

吴 昊,管永祥,左文刚,等. 生活污水对新围垦滩涂土壤肥力驱动及田菁生长的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):262-266.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.065

生活污水对新围垦滩涂土壤肥力驱动 及田菁生长的影响

吴 昊¹,管永祥²,左文刚³,黄顾林⁴,柏彦超³

(1. 江苏省互联网农业发展中心,江苏南京 210036; 2. 江苏省耕地质量与农业环境保护站,江苏南京 210036; 3. 扬州大学环境科学与工程学院 / 江苏省有机固体废弃物资源化协同创新中心,江苏扬州 225127; 4. 江苏省镇江市耕地质量保护站,江苏镇江 212009)

摘要:中国东部沿海滩涂改良后作为重要后备耕地资源,可有效缓解耕地资源紧缺的现状。符合国家农用标准(GB/T 24600—2009《城镇污水处理厂污染处置 土地改良用泥质》)的生活污泥产量大且有机质含量高,可作为滩涂土壤快速改良的有机肥源。探讨了应用不同用量(0、30、75、150、300 t/hm²)生活污泥作为“原始肥力驱动剂”对新围垦滩涂土壤理化性状的持续影响,及其对第 2 季绿肥植物田菁的生长、养分及重金属吸收的影响。结果表明,施用生活污泥降低了滩涂土壤盐分、pH 值,提高了滩涂土壤有机质含量及 N、P 养分的供应,促进了绿肥植物田菁的生长,提高了其生物量及其对 N、P 养分的吸收。施用生活污泥增加了田菁植株地上部 Cd、Mn、Zn 含量及根系 Cr、Zn 含量。

关键词:沿海滩涂;土壤改良;生活污泥;绿肥;土壤肥力;田菁

中图分类号: S156;X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0262-05

随着人口不断增长,工矿、交通、城市建设用地不断增加,我国人均耕地在快速减少,严重威胁了国家的粮食安全^[1]。中国东部沿海滩涂土地资源总面积约为 217.04 万 hm²,主要分布在北起辽宁、南至广东、广西和海南的海滨地带,其改良后可作为重要的后备耕地资源^[2]。近 50 年来,滩涂围垦作为实现“耕地占补平衡”的有效手段得到了迅速发展,我国通过滩涂围垦新增了 110 万~120 万 hm² 土地^[3]。按照目前我国入海河流泥沙的淤积速率,到 2050 年可再围垦 100 万~150 万 hm² 土地。然而,新围垦滩涂土壤盐分含量高^[4],土壤

水分和盐分的运动非常活跃^[5],不适合开展农业生产。此外,新围垦滩涂土壤层次发育不全,耕作层次尚未形成,有机质含量极低,养分种类少、供应能力差^[6-7]。滩涂土壤快速改良的关键环节是大量增加其有机质含量。土壤有机质可促进土壤团聚体形成,改变盐分运动状况,抑制返盐,促进脱盐,从而减轻盐分对作物的危害,提高作物产量,达到改良滩涂土壤的目的^[8]。土壤有机质是土壤肥力物质,与土壤养分含量的增加有密切的联系,可不断地供给作物所需的各种营养、改善作物营养水平^[9]。

随着我国生活污水处理率的不断提高,生活污泥产生量也急剧增加,亟待无害化处置和资源化利用^[10-11]。大量研究表明,施用适量生活污泥可明显增加土壤有机质含量,有效改善土壤结构性、水力学性质等,由此带来的土壤理化性状的改善将对农业生产起积极作用^[12-16]。然而,前人对污泥农用的研究主要集中于一般农田,对利用生活污泥改良滩涂土壤的应用效果及作用机理研究较少。本研究拟在重金属总量控制的前提下,采用符合农用标准的生活污泥一次性施用作为“原始肥力驱动剂”,使原本几乎没有肥力的滩涂土壤迅速获得支撑绿肥植物生长的能力,使绿肥生物量得以大量积累,经原地还田腐解后形成土壤有机质,如此循环往复,可迅速提升

