

曹 昀, 汤思文, 刘燕燕. 沼气肥中的重金属在土壤-大蒜中的迁移转化[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(10): 291-296.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.064

沼气肥中的重金属在土壤-大蒜中的迁移转化

曹 昀¹, 汤思文¹, 刘燕燕^{1,2}

(1. 江西师范大学地理与环境学院, 江西南昌 330022; 2. 江西省德安县第一中学, 江西九江 330400)

摘要:通过盆栽试验,研究铜(Cu)、锌(Zn)、铬(Cr)、砷(As)在土壤-大蒜中的迁移转化规律。设置1个空白组、3个试验组(T₁、T₂、T₃),每个试验组设置5个梯度(沼液稀释度设为1:8、1:5、1:4、1:2、1:1,加入沼渣的量分别为90、120、150、180、210 g),每个梯度设置1个平行。测定并计算土壤、大蒜的重金属含量、元素相关性、土壤-大蒜化学计量比、富集系数等指标。结果表明,(1)沙土中的As含量除沼液沼液合施组(T₂)中的1:5(210 g),沼液施肥组(T₃)中的1:5、1:8超过GB 15618—2008《土壤环境质量标准》的一级标准外,其他组都超过GB 15618—2008《土壤环境质量标准》的二级标准。大蒜土壤中的As、Zn随着沼气肥浓度的增加变化趋势明显,大蒜土壤中的As含量都超过了国家标准,从大蒜植物样试验组T₁、T₂、T₃组中未检测出As;(2)大蒜吸收Cr元素的能力最强,沼液施肥处理中Cr的迁移能力最强的是稀释比为1:8的,且超过国家标准,但在沼液施肥时迁移能力最弱的是210 g处理;在沼液施肥处理下,Zn元素迁移能力最强的是稀释比为1:8的,且迁移能力表现为Zn>Cu,土壤中的Cu、Zn含量可以促进大蒜对Cr元素的吸收,大蒜中的重金属以Cr最多,且全部超标。综上所述,土壤-大蒜中迁移能力是As最弱,Cr最强。

关键词:沼气肥;重金属;土壤;大蒜;迁移转化

中图分类号: S156;X71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)10-0291-05

近年来,畜禽养殖业逐渐向规模化快速发展,大量畜禽粪便引起的环境污染问题日益严重。沼气肥由畜禽粪便发酵产生,目前各地大量兴起沼气肥加工产业,它既符合废弃物治理的减量化、资源化和生态化原则,又能减少环境污染^[1-4]。沙土土质疏松,有机质含量低,保水保肥性差,是由80%以上的沙和20%以下的黏土混合而成的土壤。这种土壤土质疏松,透水透气性好,但是保水保肥能力差,不适宜某些植物生长,施加沼气肥可以改良土壤结构,提高土壤肥力。畜禽对饲料中铜(Cu)、锌(Zn)、铬(Cr)、砷(As)等微量元素添加剂的利用率较低,造成沼气肥中大量重金属积累,不合理的配施沼气肥可能导致土壤重金属含量超标及农产品的产量、品质下降^[5-8]。本研究以种植在含有沼气肥的沙土中的大蒜为研究对象,测定Cu、Zn、Cr、As元素在土壤-大蒜中的转移情况,以期对沙化地区蔬菜的安全种植提供参考依据,对改良沙土土壤肥力有重要意义,同时也是发展生态农业的有效途径。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试大蒜种子购于江西省九江市德安县种子公司;供试土壤取自江西师范大学附近的农家菜地及赣江采沙场,按照80%沙、20%黏土的体积比例进行混合;沼气肥由江西省德邦牧业有限公司提供,沼肥主要由猪粪发酵而成。

1.2 试 验 设 计

试验时间为2017年3—4月。试验地点位于江西省南昌市江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室。本试验以沙土为基质,在长×宽×高为31 cm×24 cm×9 cm的花盆中施加沼气肥,在室内种植大蒜。如表1所示,本试验设置1个空白组,3个试验组,每个试验组设置5个梯度,每个梯度设置1个平行,沼液稀释程度设为1:8、1:5、1:4、1:2、1:1,加入沼渣的量设为90、120、150、180、210 g,然后用沙土(80%沙,20%黏土)将各组土壤补足至8 100 g。供试沼气肥与饲料的重金属含量见表2,试验前后土壤的pH值为6.2~7.3。试验2个月,对大蒜进行收割,并采集试验组中的土壤及大蒜样品,做好标记。

