shu-xia, Zhang Qing-xia, Wang Dian-chun, Gao Xiao-rong, Yin Tong-ping. 2006a. The effects of gene type on the occurrence of petiole spot in Chinese cabbage and resistance varieties screening. *Northern Horticulture*, (6): 25 - 26. (in Chinese)
- 杨晓云, 张淑霞, 张清霞, 王殿纯, 高晓蓉, 尹同萍. 2006a. 基因型对大白菜小黑点病发生的影响及抗病品种筛选. *北方园艺*, (6): 25 - 26.
- Yang Xiao-yun, Zhang Shu-xia, Zhang Qing-xia, Wang Dian-chun, Gao Xiao-rong, Yin Tong-pin. 2006b. Primary studies on the effects of nitrogen fertilizer on the occurrence of petiole spot in Chinese cabbage. *Acta Agriculturae Borealli-Sinica*, 21 (Supplement): 151 - 153. (in Chinese)
- 杨晓云, 张淑霞, 张清霞, 王殿纯, 高晓蓉, 尹同萍. 2006b. 氮肥对大白菜生理障碍——小黑点病发生影响的初步研究. *华北农学报*, 21 (增刊): 151 - 153.
- Yang Xiao-yun, Zhang Shu-xia, Zhang Qing-xia, Wang Dian-chun. 2007. Basic survey of petiole spot in Chinese cabbage. *China Rural Technology*, (6): 43 - 44. (in Chinese)
- 杨晓云, 张淑霞, 张清霞, 王殿纯. 2007. 大白菜小黑点病发生的基本情况调查. *中国农村科技*, (6): 43 - 44.
- Yu Ye-zhi, Chen Zhen-de, Li De-quan. 2007. Effects of nitrogen forms on the physiological metabolism of Chinese cabbage varieties resisted to petiole spot. *Shandong Agricultural Sciences*, (3): 79 - 82. (in Chinese)
- 于业志, 陈振德, 李德全. 2007. 氮素形态对抗大白菜小黑点病品种生理代谢的影响. *山东农业科学*, (3): 79 - 82.
- Zhao Shi-jie. 2004. Plant physiology experiment. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press. (in Chinese)
- 赵世杰. 2004. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- Zhou Zhong-xin, Yuan Yong-ze, Wang Yun-hua, Ou Ji-quan, Zhang Chu-fu. 2005. Effects of sucrose on the activities of enzymes involved in ammonium assimilation in roots of rice cultivated in different nitrogen source. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 23 (6): 572 - 576. (in Chinese)
- 周忠新, 袁永泽, 王云华, 欧吉权, 张楚富. 2005. 蔗糖对不同氮源培养下水稻根部氨同化相关酶活性的影响. *武汉植物学研究*, 23 (6): 572 - 576.