收稿日期:2016-10-28

基金项目:江苏省农业三新工程(编号: SXGC(2015)291、SXGC[2016]277);江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(15)1005];江苏省扬州市环保项目(编号: YHK1414);江苏省双创人才计划。

作者简介:吴 昊(1978—),男,江苏盐城人,高级农艺师,主要从事农业资源与环境保护工作研究。E-mail: njwh2001@163.com。

通信作者:管永祥,研究员,主要从事耕地质量与农业环境保护工作研究。E-mail: gyx5598@126.com;柏彦超,博士,副教授,主要从事有机固废资源化与滩涂土壤改良工作研究。E-mail: ycbai@yzu.edu.cn。

[4] Cao G M, Zhao Q X, Sun X B, et al. Characterization of nitrifying and denitrifying bacteria immobilized in PVA and kinetics model of biological nitrogen removal by immobilized cells[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2002, 30(8): 49-55.

[5] 王静萱,李 军,张振家,等. 固定化包埋颗粒对二级出水深度脱氮特性研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(2): 389-394.

[6] Zhang X Y, Zhu F, Chen L, et al. Removal of ammonia nitrogen from wastewater using an aerobic cathode microbial fuel cell[J]. Bioresource Technology, 2013, 146(10): 161-168.

[7] Dong Y W, Zhang Y Q, Tu B J, et al. Immobilization of ammonia-

oxidizing bacteria by calcium alginate[J]. Ecological Engineering, 2014, 73: 809-814.

[8] 陈 杰,汪 霞,赵 彬,等. *A. faecalis* strain NR 的包埋固定及其氨氮降解性能[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 3303-3311.

[9] 韩亚红,王 红,段 炼,等. CMC-膨润土固定高效菌降解对硝基苯酚的研究[J]. 非金属矿, 2015, 38(5): 64-66.

[10] 何边阳,郑婷婷,王丰喜,等. 纤维素/硅藻土复合气凝胶的吸附性能[J]. 环境工程学报, 2016, 10(6): 3005-3011.

[11] 乔 楠,高明星,张彦福,等. 改性硅藻土负载混合微生物处理染料废水的研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(12): 3451-3455.

滩涂土壤有机质的自积累,从而实现低投入下滩涂土壤肥力的快速形成。研究结果将为沿海滩涂土壤的快速熟化提供科学依据和理论指导,为城市生活污水污泥安全合理农用提供理论依据和实践基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2011—2013 年在江苏省如东县新围垦第 4 年的滩涂垦区试验田(32°20'03" N,121°23'23" E)进行。供试生活污水污泥于 2011 年 8 月取自如东生活污水处理厂。滩涂土壤、生活污水污泥的基本理化性质见表 1,其中生活污水污泥符合建设部

表 1 供试滩涂土壤、生活污水污泥的基本理化性质

项目	pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	全 Mn 含量 (mg/kg)	全 Cu 含量 (mg/kg)	全 Zn 含量 (mg/kg)	全 Ni 含量 (mg/kg)	全 Cd 含量 (mg/kg)	全 Pb 含量 (mg/kg)
滩涂土壤	9.02	3.43	0.282	0.507	17.08	6.99	153.1	15.9	56.2	30.9	1.60	37.8
生活污水	6.32	377.00	51.200	5.510	3 440.00	813.00	129.5	1121.9	2127.3	52.8	3.30	59.1

1.3 测定方法

土壤水溶性总盐含量测定采用残渣烘干-质量法,有机质含量测定采用重铬酸钾外加热法,全 N 含量测定采用半微量凯氏法,全 P 含量测定采用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮法,碱解氮含量测定采用碱解扩散法,速效磷含量测定采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法^[17]。各小区采集田菁植株 10 株,清洗后用吸水纸吸干,称鲜质量。在通风干燥箱中 105 ℃ 杀青 15 min,再于 80 ℃ 条件下烘干至恒质量,称质量。采用 HCl-HNO₃-HClO₄ 消煮-原子吸收分光光度法和 DTPA 浸提-原子吸收分光光度法,分别测定土壤 Mn、Zn、Cu、Ni、Cd 和 Pb 的全量和有效态含量。采用干灰化法-原子吸收分光光度法,测定黑麦草植株重金属 Mn、Zn、Cu、Ni、Cd 和 Pb 的含量^[17]。试验数据采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 13.0 统计

