

不同粪肥对小白菜地氮镉交互作用的影响

李素霞^{1,2}, 熊 亭³

(1. 钦州学院 资源与环境学院, 广西 钦州 535000; 2. 华中农业大学 资源与环境学院, 湖北 武汉 430070;

3. 深圳瑞赛尔环保股份有限公司, 深圳 广州 518000)

摘 要:以小白菜为试材,通过盆栽试验设置7个不同施肥处理,研究鸡粪有机肥和牛粪有机肥在氮镉交互作用下对小白菜产量、品质及土壤酶活性的影响。结果表明:与CK相比,施入不同处理的鸡粪和牛粪均能极显著地增加小白菜鲜重、土壤蛋白酶活性和酸性磷酸酶活性。与CK相比,施入鸡粪50 g/5kg土、牛粪50 g/5kg土、牛粪100 g/5kg土极显著地提高了小白菜维生素C的含量,分别提高了4.98%、9.78%和15.12%。同时,施入鸡粪有机肥的3个处理及牛粪100 g/5kg土显著降低了小白菜Cd的含量,分别降低了10.55%、7.67%、35.76%、18.79%,且鸡粪100 g/5kg土和牛粪100 g/5kg土处理达到了极显著差异水平。与CK相比,鸡粪20 g/5kg土、鸡粪100 g/5kg土和牛粪20 g/5kg土极显著地降低了小白菜硝酸盐的含量,分别降低了11.07%、18.26%和29.09%。鸡粪50 g/5kg土极显著地提高了脲酶活性,牛粪有机肥的3个处理均极显著地提高了土壤蔗糖酶活性。

关键词:鸡粪;牛粪;镉;硝酸盐;小白菜

中图分类号:S 634.306⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)03-0155-05

目前“三废”的排放以及大量化学肥料的施用,导致农田土壤大量重金属累积,尤其是镉早已进入人们的关注视野,另一方面,氮肥的过量施用使土壤中过量的氮素累积,进而转化成硝酸盐。已有研究表明^[1-3],蔬菜是极易富集镉的农产品,重金属镉通过食物链进入人体的风险很大,给人类的健康造成潜在的威胁。同时镉被植物大量吸收后能产生各种生理毒害反应,导致根系活力下降,组织失绿、生长受阻、干物质产量降低等^[4]。土壤中的硝态氮含量随施氮肥量的增加而增加,其中有一部分硝态氮以亚硝酸盐等有毒形式被作物大量吸收,成为作物产品的污染源。食品中高浓度的硝酸盐在人体内代谢过程中容易形成亚硝胺等致癌、致畸、致基因突变的物质^[5],蔬菜安全种植也受到威胁。因此,改良和修复菜地土壤的镉与硝酸盐复合污染已经成为农业科技工作者的关注热点。有机肥能够提高土壤中的有机质含量,新增有机质能够络合镉离子,从而降低镉有效性。同时,施用有机肥能够影响土壤的理化性状。既能降低植物对土壤镉的吸收量,又能减少镉向植物地上部分的

转移率^[6-7],为此,选择有机肥作为修复菜地土壤镉与硝酸盐复合污染的改良剂具有实用价值。

由于当前当地集约化养殖鸡场规模较大,大量鸡粪堆积,散养牛较多,每天均有大量牛粪散落在公路上以及堆积在草场上,造成一定的污染;另外,由于鸡和牛的食料不同,粪便成分也不一样,牛粪的蛋白质含量较少,草质纤维多;而鸡粪蛋白质含量较多,草质纤维较少,对重金属镉的络合钝化能力也应该有一定的差异,选择不同的粪肥作为改良剂,比较其在镉与硝酸盐复合污染上的改良效果,让其物有所值,同时,也能起到环保的作用,所以,该试验选择鸡粪和牛粪作为改良剂,具有重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小白菜品种为“上海青”。

供试土壤为武汉市新洲区典型的灰潮土,pH值(H_2O)7.37,有机质23.26 g/kg,速效磷25.15 mg/kg,碱解氮46.75 mg/kg,全镉0.57 mg/kg,粘粒质地52.5%。土壤经风干,磨碎,过筛,作盆栽试验。

试验所用鸡粪有机肥为集约化养鸡场收集,试验所用牛粪有机肥为农户散养野外放牛草场收集,新鲜鸡粪、牛粪收集后,挑出杂物,风干,过筛,备用。鸡粪理化性状全N 2.62%,全P 1.51%,全K 3.12%,有机质

第一作者简介:李素霞(1976-),女,新疆玛纳斯人,硕士,副教授,研究方向为植物营养与农产品安全。E-mail: zylcxsl122@126.com.