1.3 样 品 处 理 与 测 试

将大蒜用自来水和去离子水冲洗,再将洗净后的大蒜样品用吸水纸吸干表面的水分并风干,放入已称质量的干燥培养皿(m₀)中称质量(m₁)。将培养皿和样品一起置于电热恒温鼓风干燥箱中于80℃(鼓风)烘约24 h,样品烘脆后用玻璃棒轻轻压碎,然后于105℃(不鼓风)烘约12 h,冷却,称质量。再用相同的方法烘约2 h,称质量,至质量恒定为止(将最后的质量记作m₂),按照式(1)计算大蒜样品的含水量。将土壤样品自然风干后,与植物样品一样经研钵研磨过100目尼龙筛。土壤、植物样品都采用HF-HNO₃法消解,然后用Optima 8000 ICP-OES(电感耦合等离子体发射光谱仪)检测。试验过程中使用的试剂均为优级纯,试验所用器皿均在10%硝酸和去离子水中分别浸泡24 h以上,所有样品批次含有相应的试剂空白,并进行20%平行样的测定。大蒜中的重金属含量以鲜质量计。

$$f = (m_1 - m_2) / (m_1 - m_0) \quad (1)$$

收稿日期:2018-01-23

基金项目:国家自然科学基金(编号:41361017);江西省科技计划(编号:20132BBF60079)。

作者简介:曹 昀(1974—),男,甘肃庆阳人,博士,副教授,主要从事生态恢复研究。E-mail:yun.cao@163.com。

表1 试验设计方案

组别	沼液稀释度+沼渣 用量(g)	沼液稀释度+沼渣 用量(g)	沼液稀释度+沼渣 用量(g)	沼液稀释度+沼渣 用量(g)	沼液稀释度+沼渣 用量(g)
空白组 CK	0+0	0+0	0+0	0+0	0+0
沼渣施肥组 T ₁ (T ₁₁ ~T ₁₅)	0+90	0+120	0+150	0+180	0+210
沼渣+沼液 T ₂ (T ₂₁ ~T ₂₅)	1:5+90	1:5+120	1:5+150	1:5+180	1:5+210
沼液施肥组 T ₃ (T ₃₁ ~T ₃₅)	1:8+0	1:5+0	1:4+0	1:2+0	1:1+0

表2 供试沼气肥与饲料的重金属含量 mg/kg

来源	Cu	Zn	As	Cr
沼渣	612.66	8 768.69	66.30	35.39
沼液	0.57	2.88	0.74	1.51
饲料	24.52	294.29	21.02	12.01

式中: f 为植物样品中的含水量; m_0 为培养皿质量,g; m_1 为植物鲜样品和培养皿的总质量,g; m_2 为植物干样和培养皿的总质量,g。

土壤样品基本性质的测定采用常规方法,其中 pH 值采用去离子水浸提 pH 计法测定,水、土体积比=2.5:1。

1.4 数据处理与分析

植物样品测定用数据为干样数据,本研究中所用数据为换算后的鲜样数据,植物鲜样中重金属含量的计算公式如下:

$$W = CV/[m(1-f)] \quad (2)$$

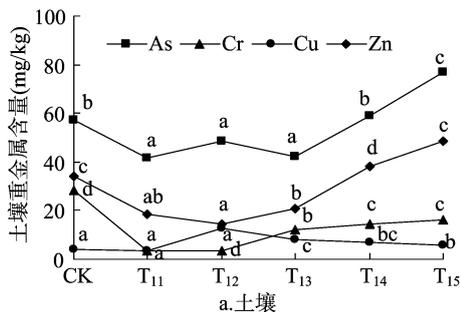
式中: W 为烘干土壤中砷、铜、锌、铬的含量,mg/kg; C 为样品浓度, $C = C_{\text{测定组}} - C_{\text{空白组}}$,mg/L; V 为样品体积,mL; m 为消解时所取样品的质量,g; f 为土壤含水量。

采用 Office 2010 软件进行数据处理及制图,统计分析采用 SPSS 21.0 软件完成,对试验组的重金属元素含量进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用 LSD(最小显著性差异法)多重比较分析不同沼气肥试验组中相同重金属元素含量的差异。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属含量差异分析

由图 1-a、图 2-a、图 3-a 可知,T₁、T₂、T₃ 试验组土壤重金属含量排序为 As>Zn>Cr>Cu。与 CK 相比,T₁ 组 As、

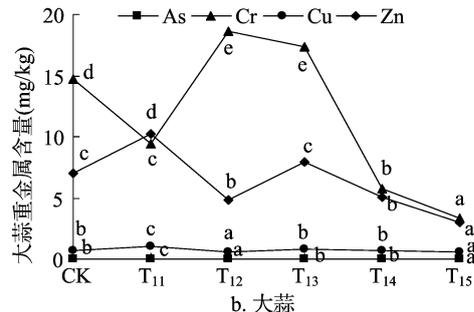
不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同图1 T₁组土壤、大蒜中的 As、Cr、Cu、Zn 含量

2.2 大蒜中重金属含量的差异分析

由图 1-b、图 2-b、图 3-b 可以看出,大蒜中的 As 元素含量为 0 mg/kg,T₁、T₂、T₃ 组的重金属含量都表现为 Cr>Zn>Cu>As。Cr、Zn、Cu 含量与 CK 相比,T₁ 组的增幅分别为 -77.1%~26.2%、-56.8%~45.5%、-25.1%~41.1%,T₂ 组的增幅分别为 -64.6%~43.8%、-50.9%~4.8%、