颁布的《城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质》(GB/T 24600—2009)国家标准。

1.2 试验设计

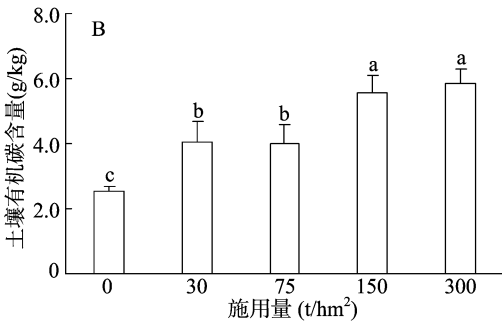
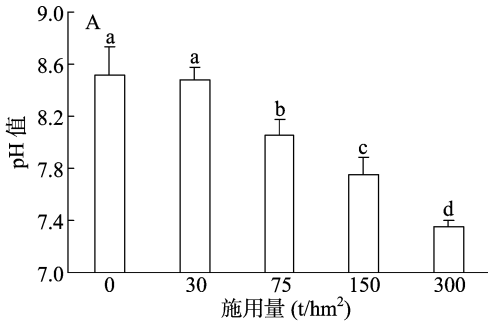
采用田间随机区组试验设计,各小区面积均为 4.0 m × 4.0 m。试验按生活污水施用量设 5 个处理,分别为 0、30、75、150、300 t/hm²,各处理重复 3 次。2011 年 10 月 20 日将生活污水施入各小区,并利用旋耕机将污泥与 0~20 cm 耕层土壤拌匀,2011 年 10 月至 2012 年 5 月,每小区种植并还田第 1 季绿肥黑麦草。于 2012 年 6 月 12 日,每小区播入 120 g 田菁种子。于 2012 年 9 月 22 日(成熟期)采集土壤和田菁植株样品,进行测定和分析。

软件进行统计分析,LSD 法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 生活污水对滩涂土壤 pH 值及有机质含量的影响

随着污泥施用量的增加,滩涂土壤 pH 值呈逐渐下降趋势(图 1-A)。未施用生活污水的对照土壤 pH 值为 8.52,施用生活污水各处理(30、75、150、300 t/hm²)土壤 pH 值分别比对照降低 0.5%、5.4%、9.0%、13.7%。随着生活污水施用量的增加,滩涂土壤有机碳含量呈上升趋势(图 1-B)。未施用生活污水的对照土壤有机碳含量为 2.52 g/kg。施用生活污水各处理(30、75、150、30 t/hm²)土壤有机碳含量分别比对照增加 59.5%、58.6%、119.8%、131.6%,其中污泥施用量达 30 t/hm² 处理的土壤有机碳含量显著高于对照。



柱上不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下图同
图 1 生活污水对滩涂土壤 pH 值(A)、有机碳含量(B)的影响

2.2 生活污水对滩涂土壤 EC 值及盐分含量的影响

施用生活污水对滩涂土壤 EC 值、盐分含量的影响见图 2。随着生活污水施用量的增加,滩涂土壤 EC 值呈明显下降趋势(图 2-A)。未施用生活污水的对照土壤 EC 值为 2.48 mS/cm,施用生活污水各处理(30、75、150、300 t/hm²)EC 值分别比对照降低 27.1%、43.1%、49.6%、60.1%。污泥施用量达 30 t/hm² 处理的土壤 EC 值即显著低于对照处理。应用生活污水改良滩涂土壤过程中,滩涂土壤盐分含量的变化与 EC 值的变化完全一致(图 2-B)。