基金项目:钦州学院人才引进基金资助项目;国家“十一五”科技支撑计划重点资助项目(2008BADA7B03)。

收稿日期:2014-11-06

59.22%, 全 Cd 0.15 mg/kg。牛粪理化性状全 N 1.45%, 全 P 1.23%, 全 K 3.25%, 有机质 65.12%, 全 Cd 0.12 mg/kg。

1.2 试验方法

试验设 7 个处理, 每个处理 3 次重复, 每盆装 5 kg 土, 施入底肥为 P_2O_5 0.2 g/kg 土(KH_2PO_4 为磷源), K_2O 0.3 g/kg 土(K_2SO_4 为钾源), 施 N 水平为 0.2 g/kg 土(以纯 N 计, 尿素为氮源), Cd 水平为 2.0 mg/kg 土(以纯 Cd 计, 以 $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ 为镉源), 各试剂均为分析纯。具体设计处理为 CK (P_2O_5 0.2 g/kg 土 + K_2O 0.3 g/kg 土 + N 0.2 g/kg 土 + Cd 2.0 mg/kg 土); JOM1 (CK + 鸡粪 20 g/5kg 土); JOM2 (CK + 鸡粪 50 g/5kg 土); JOM3 (CK + 鸡粪 100 g/5kg 土); NOM1 (CK + 牛粪 20 g/5kg 土); NOM2 (CK + 牛粪 50 g/5kg 土); NOM3 (CK + 牛粪 100 g/5kg 土)。

于 2011 年 4 月 19 日取土风干, 4 月 25 日过筛、装盆、按设计处理混匀, 所有底肥、污染物质以及粪肥一次性投入, 期间不再施肥。用蒸馏水浇至田间持水量的 60%, 平衡 7 d 后于 2011 年 5 月 2 日播种, 每盆点播 10 颗小白菜, 出苗后定植 8 颗。在小白菜生长期, 及时调换每盆小白菜的位置以消除不同位置的光照和温度等条件差异对其生长发育的影响, 为了消除污染, 整个生长周期均采用蒸馏水浇灌。6 月 14 日收获。

1.3 项目测定

小白菜收获后, 取小白菜植株样品和盆栽土壤样品, 试验期为 5—6 月, 气温较高, 有助于有机肥的分解。小白菜收获后, 称其地上部鲜重, 然后均匀剪取叶片、混匀, 测定其维生素 C 和小白菜体内镉与硝酸盐的含量。

小白菜维生素 C 含量的测定采用 2,4-二硝基苯肼法^[8], 小白菜硝酸盐含量测定采用 GB/T5009.332-2008 方法^[9], 小白菜镉含量测定采用 GB/T5009.15-2003 的方法^[10]。土壤蔗糖酶活性测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[11], 脲酶活性测定采用苯酚钠比色法^[11], 酸性磷酸

酶活性测定采用磷酸苯二钠比色法^[11], 蛋白酶活性测定采用茚三酮比色法^[11], 供试土壤及有机肥的基本理化性状测定采用常规分析法^[12]。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 DPS 软件进行统计分析, 各处理平均值的多重比较采用 Duncan-test。

