

磷与镉对不同类型耕型红壤有机氮矿化的影响

陈修晓, 王翠红*, 李程明, 倪政, 郭琪, 于青漪

(湖南农业大学 资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 采用室内培养, 设磷处理浓度为 0、0.1、0.3 和 0.5 g/kg, 镉处理浓度为 0、0.5 和 1.0 mg/kg, 研究磷、镉单独处理及磷、镉共同处理对湖南省 4 种典型母质(第四纪红土、花岗岩风化物、石灰岩风化物和板岩风化物)发育的耕型红壤有机氮矿化的影响。结果表明: 培养 2~8 周的耕型第四纪红土红壤氮矿化量均值随磷添加量增加而先增加后减小, 且在添加 0.1 g/kg 磷时土壤的氮矿化量最大, 其余红壤氮矿化量均随磷添加量的增加而增加; 添加镉对耕型第四纪红土红壤和耕型石灰岩红壤氮矿化有抑制作用, 最大降幅分别为 4.98 mg/kg 和 6.53 mg/kg; 磷、镉共同处理, 除耕型第四纪红土红壤外, 对其余红壤氮矿化均表现为促进作用, 且不同红壤氮矿化量存在差异; 添加 0.3 g/kg 和 0.5 g/kg 磷对轻度镉污染红壤的有机氮矿化效果最好。

关 键 词: 磷; 镉; 红壤性土壤; 有机氮; 矿化

中图分类号: S151.9⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)02-0203-05

Effects of P and Cd addition on mineralization of organic N in cultivated red soils

CHEN Xiu-xiao, WANG Cui-hong*, LI Cheng-ming, NI Zheng, GUO Qi, YU Qing-yi

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The effect of adding P and Cd respectively or together on N mineralization in cultivated red soils derived from different parents (quaternary red soil, weathering product of granite, weathering product of limestone, weathering product of slate), in Hunan, was studied based on indoor incubation with P concentrations of 0, 0.1, 0.3, 0.5 g/kg and with Cd concentrations of 0, 0.5, 1.0 mg/kg. Results showed that the average accumulation of N mineralized in quaternary red soil increased first and then decreased with the addition of P, and the maximum N mineralization was happened when the concentration of additive P was 0.1 g/kg. Average accumulation of N mineralized in other red soils increased with the increase of P addition. N mineralization was inhibited by Cd in both quaternary red soil and limestone red soil treated with Cd in a concentration range of 0–1.0 mg/kg, and the largest decline of N mineralization were 4.98 mg/kg and 6.53 mg/kg. Adding the P and Cd together promoted N mineralization in the red soils except the quaternary red soil, and N mineralization were different in red soils derived from different parent soils. Organic N in the red soil with slight Cd pollution mineralized most effectively under the P concentration of either 0.3 g/kg or 0.5 g/kg.

Key words: P; Cd; cultivated red soils; organic N; mineralization

氮素是土壤十分重要的养分因子。大量研究^[1-5]结果表明, 土壤氮矿化势受土壤温度、土壤湿度、肥料、能源物质的种类和数量(主要是有机物质的化学组成和碳氮比)等多种因素影响。目前, 有关重金属污染土壤的氮矿化研究尚少, 已有的报道仅涉及

长期施肥与单一重金属元素两因素对土壤氮矿化的影响^[6-12], 而红壤旱土氮矿化的研究仅涉及有机肥、无机肥以及有机无机肥配施对土壤氮矿化的影响^[13-14]。湖南素有“有色金属之乡”之称, 各种采矿及冶炼工业发展迅速, 土壤重金属污染问题较为突

收稿日期: 2011-12-01

基金项目: 湖南省研究生科技创新项目(CX2010B301)

作者简介: 陈修晓(1985—), 男, 山东莒县人, 硕士研究生, 主要从事土壤化学与生态方面的研究, chenxiuxiao126@163.com; *通信作者, cuihongwang515@sina.com

出,其中尤以镉、铅等元素污染较为严重,城郊菜园土存在轻度镉、铜污染问题^[15-16];因此,如何改良及合理利用轻度重金属污染土壤资源成为当前亟待解决的问题之一。陈怀满^[12]、包兴国等^[17]认为,合理施用氮、磷、钾肥可减轻土壤镉等重金属元素在作物体内的积累,其中又以氮、磷肥的影响较大。笔者以湖南省有代表性的 4 种类型母质发育的耕型红壤为研究对象,通过室内培养,研究添加低量镉、磷元素对土壤氮矿化的影响,旨在为轻度镉污染土壤的改良利用提供参考依据。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soils