2.3 生活污水对滩涂土壤 N、P 养分供应的影响

随着生活污水施用量的增加,滩涂土壤碱解氮、有效磷含

量呈逐渐上升趋势(图 3)。未施生活污水的对照土壤碱解氮、有效磷含量分别为 44.8、22.6 mg/kg。施用生活污水各处理(30、75、150、300 t/hm²)土壤碱解氮分别达 87.9、127.2、168.8、278.4 mg/kg,分别比对照增加 96.2%、183.9%、276.8%、521.4%;各处理土壤有效磷含量分别达 45.7、54.2、66.3、73.4 mg/kg,分别比对照增加 102.6%、140.3%、193.9%、227.1%。污泥施用量达 30 t/hm² 处理的滩涂土壤有效磷含量显著高于对照;用量达 75 t/hm² 处理的滩涂土壤碱解氮含量显著高于对照。施用生活污水对滩涂土壤碱解氮的增幅高于有效磷的增幅。

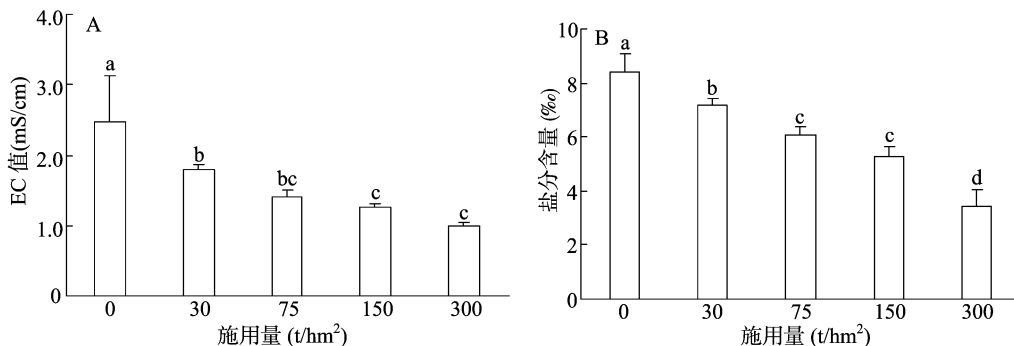


图2 生活污水对滩涂土壤 EC 值(A)、盐分含量(B)的影响

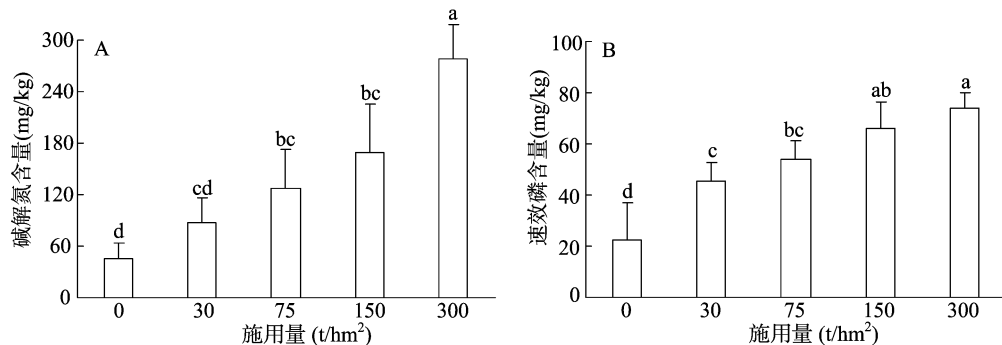


图3 生活污水对滩涂土壤碱解氮含量(A)、有效磷(B)含量的影响

3.4 生活污水对绿肥植物田菁生长的影响

3.4.1 生活污水对田菁生长及产量的影响 不同用量生活污水对绿肥植物田菁地上部及根干质量的影响见图 4-A。田菁植株干质量随生活污水施用量的增加呈逐渐上升趋势。未施生活污水的对照处理田菁单株地上部及根系干质量分别为 7.2、0.6 g, 施用生活污水各处理 (30、75、150、300 t/hm²) 田菁单株地上部干质量分别为 32.8、40.3、45.9、109.9 g, 分别比对照增加 3.6、4.6、5.4、14.3 倍; 单株根系干质量分别为