Zn、Cr、Cu 元素含量的增幅分别为 -27.03%~34.18%、-57.27%~42.93%、-87.73%~-43.75%、-12.59%~213.12%,T₂ 组的增幅分别为 -60.20%~22.24%、-48.43%~100.00%、-92.97%~22.81%、-25.37%~463.62%,T₃ 组的增幅分别为 -44.35%~39.27%、-78.07%~-3.42%、-94.74%~19.42%、-87.50%~61.53%。对照 GB 15618—2008《土壤环境质量标准》,As 含量除沼渣沼液合施组中的 1:5+210 g 处理、沼液组中的 1:5、1:8 处理超过国家土壤环境质量标准一级标准外,其他组都超过国家土壤环境质量标准二级标准;Zn、Cu、Cr 符合国家一级标准。由图 4-a 中样品的各元素之间总体平均变异程度(等级为低、中、高)可以看出,T₁、T₂、T₃ 组的 As 元素都为低等,Cu、Zn 元素都为中等,Cr 在沼渣组、沼液组为中等,在沼渣+沼液组为高等。沼渣组、沼渣+沼液组、沼液组中的 As、Zn、Cr、Cu 含量差异都不显著,只有 Zn、Cr 在 0.05 水平有显著差异($P < 0.05$)。

由大蒜土壤重金属含量可以看出,CK 组的 As 含量已经超标,可能由于 As 元素更容易吸附在沙粒表面。由图 1-a、图 2-a、图 3-a 还可以看出,用沼气肥种植大蒜时,随着沼气肥浓度增加,沼渣组的 As、Zn、Cr 元素含量整体表现为增加趋势,Cu 含量呈增加一下降的趋势;沼渣+沼液组 As、Zn、Cr 含量呈增加一下降的趋势,Cu 元素含量则呈下降—增加一下降的趋势;沼液组的 As、Cr 含量整体表现为上升趋势,Cu 含量呈增加一下降的趋势,Zn 含量呈增加一下降—增加一下降的趋势。与 CK 相比,施加沼渣会使 Cr 元素减幅较明显,沼渣沼液合施使 Zn 元素含量增幅较大,施用沼液使 Zn 含量减幅比较明显。



-41.8%~-16.9%,T₃ 组的增幅分别为 -34.5%~176.2%、-41.4%~89.7%、-23.6%~61.9%。对照 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》,T₁、T₂、T₃ 组中未检测出 As,Cu、Zn 的含量都在国标规定的安全范围之内,Cr 元素的含量超过国家标准。由图 4-b 可以看出,从变异程度来看,Cu、Cr 分别为低等、高等,Zn 的变异系

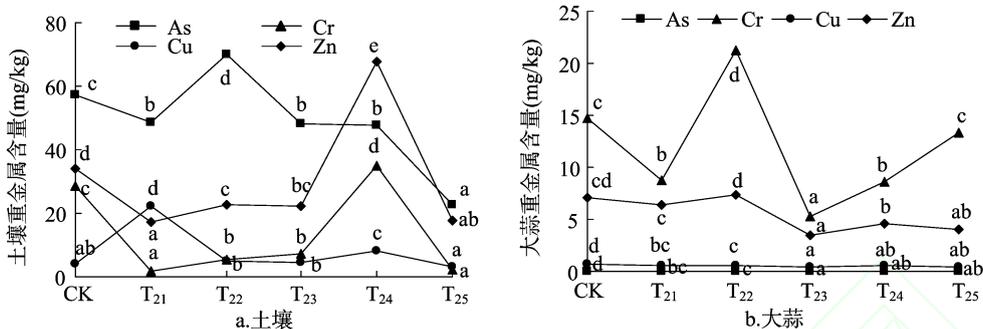
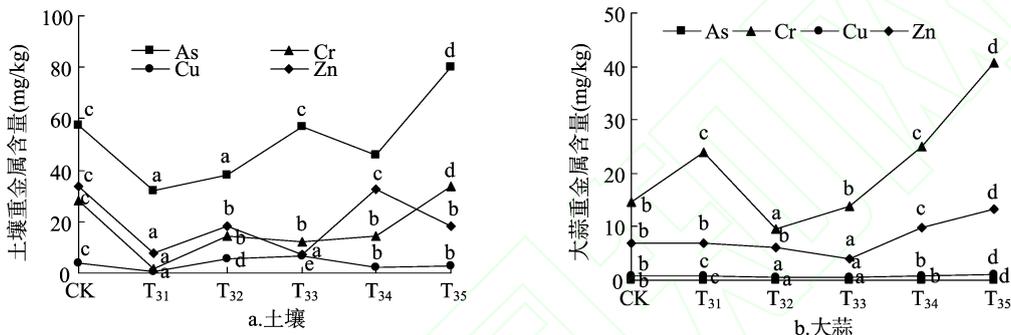
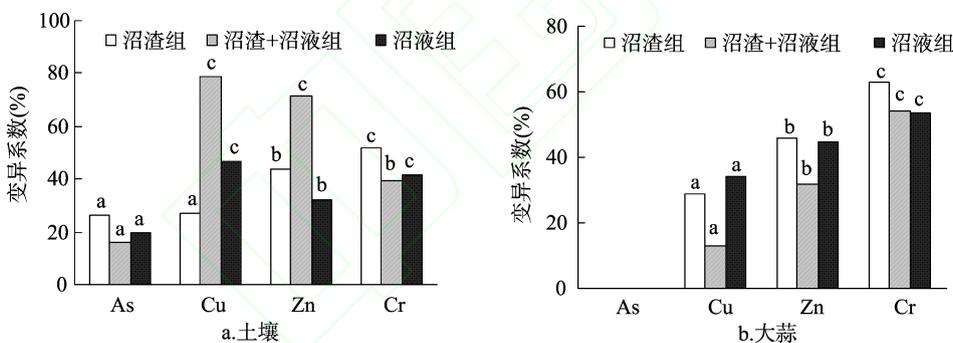
图2 T₂组土壤、大蒜中的As、Cr、Cu、Zn含量图3 T₃组土壤、大蒜中的As、Cr、Cu、Zn含量