土壤类型	pH	有机质含量 (g·kg ⁻¹)	黏粒含量 /%	全氮含量 (g·kg ⁻¹)	全磷含量 (g·kg ⁻¹)	有效磷含量 (mg·kg ⁻¹)	总镉含量 (mg·kg ⁻¹)	有效镉含量 (mg·kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N 和 NO ₃ ⁻ -N 含量 (mg·kg ⁻¹)
D	3.85	12.66	19.40	0.52	0.20	0.59	0.22	0.02	8.57
H	4.70	23.22	9.13	0.87	0.54	12.31	0.14	0.01	21.90
S	5.91	22.50	14.22	0.90	0.45	5.62	0.34	0.06	10.16
B	4.91	16.40	14.64	0.82	0.68	25.60	0.17	0.03	14.60

D、H、S、B 分别代表耕型第四纪红土红壤、耕型花岗岩红壤、耕型石灰岩红壤和耕型板岩红壤,下同。

1.2 样品制备

供试土壤于室内通风处阴干,磨碎过孔径 2 mm 和 0.149 mm 尼龙筛。取过 2 mm 筛的风干土样 10.00 g 于 250 mL 塑料瓶内,共制备 384 份。

1.3 试验设计

土壤氮矿化研究采用 Warning 与 Bremner^[21]提出的培养方法,并略作修改:土样按磷、镉单施及磷、镉混施进行处理,其中,磷浓度设 0(CK)、0.1、0.3、0.5 g/kg 4 个处理,镉浓度设 0(CK)、0.5、1 mg/kg 3 个处理,磷、镉元素交互处理分别按上述磷、镉浓度处理两两交互施加,每个处理均重复 8 次。在已加入土壤样品的塑料瓶中,加入去离子水,保持其田间持水量的 60%;瓶口采用保鲜膜密封,并在中间开一小洞,每周补水 1 次,于室内 25~30℃ 下进行培养。分别于培养第 2、4、6、8 周取出各处理土样 2 份,加入 2 mol/L KCl 溶液 100 mL,振荡 1 h 后过滤,测定滤液中无机形态氮含量。

1.4 测定项目与方法

无机形态氮(NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N)含量采用蒸馏定氮法测定^[18]。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤为湖南省 4 种不同母质发育的耕型红壤,采样深度为 0~20 cm,其中耕型第四纪红土红壤、耕型花岗岩红壤和耕型板岩红壤采自长沙县境内,耕型石灰岩红壤采自桑植县境内。土壤基本理化性状(按文献[18~20]中的方法测定)见表 1。供试磷为 KH₂PO₄(含 P₂O₅ 22.79%),镉为 CdCl₂·2.5H₂O(含 Cd 49.21%)。

土壤氮矿化累积量为土壤培养后与培养前的无机形态氮含量之差。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 对试验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 单施磷对土壤有机氮矿化的影响

由表 2 可知,在不同磷添加水平下,培养 2~8 周的耕型第四纪红土红壤氮矿化量均值随磷添加量增加而先增加后减小,且在磷添加量为 0.1 g/kg 时土壤氮矿化量最大,其余红壤氮矿化量均随磷添加量的增加而增加。不同红壤氮矿化量在培养第 2 周均大于对照,0.5 g/kg 磷处理下耕型石灰岩红壤氮矿化量比对照高 20.64 mg/kg,说明添加磷在培养初期均促进了土壤氮矿化,耕型石灰岩红壤对照的氮矿化量均值为 35.98 mg/kg,分别是耕型板岩红壤、耕型第四纪红土红壤和耕型花岗岩红壤均值的 1.38、4.64 和 5.33 倍,表明耕型石灰岩红壤氮矿化量最高,其次是耕型板岩红壤,耕型花岗岩红壤和耕型第四纪红土红壤较低。

表 2 不同磷处理下红壤性土壤氮矿化累积量

Table 2 Accumulation of N during mineralization changed along with the culture time after adding different levels of P in the cultivated red soils derived from different parents

