

沼灌负荷对紫色土土壤酶活性及氮、磷迁移的影响

余薇薇,谢明扬,朱家悦,杜邦昊,杨 伦
(重庆交通大学/水利水运工程教育部重点实验室,重庆 400074)

摘要:模拟沼液浓度对紫色土进行灌溉,研究沼灌负荷对土壤酶活性及氮、磷迁移的影响,以期有效控制沼灌负荷、降低面源污染。结果表明:逐步提高沼灌负荷在一定程度上能改善土壤脲酶、磷酸酶与转化酶活性,然而过高的沼灌负荷则会抑制表层土壤磷酸酶活性。沼灌可成倍提高土壤中氮、磷含量,在沼灌负荷为 $382.2\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$ 时,铵态氮和有效磷含量总体均最大,0 cm处分别为 680.48 mg/kg 和 81.68 mg/kg ;土壤铵态氮在土层纵深上的分布表现为 $0\text{ cm}>-15\text{ cm}>-45\text{ cm}$,具有一定的向下迁移趋势,但有效磷无向深层土壤迁移趋势。X射线衍射图谱定性分析表明,不同沼灌负荷对紫色土土壤成分影响不明显。综合考虑,沼灌负荷以 $191.1\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$ 较好。
关键词:紫色土;沼灌;氮磷迁移;土壤酶活性;土壤特性
中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2018)05-0048-05

Effects of Biogas Slurry Irrigation Loading on Purple Soil Enzyme Activities and Migration of Nitrogen and Phosphorus

YU Weiwei, XIE Mingyang, ZHU Jiayue, DU Banghao, YANG Lun
(Chongqing Jiaotong University/Key Laboratory of Hydraulic & Waterway Engineering of Ministry of Education, Chongqing 400074, China)

Abstract: The effects of biogas slurry irrigation loading on soil enzyme activities and the migration of nitrogen and phosphorus were studied by simulated biogas slurry concentration irrigation of purple soil in laboratory scale, so as to effectively control the biogas slurry irrigation loading and reduce the non-point source pollution. The results showed that the activities of urease, phosphatase and invertase could be gradually improved by the increasing biogas slurry irrigation loading to a certain extent. However, excessive biogas slurry irrigation loading inhibited the phosphatase activity in topsoil. Biogas slurry irrigation could increase the content of nitrogen and phosphorus by times in soil. The ammonium nitrogen content reached the highest value of 680.48 mg/kg , the available phosphorus content reached the highest value of 81.68 mg/kg under the loading of $382.2\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$ in 0 cm soil. The distribution of ammonium nitrogen in soil depth was $0\text{ cm}>-15\text{ cm}>-45\text{ cm}$ with the downward migration trend, but the available phosphorus had no migration trend from topsoil to subsoil. The qualitative analysis of soil composition by X-ray diffraction showed that the different loading of biogas slurry had little effect on the purple soil composition. The biogas slurry loading of $191.1\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$ was better based on comprehensive consideration.
Key words: Purple soil; Biogas slurry irrigation; Nitrogen and phosphorus migration; Soil enzyme activities; Soil properties

收稿日期:2017-12-18
基金项目:国家自然科学基金(51608079);重庆市教委科学研究项目(KJ1500504);重庆交通大学实验室开放基金(SYJ201608);国家内河航道整治工程技术研究中心暨水利水运工程教育部重点实验室开放基金(SLK2018A04)
作者简介:余薇薇(1985-),女,四川资中人,副教授,博士,主要从事污废水资源化利用研究。
E-mail: yu11237@cqjtu.edu.cn

