

紫色土-黑麦草系统消纳沼液的潜力研究^①

管宏友¹, 代勇¹, 张馨蔚¹, 陈玉成^{1,2}, 李燕燕¹

1. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716

摘要: 为了研究紫色土-黑麦草系统单季消纳沼液的潜力, 采用盆栽试验研究沼液灌溉紫色土-黑麦草系统后, 对植物品质和土壤环境的安全影响. 结果表明, 沼液灌溉后, 黑麦草的产量和品质明显提高, 黑麦草中的重金属含量远低于国家标准限值; 沼液灌溉能够提高土壤中的养分含量, 高灌溉水平导致了土壤中 Cd, As 的累积, 但单季沼液灌溉不会超过国家土壤环境质量标准. 在保证牧草和土壤环境安全的前提下, 紫色土-黑麦草系统沼液单季灌溉量应控制在 $1\ 584\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 以内.

关键词: 紫色土-黑麦草系统; 沼液; 灌溉; 土壤环境; 消纳潜力

中图分类号: S157.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)01-0165-07

我国作为世界公认的贫水国家, 水资源供需矛盾突出, 人均水资源占有量仅为世界人均水平的四分之一. 据统计, 全国农业平均每年缺水达 300 多亿 m^3 , 60% 耕地无水灌溉, 因缺水而导致粮食减产达 350 亿~400 亿 $\text{t}^{[1]}$. 与此同时, 我国沼液工程排放的沼液中 COD、N、P 的含量较高, 大量沼液未经后续处理直接排放, 给环境带来了巨大的隐患. 沼液的有效处理成为亟待解决的关键问题^[2]. 目前, 沼液处理研究众多^[3-5], 沼液灌溉因为其节约水资源, 利用其养分, 同时减轻环境压力等优势得到推广. 然而, 沼液灌溉在我国目前仍一味地强调沼液对农业生态系统的正向促进作用, 如改良土壤、增加肥力、促进增产、提高品质等, 而忽视了长期灌溉对土壤、植物、地下水、地表水的潜在风险.

本研究通过模拟重庆地区常见的畜禽养殖场沼液利用的紫色土-黑麦草系统进行沼液灌溉试验, 在保证植物和表层土壤环境安全基础上, 研究紫色土-黑麦草系统消纳沼液的能力, 为沼液合理灌溉提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试沼液取自重庆市某奶牛养殖场, 基本理化性质为: pH 7.93~8.02, TP 含量 33.65~37.35 mg/L, DP 含量 18.53~25.51 mg/L, TN 含量 576.23~786.17 mg/L, NH_4^+-N 含量 451.44~519.40 mg/L, NO_3^--N 含量 1.22~3.15 mg/L, COD 含量 1 942.85~2 315.00 mg/L, 重金属 Cu, Zn, Pb, Cd, As 含量分别 0.29~0.37 mg/L, 0.86~0.93 mg/L, 0.12~0.15 mg/L, 0.022~0.025 mg/L, 0.016~0.023 mg/L.

① 收稿日期: 2014-09-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2010BAD03B03); 重庆市科技攻关重点项目(CSTC2009AB7027); 中央高校基本科研业务费专项(SWU113015).

作者简介: 管宏友(1977-), 男, 博士, 讲师, 主要从事农业环境保护的研究.

通信作者: 陈玉成, 博士, 教授.

供试土壤取自西南大学农场,基本理化性质为:pH 为 7.54,TP 含量 170 mg/kg,TN 含量 790 mg/kg,NH₄⁺-N 含量 4.21 mg/kg,NO₃⁻N 含量 23.52 mg/kg,有机质含量 25.9×10³mg/kg,重金属 Cu,Zn,Pb,Cd,As 含量分别 10.96 mg/kg,64.43 mg/kg,20.24 mg/kg,0.16 mg/kg,4.07 mg/kg,各指标都满足土壤环境质量二级标准.

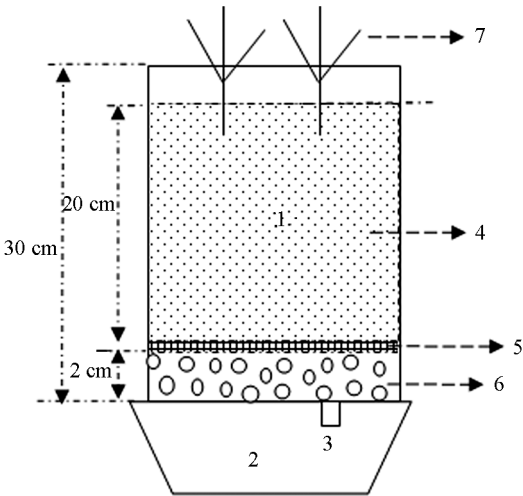
1.2 试验装置

试验于 2011 年 4 月至 8 月,在西南大学 1 号玻璃温室中进行.采用盆栽试验研究紫色土-黑麦草系统消纳沼液的能力.在 24 cm×30 cm 的塑料桶底钻 5 个小孔,其下对应 1 个收集下渗水的不锈钢盆.桶中由下至上依次填入 2 cm 厚的碎石、一层尼龙网、厚度 20 cm 过 5 mm 筛的风干土壤(图 1).