3.9、5.7、7.0、11.0 g, 分别比对照增加 5.5、8.5、10.7、17.3 倍。施用生活污水对绿肥植物田菁生物量的影响见图 4-B。随着生活污水施用量的增加, 田菁植物生物量呈逐渐上升趋势, 污泥用量 75 t/hm² 及以上处理的田菁生物量显著高于对照处理。未施生活污水的对照田菁生物量为 7.74 t/hm², 各污泥施用处理 (30、75、150、300 t/hm²) 的田菁生物量分别比对照增加了 36.0%、81.6%、143.6%、199.6%。

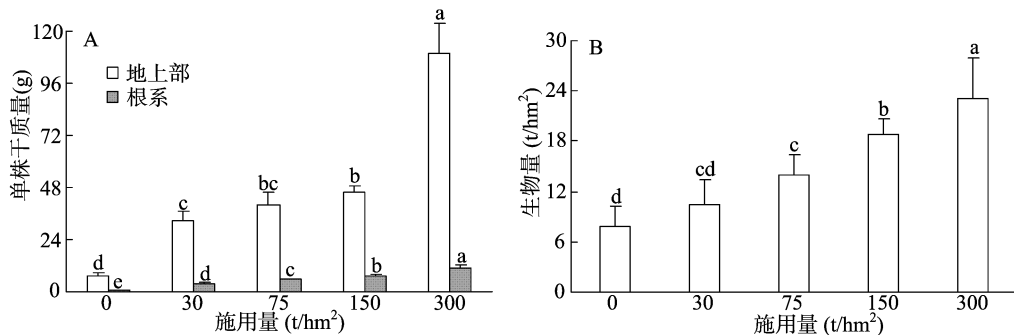


图4 施用生活污水对田菁单株干质量(A)、生物量(B)的影响

3.4.2 生活污水对田菁植株 N、P 养分吸收的影响 随着生活污水施用量的增加, 田菁植株地上部及根系 N、P 养分含量呈逐渐上升趋势 (图 5)。未施生活污水的对照处理田菁植株地上部及根系 N 含量分别为 16.1、7.4 g/kg, 施用生活污水各处理 (30、75、150、300 t/hm²) 田菁植株地上部 N 含量分别比对照增加 5.3%、16.9%、26.7%、31.4%; 根系 N 含量分别比对照增加 12.8%、19.6%、22.3%、37.1%。未施生活污水的对照处理田菁植株地上部及根系 P 含量分别为 0.63、0.62 g/kg, 施用生活污水各处理 (30、75、150、300 t/hm²) 田菁植株地上部 P 含量分别比对照增加 74.7%、83.3%、86.8%、

90.3%; 根系 P 含量分别比对照增加 35.3%、49.5%、47.7%、88.3%。

3.5 生活污水对绿肥植物田菁吸收金属的影响

应用生活污水改良滩涂土壤过程中, 田菁植株对金属 Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Zn 的吸收情况见图 6。随着污泥施用量的增加, 田菁植株地上部 Cd、Mn、Zn 含量呈上升趋势。其中, 当污泥施用量达 75 t/hm² 时田菁植株地上部 Zn 含量显著比对照增加 51.0%, 污泥用量达 150 t/hm² 时田菁地上部 Cd、Mn 含量显著比对照分别增加 55.7%、107.6%。随着生活污水施用量的增加, 田菁植株根系 Zn 含量呈上升趋势。