养殖场沼液含有大量氮、磷和有机质等植物所需营养,沼液资源化回收利用是生态农业的发展方向,合理施用沼液不仅可以缓解养殖场污水处理排放压力,减少化肥施用量^[1],还可提高土壤肥力^[2-3]。采用不同沼灌负荷对农作物进行灌溉可不同程度增加农作物产量^[4-9]。沼液若以漫灌方式进行灌溉在短期内不会造成土壤质量下降和土壤环境污染^[10],然而,长期沼灌后的紫色土下渗水 pH 值呈缓慢下降趋势^[11]。陈维梁等^[12]发现,在降雨量为 24.7 mm 条件下,壤中流铵态氮输出通量最高,可达 12.70 mg/m²;沈茜等^[13]研究非点源磷迁移特征时发现,降雨量越大,磷迁移负荷越高,暴雨条件下总磷迁移负荷最高,但铵态氮径流迁移受暴雨影响小^[14]。土壤酶常被用来作为指示土壤环境质量的生物学指标^[15],在土壤生态系统的物质循环和能量流动方面具有重要的作用^[16],土壤酶活性与土壤肥力之间存在密切的相关性^[17]。关于紫色土的相关研究主要如下,鲜青松等^[18]研究紫色土-岩石系统中氮、磷的迁移特征发现,氮素迁移主要受裂隙潜流的驱动作用影响,而磷素迁移则主要受地表径流的驱动作用影响;磷素可通过壤中流在紫色土中进行迁移^[19]。唐嘉鸿等^[20]采用土柱模拟滴灌施肥发现,NH₄⁺随滴灌通量倍数的增加先在土柱上层累积并趋于最大值后再往下层移动。如果将沼液作为肥料以不合理的方式施于土壤,会大大增加对周边生态环境的污染风险。胡静锋^[21]分析得出,重庆市主城区周围农业面源污染三大源头分别是秸秆、畜禽粪污和化肥,其中畜禽粪污贡献率高达 45.47%。目前,关于沼液灌溉对紫色土土壤酶活性及氮磷迁移的影响研究尚未见报道。为此,探讨沼液灌溉对紫色土土壤酶活性及氮磷迁移的影响,以期有效控制沼灌负荷、降低面源污染。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试土壤为紫色土,取自重庆某奶牛养殖场周边的耕地。土壤 pH 值为 5.9~6.2,含有机质 12.29 g/kg、有效磷 6.44 mg/kg、碱解氮 98.31 mg/kg,其转化酶活性为 0.03 mL/g,酸性磷酸酶活性为 0.51 mg/g,脲酶活性为 0.92 mg/g。沼液自配,成分参考养殖场的沼液,TP 含量为 25.21 mg/L,铵态氮含量为 318.56 mg/L,化学需氧量(COD)为 640 mg/L,有机氮含量为 32 mg/L,TK 含量为 419.56 mg/L,Fe 含量为 3.18 mg/L,Zn 含量为 6.02 mg/L。

试验用土壤柱进行灌溉,土壤柱外壳为透明有机玻璃(高 600 mm、直径 100 mm),土壤柱底部铺 2 cm 厚玻璃珠(直径 2 mm)。

1.2 土样采集

选取 5 个采样点分别进行采样,然后混合均匀取 1 kg 紫色土样品放在塑料布上弄碎、混匀、铺成四方形。用划对角线法将土样平均分成 4 份,取对角的 2 份混合放入样品袋,自然风干后,过 3 mm 筛。

1.3 试验设计

将风干过筛的紫色土均匀填入有机玻璃管中,填充完后在土壤上铺满 2 cm 厚的玻璃珠,土壤柱有效高度为 45 cm,分别在土柱 0 cm(表面)、-15 cm(距离表面 15 cm)和 -45 cm(距离表面 45 cm)处开设孔洞,为方便固定点取土,用蒸馏水预饱和土壤柱,静置平衡 3 d,然后进行灌溉处理。试验共设 4 个灌溉处理,T₁(全部为沼液)、T₂(蒸馏水:沼液=1:1)、T₃(蒸馏水:沼液=2:1)沼灌负荷分别为 382.2、191.1、127.4 m³/(hm²·d),CK(空白对照)为蒸馏水。灌溉 2 d 后,分别在土柱 0 cm、-15 cm 和 -45 cm 处取出土壤,风干后测定土壤磷酸酶、脲酶、转化酶活性和有效磷、铵态氮含量及沼灌前后土壤成分。

1.4 测定指标与方法

土壤铵态氮含量采用纳氏试剂比色法测定;有效磷含量采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定;土壤脲酶活性采用 NH₄⁺释放量法测定;磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法测定;转化酶活性采用硫代硫酸钠滴定法测定;土壤成分采用 XRD 衍射法测定。

1.5 数据处理

数据用 Office 2013 整理,采用 Origin 9.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 沼灌负荷对土壤酶活性的影响

