

DOI:10.11937/bfy.201618045

氮镉互作下双氰胺对小白菜地尿素转化及土壤酶活性的影响

李素霞, 张继红, 莫小荣

(钦州学院 资源与环境学院, 广西 钦州 535000)

摘要:以“上海青”小白菜为试材,采用盆栽方法,研究了氮($0.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{土}$)、镉($2.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{土}$)互作条件下,添加硝化抑制剂双氰胺(DCD,为纯氮的5%、10%、20%分别为处理1、2、3)对小白菜地土壤中 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、有效镉转化以及土壤酶活性的影响。结果表明:在试验范围内,添加DCD能显著降低土壤 NO_3^--N 的累积量,分别降低42.23%、98.45%,DCD施入量为纯氮的20%时土壤中 NO_3^--N 未检出;且施入双氰胺的量与 NH_4^+-N 的转化量、 NO_3^--N 的转化量呈极显著的正相关和负相关,相关系数分别为0.998、0.993。同时,能够显著影响土壤脲酶活性、蛋白酶活性、蔗糖酶活性、酸性磷酸酶活性和土壤有效镉的转化,且土壤脲酶活性与土壤有效镉之间存在极显著相关性,相关系数达0.999,土壤蛋白酶活性、蔗糖酶活性以及土壤酸性磷酸酶活性在不同处理下均有不同程度的变化,与对照相比,处理1与处理3显著提高了土壤蛋白酶及蔗糖酶活性,3个处理均显著提高酸性磷酸酶活性。这说明氮镉交互作用下,添加双氰胺能显著降低土壤 NO_3^--N 的累积量、显著提高土壤酶活性,可以作为试验范围内菜地土壤系统的有效改良材料。

关键词:双氰胺(DCD);氮;镉;土壤酶活性;小白菜地

中图分类号:S 634.306⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)18-0180-05

小白菜是大众型蔬菜,适宜人群广,食用频率高。但随着现在城郊型菜地氮肥的过量施用以及工业“三

废”的排放,城郊型蔬菜尤其是小白菜类等的叶菜体内硝酸盐及重金属含量超标,因此,探索农业生产中氮素高效利用、重金属清洁化管理、作物高产和优质模式已成为人们追求的目标。刘瑜等^[1]研究表明,北京地区典型褐土中添加不同浓度水平的硝化抑制剂双氰胺

第一作者简介:李素霞(1976-),女,新疆玛纳斯人,硕士,副教授,研究方向为农田重金属污染修复。E-mail:zyclsx1122@126.com.
收稿日期:2016-04-20

Effect of Soil Organic Matter on Nitrogen Soil Nutrition of Orchard and Field in Rain Fed Area of Longdong

YAO Zhilong

(College of Agriculture and Forestry, Longdong University, Qingyang, Gansu 745000)

Abstract: This experiment was conducted in 30 orchards and nearly field on rain fed area of Longdong. Aimed to research effects of soil organic matter on nitrogen in soil. The results showed the average soil organic matter was $13.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in orchard soil. Also, the average total nitrogen was $0.75\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, the average available nitrogen was $75.97\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. But in field soil, the average soil organic matter, the average total nitrogen, and the average available nitrogen separately were $10.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $0.70\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, $52.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. The content of organic matter, total nitrogen and available nitrogen were significantly higher in orchard than field. The correlation between soil organic matter and total nitrogen content was $y=0.064\ 3x+0.032\ 4$ ($R^2=0.707\ 3$) in field soil. The correlation between total nitrogen and available nitrogen content was $y=57.917x+11.808^*$ ($R^2=0.659\ 5$). But the above correlation was not found in orchard soil.

