

三聚氰胺在土壤中的残留及其对大白菜生长的影响

韩冬芳^{1,2}, 王德汉², 黄培钊¹, 段继贤¹, 葛仁山¹, 刘明江¹

(1. 深圳市芭田生态工程股份有限公司, 深圳 518105; 2. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘要: 以‘早熟 5 号’大白菜 (*Beassica pekinensis* L.) 为试材, 采用土施和叶面喷施三聚氰胺方式, 观察并测定相关指标。结果表明, 三聚氰胺在土壤中可发生缓慢降解, 90 d 后不同浓度处理 (40、160 和 800 mg·kg⁻¹) 的土壤中三聚氰胺均有残留, 分别残留 21.1%、15.8% 和 43.6%。三聚氰胺处理浓度越高, 大白菜吸收的量越大。土施试验, 根中最高和最低含量分别为 105.7 和 8.0 mg·kg⁻¹, 茎叶中为 139.9 和 7.1 mg·kg⁻¹, 根吸收三聚氰胺后, 可将其转运到地上部的茎叶中; 叶面喷施试验, 根中最高和最低含量分别为 4.3 和 0.9 mg·kg⁻¹, 茎叶中为 8.5 和 3.2 mg·kg⁻¹。土施 40 mg·kg⁻¹ 三聚氰胺可增产 9.8%, 土施 800 mg·kg⁻¹ 三聚氰胺减产 15.9%, 土施可增加叶绿素和可溶性糖含量, 降低维生素 C 含量, 叶面喷施三聚氰胺对大白菜的生长影响较小。三聚氰胺在土壤中的残留时间长, 大白菜可通过根和茎叶吸收三聚氰胺, 三聚氰胺可影响大白菜的生长状况。

关键词: 三聚氰胺; 土壤; 残留; 大白菜 (*Beassica pekinensis* L.); 生长

中图分类号: X131.3; X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)03-0787-06

Effect of the Melamine Residue in Soil on Growth of Chinese Cabbage

HAN Dong-fang^{1,2}, WANG De-han², HUANG Pei-zhao¹, DUAN Ji-xian¹, GE Ren-shan¹, LIU Ming-jiang¹

(1. Shenzhen Batian Ecotypic Engineering Co. Ltd., Shenzhen 518105, China; 2. College of Nature Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract Soil and foliar application of melamine (ME) treatments to ‘Zaoshu 5’ Chinese cabbage were investigated. The ME was degraded very slowly in soil treated with different dosages (40, 160 and 800 mg·kg⁻¹), and 90 days later the residuals of ME were 21.1%, 15.8% and 43.6% respectively. The Chinese cabbage could take in exogenously applied ME through its root and stem leaf and accumulate it to considerable levels with the increasing applied density. In soil application test, the maximum and minimum contents of ME were 105.7 and 8.0 mg·kg⁻¹ in root and 139.9 and 7.1 mg·kg⁻¹ in stem leaf; the ME transport occurred from root to stem leaf. In foliar application test, the maximum and minimum contents of ME were 4.3 and 0.9 mg·kg⁻¹ in root and 8.5 and 3.2 mg·kg⁻¹ in stem leaf. In soil application test, the low level of ME (40 mg·kg⁻¹) increased the biomass yield by 9.8% and the high level of ME (800 mg·kg⁻¹) decreased the biomass yield by 15.9%; the contents of chlorophyll and soluble sugar increased, but the content of Vitamin C decreased. Foliar application ME had no obvious significance on the growth of Chinese cabbage. The studies indicate that the residual time of ME in soil is long and the Chinese cabbage can absorb exogenously applied ME and ME can affect the growth of Chinese cabbage.

Key words melamine (ME); soil residue; Chinese cabbage (*Beassica pekinensis* L.); growth

三聚氰胺 (melamine, ME) 是一种三嗪类含氮杂环有机化合物, 简称三胺, 又称 2, 4, 6-三氨基-1, 3, 5-三嗪。早在 1834 年首先由德国用氰化钙和氯化铵加热制得, 而其大规模生产则是在 100 a 以后的 20 世纪 30 年代。由于 ME 属于生物惰性物质, 急性毒性很低, 所以人们对其危害并未给予关注。2004 年和 2007 年分别在韩国、台湾和美国发生多起因饲料中添加 ME 引发猫、狗等动物食物中毒的事件^[1~3], 2008 年 9 月在我国出现大批婴幼儿泌尿系统结石病例, 有关 ME 毒性的研究才引起重视。ME 结晶体不易溶解, 在体内的消除很慢, 容易蓄积, 因而可能引起慢性毒性; 动物长期摄入 ME 会造成泌尿系统损害, 引起膀胱及肾的结石, 并可进一步引起移行细胞增生进而诱发膀胱癌^[4~11]。2008 年 4 月智利圣地亚哥报道了首例因三聚氰胺-甲醛树脂职业暴露的