2.1.1 脲酶 由图 1 可知,沼灌后 0 cm 和 -15 cm 处土壤脲酶活性均高于 CK,不同沼灌条件下土壤脲

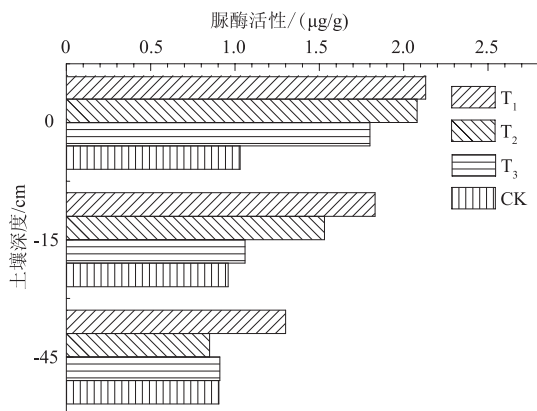


图 1 不同沼灌负荷下紫色土脲酶活性变化

酶活性有一定差异。沼液中的有机质作为碳源能够增强土壤微生物活性从而释放更多酶。因此,随沼灌负荷增大,脲酶活性提高幅度越大,而随着土壤剖面深度增加,土壤脲酶活性逐渐降低,但 T_1 处理始终明显高于其他处理,这可能是由于随土壤剖面深度增加,土壤营养元素含量和土壤环境不利于微生物的生存和繁殖,从而导致土壤酶活性降低^[22];也可能是因为土壤氨氮含量过多会抑制脲酶活性^[23],所以建议不要施入过量沼液。

2.1.2 磷酸酶 由图 2 可知,在 T_1 沼灌负荷下,沼灌后 0 cm 处土壤磷酸酶活性低于 CK, -15 cm 和 -45 cm 处高于 CK,这是由于高负荷沼液使 0 cm 处土壤产生磷素积累效应从而抑制了酶活性^[24-25]; T_2 沼灌负荷下,土壤磷酸酶活性随着土壤深度增加先增加后降低,但均高于 CK; T_3 沼灌负荷下,土壤磷酸酶活性随着土壤深度增加而减小,0 cm 和 -15 cm 处高于 CK, -45 cm 处低于 CK。

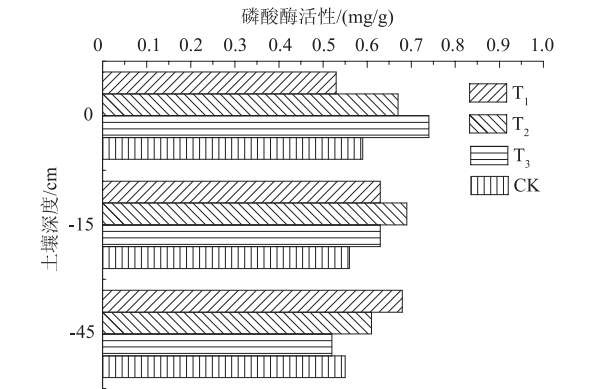


图 2 不同沼灌负荷下紫色土磷酸酶活性变化

2.1.3 转化酶 由图 3 可知,沼灌负荷对 0 cm 处土壤转化酶活性影响较明显,沼灌后此处土壤转化酶活性均高于 CK,且沼灌负荷越大,土壤转化酶活性越高。这是因为随沼液施入,土壤有机质含量增高,从而激发了土壤转化酶活性^[26]。总体上随土壤深度增加土壤转化酶活性呈明显降低趋势。在 -15 cm 处, T_1 处理土壤转化酶活性较 CK 明显增大, T_2 处理转化酶活性较 CK 增加幅度较小,而 T_3 处理与 CK 无明显差异。在 -45 cm 处,各处理间土