Keywords: orchard soil; field soil; organic matter; nitrogen nutrition; correlation

(DCD),其土壤中铵态氮、硝态氮变化规律为 44 d 培养期内,DCD 施用能显著提高土壤中 NH_4^+ -N 浓度,降低 NO_3^- -N 浓度,1%、2%、3%、4%和 5%DCD 用量处理条件土壤 NH_4^+ -N 平均浓度比单施尿素对照处理分别升高 29.50%、71.84%、99.73%、98.90%和 139.69%, NO_3^- -N 平均浓度降低 3.71%、15.61%、21.07%、33.57%和 37.90%。IRIGOYEN 等^[2]、余光辉等^[3]、MONTEMURRO 等^[4]研究硝化抑制剂 DCD 施用对蔬菜硝酸盐含量影响的结果表明,菠菜硝酸盐含量降低 18%~61%,小白菜中硝酸盐含量降低 44.1%。但也有研究指出,施用 DCD 后,小麦产量降低了 9%^[5],牧草和茼蒿的产量变化不大;WEISKE 等^[6]的 3 年田间试验则没有发现 DCD 的施用对燕麦、玉米和冬小麦产量有显著影响。

现以“上海青”小白菜为试材,研究氮镉交互作用下添加不同水平的双氰胺(DCD)对土壤中铵态氮、硝态氮、有效镉转化特征以及土壤酶活性的影响,以期寻找在氮镉交互作用下双氰胺的最佳用量,为城郊型菜地农产品安全提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小白菜(*Brassica chinensis*)品种为“上海青”。供试土壤为潮土,土壤 pH(H_2O)为 7.65,有机质 $23.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $46.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $25.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全镉(Cd) $0.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试改良剂为双氰胺,购自上海楷洋生物技术有限公司,Cd 未检出。

1.2 试验方法

试验共设 3 个处理,处理 1:对照+DCD(尿素的 5%);处理 2:对照+DCD(尿素的 10%);处理 3:对照+DCD(尿素的 20%),以底肥(P_2O_5 $0.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ + K_2O $0.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ + $0.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}\text{N}$ + $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{Cd}$)为对照(CK)。每个处理重复 3 次。

将土壤风干,过 2 mm 尼龙筛,每盆装风干土 5 kg,4 月 24 日装盆,按设计处理加入试剂,氮磷钾分别采用尿素、过磷酸钙、磷酸二氢钾为肥源,镉采用 $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$,按设计量溶于水稀释均匀拌入土壤,氮、磷、钾及双氰胺 1 次以固体颗粒形状均匀施入土中,然后浇水至田间持水量的 60%,平衡 7 d。5 月 2 日播种,出苗 7 d 后定苗 8 株。在小白菜生长期,随机调换每盆小白菜的位置以消除不同位置的光温等条件差异对其生长发育的影响,整个生育期内以蒸馏水浇灌。经常松土、除草及防治虫害,试验于 2013 年 6 月 21 日收获。

1.3 项目测定

供试土壤基本理化性质采用常规分析方法^[7];土壤脲

酶活性采用苯酚钠比色法测定^[8];土壤蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[8];土壤蛋白酶活性采用茚三酮比色法测定^[8];土壤酸性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定^[8];土壤有效 Cd 采用 DTPA 浸提,原子吸收法测定^[9];土壤 NH_4^+ -N 采用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 浸提,靛酚蓝比色法测定^[7];土壤 NO_3^- -N 采用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 浸提,FLAstar5000 流动注射分析仪测定。

1.4 数据分析

所有数据均采用 Excel 2013 和 DPS 软件的程序统计分析,各处理平均值的多重比较采用 Duncan-test 法。

2 结果与分析

2.1 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤铵态氮及硝态氮转化的影响

由图 1 可知,在小白菜地镉污染的条件下,施用不同处理的双氰胺对氮的水解与转化有显著($P < 0.05$)影响,对土壤 NH_4^+ -N 的变化而言,随着双氰胺浓度(分别为尿素的 0.5%、10%、20%)的增加,土壤中 NH_4^+ -N 的累积量逐步增加,与对照相比均呈显著性差异,分别增加 10.78%、21.22%、45.97%。同时还发现,不同处理的 DCD 用量对土壤硝化作用也有一定的影响,由图 2 可知,呈极显著正相关, $y = 22.238x + 96.66$ ($R^2 = 0.998$, $n = 4$),同样也证明了随着硝化抑制剂用量的增加抑制效果更加显著。对 NO_3^- -N 的变化而言,随着双氰胺浓度(分别为纯氮的 0.5%、10%、20%)的增加,土壤中 NO_3^- -N 的累积量逐步减少,与 NH_4^+ -N 不同随着 DCD 用量的增加,土壤中 NO_3^- -N 累积量减少,DCD 施用量与土壤 NO_3^- -N 累积量呈极显著负相关关系, $y = -0.686x + 7.132$ ($R^2 = 0.993$, $n = 3$)(当 DCD 的加入量为尿素的 20%时,土壤中 NO_3^- -N 未检出),降低了土壤中 NO_3^- -N 的淋溶,而且降低了小白菜吸收硝酸盐的几率及小白菜体内硝酸盐的积累,从而也降低了对人体威胁的风险。