2 结果与分析

2.1 镉与硝酸盐复合污染下不同有机肥对小白菜产量和品质的影响

由表 1 可知, 镉与硝酸盐复合污染下 2 种有机肥能够极显著 ($P < 0.01$) 的增加小白菜的产量, 不施有机肥的 CK, 产量较低, 长势矮小, 茎秆瘦弱, 而在 2 种有机肥作用下的小白菜相对长势高大, 茎秆粗壮。且在 2 种有机肥不同的处理下, 随着有机肥的增加, 小白菜均呈先增加后降低的趋势, 施用鸡粪的处理平均比施用牛粪的处理增加 9.69%, 与 CK 相比, 2 种有机肥的 3 个不同的处理分别是 CK 的 2.63、2.76、2.63 倍和 2.16、2.80、2.29 倍。其中, 2 种有机肥处理均在粪肥 50 g/5kg 土的时候达到最大。这与叶静等^[13]、吴清清等^[14]的部分结果一致。叶静等^[13]、吴清清等^[14]研究结果表明, 施用鸡粪能增加菜豆、苋菜的产量, 但是施用牛粪与 CK 相比产量差异不显著。这与该试验研究结果不太一致, 这可能与作物的种类以及土壤环境有一定的关系, 同时该试验是在镉与硝酸盐复合污染下进行, 这可能也是原因之一。

由表 1 可知, 在镉与硝酸盐复合污染下, 施用 2 种有机肥对小白菜维生素 C 的含量有不同程度的影响, 鸡粪有机肥的处理 2 与牛粪有机肥的处理 2 和处理 3 与 CK 相比, 小白菜维生素 C 的含量极显著 ($P < 0.01$) 增加。2 种有机肥处理表现出不同的趋势, 随着鸡粪有机肥的增加, 小白菜维生素 C 的含量呈先增加后降低的趋势; 而随着牛粪有机肥的增加, 小白菜维生素 C 呈递增趋势, 且各处理间差异达极显著 ($P < 0.01$) 水平。

表 1 镉与硝酸盐复合污染下不同粪肥对小白菜产量和品质的影响

Table 1 Effect of different manure on yield and quality of *Brassica chinensis* under compound pollution of cadmium and nitrate

处理 Treatment	鲜重 Fresh weight /g	维生素 C 含量 Vitamin C content /(mg · (100g) ⁻¹)	镉含量 Cadmium content /(mg · kg ⁻¹ FW)	硝酸盐含量 Nitrate content /(mg · kg ⁻¹ FW)
CK	33.192 ± 1.583dC	33.247 ± 0.529dD	1.043 ± 0.040aA	3352.890 ± 42.052cC
JOM1	87.413 ± 0.727bA	32.540 ± 0.348dD	0.933 ± 0.029cAB	2981.657 ± 68.554dD
JOM2	91.577 ± 5.207abA	34.903 ± 0.849cC	0.963 ± 0.006bcA	3406.203 ± 114.457cBC
JOM3	87.350 ± 3.149bA	31.163 ± 0.252eE	0.670 ± 0.017eC	2740.687 ± 22.022eE
NOM1	71.600 ± 0.980cB	29.633 ± 0.441fF	1.033 ± 0.067abA	2377.373 ± 42.410fF
NOM2	92.773 ± 1.922aA	36.500 ± 0.350bB	0.993 ± 0.064abcA	3765.303 ± 76.595aA
NOM3	76.146 ± 2.756cB	38.273 ± 0.204aA	0.847 ± 0.032dB	3578.287 ± 91.939bB
F	175.894 **	124.018 **	29.100 **	141.111 **

注: 不同大小字母表示处理间差异达 1% 和 5% 显著水平, 下同。

Note: Different capital and lowercase letters show significant difference at 1% and 5% levels, respectively, the same below.

在镉与硝酸盐复合污染下,2种有机肥对小白菜中镉与硝酸盐累积量的影响是该试验较核心的指标,已有研究表明,施用有机肥对土壤中重金属的生物有效性有2个截然相反的影响。一方面,有机肥中的腐殖质通过络合、螯合反应,固定重金属,进而降低重金属对作物的有效性,华路等^[15]研究表明,有机肥中的胡敏酸、胡敏素与金属离子形成的络合物是不易溶的,能显著降低植物吸收土壤中的重金属元素。Chang等^[16]指出牛粪能降低土壤重金属有效性,因为重金属与有机物质形成不可溶性盐,如磷酸盐或其它等,另一方面增施有机肥具有提高土壤重金属有效性的作用,吴清清等^[14]指出施用鸡粪能增加潮土和红壤中有效态Zn、Cu、Cd及Pb含量,陈同斌等^[17]研究表明水溶性有机质对土壤中镉吸附行为的影响,发现水溶性有机质对土壤中Cd的吸附行为具有明显的抑制作用。由表1可知,该试验的2种有机肥的不同处理均不同程度的降低了小白菜中镉的含量,其中鸡粪有机肥的3个不同的处理均显著($P<0.05$)降低了小白菜镉的含量,且JOM3与CK相比达到了极显著($P<0.01$)的差异水平。在牛粪有机肥的3个不同的处理中,NOM3与CK相比达到了极显著($P<0.01$)的差异水平,与CK相比,小白菜中镉的含量降低了18.79%,NOM1、NOM2与CK相比尽管差异不显著,但是仍然呈下降的趋势,与CK相比小白菜中镉的含量分别降低0.96%和4.79%。从分析看出,在试验浓度范围内该试验的研究结果与第一种分析吻合。