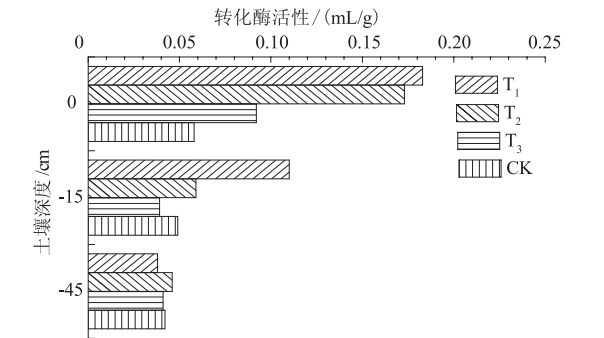


图 3 不同沼灌负荷下紫色土转化酶活性变化

壤转化酶活性无明显差异。

2.2 沼灌负荷对土壤铵态氮、有效磷含量的影响

由图 4 可知,沼液灌溉处理能够明显提高土壤铵态氮含量(除 -45 cm 处 T_2 和 T_3 处理与 CK 差异较小外),这是由于沼液提高了土壤中微生物活性,促进了铵态氮的转化。 T_1 、 T_2 、 T_3 负荷下,0 cm 处土壤铵态氮含量分别较 CK 增加了 13.8、8.8、5.9 倍。随着沼灌负荷增大,土壤中铵态氮含量增加。3 个沼灌处理土壤铵态氮含量在纵深方向均表现为 0 cm > -15 cm > -45 cm,即随着土壤深度的增加,铵态氮含量逐渐减小,说明土壤铵态氮向下迁移量较小,但在 T_1 处理下,土壤铵态氮含量最大,0 cm 处为 680.48 mg/kg, -45 cm 处也能达到 335.07 mg/kg。

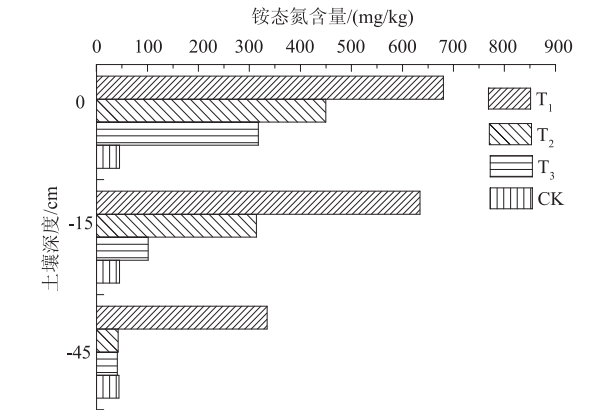


图 4 不同沼灌负荷下紫色土铵态氮含量变化

由图 5 可知,土壤 0 cm 处土壤有效磷含量的变化规律与铵态氮相似,有效磷含量表现为 $T_1 > T_2 > T_3$,分别较 CK 增加了 13.1、7.8、5.3 倍。在 T_1 沼灌负荷下,0 cm 处土壤有效磷含量高达 81.68 mg/kg,这与王月立等^[27]计算出的土壤速效磷(即有效磷)淋溶临界值(74.6 ~ 82.0 mg/kg)相符,在农业生产中应将土壤速效磷含量控制在 12.0 ~ 80.2 mg/kg。在 -15 cm 处,仅 T_1 处理土壤有效磷含量明显高于 CK,其余沼灌处理与 CK 无明显差异;在 -45 cm 处,

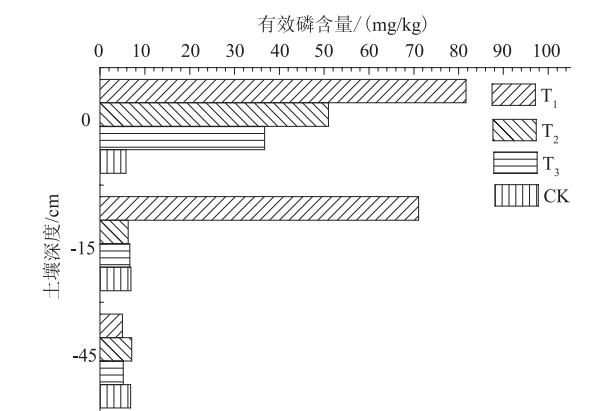


图 5 不同沼灌负荷下紫色土有效磷含量变化

各沼灌处理有效磷含量差异不明显,均低于 10 mg/kg。沼灌后土壤有效磷几乎都富集在 0 cm 处,向下迁移能力极弱。即便在全沼液灌溉下,土壤有效磷也未能迁移到 -45 cm 处土壤。