2.2 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤脲酶活性及有效镉转化的影响

脲酶是一种含镍的寡聚酶,为土壤中的主要酶类之一,能够专一催化尿素水解。由于尿素只有在土壤脲酶的作用下,水解成 NH_4^+ -N 后才可被大量吸收,因此脲酶活性对尿素在土壤中的转化和肥效的发挥起着关键作用。由图 3 可知,在镉污染条件下,不同处理的 DCD 对尿素的水解有不同程度的影响,且均达显著($P < 0.05$)差异。处理 1 与处理 3 显著低于对照,与对照相比分别降低了 29.66%和 26.27%,处理 2 显著高于对照,与对照相比提高了 5.93%。总体来看,不具有较强的规

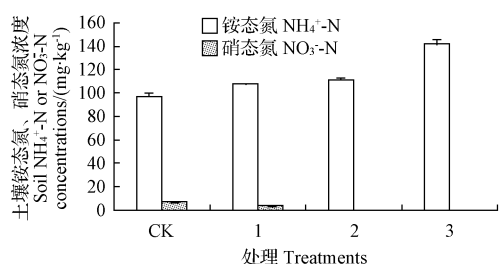


图1 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的影响

Fig. 1 Effect of DCD application on soil NH₄⁺-N and NO₃⁻-N cumulant under cadmium pollution

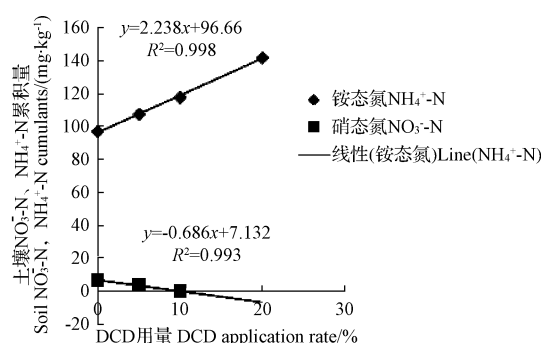


图2 土壤中 NH₄⁺-N 与 NO₃⁻-N 累积量与 DCD 用量相关性

Fig. 2 Correlation between NH₄⁺-N and NO₃⁻-N cumulant and DCD application rate

律性,这与王雅楣^[10]的研究结果不一致,可能与镉污染有一定的关系。由图 4 可知,不同处理的 DCD 对镉在土壤的转化也有不同程度的影响,处理 1 显著增加镉在土壤中的转化,与对照相比,有效镉提高 9.24%,处理 2、处理 3 与对照相比差异不显著,但是,处理 2 与对照相比有降低的趋势,降低 0.48%,处理 3 有升高的趋势,提高 3.60%。试验结果表明,在试验范围内低浓度的 DCD 对镉转化为有效镉有一定的刺激作用,而随着 DCD 浓度的增加,这种作用趋于平稳,处理 2、处理 3 与对照相比,仅数值略有改变,但是处理间差异均不显著。由图 5 可知,土壤有效镉与土壤脲酶活性呈极显著相关性, $y=4.057x^2-12.75x+10.10$ ($R^2=0.999$, $n=4$),土壤有效镉对土壤脲酶活性起着极显著的抑制作用,土壤脲酶活性随着土壤有效镉的起伏变化而变化。为此,在镉污染条件下,施用双氰胺抑制尿素水解的同时,也会影响到土壤中有效镉的变化,有效镉的变化直接影响到脲酶活性的变化,这些复杂的关系需进一步研究。