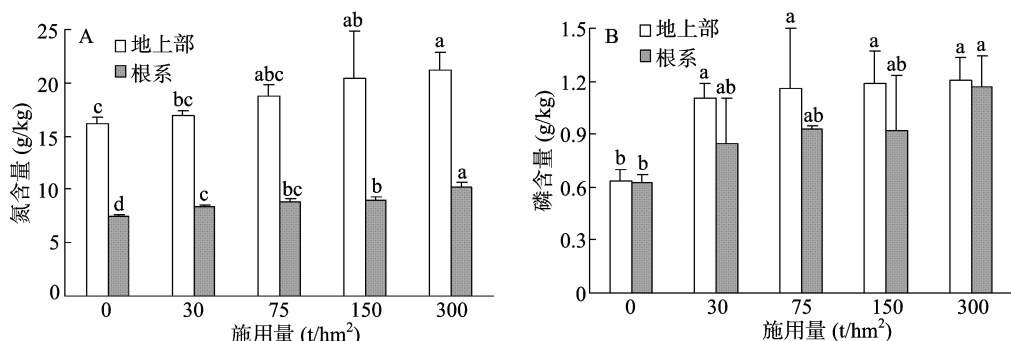


图5 施用生活污水对田菁植株 N(A)、P(B) 养分吸收的影响

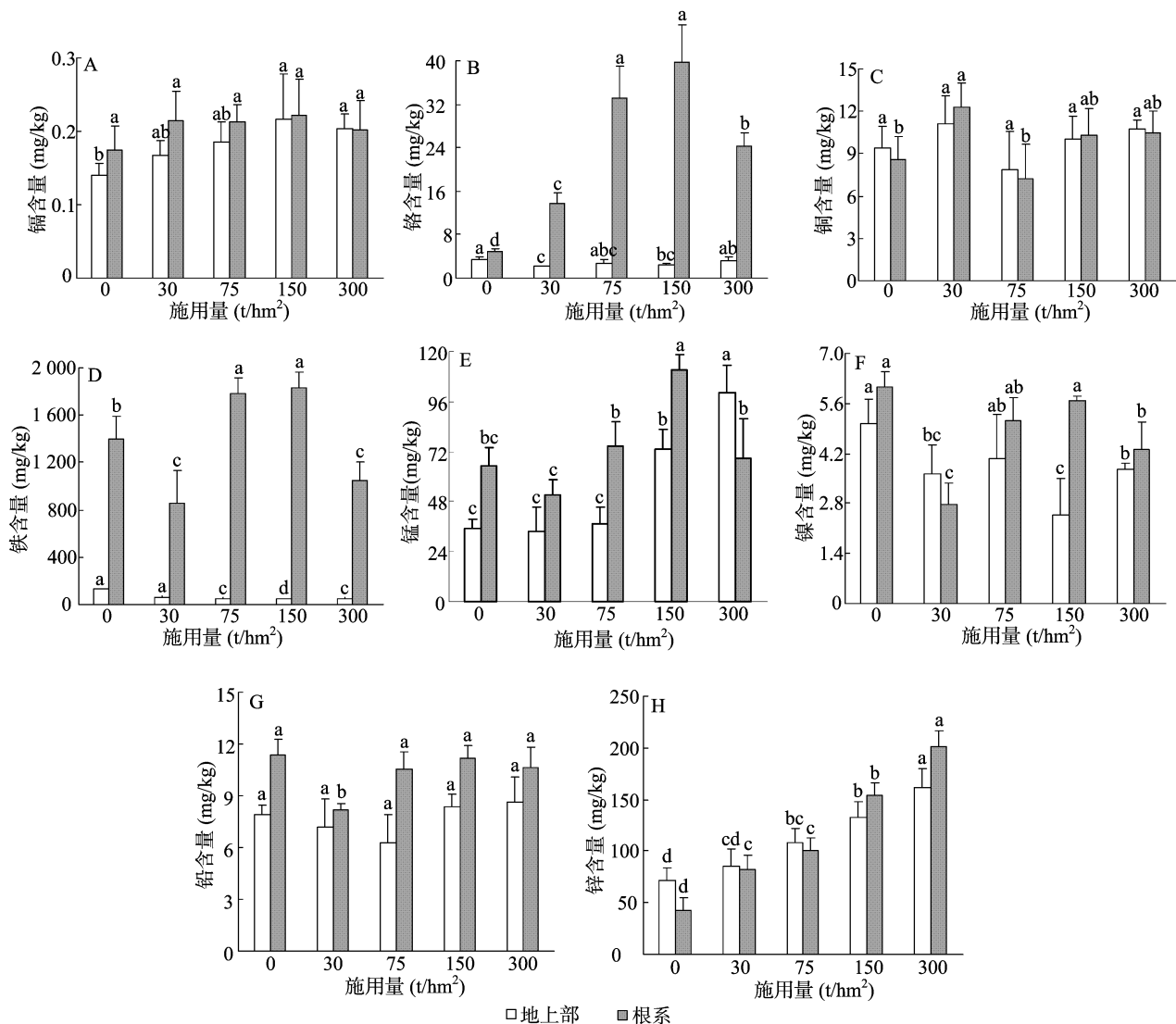


图6 生活污水对田菁植株 Cd(A)、Cr(B)、Cu(C)、Fe(D)、Mn(E)、Ni(F)、Pb(G)、Zn(H)吸收的影响

当污泥施用量达 $30 t/hm^2$ 时田菁根系 Cr、Zn 含量显著比对照增加 174.3%、92.6%。试验条件下,田菁植株地上部 Cr、Cu、Fe、Ni、Pb 及根系 Cd、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb 含量则无明显变化趋势。

3 讨论与结论

应用生活污水可实现滩涂土壤理化性状的改善。因有待

培肥的滩涂土壤面积较大,若采用商品有机肥作为有机肥源成本巨大。廉价且可获经济返补的符合国家农用标准的生活污泥,有机质含量高于猪粪和牛粪^[18-19],同时还含有 N、P 等植物所需的其他养分^[20-21],是滩涂土壤改良的廉价优质有机肥源。本研究证实,滩涂表层土壤盐分含量随污泥施用量的增加呈逐渐下降趋势。施用生活污水除了显著增加土壤有机碳含量外,还可明显降低 pH 值。前人研究也发现施用生活