接触性皮炎^[12]。目前国际癌症研究机构 (IARC) 评估 ME 对人类致癌性属于三级, 即对人类的致癌性尚无法分类^[13]。

ME 本身既不是药品也不是食品添加剂, 仅仅是一种化工原料, 正常情况下不应该出现在食品或动物饲料中, 但因其含氮量较高, 加入食品中可产生蛋白质含量虚高的假象, 因而被非法添加到牛奶以及其它蛋白制品中。在植物蛋白粉和饲料中使测试蛋白质含量增加 1%, 使用 ME 的花费只有真实蛋白原料的 20%, 加之三聚氰胺作为一种白色结晶粉末, 无色无味, 所以掺杂后不易被发现^[14]。ME 奶粉事件发生后, 除了奶粉之外, 奶糖、巧克力、咖啡等相

收稿日期: 2009-04-14; 修订日期: 2009-06-12

作者简介: 韩冬芳 (1977~), 女, 博士研究生, 主要研究方向土壤肥料及植物生理, E-mail: dy200502@126.com

关食品也被牵连,已经在生菜、芹菜、西红柿、蘑菇、土豆等农产品中发现有残留的 ME 成分。早在 2007 年,联合国粮农组织就曾指出,作为农药或动物杀虫剂使用的“灭蝇胺”,在分解后可能会产生 ME^[15]。也就是说,使用过“灭蝇胺”的蔬菜等农作物中很有可能检测出由农药残留物转化的 ME。把含 ME 的牛奶倒在农田(土壤)里,ME 是否会污染土壤?有报道指出^[16~18],生产 ME 的废渣全氮含量为 50.01%,养分释放非常缓慢,可以作为生产缓释氮肥的原料进行资源化再利用。倘若土壤或肥料中含有 ME,是否会被植物吸收,污染农作物?有专家认为,真正引起中国各类食品广泛被 ME 污染的原因是因为这种化学品已经通过肥料、饲料进入人类食物链^[19]。目前并没有相关报道直接证明植物是否能吸收 ME。如果植物可以吸收 ME,将对人类的食物链造成严重的威胁,只有从土壤和肥料的源头来控制三聚氰胺的污染,才能最终保证人类食品的安全。本试验采用土施和叶面喷施 ME 方式,以‘早熟 5 号’大白菜为试材,探讨 ME 在土壤中的残留及其对大白菜生长的影响。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

赤红壤,0.7% 的生石灰处理, pH 5.5,有效氮 100.2 mg·kg⁻¹,有效磷 14.0 mg·kg⁻¹,有效钾 61.6 mg·kg⁻¹,有机质 9.0 g·kg⁻¹。试验地点在深圳芭田生态工程股份有限公司试验基地,位于北纬 22°46′,东经 113°50′。

1.2 作物栽培

大白菜 (*Beassica pekinensis* L.) 品种为‘早熟 5 号’,每盆种植 4 株,在大白菜生长期进行相关指标的测定。种植期间适时进行浇水和病虫害防治,不使用含“灭蝇胺”类的农药。

1.3 试验方案

试验共设 8 个处理,空白土 (CK1)、土施 40 mg·kg⁻¹ (T1)、土施 160 mg·kg⁻¹ (T2)、土施 800 mg·kg⁻¹ (T3)、叶面喷清水 (CK2)、叶面喷施 40 mg·L⁻¹ (P1)、叶面喷施 160 mg·L⁻¹ (P2) 和叶面喷施 800 mg·L⁻¹ (P3),每处理 3 个重复,每重复 4 盆。土施是将 ME 与盆土混匀,使用淋溶桶种植,浇水时渗出的液体再倒回桶中,种植时间 2008-12-06 ~ 2009-02-07; 叶面喷施,叶面和叶背均喷到欲滴,喷施时使用塑料薄膜遮盖盆土表面,每隔 10 d 喷施 1 次,共 3 次,种植时间 2008-12-26 ~ 2009-01-17。三聚氰胺 (ME) 为分析纯 (99.5%),上海山浦化工有