图4 土壤、大蒜中As、Cr、Cu、Zn元素的变异系数

数在沼渣组、沼液组为中等,在沼渣沼液合施组为低等。T₁、T₂、T₃组的重金属元素含量与CK相比差异显著,T₁、T₂、T₃组中不同浓度之间的As、Cr、Zn、Cu元素的变异系数差异也不显著。总体来看,T₁、T₂、T₃组中As、Cr、Zn、Cu含量差异极显著($P < 0.01$)。

对大蒜样品中的重金属含量分析可知,CK的Cr含量已经超标,可能由于大蒜对Cr元素的吸收能力大于其他元素。由图2-b可以看出,与CK相比,沼渣+沼液施肥处理大蒜中的Cu元素含量降低。由图3-b可见,随着沼液浓度的增加,大蒜中的Cr元素含量大致呈增加的趋势。由图1-b、图2-b、图3-b可以看出,随着沼液浓度的增加,沼渣处理组大蒜中的Cr含量呈增加一下降的趋势,Zn、Cu含量呈增加一下降的趋势;沼渣、沼液合施组大蒜中的Cr含量呈增加一下降一下降的趋势,Zn、Cu含量呈增加一下降一下降的趋势;施用沼液组大蒜中的Cr、Zn、Cu含量都呈下降一下降一下降的趋势,施用沼液组大蒜中的Cr、Zn、Cu含量都呈下降一下降一下降的趋势,Cr含量的变化较明显。因此可以推测,在沙土中,随着沼渣沼液合施处理浓度的增加,能够减弱大蒜对Cu的吸收,为了防止Cr元素超标,应当避免单独施用沼液。

2.3 沙土、大蒜中As、Cr、Cu、Zn元素含量的相关性分析

对试验组沙土中Cr、Cu、Zn元素的相关性分析可知,T₁组中的As、Zn含量显著相关;T₂组的Cr和Zn含量显著相关;T₃组的As、Cr含量显著相关。因此可知,当在沙土中施加沼渣、沼渣+沼液、沼液后,As含量与Zn含量,Cr含量与Zn含量,As含量与Cr含量可以相互反映,从而促进吸收。不同的施肥方式可以使土壤的理化性质发生改变,导致土壤中重金属的形态发生变化,从而影响重金属从土壤向植物迁移。

对大蒜中As、Cr、Cu、Zn元素含量的相关性分析可知,T₁组的Cu、Zn含量显著相关;T₂组的Cu、Zn含量极显著相关;T₃组的Cr含量和Cu、Zn含量显著相关。在沼渣、沼渣+沼液施肥处理下,大蒜中的Cu、Zn出现正相关关系,即说明在沼渣、沼渣+沼液施肥处理下,当土壤中的Cu浓度一定时,能够促进大蒜对Zn的吸收。施用沼液使大蒜中的Cr含量与Cu、Zn含量分别出现同源关系,也就是说当土壤中的Cr元素达到一定浓度时,可以促进大蒜对Cu、Zn元素的吸收^[9]。

2.4 沙土、大蒜的重金属化学计量比分析

由图5、图6、图7可知,T₁、T₂、T₃组大蒜中的Cr/Cu值、

Cr/Zn 值均高于土壤,且施用沼气肥使大蒜对 Cr 的吸收能力强于对 Zn、As、Cu 的吸收能力;反之,说明 Zn、As、Cu 在土壤和植物间的转移能力较弱。 T_1 组 210 g 处理、 T_3 组 1:8、1:2 试验组的 Cu/Zn 值均表现为植物高于土壤,说明在这几个配比下,施肥后 Cu 元素的转移能力强于 Zn、As/Cr 值、