由表1可知,在镉与硝酸盐复合污染下不同有机肥对小白菜硝酸盐的含量有不同程度的影响,其中,鸡粪有机肥的3个处理中处理1和处理3均极显著($P<0.01$)低于对照,处理2有增高的趋势,但差异不显著;在牛粪有机肥的3个处理中,与CK相比均达到极显著差异($P<0.01$)水平,牛粪有机肥的处理1和处理3极显著($P<0.01$)降低了小白菜硝酸盐的含量,但是处理2极显著($P<0.01$)增加了小白菜硝酸盐含量。以上2种结果在已有的研究^[18]中均有出现,这可能与有机肥的C/N比有关系,或者与土壤氮源种类以及氮的含量有

关。李仁发等^[19]研究表明,施用牛粪和生物发酵鸡粪种植生菜硝酸盐含量较低,肖本木^[20]研究表明单施有机肥对蔬菜的生长和硝酸盐含量的影响因有机肥C/N比值不同而异,施用C/N比值低的豆粕,叶片 NO_3^- -N、 NO_2^- -N含量较不施肥的CK(CK)分别提高19.75~66.25倍和13.68%~130.47%,且 NO_3^- -N、 NO_2^- -N含量随有机肥用量的增加而提高。该试验表明,在镉与硝酸盐复合污染下利用不同有机肥改良,提高小白菜的产量品质,降低小白菜硝酸盐和镉的累积量,可以达到预期的目的,但是需要考虑有机肥的C/N、种类、有机肥的用量以及土壤环境等相关因子。

2.2 镉与硝酸盐复合污染下不同有机肥对小白菜地土壤酶活性的影响

土壤酶是土壤生物化学反应的催化剂,直接参与土壤系统中许多重要代谢过程,有研究表明土壤酶活性的大小与重金属污染程度存在一定的负相关性^[21],课题组前期研究表明在镉与硝酸盐复合污染下也存在类似的结果^[22],同时对不同改良剂的改良也受到一定的效果,但是研究结果依然不是非常理想,该试验施用不同的有机肥,再次对镉与硝酸盐复合污染下土壤酶活性影响的探究,以期对菜地镉与硝酸盐复合污染的改良提高可行性的数据。

由表2可知,在镉与硝酸盐复合污染下2种有机肥对小白菜土壤脲酶活性均表现出极显著差异($F=146.555^{**}$, $P<0.01$)水平,与CK相比,鸡粪有机肥的处理2极显著($P<0.01$)地提高了土壤脲酶的活性,提高了10.36%,处理1和处理3与CK相比差异不显著;牛粪的3个处理均极显著($P<0.01$)地降低了土壤的脲酶活性,与CK相比分别降低49.74%、8.29%、13.47%。试验结果表明2种有机肥对镉与硝酸盐复合污染的小白菜土壤脲酶活性的影响表现不一,根据前期的试验结果^[22]以及该次试验的表现,说明在一定试验浓度范围内鸡粪有机肥钝化或络合土壤Cd的能力优于牛粪有机肥。何文祥等^[23]研究表明,Hg、Cd对土壤脲酶活性有明显的抑制作用,与Hg、Cd+Hg的浓度呈显著或极显

表2 镉与硝酸盐复合污染下不同粪肥对小白菜土壤酶活性的影响

Table 2 Effect of different manure on soil enzyme activity in *Brassica chinensis* under compound pollution of cadmium and nitrate