限公司生产。

1.4 分析测定方法

三聚氰胺 (ME) 含量的测定: 土壤样品测定,每盆取土 200 g (对称取 3 点,自土表下 3 cm 取样),风干后参照 (GB/T 22388-2008) 测定; 大白菜样品测定,每盆取 1 株,分别取根蒂 2 cm 以上茎叶和整根,鲜样参照 (NY/T 1372-2007) 测定; 均采用液质联用 (LC-MS) 检测,检测限 0.01 mg·kg⁻¹,回收率在 80% ~ 90%,相对标准偏差 < 10%。委托检测机构中国广州分析测试中心深圳天鉴实验室,属国家质检总局公布的 ME 检测机构。

生物量统计带根称鲜重,叶片叶绿素含量采用丙酮提取法测定^[20],叶片可溶性糖含量采用蒽酮法测定^[20],叶片蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定^[20],叶片维生素 C 含量的测定参照《GB/T 6195-86》小黑点病发病率的统计参考杨晓云等^[21]的方法,调查植株的发病情况,统计单株发病叶数的方法评价大白菜小黑点病发生的严重程度。

数据处理均使用 SPSS 软件系统进行分析,图中标识为平均值 ± SE。

2 结果与分析

2.1 土壤中三聚氰胺 (ME) 的残留

从图 1 可以看出,土施 90 d 后,3 个浓度处理的土壤中 ME 含量均有减少, T1 的含量由 33.1 mg·kg⁻¹ 降到 7.0 mg·kg⁻¹, 残留 21.1%; T2 的含量由 125.0 mg·kg⁻¹ 降到 19.8 mg·kg⁻¹, 残留 15.8%; T3 的含量由 612.0 mg·kg⁻¹ 降到 267.0 mg·kg⁻¹, 残留 43.6%。这表明 ME 在土壤会发生降解和转移,但降解的速度较慢,土施 90 d 后在土壤中仍有 ME 残留。

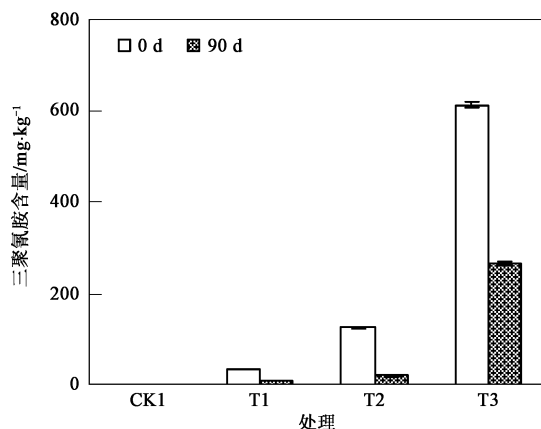


图 1 土壤中三聚氰胺含量的变化

Fig 1 Changes of the melamine content treaten with soil application

2.2 大白菜中三聚氰胺 (ME) 含量的变化

从图 2 可以看出, 土施 ME 的大白菜生长 30 d 后, 根和茎叶中 ME 的含量随着处理浓度的增加而增加, 茎叶中 ME 的含量高于根含量, CK1、T1、T2 和 T3 根中含量分别为 0.8、0.22、1 和 84.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 茎叶中含量分别为 0.9、0.44、2 和 115.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 生长 60 d 后, 根中 ME 的含量增加, T1、T2 和 T3 分别增加了 12.2% (10.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)、40.0% (30.9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 24.8% (105.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 茎叶中 T1 和 T2 的含量下降, 分别为 7.1 和 25.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, T3 含量增加到 139.9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 以上结果表明, 大白菜可吸收土壤中的 ME, 且吸收的量随着土壤 ME 含量的增加及种植时间的延长而增加; 根吸收 ME 后, 可将其转运到茎叶部分, 且有累积效应, 茎叶中的 ME

可能重新转移到根中也可能分解为其它物质参与生理代谢过程.