土壤类型	磷质量浓度/ (g·kg ⁻¹)	土壤氮矿化累积量(mg·kg ⁻¹)				
		2 周	4 周	6 周	8 周	均值
D	0(CK)	5.25	9.68	8.74	7.35	7.76
	0.1	10.32	10.48	10.34	7.67	9.70
	0.3	9.06	7.30	5.53	5.44	6.83
	0.5	8.74	3.73	8.74	2.58	5.95
H	0(CK)	6.50	8.81	7.19	4.51	6.75
	0.1	8.09	8.81	16.17	3.55	9.16
	0.3	9.04	9.21	18.73	7.05	11.01
	0.5	14.76	17.54	32.51	21.07	21.47
S	0(CK)	24.84	32.70	42.73	43.66	35.98
	0.1	42.62	40.24	49.46	51.31	45.91
	0.3	32.46	46.59	49.46	34.11	40.66
	0.5	45.48	55.32	64.84	31.24	49.22
B	0(CK)	28.64	31.67	35.79	8.03	26.03
	0.1	28.64	35.24	37.71	3.57	26.29
	0.3	34.04	39.60	40.27	7.39	30.33
	0.5	43.25	49.52	56.94	14.40	41.03

2.2 单施镉对土壤有机氮矿化的影响

从表 3 可知，不同镉浓度处理耕型第四纪红土红壤和耕型石灰岩红壤培养 2~8 周的氮矿化量均值与其对照相比均降低；耕型第四纪红土红壤以 0.5 mg/kg 镉处理的氮矿化量均值最低，比对照降低 4.98 mg/kg；耕型石灰岩红壤以 1.0 mg/kg 镉处理的氮矿化量均值最低，比对照降低 6.53 mg/kg；不同镉浓度处理耕型花岗岩红壤和耕型板岩红壤氮矿化量均值都有增加，且以 0.5、1.0 mg/kg 镉处理增幅最大，分

别为 3.23 mg/kg 和 8.40 mg/kg。添加镉对耕型第四纪红土红壤和耕型石灰岩红壤氮矿化有抑制作用，而对耕型花岗岩红壤和耕型板岩红壤氮矿化有促进作用。

4 种土壤中，0.5 mg/kg 镉处理对耕型第四纪红土红壤氮矿化抑制作用较强，且在培养第 4 周下降幅度最大，为 73.76%。1.0 mg/kg 镉处理耕型板岩红壤氮矿化量在第 4 周达到最大值，为 46.75 mg/kg，比对照的最大值增大了 30.62%。

表 3 不同镉处理下红壤性土壤氮矿化累积量

Table 3 Accumulation of N during mineralization changed along with the culture time under different Cd concentrations in the cultivated red soils derived from different parents

土壤类型	镉质量浓度	土壤氮矿化累积量				
		2 周	4 周	6 周	8 周	均值
D	0(CK)	5.25	9.68	8.74	7.35	7.76
	0.5	4.61	2.54	2.01	1.94	2.78
	1.0	4.93	5.71	4.57	5.76	5.64
H	0(CK)	6.50	8.81	7.19	4.51	6.75
	0.5	7.46	6.03	18.73	7.69	9.98
	1.0	3.33	5.24	13.60	8.01	7.55
S	0(CK)	24.84	32.70	42.73	43.66	35.98
	0.5	30.24	36.27	41.44	28.06	34.00
	1.0	28.33	34.29	45.29	9.90	29.45
B	0(CK)	28.64	31.67	35.79	8.03	26.03
	0.5	38.80	39.21	43.16	4.85	31.51
	1.0	34.04	46.75	44.44	12.49	34.43

2.3 磷、镉共同处理对土壤有机氮矿化的影响

从表 4 可知,磷、镉共同处理耕型第四纪红土红壤与耕型石灰岩红壤,培养 2~8 周的氮矿化量均值与对照相比均降低,且以 0.5 mg/kg(Cd)×0.1 g/kg(P)处理的降幅最大;而其余红壤氮矿化量较对照均有增加,以 1.0 mg/kg(Cd)×0.5 g/kg(P)处理耕型板岩红壤的氮矿化量增幅最大,为 162.64%。

磷、镉共同处理 4 种土壤,除 1.0 mg/kg(Cd)×0.1 g/kg(P)处理耕型第四纪红土红壤和 0.5 mg/kg(Cd)×0.1 g/kg(P)处理耕型石灰岩红壤外,其余处理培养 2~8 周的氮矿化量均值均大于单施镉处理,且以 1.0 mg/kg(Cd)×0.5 g/kg(P)处理耕型石灰岩红壤与单施镉处理的氮矿化量均值之差最大,为 16.00 mg/kg;以 1.0 mg/kg(Cd)×0.1 g/kg(P)处理耕型花岗岩