2.3 沼灌负荷对土壤成分的影响

本试验利用 XRD 对沼灌前后紫色土成分进行定性分析,用以观察沼灌对土壤成分的影响。图 6 为不同沼灌负荷下紫色土的 XRD 图谱,对比各成分 XRD 标准卡片后标出各物质的特征峰。可观察到石英(SiO_2)和长石的衍射峰非常明显,该物质是紫色土的主要成分,还有部分伊利石、蛭石和绿泥石等黏粒矿物的衍射峰较为明显,这些物质存在于紫色

土中但其所占比例较小。观察不同沼灌负荷处理(T_1 、 T_2 、 T_3)土壤的 XRD 图谱可知,各沼灌处理沼液灌溉前后土壤的成分组成保持一致,但成分含量有不同的变化。在 T_1 处理下沼灌后绿泥石特征峰强度较未沼灌土壤无明显变化,伊利石特征峰有小幅增强,而蛭石则有小幅下降。刘永辉等^[28]研究表明,施肥后蛭石会固定钾素然后转化为伊利石,所以蛭石含量变小而伊利石比例相对增加。蛭石对磷素有较好的吸附效果,其含量下降会减少土壤对磷的吸附作用。虽然沼液灌溉可使土壤酶活性明显增强,但是在不同灌溉负荷下,土壤成分无明显变化。