从图 3 可以看出, 叶喷 ME 的大白菜生长 40 d 后, 茎叶和根中 ME 的含量随着喷施浓度的增加而增大, CK2、P1、P2 和 P3 茎叶中含量分别为 0.3、2.5、5.6 和 8.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 根中含量分别为 0.0、0.3、3.8 和 4.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 这表明大白菜可通过叶面吸收 ME.

2.3 三聚氰胺 (ME) 对大白菜生长的影响

2.3.1 三聚氰胺 (ME) 对大白菜生物量的影响
施用氮肥, 可以增加蔬菜的产量, 但是超过一定限度, 其作用就会大大降低, 甚至降低蔬菜产量, 威胁作物生长. 从图 4 (a) 可以看出, 土施 ME 低浓度

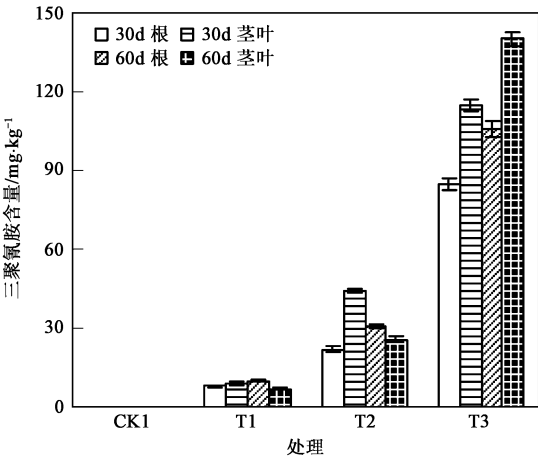


图 2 土施三聚氰胺对大白菜根和茎叶中三聚氰胺含量的影响
Fig 2 Effects of the melamine content of root and stem leaf of the Chinese cabbage treated with soil application of melamine

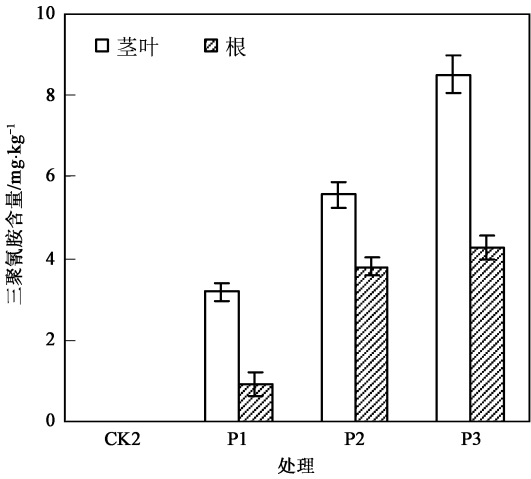


图 3 叶面喷施三聚氰胺对大白菜根和茎叶中三聚氰胺含量的影响
Fig 3 Effects of the melamine content of root and stem leaf of the Chinese cabbage treated with foliar application of melamine

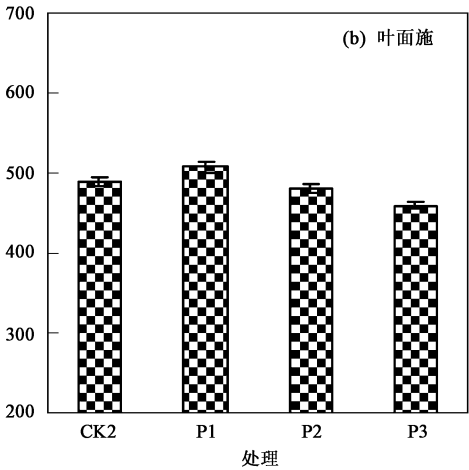
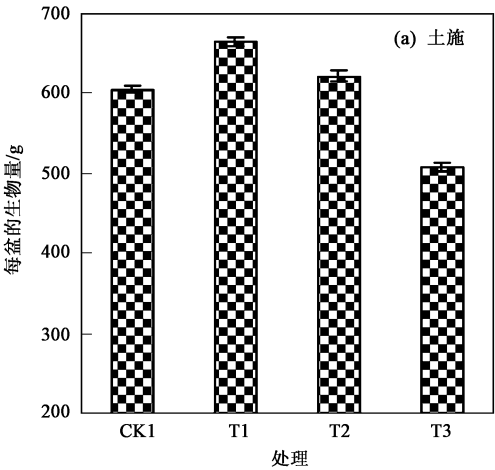