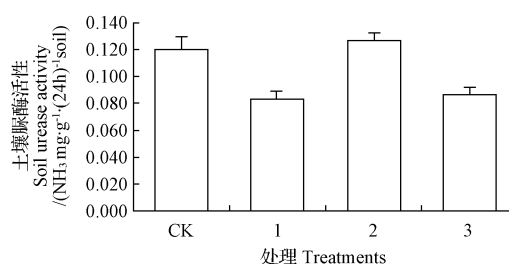


图3 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤脲酶活性的影响

Fig. 3 Effect of DCD application on urease enzyme activity of soil under cadmium pollution

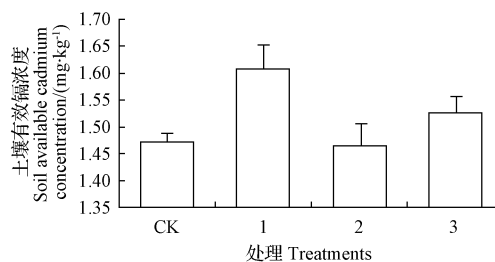


图4 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤有效镉转化的影响

Fig. 4 Effect of DCD application on effective transformation of cadmium in soil under cadmium pollution

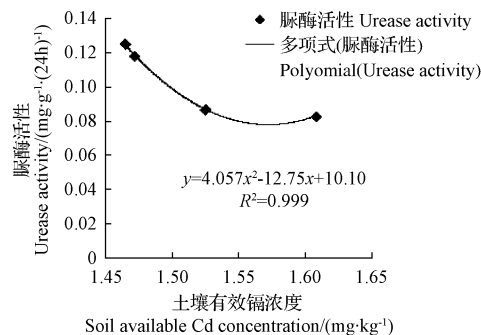


图5 土壤有效镉与土壤脲酶活性之间的关系

Fig. 5 Relationship between soil available Cd and soil urease activity

2.3 镉污染条件下不同处理双氰胺对小白菜地土壤蛋白酶活性的影响

蛋白酶是催化有机态氮分解为无机态氮的酶类,其活性高,说明土壤可利用态氮丰富。由图 6 可知,在盆栽条件下,施用不同处理的双氰胺均有提高土壤蛋白酶活性的趋势,与对照相比分别提高了 45.14%、4.57%、42.86%,其中处理 1、处理 3 与对照相比差异极显著,处理 2 与对照相比差异不显著,但是有提高的趋势,说明在镉污染条件下,施用双氰胺能够提高土壤蛋白酶活性。

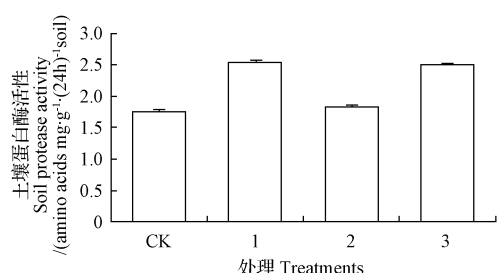


图6 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤蛋白酶活性的影响

Fig. 6 Effect of DCD application on protease activity of soil under cadmium pollution

2.4 镉污染条件下不同处理双氰胺对小白菜地土壤蔗糖酶活性的影响

蔗糖酶活性反映了土壤有机碳累积与分解转化的规律,影响着土壤的碳循环,一般情况下土壤肥力越高,蔗糖酶活性越强,与土壤许多因子如土壤肥力、微生物数量及土壤呼吸强度有关,可用来表征土壤生物学活性强度和土壤肥力。由图7可知,供试土壤施用的3种不同处理的双氰胺对土壤蔗糖酶活性有不同程度的影响,处理1、处理3与对照相比差异性极显著($P < 0.01$),且处理1与处理3差异性显著($P < 0.05$),但是,处理2与对照相比差异不显著。

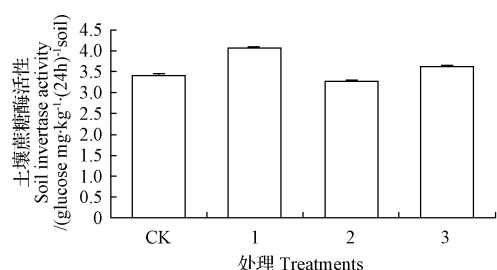


图7 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig. 7 Effect of DCD application on invertase activity of soil under cadmium pollution