As/Cu 值、As/Zn 值在植物中都为 0,说明大蒜不能吸收土壤中的 As 元素。由图 5、图 6、图 7 还可知,As 元素不易被大蒜吸收; T_1 、 T_2 、 T_3 组中大蒜对元素的吸收能力表现为 $Cr > Zn > Cu > As$ 。

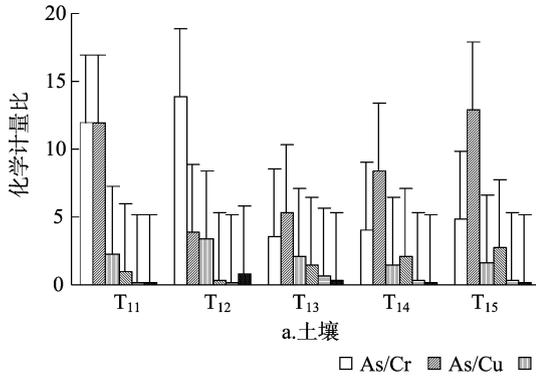


图5 T_1 组土壤、大蒜中 As、Cr、Cu、Zn 元素的化学计量比

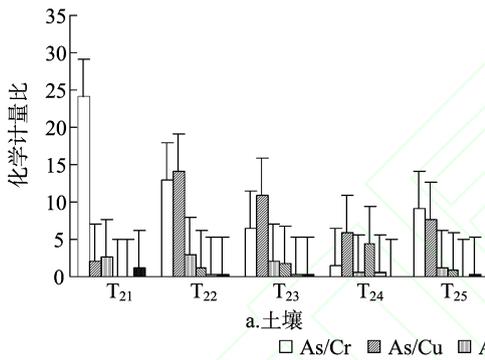
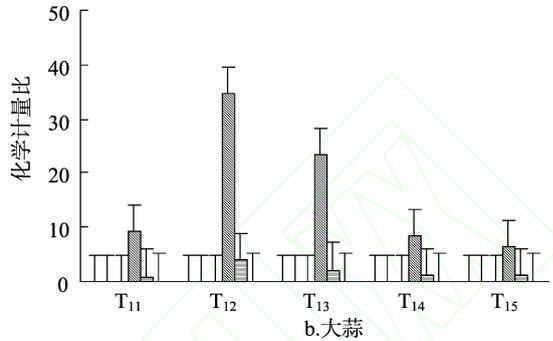


图6 T_2 组土壤、大蒜中 As、Cr、Cu、Zn 元素的化学计量比

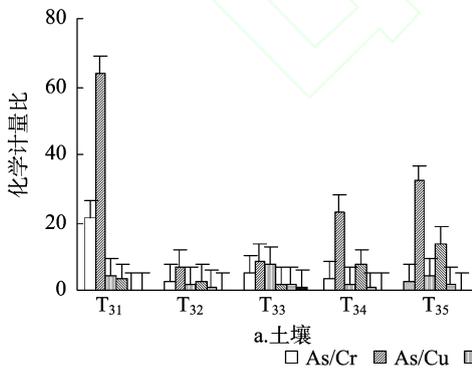
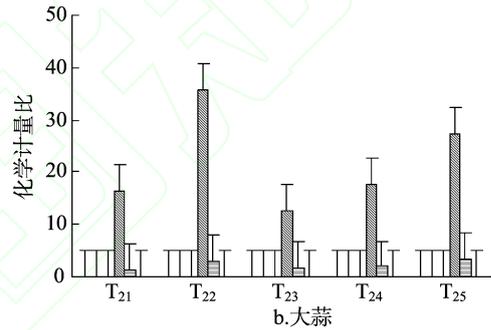
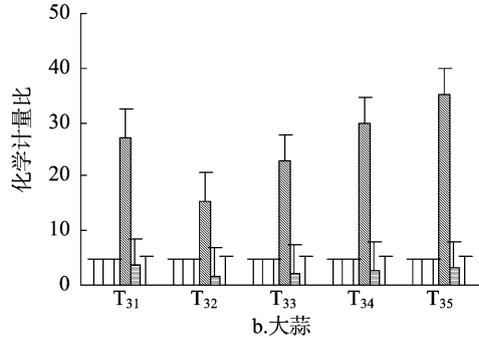