图 4 三聚氰胺对大白菜生物量的影响

Fig 4 Effects of the melamine on the biomass yield of Chinese cabbage

处理 (T1和 T2)与对照 (CK1)相比,可增加大白菜的生物量,而高浓度处理 (T3)与对照相比,大大降低了生物量,CK1、T1、T2和 T3每盆的生物量分别为 604.3、663.5(比 CK1增产 9.8%,达到极显著水平)、621.3(比 CK1增产 2.8%,达到显著水平)和 508.4 g(比 CK1减产 15.9%,达到极显著水平).从图 4(b)可以看出,叶面喷施 ME 对大白菜的生物量影响不大,P1的生物产量略高于对照 (CK2),P2和 P3的生物产量略低于 CK2.经统计分析,处理间产量差异均未达显著水平.

2.3.2 三聚氰胺 (ME)对大白菜品质的影响

光合作用是植物生长发育和产量形成的物质基础,叶绿素是与植物进行光合作用有关的重要色素.从表 1可以看出,T1、T2和 T3的叶绿素含量均高于 CK1,T3的含量最高,与对照相比达到显著水平;从表 2看出,叶面喷施 ME 处理,未增加叶绿素含量.

表 1 土施三聚氰胺对大白菜品质的影响¹⁾

Table 1 Effects of the soil application melamine on the quality of Chinese cabbage				
处理	叶绿素含量 (鲜重) /mg·kg ⁻¹	可溶性糖含量 (干重) /g·kg ⁻¹	可溶性蛋白质 含量 (鲜重) /g·kg ⁻¹	维生素 C 含量 (鲜重) /mg·kg ⁻¹
CK1	616b	13.4c	1.83a	333a
T1	710b	14.1c	1.62a	232b
T2	962ab	16.0b	1.50a	94b
T3	984a	17.7a	1.58a	190b

1)同列不同字母表示在 0.05水平上显著,下同

表 2 叶面喷施三聚氰胺对大白菜品质的影响

Table 2 Effects of the foliar application melamine on the quality of Chinese cabbage				
处理	叶绿素含量 (鲜重) /mg·kg ⁻¹	可溶性糖含量 (干重) /g·kg ⁻¹	可溶性蛋白质 含量 (鲜重) /g·kg ⁻¹	维生素 C 含量 (鲜重) /mg·kg ⁻¹
CK2	623a	13.2c	2.14a	328a
P1	635a	17.2b	2.34a	305a
P2	657a	20.8a	2.43a	319a
P3	649a	10.6d	2.44a	325a

碳水化合物是植物光合作用的主要产物,统称为糖类.可溶性糖包括葡萄糖、果糖和蔗糖,是影响果蔬品质的重要因素.从表 1看出,T2和 T3的可溶性糖含量均高于 CK1,与对照相比达到显著水平;从表 2看出,叶面喷施 ME 处理,P1和 P2增加了可溶性糖的含量,P3降低了可溶性糖的含量.

植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与各种代谢的酶类,测其含量是了解植物体总代谢的一个重要指标,同时也是植物品质的重要构成性状之一.从

表 1和表 2可看出,与对照相比,土施和叶面喷施 ME 均未影响大白菜叶片中可溶性蛋白质的含量.

蔬菜中的维生素 C 含量是判定其营养品质好坏的一项重要指标.从表 1还可看出,T1、T2和 T3的维生素 C 含量均低于 CK1,与对照 (CK1)相比达到显著水平,表明土施 ME 处理降低了大白菜叶片中维生素 C 的含量;从表 2可看出,与对照 (CK2)相比,叶面喷施 ME 处理未影响大白菜维生素 C 的含量.

2.3.3 三聚氰胺 (ME)对大白菜小黑点病发病的影响

大白菜小黑点病是一种生理病害,发病程度与氮肥施用量及种类有密切关系.从图 5(a)可以看出,土施 ME,随着浓度的增加及种植时间的延长,小黑点病的发病叶片数明显增多,25 d 时统计数据显示 CK1未发病,T3单株发病叶数 2.4,32 d 时,CK1单株发病叶数 0.4,T3单株发病叶数增加到 4.2 为 CK1的 10.5 倍.叶面喷施处理,随着喷施浓度的增加,与 CK2相比,在 25 d 和 32 d 均没有增加发病的叶片数 [图 5(b)].