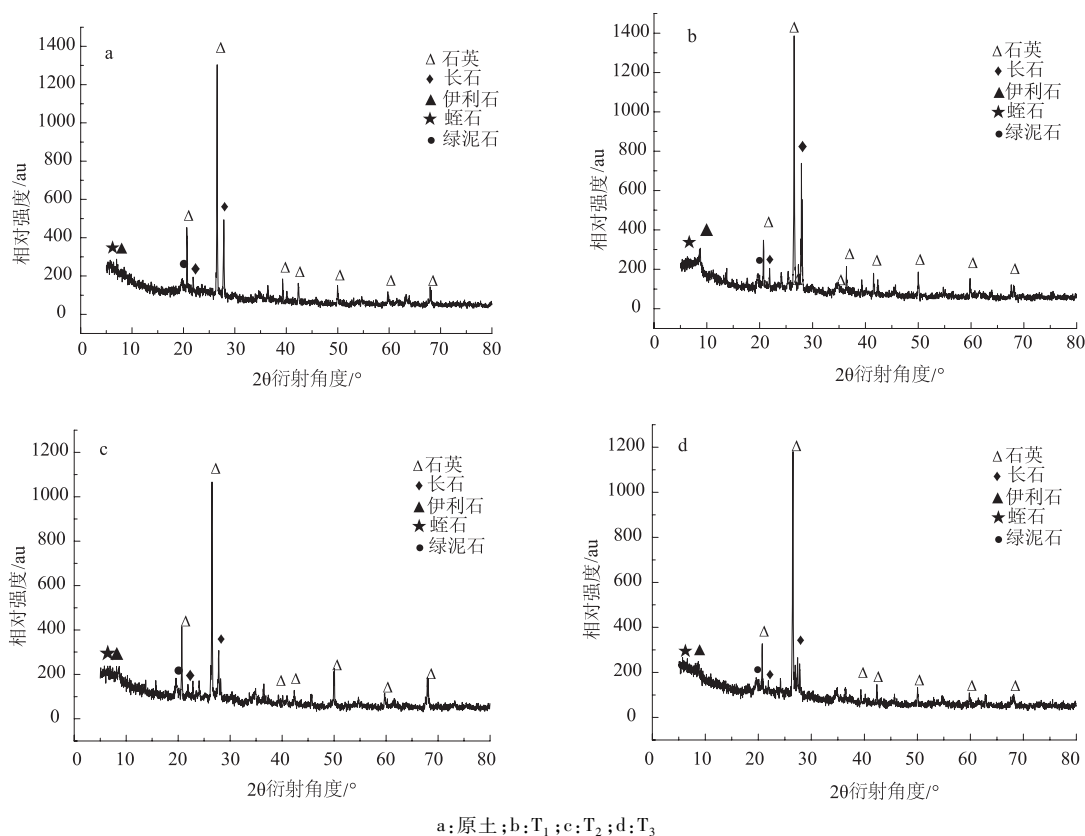


图 6 不同沼灌负荷下紫色土 XRD 图谱

3 结论与讨论

本研究结果表明,适度沼灌可提高土壤脲酶、磷酸酶和转化酶活性。在 -45 cm 处,仅 T_1 处理土壤脲酶活性较 CK 明显增加,其他处理与 CK 无明显差异,这可能是因为高沼灌负荷下可溶性有机质、氮、钾等营养元素能够迁移至土壤深层,通过影响微生物来提高土壤酶活性。在 T_1 沼灌负荷下,0 cm 处土壤磷酸酶活性低于深层土; T_2 沼灌负荷下,土壤磷酸酶活性随着土壤深度增加先增加后降低; T_3 沼灌负荷下,土壤磷酸酶活性随着土壤深度增加而减小。沼灌负荷越大,脲酶活性也越大,这与前人研究结果一致^[29-31]。沼灌可提高土壤酶活性,但过量

则会降低磷酸酶活性,即沼灌负荷不宜过高,考虑到沼液灌溉的经济效益,建议灌溉负荷不宜超过 $191.1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ 。

沼液灌溉带入了大量的氨氮与少量有机氮,这些氮素能够快速被土壤吸附,且极易富集于土壤表面。氨氮在水溶液或土壤中经硝化作用会转化为硝态氮,而在高浓度沼灌条件下,硝化作用受到抑制,土壤中铵态氮大幅增加,并且有向土壤深层迁移的趋势^[32-36]。沼灌能激活土壤微生物活性,促进铵态氮和有效磷的转化;但从土壤应用方面来看,肥力过高反而使农作物对氮利用率下降,局部营养浓度过高甚至会对植物产生毒性。因此,从土壤铵态氮的角度来看,沼灌负荷小于 T_2 时既可以提升土壤氮营

养水平,又可减小对环境污染的风险。全沼灌溉可最大量提高土壤肥力,但有污染大气环境与地下水环境的风险。适当降低灌溉负荷可达到灌溉效益最优化的目的。紫色土对磷的固定作用较弱,沼灌能有效提高土壤有效磷含量。同时,随沼液共同施入的外源有机质能够促进磷酸盐向土壤微生物量磷和其他非无机固定态磷的转化,减少土壤无机矿物对磷酸盐的固定,提高易溶态无机磷组分的比例,从而提高土壤有效磷含量。

参考文献:

[1] 陈新苗,王卫平,魏章焕.等.沼液不同施用量对水稻产量及土壤环境的影响[J].安徽农学通报(上半月刊),2010,16(17):76-77.

[2] 李萍,蒋滔,陈云跃,等.沼液灌溉对作物生长·土壤质量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(4):1501-1503.

[3] 罗永成.规模养殖场沼气发酵液的资源化利用[C]//中国工程院能源与矿业工程学部,上海市中国工程院院士咨询与学术活动中心,上海市能源研究会.推进雾霾源头治理与洁净能源技术创新——第十一届长三角能源论坛论文集.上海:[出版者不详],2014.

[4] 郑健,王燕,蔡焕杰,等.不同沼液灌溉方式对玉米生理指标及土壤硝态氮含量的影响[J].中国沼气,2014,32(5):62-66.

[5] 王卫平,陆新苗,魏章焕,等.施用沼液对柑桔产量和品质以及土壤环境的影响[J].农业环境科学学报,2011,30(11):2300-2305.

[6] 奚辉,薛智勇,陈喜靖,等.沼液不同灌溉量对茭白产量、品质及土壤肥力的影响[J].浙江农业学报,2013,25(6):1337-1341.

[7] 陆新苗,王卫平,魏章焕,等.不同沼液灌溉量对西瓜产量及土壤环境的影响[J].天津农业科学,2010,16(5):142-144.

[8] 王卫平,朱凤香,陈晓旸,等.沼液浇灌对露地西瓜产量及土壤环境的影响[J].浙江农业科学,2015,56(7):1024-1026.

[9] 陈正杰,张馨蔚,陈玉成,等.沼液灌溉对紫色土-水稻系统的影响研究[J].中国沼气,2013,31(5):32-35.

[10] 陈永杏,董红敏,陶秀萍,等.猪场沼液灌溉冬小麦对土壤质量的影响[J].中国农学通报,2011,27(3):154-158.

[11] 邓蓉,陈玉成,史秋萍,等.模拟沼液淋溶灌溉对土壤下渗水的影响[J].水土保持学报,2013,27(3):68-71.