2.5 镉污染条件下不同处理双氰胺对小白菜地土壤酸性磷酸酶活性的影响

磷酸酶是土壤中最活跃的酶类之一,是表征土壤生物活性的重要酶,在土壤磷素循环中起重要作用,土壤磷酸酶酶促作用能加速土壤有机磷的脱磷速度,可以表征土壤磷素有效化强度。由图8可知,在试验范围内小白菜地施用3种不同处理的双氰胺均能显著提高土壤酸性磷酸酶的活性,与对照相比施入3种处理的双氰胺均提高酸性磷酸酶活性为26.67%,这说明在氮镉交互作用下,施用双氰胺能提高土壤酸性磷酸酶的活性,但

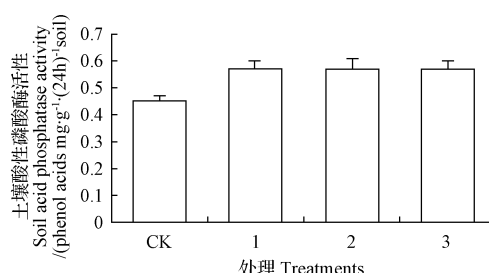


图8 镉污染条件下不同处理双氰胺对土壤酸性磷酸酶活性的影响

Fig. 8 Effect of DCD application on acid phosphatase enzyme activity of soil under cadmium pollution

是,不同处理间差异不显著。

3 讨论与结论

在氮镉交互作用下添加硝化抑制剂 DCD 能够有效降低 NO_3^- -N 的累积和维持土壤中较高的 NH_4^+ -N 含量,并且随着 DCD 用量的增加, NH_4^+ -N 含量显著递增, NO_3^- -N 含量显著递减,这个结果与熊国华等^[11]的研究结果一致,不同的是熊国华等研究的是基于无污染土壤,这说明镉污染没有影响 DCD 对尿素在土壤中的转化。

镉污染条件下,不同双氰胺浓度对土壤酶活性有不同程度的影响,双氰胺浓度为纯氮 10% 时,脲酶活性达最大值 $0.125 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot (24\text{h})^{-1}$,其中双氰胺浓度为纯氮 5% 和 20% 时均低于对照,这个结果可能与土壤有效镉含量有关;土壤有效镉与土壤脲酶活性呈极显著的相关性,在镉污染的土壤中,镉对土壤的脲酶活性有很显著的抑制作用,且随着土壤有效镉浓度的增加而减少,这与很多专家学者结论一致^[12-15],但是,双氰胺对土壤镉的转化有一定的影响,可能是因为 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 受 DCD 的影响,随着 DCD 浓度的增加, NH_4^+ -N 浓度逐渐增加而 NO_3^- -N 浓度逐渐减少直至检测不出,这说明 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 浓度及比例对土壤镉的转化有显著影响;另外,土壤蛋白酶活性、蔗糖酶活性以及酸性磷酸酶活性的变化规律与土壤脲酶活性有别,可能受尿素及镉的影响,具体原因还有待进一步研究。

该试验结果表明,在氮镉交互作用下,施用 DCD 能够增加 NH_4^+ -N 积累量、降低 NO_3^- -N 积累量,且二者与施用 DCD 的量呈极显著的正相关和负相关。土壤有效镉与土壤脲酶活性存在极显著相关,相关系数达 0.999。在氮镉交互作用下,施用 DCD 能够不同程度影响土壤酶活性,其中氮镉交互作用下添加 DCD(尿素的 5%)显著增加土壤脲酶活性,添加 DCD(尿素的 5%)和添加 DCD(尿素的 20%)显著增加土壤蛋白酶活性和土