3 讨论

ME 是清洁产品、防水胶合板、塑料复合材料、水泥、墨水和防火涂料的常见成分^[22].值得注意的是,ME 不仅广泛用于工业领域,还应用于农业,肥料公司常常向产品中添加 ME,因为这有助于控制渗入土壤中氮的比率,而政府没有这方面的具体规定.本试验证实,大白菜可通过根和叶片吸收 ME 分子,处理浓度越高吸收的量越大;大白菜吸收 ME 后,根中的 ME 可转运到茎叶,茎叶中的 ME 也可能转运到根.农作物一旦吸收 ME 后,就将 ME 带入了人类食物链的源头.2007年美国食品与药品管理局 (FDA)对 ME 污染宠物饲料原料小麦蛋白粉和大米蛋白粉的检测表明,原料中三聚氰胺检出范围在 12~80 g·kg⁻¹,原料加工产品包括宠物食品、猪和家禽饲料中三聚氰胺检出范围在 0.914~1.952 g·kg⁻¹^[23~25].植物性蛋白产品中也检测到 ME,这可能是厂家违规添加的,也可能是生产植物蛋白的原材料小麦大米等在栽培过程中已经受到 ME 的污染所致.

土壤中的 ME 按照三聚氰胺→三聚氰酸一酰胺→三聚氰酸二酰胺→三聚氰酸途径逐步水解,同时释放出氨^[26].ME 在土壤中降解速度缓慢,90 d 后仍不能完全降解,这表明被 ME 污染的土壤,需经过