图7 T_3 组土壤、大蒜中 As、Cr、Cu、Zn 元素的化学计量比



对土壤样品中各重金属及化学计量比的相关性分析显示, T_1 组的 As/Cr 值与 Cr 含量呈显著负相关($r = -0.936, n = 5, P < 0.05$); Cr/Cu 值与 Cr 含量呈显著正相关($r = 0.933, n = 5, P < 0.05$),与 Cu 含量呈显著正相关($r = 0.946, n = 5, P < 0.05$); Cu/Zn 值与 Cu 含量呈显著正相关($r = 0.908, n = 5, P < 0.05$)。 T_2 组的 Cr/Cu 值与 Cr 含量呈极显著正相关($r = 0.977, n = 5, P < 0.01$),与 Zn 含量呈极显著正相关($r = 0.965, n = 5, P < 0.01$); Cr/Zn 值与 Cr 含量呈显著正相关($r = 0.919, n = 5, P < 0.05$); Cr/Zn 值与 Zn 含量呈显著正相关($r = 0.894, n = 5, P < 0.05$); Cu/Zn 值与 Cu 含量呈

极显著正相关($r = 0.960, n = 5, P < 0.01$)。 T_3 组的 As/Cu 值与 Cu 含量呈显著负相关($r = -0.881, n = 5, P < 0.05$); Cr/Zn 值与 As 含量呈显著正相关($r = 0.900, n = 5, P < 0.05$)。

由植物样品的重金属元素化学计量比可以看出, T_1 组的 Cr/Cu 值与 Cr 含量的相关性显著($r = 0.936, n = 5, P < 0.05$),与 Cu 含量的相关性不显著; Cu/Zn 值、Cr/Zn 值与植物中 Cr、Cu、Zn 含量的相关性不显著。 T_2 组中的 Cr/Cu 值与 Cr 含量的相关性极显著($r = 0.985, n = 5, P < 0.01$),与 Cu 含量的相关性不显著; Cu/Zn 值与 Cu 含量呈显著负相关($r = -0.904, n = 5, P < 0.05$),与 Zn 含量呈极显著负相关($r =$

-0.980, $n=5, P<0.01$)。T₃ 处理组中各元素的化学计量比和元素含量无显著相关性。

2.5 大蒜重金属的富集特征分析

由图8可以看出,大蒜对重金属元素的平均富集能力排序为 Cr > Zn > Cu > As, Cr、Zn 的富集系数明显大于 Cu、As。在大蒜种植时,施用沼液处理的 Cr 的迁移能力最强(沼液稀

释度为 1 : 8 时最高),施用沼渣处理的迁移能力最弱(210 g);Zn 元素以施用沼液处理的富集能力最强(沼液稀释度为 1 : 8 时最高),合施沼渣沼液时能力最弱,但是最小的为施用 210 g 沼渣组。综上所述,在沙土中施加沼气肥种植大蒜,最容易富集的元素为 Cr、Zn^[10]。