处理 Treatment	脲酶活性 Urease activity($\text{NH}_3\text{-N mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	蛋白酶活性 Protease activity(Glycine $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	酸性磷酸酶活性 Apase activity(Phenol $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	蔗糖酶活性 Sucracs activity(Glucose $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
CK	0.193±0.006bB	1.297±0.012fE	0.120±0.000dD	533.457±3.130dD
JOM1	0.187±0.006bBC	2.893±0.085dC	0.150±0.010cC	507.537±5.223eE
JOM2	0.213±0.006aA	3.060±0.050cC	0.177±0.006abAB	425.383±3.367gG
JOM3	0.190±0.000bBC	4.463±0.110aA	0.187±0.006aA	469.367±9.022fF
NOM1	0.097±0.006eE	2.957±0.085cdC	0.173±0.006bAB	561.950±1.793bB
NOM2	0.177±0.006cCD	2.553±0.029eD	0.167±0.006bB	544.373±2.309cC
NOM3	0.167±0.006dD	4.033±0.040bB	0.177±0.006abAB	623.620±1.068aA
F	146.555**	699.714**	40.167**	623.511**

著的负相关。该试验结果与其一致,但是,杨良静等^[24]研究表明一定浓度内的 Cd 对水稻根际脲酶活性有一定的促进作用,针对不同的研究结果,尚有待进一步研究。

由表 2 还可知,在镉与硝酸盐复合污染下 2 种有机肥对小白菜土壤蛋白酶活性均表现出极显著差异($F=699.714^{**}$, $P<0.01$)水平,与 CK 相比,鸡粪有机肥和牛粪有机肥的 3 个处理均极显著($P<0.01$)地提高了土壤蛋白酶活性,分别提高 2.23、2.36、3.44、2.28、1.97、3.11 倍,均随着有机肥用量的增加而增加,从数据可知,鸡粪有机肥对小白菜土壤蛋白酶活性的影响稍大于牛粪有机肥。土壤蛋白酶活性的高低直接关系到植物所利用的有效氮源的多少^[25],这说明在 2 种不同的有机肥的作用下,促进了土壤有效氮的供应,在试验浓度内的镉水平没有对土壤蛋白酶活性造成影响,或者有机肥的钝化降低了镉对蛋白酶的毒性。

土壤有机磷转化受多种因子制约,尤其是磷酸酶的参与,可加速有机磷的脱磷速度。在 pH 4~9 的土壤中均有磷酸酶。积累的磷酸酶对土壤磷素的有效性具有重要作用。研究证明,磷酸酶与土壤碳、氮含量呈正相关,与有效磷含量及 pH 值也有关。磷酸酶活性是评价土壤磷素生物转化方向的强度的指标。黄占斌等^[26]研究表明,Cd 与土壤磷酸酶活性呈负相关,程伟等^[27]研究表明,其磷酸酶活性也就越高。由表 2 可知,该试验结果表明在镉与硝酸盐复合污染下,2 种不同的有机肥均极显著($F=40.167^{**}$, $P<0.01$)提高了小白菜土壤的酸性磷酸酶的活性,这与程伟等^[27]研究结果一致,在鸡粪有机肥和牛粪有机肥的 3 个处理中均出现随着有机肥增加而增加的趋势,但是在设定的浓度范围内鸡粪的处理 2 和处理 3 差异不显著,牛粪有机肥的 3 个处理间差异也不显著,但与 CK 相比 6 个有机肥处理均极显著地提高。主要有 2 个方面原因,首先施用有机肥有效改善了镉的污染,其次不同的有机肥对土壤磷酸酶活性的影响不同。

土壤蔗糖酶与土壤有机质、氮、磷含量,微生物数量及土壤呼吸强度有关,其酶促作用产物直接关系到作物的生长^[28]。但是,土壤蔗糖酶活性对重金属 Cd 比较敏感,低浓度时有促进作用,随着 Cd 浓度的增加,活性渐渐降低,活性变化幅度较大^[29]。由表 2 可知,在镉与硝酸盐复合污染下,不同有机肥对小白菜土壤蔗糖酶活性有极显著($F=623.511^{**}$, $P<0.01$)的影响,2 种不同的有机肥表现出不同的结果,在鸡粪有机肥的 3 个处理中,土壤蔗糖酶活性均极显著地低于 CK,随着鸡粪有机肥的增加,土壤蔗糖酶活性出现先降低再升高的特点,而在牛粪的 3 个处理中均极显著地高于 CK,且随着牛粪有机肥用量的增加土壤蔗糖酶活性呈现与鸡粪处理相同的特点。这说明在镉与硝酸盐复合污染下的小白