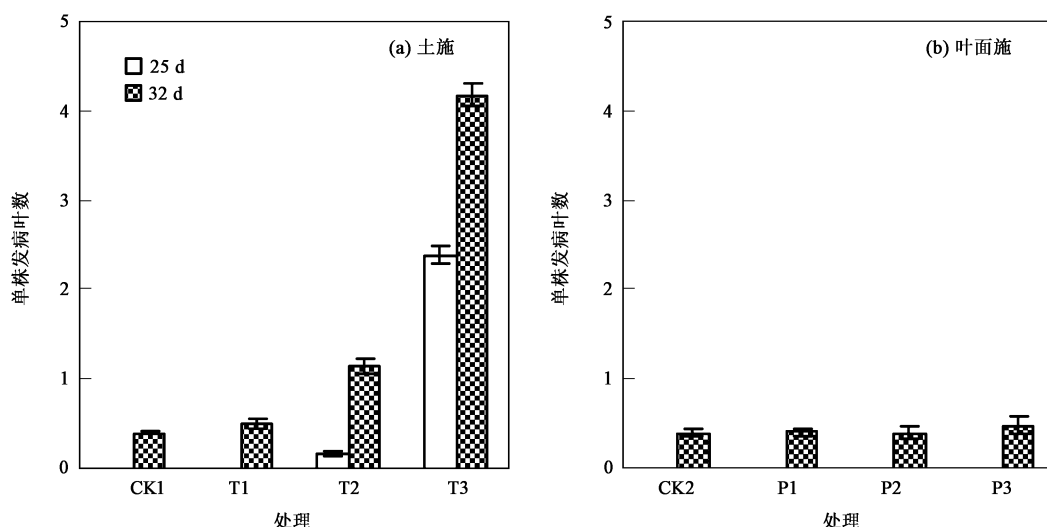


图 5 三聚氰胺对大白菜小黑点病发病率的影响

Fig 5 Effects of melamine on the petiole spot invasion of Chinese cabbage

长时间的净化才能再应用于农业生产。

氮素的丰缺情况直接影响作物的生长, 最终造成产量和品质的不同^[27]. 土施 ME 低浓度可大幅增加大白菜产量, 高浓度大大降低了产量, 土施 $800 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 减产 15.9%, 严重影响大白菜的生长, 可能是氮素过量 and ME 直接影响大白菜生理代谢过程的双重结果. 土施 ME 大白菜叶片叶绿素和可溶性糖含量随着处理浓度的增加而增大, 有研究表明施氮可显著提高作物叶片的叶绿素含量和光合效率, 从而影响植株的生长发育而间接影响 CO_2 同化和光合产物的积累^[28, 29]. 土施 ME 大白菜叶片维生素 C 的含量随着处理浓度的增加而降低, 有研究表明, 施用氮肥在最适范围内, 可以增加蔬菜中的维生素 C 含量^[30], 而大量研究则表明, 使用氮肥大大降低了蔬菜中维生素 C 的含量, 且与施氮量呈负相关关系^[31~34]. 随着土施 ME 浓度的增加及种植时间的延长, 小黑点病的发病叶片数明显增多, 于业志等^[35]研究表明, 在相同栽培条件下, 氮素肥料用量增加小黑点病的发生加重. 综上表明 ME 在土壤中可分解为植物可吸收的氮形态, 从而影响了大白菜的生理代谢过程, 表现为产量、叶绿素、可溶性糖和维生素 C 含量的变化及大白菜小黑点病的发生. 叶面喷施 ME 时, 大白菜直接以 ME 分子的形态吸收, 对大白菜产量和品质影响较小, 但高浓度喷施大大降低了大白菜叶片中可溶性糖的含量, 这表明 ME 分子可能可直接影响大白菜的某些生理代谢过程. ME 如何影响植物生理代谢的过程, 还有待进一步研究.

据估算我国 ME 废渣每年约有 150 万 t, 含氮约 40%, 近 60 万 t 的纯氮量应合理科学使用^[18]. 生产 ME 的废渣不能直接作为肥料, 经无害化处理后 (经过化学处理或生物/微生物分解) 是否可作为肥料添加剂, 还有待进一步研究.

4 结论

(1) ME 在土壤中可发生缓慢降解, 土施 90 d 后, 3 个浓度处理的土壤中 ME 含量均有减少, 但 ME 仍有残留.

(2) 大白菜可通过根和茎叶吸收 ME 分子, 处理浓度越高吸收的量越大; 大白菜根吸收 ME 后, 可将其转运到茎叶.

(3) ME 可影响大白菜的生长, 土施 ME 可影响大白菜的产量、叶绿素含量、可溶性糖含量、维生素 C 含量及小黑点病发生率; 叶面喷施 ME 时, 对大白菜产量和品质影响较小.

参考文献:

- [1] Brown C A, Jeong K S, Poppenga R H, *et al* Outbreaks of renal failure associated with melamine and cyanuric acid in dogs and cats in 2004 and 2007 [J]. J Vet Diagn Invest 2007, 19(5): 525-531
- [2] Thompson M E, Lewin-Smith M R, Kaksinsky V F, *et al* Characterization of melamine containing and calcium oxalate crystals in three dogs with suspected pet food induced nephrotoxicosis [J]. Vet Pathol 2008, 45(3): 417-426
- [3] Cianciolo R E, Bischoff K, Ebel J G, *et al* Clinicopathologic, histologic and toxicologic findings in 70 cats inadvertently exposed to pet food contaminated with melamine and cyanuric