红壤最小,为 0.51 mg/kg,说明磷、镉共同作用耕型红壤的氮矿化促进效果大于镉处理,轻度镉污染红壤中添加磷可缓解镉对氮矿化的抑制作用。

磷、镉共同处理 4 种土壤,除 0.3 g/kg 磷处理耕型板岩红壤在同一镉水平下培养 2~8 周的氮矿化量均值最大外,其余红壤氮矿化量均值在同一镉水平下都随磷添加量的增加而增大,且在 0.5 g/kg(P)水平下最大,说明添加 0.3 g/kg 和 0.5 g/kg 磷对轻度镉污染红壤中有机氮矿化处理效果最好。

1.0 mg/kg(Cd)×0.5 g/kg(P)处理耕型石灰岩红壤氮矿化量的最大值为 66.44 mg/kg,比同处理对照增大了 55.49%,分别是耕型第四纪红土红壤和耕型花岗岩红壤最大值的 6.05 倍和 2.27 倍。

表 4 磷、镉共同处理下红壤性土壤氮矿化累积量
Table 4 Nitrogen accumulation during mineralization changed along with the culture time after adding different levels of P and Cd together in the cultivated red soils derived from different parents

土壤类型	Cd 质量浓度 /(mg·kg ⁻¹)	P 质量浓度 /(g·kg ⁻¹)	土壤氮矿化累积量/(mg·kg ⁻¹)				
			2 周	4 周	6 周	8 周	均值
D	0(CK)	0(CK)	5.25	9.68	8.74	7.35	7.76
	0.5	0.1	7.79	2.54	2.33	1.62	3.57
	0.5	0.3	3.98	1.75	7.77	5.12	4.66
	0.5	0.5	4.93	2.54	8.42	6.08	5.49
	1.0	0.1	3.66	6.51	8.42	2.89	5.37
	1.0	0.3	8.10	2.54	10.98	6.72	7.09
	1.0	0.5	7.47	3.33	10.66	4.17	6.41
H	0(CK)	0(CK)	6.50	8.81	7.19	4.51	6.75
	0.5	0.1	11.58	7.62	21.61	7.37	12.05
	0.5	0.3	10.00	16.35	20.01	10.87	14.31
	0.5	0.5	14.76	18.33	24.50	13.42	17.75
	1.0	0.1	1.59	8.41	10.08	12.15	8.06
	1.0	0.3	10.31	13.97	19.37	17.88	15.38
	1.0	0.5	6.50	16.75	29.31	16.61	17.29
S	0(CK)	0(CK)	24.84	32.70	42.73	43.66	35.98
	0.5	0.1	30.24	46.19	43.69	12.77	33.22
	0.5	0.3	35.00	47.78	51.38	14.68	37.21
	0.5	0.5	36.27	50.95	56.51	26.15	42.47
	1.0	0.1	35.63	35.48	44.33	15.32	32.69
	1.0	0.3	35.00	43.81	55.87	21.05	38.93
	1.0	0.5	40.08	48.17	66.44	27.10	45.45
B	0(CK)	0(CK)	28.64	31.67	35.79	8.03	26.03
	0.5	0.1	39.75	39.60	40.60	12.49	33.11
	0.5	0.3	40.39	60.63	46.04	9.94	39.25
	0.5	0.5	41.98	50.71	48.29	9.62	37.65
	1.0	0.1	34.99	52.70	42.84	9.94	35.12
	1.0	0.3	44.83	63.41	55.98	17.59	45.45
	1.0	0.5	43.56	45.16	58.54	21.09	42.09

3 结论与讨论

本研究结果表明,无论是磷、镉单施,还是磷镉交互添加,耕型第四纪红土红壤培养 2~8 周的氮矿化量均值都表现出不同程度地下降;王艳杰等^[5]认为,氮矿化势与土壤中有有机质含量呈显著正相关。本试验属好气培养,可能与耕型第四纪红土红壤有机质和养分含量较低,黏粒(<0.002 mm)含量高导致土壤微生物活性较低,同时镉的活性较大抑制土壤有机氮矿化有关;而添加磷在培养第 2 周对土壤氮矿化有一定的促进作用,这与沈其荣等^[1]的研究结果一致,可能与耕型第四纪红土红壤培养初期的营养物质相对充沛有关。在轻度镉污染的耕型第四纪红土红壤中,可考虑施用中、高量氮肥和磷肥来改善作物的生长状况,缓解镉在作物体内的积累。