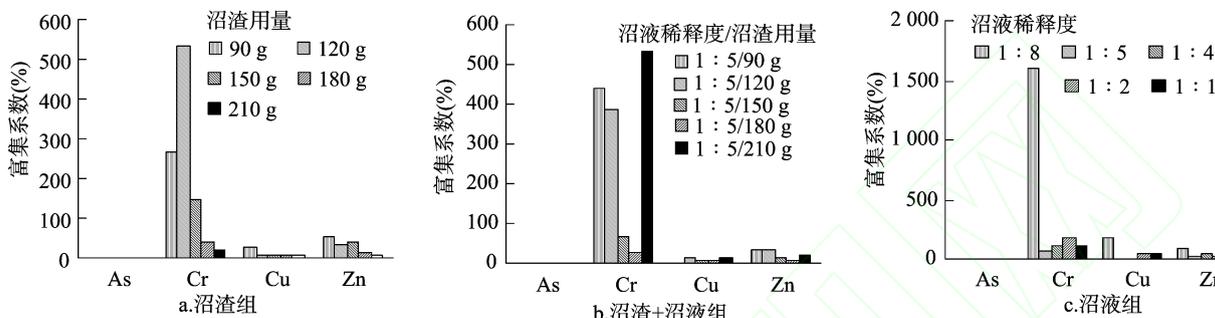


图8 大蒜中 As、Cr、Cu、Zn 元素的富集系数

3 讨论与结论

在蔬菜的生长过程中,主要靠从土壤中吸收营养,土壤中的重金属元素在土壤-植物体系中的迁移转化经历土壤→蔬菜→食物链→人这一动态过程,因此,关注沼气肥种植蔬菜后土壤中重金属的安全问题十分必要。在土壤-蔬菜系统中,重金属元素的累积、转移机制十分复杂,不仅与蔬菜种类、品种有关,还与土壤的理化性质、重金属元素自身的特性以及重金属元素在土壤中的含量及存在形态等有关^[11-12]。本试验从元素含量、元素相关性、土壤-大蒜化学计量比、富集系数4个方面得出以下结论:(1)沙土中的 As 含量除 1 : 5 + 210 g 沼渣沼液合施组、1 : 5 与 1 : 8 沼液组超过国家一级标准,其他组均超过国家二级标准。大蒜植物样 T₁、T₂、T₃ 试验组中未检测出 As,与谢华等认为的葱蒜类能吸收砷元素(叶菜类 > 葱蒜类 > 根茎类 > 果菜类)的结果不符^[13],与其他人的研究结果也不一致^[14-16]。蔡保松等分析的污染区土壤与蔬菜砷浓度之间的相关关系结果显示,土壤砷浓度与蔬菜砷浓度之间的相关关系不显著,但是蔬菜中的砷浓度均与植物的生物富集系数呈极显著相关($P<0.01$),说明生物富集系数的变化可以很好地反映蔬菜中砷浓度的变化^[14]。大蒜可食部分的砷浓度相对较低,说明这些蔬菜中的砷在可食部分的积累量较少。(2)大蒜吸收 Cr 元素的能力最强,1 : 8 沼液施肥处理的 Cr 迁移能力最强,并且大蒜中的 Cr 元素超过国家标准,210 g 沼渣施肥处理下的迁移能力最弱;Zn 元素在 1 : 1 沼液施肥处理下的迁移能力最强,且迁移能力表现为 Zn > Cu,这与王玉宏等认为的大蒜对 Cu 的富集能力低于 Zn 的结论^[16]相同。土壤中的 Cu、Zn 可以促进大蒜对 Cr 元素的吸收,因此施加沼气肥种植大蒜时应该选择 Cu、Zn 含量低的沼气肥,避免 Cr 的过量转移,从而危害人类身体健康^[17]。因为在沙土中施加沼气肥种植大蒜,最容易富集的元素为 Cr、Zn。因此在农业生产实践中,可以选择施用 210 g 沼渣,此时 Cr、Zn 元素的迁移能力最弱。有利于沙化地区蔬菜的安全种植,同时也有利于发展生态农业。

在土壤中施加沼气肥种植大蒜,结果显示,沼肥使得土壤

有机质含量增加,与余海兵得出的结论^[18]相一致。试验组以沼渣+沼液施肥最明显,沼液施肥会增加土壤有机质的含量,但沼液浓度在 1 : 5 ~ 1 : 2 之间时不利于土壤有机质积累。蔡阿兴等用河南封丘土壤质碱土进行盆栽和田间试验得出,沼气肥可以提高碱性土的养分含量,同时对提高农作物的产量和改善土壤的物理性状有一定的意义^[19]。试验组中土壤 pH 值相对于 CK 整体呈下降趋势,沼液施肥对土壤 pH 值变化的影响最大,沼渣+沼液施肥使得土壤 pH 值的波动较大,但是其变化较施用沼液的处理小,施用沼渣的影响最小,这与商和平等认为的有机肥能使石灰性土壤 pH 值降低的结论^[20]相同。

参考文献:

- [1] 王宜伦,张倩,刘举,等. 沼气肥在农作物上的应用现状与展望[J]. 南方农业学报,2011,42(11):1365-1370.
- [2] 刘玉亭,赫立群,吕守鹏. 沼气肥在有机食用农产品生产中的作用及应用[J]. 中国商界,2010(5):266.
- [3] 王奇,陈海丹,王会. 基于土地氮磷承载力的区域畜禽养殖总量控制研究[J]. 中国农学通报,2011,27(3):279-284.
- [4] Ko H J, Kim K Y, Kim H T, et al. Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure[J]. Waste Management, 2008, 28(5):813-820.
- [5] 张勇,朱宇旋. 饲料与饲料添加剂[M]. 北京:化学工业出版社,2008:100-105.
- [6] 马文元,郭玉兰. 对沼气发酵残留物中生物活性物质的探讨[J]. 中国沼气,1993,11(2):50-51.
- [7] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2004, 16(3):371-374.
- [8] 纪雄辉,鲁艳红,郑圣先. 湖南省畜禽粪便污染及其综合防治策略[J]. 湖南农业科学,2006(3):123-125.
- [9] 曹响,陈冰祥,刘燕燕,等. 沼气肥中重金属在土壤-蔬菜中的迁移转化规律——以白菜为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(1):253-257.

狄霖,刘玲玲,钟志仁,等. 水稻田铁氧化菌的丰度及微生物群落结构组成[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):296-300.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.10.065

水稻田铁氧化菌的丰度及微生物群落结构组成

狄霖¹,刘玲玲²,钟志仁³,黄顾林¹,盛海君²,王娟娟²,朱友理⁴

(1. 江苏省镇江市耕地质量保护站,江苏镇江 212009; 2. 扬州大学环境科学与工程学院,江苏扬州 225127;

3. 江苏省镇江市农业技术推广站,江苏镇江 212009; 4. 江苏省镇江市植保植检站,江苏镇江 212009)