菜土壤蔗糖酶活性对鸡粪有机肥和牛粪有机肥有不同的反应,这可能与 2 种有机肥的基本组成有关。

3 结论

综上所述,在镉与硝酸盐复合污染下,鸡粪、牛粪有机肥对小白菜-土壤系统的影响得出,施用鸡粪和牛粪有机肥极显著地增加了小白菜的产量,在试验浓度范围内 JOM2 和 NOM2 的效果最好;同时施用鸡粪和牛粪有机肥也极显著地影响了小白菜维生素 C 的含量,JOM2、NOM2 及 NOM3 均极显著地提高了小白菜维生素 C 的含量,三者的优先顺序依次为 NOM3、NOM2 和 JOM2,其它 3 个处理均极显著地降低了小白菜维生素 C 的含量。

施用鸡粪和牛粪有机肥均降低了小白菜 Cd 的含量,其中 JOM1 和 JOM2 显著降低了小白菜 Cd 的含量,JOM3 和 NOM3 均极显著地降低了小白菜 Cd 的含量,NOM1 和 NOM2 与 CK 相比虽然有降低的趋势,但是差异不显著。施用鸡粪和牛粪有机肥对小白菜硝酸盐含量有不同程度的影响,其中 JOM1、JOM3 和 NOM3 均极显著地降低了小白菜硝酸盐的含量,而 NOM2 和 NOM3 极显著的增加了小白菜硝酸盐的含量。

施用鸡粪、牛粪有机肥均极显著地提高了土壤蛋白酶和酸性磷酸酶的活性,且 JOM3 对二者的效果最好;对于土壤脲酶活性而言,JOM2 极显著地提高了土壤脲酶的活性。与 CK 相比,JOM1 和 JOM2 差异不显著,施用牛粪极显著地降低了土壤脲酶的活性;与 CK 相比,施用牛粪极显著地极显著地提高了土壤蔗糖酶的活性,而施用鸡粪极显著地降低了土壤蔗糖酶的活性。

参考文献

- [1] 楼根林,张中俊,伍钢,等. 镉在不同土壤和蔬菜中残留规律研究[J]. 环境科学学报,1990,10(2):153-159.
- [2] 薛艳,沈振国,周东美. 蔬菜对土壤重金属吸收的差异与机理[J]. 土壤,2005,37(1):32-36.
- [3] 李艳梅. 土壤镉污染下小白菜对氮肥的生物学反应[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [4] Cao Y, Li J D, Zhao T H, et al. Effects of Cd stress on physiological and biochemical traits of maize[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26:8-11.
- [5] 张兵,潘大丰,黄昭瑜,等. 蔬菜中硝酸盐积累的影响因子研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(增刊):686-690.
- [6] 周启星,宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京:北京科学出版社,2004.
- [7] 夏立江,王宏康. 土壤污染及其防治[M]. 上海:华东理工大学出版社,2001.
- [8] 王学奎. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [9] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准 GB/T5009.332-2008,食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S]. 2008.
- [10] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 中华人民共