不同类型红壤中可能存在不同的镉浓度刺激范围。顾宗濂等^[22]研究发现,向土壤中投入 1~200 mg/kg 镉,随镉浓度增高,微生物总数趋向于降低,表明总体上受镉抑制。陈怀满^[12]认为,向土壤添加镉 5~30 mg/kg,微生物总数明显比对照增多,显示有一个浓度刺激范围。单施镉对不同母质发育的耕型红壤氮矿化累积量的影响不尽相同,可能与同一种重金属在不同类型土壤上对微生物的生态效应产生较大差异有关。

与培养 2~8 周对照的氮矿化量均值相比,不同处理对耕型花岗岩红壤和耕型板岩红壤氮矿化均有促进作用;除单施镉处理对耕型石灰岩红壤氮矿化有一定的抑制作用外,其余处理均不同程度地表现出促进作用。对于轻度镉污染红壤的管理和利用,可通过采用合理氮磷肥配施来调节作物的生长状况,缓解镉在作物体内的积累,如耕型花岗岩红壤和耕型板岩红壤可以施用适量氮肥并配施中、高量磷肥,耕型石灰岩红壤施用中、高量氮磷肥等措施。

目前,关于磷、镉单用以及磷、镉共同作用对耕型红壤有机氮矿化的影响研究尚不全面,特别是在磷、镉元素共存情况下,添加氮元素对土壤有机氮的矿化有何影响尚缺乏研究,而此方面的研究对于解释农业生产中通过合理施肥途径减轻镉在作物体内的积累、保障农产品质量安全具有十分重要的意义。

参考文献:

[1] 沈其荣,沈振国,史瑞和.有机肥氮素的矿化特征及其化学组成的关系[J].南京农业大学学报,1992,15(1):

59-64.

- [2] 李世清,李生秀.有机物料在维持土壤微生物体氮库中的作用[J].生态学报,2001,21(1):136-142.
- [3] 鲁如坤.土壤-植物营养学原理和施肥[M].北京:化学工业出版社,1998.
- [4] 唐树梅,漆智平.土壤水含量与氮矿化的关系[J].热带农业科学,1997(4):54-60.
- [5] 王艳杰,邹国元,付桦,等.土壤氮素矿化研究进展[J].中国农学通报,2005,21(10):203-207.
- [6] 中国土壤学会土壤农业化学专业委员会,土壤生物和生物化学专业委员会.土壤氮素的矿化与供应——我国土壤氮素研究工作的现状与展望[M].北京:科学出版社,1986.
- [7] Sahrawat K L. Nitrogen availability indexes for submerged rice soils[J]. Advances in Agronomy, 1983, 36: 415-445.
- [8] 富东英,田秀平,薛菁芳,等.长期施肥与耕作对白浆土有机态氮组分的影响[J].农业环境科学学报,2005,24(6):1127-1131.
- [9] 彭令发,郝明德,来璐.长期施肥对土壤有机氮影响研究 I. 氮肥及其配施下土壤有机氮组分变化[J].水土保持研究,2003,10(1):53-54.
- [10] 郝晓晖,肖宏宇,苏以荣,等.长期不同施肥稻田土壤的氮素形态及矿化作用特征[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2007,33(5):544-550.
- [11] 李菊梅,李生秀.可矿化氮与各有机氮组分的关系[J].植物营养与肥料学报,2003,9(2):158-164.
- [12] 陈怀满.土壤中化学物质的行为与环境质量[M].北京:科学出版社,2002.
- [13] 李辉信,胡锋,刘满强,等.红壤氮素的矿化和硝化作用特征[J].土壤,2000(4):194-197.
- [14] 杨蕊,李裕元,魏红安,等.畜禽有机肥氮、磷在红壤中的矿化特征研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(3):600-607.
- [15] 李增耀.农业环境概论[M].上海:上海科技出版社,1991.
- [16] 邹玲,王翠红,李洪斌.长沙市边缘带蔬菜土壤重金属含量及污染现状评价[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(1):107-110.
- [17] 包兴国,邱进怀,刘生战.绿肥与氮肥配合施用对培肥地力和供肥性能的研究[J].土壤肥料,1994(2):27-29.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [19] 中国土壤学会编.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000.
- [20] 刘凤枝.农业环境监测手册[K].北京:中国标准出版社,2001.
- [21] Waring S A, Bremner J M. Ammonium production in soil under water logged condition as an index of nitrogen availability[J]. Nature, 1964, 29: 51-52.
- [22] 顾宗濂,谢思琴,吴留松,等.土壤中镉、砷、铅的微生物效应及其临界值[J].土壤学报,1987,24(4):319-324.

责任编辑:杨盛强