摘要:水稻土中铁氧化物的存在对于土壤中的重金属离子及有机污染物有较强的吸附固定能力,研究参与其形成的微生物有重要的生态意义。分别采用浓度梯度试管富集培养不同水稻根部土壤中的铁氧化菌,用最大可能数(most probable number,简称MPN)方法计算其丰度;测定土壤主要微生物群落结构,并结合各种土壤理化因素进行多元生态统计分析。结果表明,几种不同肥力的水稻土中可培养的微好氧铁氧化细菌数平均达169万个/g,其丰度与土壤pH值呈正相关,而与其他主要土壤理化性质没有显著相关性。在门的水平上,所测样品中以Proteobacteria(变形菌门)为主要类别,平均占细菌总量的46.35%。在属水平上,则以*Nitrospira*(硝化螺旋菌属)、*Anaeromyxobacter*(厌氧黏细菌)、*Geobacter*(地杆菌属)、*Anaerolinea*(厌氧绳菌属)等为主,代表性的铁氧化菌*Gallionella*(披毛菌属)在所有相对丰度中排名第7,达2.2%。总体而言,各种样品的理化性质相近,但是微生物群落的结构差异较大,其分布受到样品理化性质的影响较为复杂。

关键词:水稻土;铁氧化细菌;微生物群落结构;丰度

中图分类号: S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)10-0296-05

铁(Fe)是地球表面丰度排名第2的金属元素,普遍存在于各种土壤中。铁在自然界中的主要存在形态为二价铁[Fe(II)]与三价铁[Fe(III)],前者可以通过化学过程与微生物作用,由铁氧化生成Fe(III)氧化物^[1]。铁的氧化物、氢氧化物在自然界中以多种形态存在,铁氧化物及其氢氧化物具有特殊的电学性质、较大的比表面积和丰富—OH功

能团,可与多种离子发生吸附-解吸反应,对重金属离子及有机污染物在地表环境中的迁移和沉淀均有重要影响。由微生物活动而产生的铁氧化物,因其巨大的比表面积并可与微生物有机体、各种有机代谢物结合,对土壤中包括重金属在内的多种污染物有较强的吸附能力,在修复、净化污染土壤的研究中受到相当多的关注^[2-4]。研究表明,约有50%~90%的铁氧化物是由微生物活动形成的^[5-6]。

水稻在农业生产中占有非常重要的地位,水稻田是具有重大经济意义的土壤资源,因其灌溉条件特殊,水稻田中的重金属,特别是砷(As)、镉(Cd)等的污染比其他农田严重,从而严重威胁到粮食安全。研究表明,水稻如果长期生长在淹水环境中,厌氧土壤中大量存在的Fe(II)会被水稻根系分泌的氧气、氧化性物质氧化成三价铁并沉积在水稻根表及质外体^[7]。这些铁氧化物可以对植物吸收和运输重金属元素起

收稿日期:2018-01-15

基金项目:现代农业(稻麦)科技综合示范(镇江)项目(编号: SXGC[2015]240、SXGC[2016]227)。

作者简介:狄霖(1985—),男,江苏溧阳人,硕士,农艺师,主要从事农业技术推广工作。Tel:(0511)88877833;E-mail:dilin@live.cn。

通信作者:王娟娟,博士,副教授,主要从事土壤微生物学方面的研究。Tel:(0514)89797645;E-mail:wangjuanjuan@yzu.edu.cn。

[10]刘燕燕. 沼气肥对蔬菜品质及土壤安全的影响[D]. 南昌:江西师范大学,2016.

[11]刘全东,蒋代华,高利娟,等. 畜禽粪便有机肥源重金属在土壤-蔬菜系统中累积、迁移规律的研究进展[J]. 土壤通报,2014,45(1):252-256.

[12]戴树桂. 环境化学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2006.

[13]谢华,廖晓勇,陈同斌,等. 污染农田中植物的砷含量及其健康风险评估——以湖南郴州邓家塘为例[J]. 地理研究,2005,24(1):151-159.

[14]蔡保松,陈同斌,廖晓勇,等. 土壤砷污染对蔬菜砷含量及食用安全性的影响[J]. 生态学报,2004,24(4):711-717.

[15]Roychowdhury T, Tokunaga H, Ando M. Survey of arsenic and other heavy metals in food composites and drinking water and estimation of dietary intake by the villagers from an arsenic-affected area of West Bengal, India[J]. Science of the Total Environment, 2003, 308(1/

2/3):15-35.

[16]王玉宏,李保同,汤丽梅. 3种作物对添加外源性Cu、Zn的土壤中Cu、Zn的富集与转运[J]. 农业环境科学学报,2014,33(2):250-256.

[17]Warren G P, Alloway B J, Lepp N W, et al. Field trials to assess the uptake of arsenic by vegetables from contaminated soils and soil remediation with Iron oxides[J]. Science of the Total Environment, 2003, 311(1/2/3):19-33.

[18]余海兵. 沼肥对糯玉米生长发育、品质及土壤特性的影响[D]. 南京:南京农业大学,2007.

[19]蔡阿兴,蒋其鳌,常运诚. 沼气肥改良碱土及其增产效果研究[J]. 土壤通报,1999,30(1):4.

[20]商和平,李洋,张涛,等. 畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化[J]. 环境科学,2015,36(1):314-324.