[12] 陈维梁,高扬,林勇明,等.紫色土坡耕地氮淋溶过程及其环境健康效应[J].环境科学,2014,35(6):2129-2138.

[13] 沈茜,唐家良,朱波.紫色丘陵区典型小流域非点源磷迁移特征[J].山地学报,2015,33(5):528-537.

[14] 蒋锐,朱波,唐家良,等.紫色丘陵区典型小流域暴雨径流氮磷迁移过程与通量[J].水利学报,2009,40(6):659-666.

[15] 边雪廉,岳中辉,焦浩,等.土壤酶对土壤环境质量指标作用的研究进展[J].土壤,2015,47(4):634-640.

[16] 刘善江,夏雪,陈桂海,等.土壤酶的研究进展[J].中

国农学通报,2011,27(21):1-7.

[17] He W X, Tan X P, Wang X D, *et al.* Study on total enzyme activities index in soils[J]. Acta Pedologica Sinica,2010,47(6):1232-1236.

[18] 鲜青松,唐翔宇,朱波.坡耕地薄层紫色土-岩石系统中氮磷的迁移特征研究[J].环境科学,2017,38(7):2843-2849.

[19] 周明华,朱波,汪涛,等.紫色土坡耕地磷素流失特征及施肥方式的影响[J].水利学报,2010,41(11):1374-1381.

[20] 唐嘉鸿,丁力,程永毅,等.滴灌施肥主要养分离子在紫色土柱的迁移特征[J].贵州农业科学,2017,45(2):85-89.

[21] 胡静锋.重庆市农业面源污染测算与空间特征解析[J].中国农业资源与区划,2017,38(1):135-144.

[22] Lavahun M F E, Joergensen R G, Meyer B. Activity and biomass of soil microorganisms at different depths[J]. Biology and Fertility of Soils,1996,23(1):38-42.

[23] 朱同彬,诸葛玉平,刘少军,等.不同水肥条件对土壤酶活性的影响[J].山东农业科学,2008(3):74-78.

[24] Shrivastava M, Kale S P, D' Souza S F. Rock phosphate enriched post-methanation bio-sludge from kitchen waste based biogas plant as P source for mungbean and its effect on rhizosphere phosphatase activity[J]. European Journal of Soil Biology,2011,47(3):205-212.

[25] 贾伟,周怀平,解文艳,等.长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(4):700-705.

[26] 李东坡,武志杰,陈利军,等.长期定位培肥黑土土壤蔗糖酶活性动态变化及其影响因素[J].中国生态农业学报,2005,13(2):102-105.

[27] 王月立,马强,姜春明,等.潮棕壤速效磷产量临界值和淋溶临界值的计算[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):171-176.

[28] 刘永辉,张静妮,崔德杰,等.长期定位施肥对非石灰性潮土粘土矿物组成及主要理化性质的影响[J].土壤学报,2006,43(4):697-702.

[29] 贺仲兵,杨仁斌,郭正元,等.不同的施肥方式对土壤脲酶和过氧化氢酶活性的影响研究[J].武夷科学,2005,21:104-108.

[30] 张昌爱,张玉凤,林海涛,等.沼液漫灌对设施土壤连作障碍因子的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(2):117-120.

[31] 张体彬,展小云,冯浩.盐碱地土壤酶活性研究进展和展望[J].土壤通报,2017,48(2):495-500.

[32] 丁少华,王志荣,黄武,等.规模养殖场沼气工程沼液的肥效试验[J].中国沼气,2010,28(2):43-44,47.

[33] 巨晓棠,潘家荣,刘学军,等.高肥力土壤冬小麦生长季肥料氮的去向研究 I. 冬小麦生长季肥料氮的去向[J].核农学报,2002,16(6):397-402.

[34] 和苗苗.有机固体废弃物土地利用的生态风险机制及控制研究[D].杭州:浙江大学,2009.

[35] 彭良志,凌丽俐,淳长品,等.橘园不同施肥方式对 N、P、K 在土层中分布的影响[J].江西农业大学学报,2010,32(5):956-961.

[36] 向万胜.华中亚热带红壤与水稻土磷素的形态与转化过程[D].武汉:华中农业大学,2003.