污泥可降低土壤 pH 值^[22-24]。其原因可能是由于污泥自身具有较低的 pH 值,以及改良过程中污泥及绿肥有机质的降解会释放有机酸,导致土壤 pH 值下降^[22]。滩涂土壤 N、P 等有效养分含量也随污泥施用量增加呈上升趋势。生活污水能够改善土壤肥力曾被广泛报道^[22-24]。在本研究中,75 t/hm² 污泥处理的土壤碱解氮、有效磷含量分别比对照土壤增加 183.9%、140.3%。

应用生活污水增加了田菁植株地上部 Cd、Mn、Zn 含量及根系 Cr、Zn 含量。前人将污泥施用于一般农田土壤,发现西兰花体内 Ni、Pb 的含量,大豆体内的 Cu、Mo 含量均有所增加^[25]。此外,生活污水施用于一般农田,也增加了小麦谷粒及辣椒果实中的 Zn、Cu 含量^[26]。在本研究条件下,当污泥用量达 75 t/hm² 时田菁植株地上部 Zn 含量显著高于对照;污泥用量达 150 t/hm² 时,田菁地上部 Cd、Mn 含量显著高于对照;污泥用量达 30 t/hm² 时,田菁根系 Cr、Zn 含量显著高于对照。

在滩涂土壤改良过程中,生活污水的确起到了“原始肥力驱动”的作用。最初施用的生活污水迅速支撑了第 1 季绿肥黑麦草的生长,黑麦草生物量累积后经原地还田腐解后形成土壤有机质,又使得第 2 季绿肥田菁生物量得以大量积累,且随着污泥施用量的增加,田菁生物量呈逐渐上升趋势。试验条件下,施用污泥各处理田菁生物量平均增加 115.2%。再将田菁原地还田腐解形成土壤有机质,如此循环往复,将可迅速提升滩涂土壤有机质的自积累,从而实现低投入下滩涂土壤肥力的快速形成。

参考文献:

- [1] Yu B H, Lu C H. Change of cultivated land and its implications on food security in China [J]. Chinese Geographical Science, 2006, 16 (4): 299 - 305.
- [2] Wang F, Wall G. Mudflat development in Jiangsu Province, China: Practices and experiences [J]. Ocean & Coastal Management, 2010, 53 (11): 691 - 699.
- [3] Cao W, Wong M H. Current status of coastal zone issues and management in China: a review [J]. Environment International, 2007, 33 (7): 985 - 992.
- [4] Jones S B, Robbins C W, Hansen C L. Sodic soil reclamation using cottage cheese (acid) whey [J]. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1993, 7 (1): 51 - 61.
- [5] 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江. 苏北典型滩涂区土壤盐分动态与水平衡要之间的关系 [J]. 农业工程学报, 2010, 26 (3): 52 - 57.
- [6] 柏彦超, 汪莉, 陶天云, 等. 施用生活污水改良滩涂土壤理化性状的探讨 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (4): 1019 - 1025.
- [7] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 等. 苏北海涂围垦区耕层土壤养分分级及其模糊综合评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2009 (4): 16 - 20.
- [8] 田忠孝, 曹季江. 有机质改良盐碱土的初步研究 [J]. 土壤肥料, 1993 (1): 16 - 19.
- [9] 孟京辉, 陆元昌, 刘刚, 等. 不同演替阶段的热带天然林土壤化学性质对比 [J]. 林业科学研究, 2010, 23 (5): 791 - 795.
- [10] 李琼, 徐兴华, 韦东普, 等. 城市污泥农用的环境效应及控制标准的研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19 (2): 468 - 476.
- [11] 乔显亮, 骆永明. 我国部分城市污泥化学组成及其农用标准初探 [J]. 土壤, 2001, 33 (4): 205 - 209.
- [12] 周立祥, 胡霭堂, 戈乃玢, 等. 城市污泥土地利用研究 [J]. 生态学报, 1999, 19 (2): 185 - 193.
- [13] Bai Y C, Gu C H, Tao T Y, et al. Responses of ryegrass (*Lolium perenne* L.) grown in mudflats to sewage sludge amendment [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13 (2): 426 - 433.
- [14] 陈凌霄, 黄杰, 魏峰, 等. 生活污水长期施用对土壤理化性状的影响 [J]. 上海农业科技, 2005 (2): 27 - 28.
- [15] Bai Y C, Tao T Y, Gu C H, et al. Mudflat soil amendment by sewage sludge: soil physicochemical properties, perennial ryegrass growth, and metal uptake [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2013, 59 (6): 942 - 952.
- [16] Bai Y C, Gu C H, Tao T Y, et al. Growth characteristics, nutrient uptake, and metal accumulation of ryegrass (*Lolium perenne* L.) in sludge - amended mudflats [J]. Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science, 2013, 63 (4): 352 - 359.
- [17] 鲍士旦. 土壤农业化学分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25 - 403.
- [18] Logan T J, Harrison B J. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N - Viro Soil) and their effects on soil physical properties [J]. Journal of Environmental Quality, 1995, 24 (11): 153 - 164.
- [19] Caravaca F, Garcia C, Hernandez M T, et al. Aggregate stability changes after organic amendment and mycorrhizal inoculation in the afforestation of a semiarid site with pinus halepensis [J]. Applied Soil Ecology, 2002, 19 (3): 199 - 208.
- [20] Shober A L, Stehouwer R C, Macneal K E. On - farm assessment of biosolids effects on soil and crop tissue quality [J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32 (5): 1873 - 1880.
- [21] Martinez F, Cuevas G, Calvo R, et al. Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem [J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32 (2): 472 - 479.
- [22] Moreno J L, Garcia C, Hernandez T, et al. Application of composted sewage sludges contaminated with heavy metals to an agricultural soil [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1997, 43 (3): 565 - 573.
- [23] Singh R P, Agrawal M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of Beta vulgaris plants [J]. Chemosphere, 2007, 67 (11): 2229 - 2240.
- [24] Singh R P, Agrawal M. Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: metal uptake by plant [J]. Ecological Engineering, 2010, 36 (7): 969 - 972.
- [25] Sridhar B, Vincent R K, Roberts S J. Remote sensing of soybean stress as an indicator of chemical concentration of biosolid amended surface soils [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13 (4): 676 - 681.
- [26] Li Q, Guo X Y, Xu X H, et al. Phytoavailability of copper, zinc and cadmium in sewage sludge - amended calcareous soils [J]. Pedosphere, 2012, 22 (2): 254 - 262.