- 和国家标准 GB/T5009.15-2003,食品中镉的测定[S]. 2004.
- [11] 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.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 叶静,安藤丰,符建荣,等. 几种新型有机肥对菜用毛豆产量、品质及化肥氮利用率的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(3):289-295.
- [14] 吴清清,马军伟,姜丽娜,等. 鸡粪和垃圾有机肥对莴菜生长及土壤重金属积累的影响[J]. 农业环境科学学报,2010,29(7):1302-1309.
- [15] 华路,白玲玉,韦东普,等. 有机肥-镉-锌交互作用对土壤镉、锌形态和小麦生长的影响[J]. 中国环境科学,2002,22(4):346-350.
- [16] Chang C,Ent Z T. Nitrate leaching losses under repeated cattle feedlot manure applications in Southern Alberta[J]. Journal of Environmental Quality, 1996,25:145-153.
- [17] 陈同斌,陈志军. 水溶性有机质对土壤中镉吸附行为的影响[J]. 应用生态学报,2002,3(2):183-186.
- [18] 蒋卫杰,余宏军,李红. 不同有机肥种类对生菜硝酸盐含量的影响[J]. 中国蔬菜,2005(8):10-12.
- [19] 李仁发,潘晓萍,蔡顺香,等. 施用有机肥对降低蔬菜硝酸盐残留的影响[J]. 福建农业科技,1999(6):14-15.
- [20] 肖本木. 有机肥对菜地土壤 NO_3^- -N 积累的影响及其环境效应[D]. 福州:福建农林大学,2008.
- [21] 高秀丽,邢维芹,冉永亮,等. 重金属积累对土壤酶活性的影响[J]. 生态毒理学报,2012,7(3):331-336.
- [22] 李素霞,杨钢,刘海胜,等. 不同改良剂对氮镉作用下土壤酶活性的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(32):18153-18154.
- [23] 何文祥,黄英锋,朱铭莪,等. 汞和镉对土壤脲酶活性的影响[J]. 土壤学报,2002,39(3):412-420.
- [24] 杨良静,何俊瑜,任艳芳,等. Cd 胁迫对水稻根际土壤酶活和微生物的影响[J]. 贵州农业科学,2009,37(3):85-88.
- [25] 罗虹,刘鹏,宋小敏. 重金属镉、铜、镍复合污染对土壤酶活性的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(2):94-96,121.
- [26] 黄占斌,张彤,彭丽成,等. 重金属 Pb、Cd 污染对土壤酶活性的影响[C]. 中国环境科学学会学术年会论文集,2010:3824-3828.
- [27] 程伟,隋跃宇,焦晓光,等. 土壤有机质含量与磷酸酶活性关系研究[J]. 农业系统科学与综合研究,2008,24(3):305-307.
- [28] 曹慧,孙辉,杨浩,等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.
- [29] 杨鹏鸣,周俊国. 不同肥料对土壤蔗糖酶和过氧化氢酶活性的影响[J]. 广东农业科学,2011(11):78-80.

Effect of Different Manure on Combined Pollution of Cadmium and Nitrate in *Brassica chinensis*-soil system

LI Su-xia^{1,2}, XIONG Ting³

(1. College of Resources and Environment, Qinzhou University, Qinzhou, Guangxi 535000; 2. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070; 3. Shenzhen Ruisaier Environmental Limited by Share Ltd, Shenzhen, Guangzhou 518000)

Abstract: Taking *Brassica chinensis* as materials, the effect of chicken manure and cow manure under combined pollution of cadmium and nitrate on the yield and quality of *Brassica chinensis*-soil system and soil enzyme activity were studied by setting 7 different fertilization treatments. The results showed that the different treatments of chicken manure and cow dung could significantly increased the fresh weight of *Brassica chinensis*, soil protease activity and acid phosphatase activity; compared with the control, the application of chicken manure (50 g/5kg soil) and cow dung (50 g/5kg soil, 100 g/5kg soil) significantly improved the content of *Brassica chinensis* vitamin C, increased by 4.98%, 9.78% and 15.12% respectively. The application of chicken manure (20 g/5kg soil, 50 g/5kg soil, 100 g/5kg soil) and cow dung (100 g/5kg soil) significantly decreased the contents of *Brassica chinensis* Cd, decreased by 10.55%, 7.67%, 35.76%, 18.79%. The application of chicken manure (20 g/5kg soil, 100 g/5kg soil) and cow dung (20 g/5kg soil) significantly decreased the contents of *Brassica chinensis* nitrate, decreased by 11.07%, 18.26%, 29.09%. The application of chicken manure (50g/5kg soil) significantly increased urease activity and the application of cow manure (20 g/5kg soil, 50 g/5kg soil, 100 g/5kg soil) significantly increased soil invertase activity.

Keywords: chicken manure; cow manure; cadmium; nitrate; *Brassica chinensis*