壤蔗糖酶活性,添加 DCD(尿素的 5%)、添加 DCD(尿素的 10%)和添加 DCD(尿素的 20%)均显著增加土壤酸性磷酸酶活性。

参考文献

- [1] 刘瑜, 申丽敏, 安志装, 等. 硝化抑制剂双氰胺对褐土中尿素转化的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(12): 2496-2502.
- [2] IRIGOYEN I, LAMSFUS C, APARICIO-TEJO P, et al. The influence of 3,4-dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under mediterranean conditions[J]. The Journal of Agricultural Science, 2006, 144: 555-562.
- [3] 余光辉, 张杨珠, 王大娟, 等. 几种硝化抑制剂对土壤和小白菜硝酸盐含量及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 247-250.
- [4] MONTEMURRO F, CAPOTORTI G, LACERTOSA G, et al. Effects of urease and nitrification inhibitors application on urea fate in soil and nitrate accumulation in lettuce[J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21: 245-252.
- [5] VILSMEIER K. Turnover of 15 N ammonium sulfate with dicyandiamide under aerobic and anaerobic soil conditions[J]. Fertilizer Research, 1991 (29): 191-196.
- [6] WEISKE A, BENCKISER G, OTTOW J C G. Effect of the new nitrification inhibitor DMPP in comparison to DCD on nitrous oxide (N_2O) emissions and methane (CH_4) oxidation during 3 years of repeated applications in field experiments[J]. Nutrient Cycling in Agro-Ecosystems, 2001, 60: 57-64.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 李卓棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 134-139.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会. 土壤质量有效态铅和镉的测定-原子吸收法: GB/T 23739-2009[S]. 2009.
- [10] 王雅楣. 几种硝化抑制剂对土壤氮素转化和小麦生长的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [11] 熊国华, 林咸永, 罗建庭, 等. 钾肥、尿素与有机物料或双氰胺配施对菜园土壤中氮素分解转化特征的研究[J]. 土壤通报, 2008, 234(3): 104-109.
- [12] 陆文龙. 重金属镉对土壤微生物活性影响的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2008.
- [13] 王家, 赵阳阳, 代潭, 等. Cu、Cd 污染对土壤脲酶活性的影响研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(11): 45-48.
- [14] 陆文龙, 李春月. 重金属镉对土壤酶活性影响的研究[J]. 吉林化工学院学报, 2010, 27(3): 24-26.
- [15] 杨正亮, 冯贵颖. 重金属对土壤脲酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 41-43.

Effect of Dicyandiamide on Urea Transformation and Soil Enzyme Activities Under Cadmium Interaction Nitrogen in *Brassia chinensis* Field

LI Suxia, ZHANG Jihong, MO Xiaorong

(College of Resources and Environment, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535000)

Abstract: 'Shanghai Green' Chinese cabbage was used as test material, using pot experiment, the effect of addition of nitrification inhibitor DCD (for pure nitrogen 5%, 10%, 20%; named treatment 1, 2, 3, respectively) on pakchoi soil NH_4^+ -N and NO_3^- -N and available cadmium transformation and soil enzyme activity under nitrogen ($0.2\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil) Cd ($2.0\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil) interaction conditions were studied. The results showed that within the test range, adding DCD could significantly reduce soil NO_3^- -N accumulation amount and decreased 42.23% and 98.45%, respectively, DCD was applied to an amount of 20% pure nitrogen in the soil NO_3^- -N was not detected; and dicyandiamide was applied to the amount of the conversion of the amount of NH_4^+ -N, NO_3^- -N amount of conversion into a very significant positive correlation and negative correlation coefficients were 0.998, 0.993. At the same time, could significantly affect soil urease activity, protease activity, invertase activity, acid phosphatase activity and soil available Cd conversion, and between the enzyme activity and soil available Cd urease significantly, the correlation coefficient of 0.999 and soil protease activity, invertase activity, and soil acid phosphatase activity in varying degrees of change under different treatment compared with the control, treatment and treatment 1, 3 significantly increased soil protease and invertase activity, three treatments significantly increased acid phosphatase activity. The results showed that the interactive effects of nitrogen application and cadmium, add dicyandiamide could significantly reduce soil NO_3^- -N accumulation and significantly improve the soil enzyme activity and could be used as a test range in vegetable soil system improvement and effective.

Keywords: dicyandiamide(DCD); nitrogen; cadmium; soil enzyme activity; *Brassia chinensis* field