- acid [J]. J Am Vet Med Assoc, 2008, **233** (5): 729-737
- [4] Mast R W, Jeffcoat A R, Sadler B M, *et al*. Metabolism, disposition and excretion of [14C] melamine in male Fischer 344 rats [J]. Food Chem Toxicol, 1983, **21**: 807-810.
- [5] Baynes R E, Smith G, Mason S E, *et al*. Pharmacokinetics of melamine in pigs following intravenous administration [J]. Food Chem Toxicol, 2008, **46** (3): 1196-1200.
- [6] Buur J L, Baynes R E, Riviere J E. Estimating meat withdrawal times in pigs exposed to melamine contaminated feed using a physiologically based pharmacokinetic model [J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2008, **51** (3): 324-331.
- [7] 林祥梅, 王建峰, 贾广乐, 等. 三聚氰胺的毒性研究 [J]. 毒理学杂志, 2008, **22** (3): 216-218.
- [8] Puschner B, Poppenga R H, Lowenstein L J *et al*. Assessment of melamine and cyanuric acid toxicity in cats [J]. J Vet Diagn Invest, 2007, **19** (6): 616-624.
- [9] Reinschuessel R, Giesecke C M, Miller R A, *et al*. Evaluation of the renal effects of experimental feeding of melamine and cyanuric acid to fish and pigs [J]. Am J Vet Res, 2008, **69** (9): 1217-1228.
- [10] Heckh D, Tyl R W. The induction of bladder stones by terephthalic acid, dimethyl terephthalate and melamine (2, 4, 6-triamino-s-triazine) and its relevance to risk assessment [J]. Regul Toxicol Pharmacol, 1985, **5** (3): 294-313.
- [11] Melnick R L, Boorman G A, Hasman J K, *et al*. Urolithiasis and bladder carcinogenicity of melamine in rodents [J]. Toxicol Appl Pharmacol, 1984, **72** (2): 292-303.
- [12] Juan G, Manuel L M, Virginia F R, *et al*. Contact allergic dermatitis from melamine formaldehyde resins in a patient with a negative patch-test reaction to formaldehyde [J]. Dermatitis, 2008, **19** (1): 526.
- [13] IARC (International Agency for Research on Cancer). Some chemicals that cause tumours of the kidney, or urinary bladder in rodents and some other substances [J]. IARC Monogr Eval Carcinogen Risks Hum, 1999, **73**: 329-338.
- [14] 陈植, 蒋也平. 三聚氰胺的毒性研究进展 [J]. 中国社区医师, 2008, **24** (20): 10.
- [15] 王辉, 董元华, 安琼. 环丙氨嗪 (Cyanazine) 的生物毒性与环境行为研究进展 [J]. 农业工程学报, 2008, **24** (1): 246-249.
- [16] Shavque M L. Recovery of solids from melamine waste effluents and their conversion to useful products [J]. Ind Eng Chem Res, 1989, **28**: 500-504.
- [17] 梁英, 井大伟, 杨广怀, 等. 三聚氰胺废渣氮素释放特征及影响因素研究 [J]. 中国农学通报, 2008, **24** (10): 317-321.
- [18] 成杰民, 陈学, 龚勇. 三聚氰胺废渣农用的可行性研究 [J]. 农业环境科学学报, 2003, **22** (2): 194-198.
- [19] 徐建超. 不能忽略三聚氰胺的长期损害 [EB/OL]. <http://bbs.tencn/thread-301155-1-1.html> 2008-11-02.
- [20] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学试验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999, 95-150.
- [21] 杨晓云, 张淑霞, 张清霞. 氮肥对大白菜生理障碍——小黑点病发生影响的初步研究 [J]. 华北农学报, 2006, **21** (增刊): 151-153.
- [22] 汪家铭. 我国三聚氰胺发展概况及市场前景 [J]. 化工设计通讯, 2008, **34** (2): 15-22.
- [23] FDA. Interim melamine and analogues safety/risk assessment [EB/OL]. <http://www.fda.gov/OHRMS/DOCKETS/98fr/07n-20208-ra00001.pdf> 2007-05-24.
- [24] Swaninathan N. Special report the poisoning of our pets [EB/OL]. Scientific American. <http://www.sciam.com/article.cfm?id=pet-food-recall+poison.html> 2007-03-28.
- [25] Abuzzese S. FDA says livestock were fed pet food with suspect chemicals [EB/OL]. New York Times <http://www.nytimes.com/2007/04/25/us/25petfood.html> 2007-04-25.
- [26] Kathrin J. The degradative pathway of the S-fiazine melamine [J]. J Biochem, 1982, **208**: 679-684.
- [27] 陆欣. 土壤肥科学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001, 188-203.
- [28] 戴延波, 曹卫星, 荆奇. 氮形态对不同小麦基因型氮素吸收和光合作用的影响 [J]. 应用生态学报, 2001, **12**: 849-852.
- [29] 杨晴, 李雁鸣, 肖凯. 不同施氮量对小麦旗叶衰老特性和产量性状的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2002, **25** (4): 20-24.
- [30] 李会合, 郭丹. 不同氮肥用量对莴笋品质的影响 [J]. 北方园艺, 2007, **10**: 4-6.
- [31] 赵凤艳, 魏自民, 陈翠玲. 氮肥用量对蔬菜产量和品质的影响 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2001, **17** (1): 43-44.
- [32] 杨竹青. 不同氮肥品种用量对蔬菜生长的影响 [J]. 长江蔬菜, 1994, **4**: 24-25.
- [33] 吴多三. 蔬菜品质与施肥 [J]. 北京农业科学, 1997, **15** (1): 28-32.
- [34] 胡承孝, 邓波儿, 刘同仇. 氮肥水平对蔬菜品质的影响 [J]. 土壤肥料, 1996, **3**: 34-36.
- [35] 于业志, 陈振德, 李德全. 氮素形态对抗大白菜小黑点病品种生理代谢的影响 [J]. 山东农业科学, 2007, **3**: 79-82.