1.3 试验设计

试验设 5 个处理,3 次重复,随机排列.T0 为清水对照,T1~T4 为不同灌溉量的沼液处理(表 1).试验期间,每个处理灌溉 6 次,间隔为 10~12 d(需待土壤表面水分充分落干后再进行下一次灌溉).每个处理总灌溉量一致,各处理沼液灌溉量见表 1.

黑麦草于 2011 年 4 月 12 日播种,生长具 5 叶的时候开始第 1 次灌溉.2011 年 5 月 16 日采集黑麦草生长期的表层土壤样品,2011 年 6 月 6 日收获黑麦草,同时采集土壤表层样品.



1. 花盆; 2. 下渗水取水盆; 3. 橡皮塞; 4. 紫色土;
5. 尼龙网; 6. 小石子; 7. 植物.

图 1 盆栽试验装置

表 1 不同处理灌溉量

处理	单次灌溉量/L		生长期沼液灌溉总量/ L	折合大田沼液灌溉量/ (m ³ ·hm ⁻²)
	水	沼液		
T0	1.6	0	0	0
T1	0.8	0.8	4.8	1 056
T2	0.6	1.0	6.0	1 320
T3	0.4	1.2	7.2	1 584
T4	0	1.6	9.6	2 112

1.4 样品测定

植物样测定硝酸盐;土壤测定 pH、有机质、全氮、氨氮、硝态氮、全磷.所有样品均测试重金属铜、锌、铅、镉、砷.

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel,SPSS16.0 进行处理.

2 结果与分析

2.1 沼液灌溉对黑麦草产量及品质的影响

2.1.1 对黑麦草产量的影响

将 5 个处理的黑麦草产量进行差异性分析(表 2),结果表明,沼液灌溉后,黑麦草的产量都明显高于对照,鲜质量的增产率为 53.04%~96.64%,增加最多的是 T2 处理,其增产率高达 96.64%;干质量增产率为 13.04~19.03%.因此可以得出,沼液灌溉有利于黑麦草产量的提高,但过量的沼液(T3,T4)反而会抑

制黑麦草的产量. 因此, 较优的灌溉水平为 T2 处理.

表 2 沼液灌溉对黑麦草产量的影响

处理	鲜质量/g	鲜质量增产率/%	干质量/g	干质量增产率/%
T0	24.68a		13.03a	
T1	37.77b	53.04	14.73b	13.04
T2	48.53d	96.64	15.51b	19.03
T3	41.67bc	68.84	15.35b	17.83
T4	40.75 bc	65.11	14.94b	14.68

注: 同列字母不相同表示差异显著($p<0.05$).

2.1.2 沼液灌溉对黑麦草品质的影响

1) 对黑麦草中硝酸盐含量的影响

研究表明, 施用一定量的氮肥能增加黑麦草产量, 提高植株中粗蛋白等营养品质^[6], 但过量的施肥并不能提高植物对氮素的吸收效率, 甚至还可能引起氮素利用效率的降低、植物体内硝酸盐富集和环境氮素污染等一系列的农业问题^[7]. 当家畜食用硝酸盐含量过高的饲草时, 可能会引起中毒事件发生. 美国国家畜饲养标准规定, 饲料作物干物质中硝酸盐含量 0~0.25% 安全, 0.25%~0.50% 警戒, 0.50%~1.50% 危险, 超过 1.50% 有毒^[8]. 试验结果表明(图 2), T1 处理黑麦草中的硝酸盐含量与对照没有差异, T2,T3 处理黑麦草中的硝酸盐含量明显低于对照, 且低于 0.25% 的安全限值, 说明适量的沼液灌溉能够降低植株体内的硝酸盐含量, 这与钟小仙等研究结果一致^[9]. 但高处理 T4 的黑麦草中的硝酸盐含量明显高于对照处理, 这说明过量的沼液施用会引起硝酸盐在作物体内的积累.

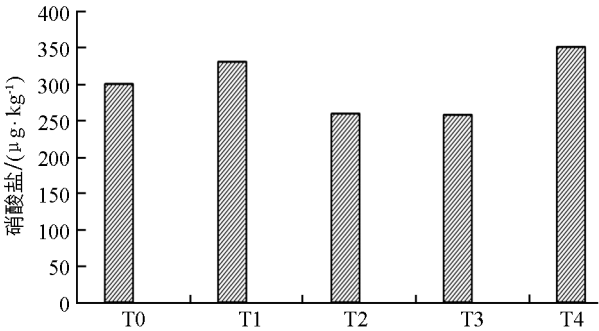


图 2 黑麦草中的硝酸盐含量变化

4 个处理的黑麦草硝酸盐含量均低于美国国家畜饲养标准的警戒级(0.5%), 对食用黑麦草的家畜威胁较小. 其中, T2,T3 处理硝酸盐含量低于 0.25%, T4 处理硝酸盐在黑麦草中的含量略低于警戒级. 因此, 较优的灌溉水平为 T2,T3 处理.

2) 对黑麦草重金属含量的影响

由表 3 可知, 沼液灌溉导致了黑麦草植株中 Cu,Pb,Cd 含量的累积, 高灌溉水平 T4 处理 Zn 的含量和对照存在显著差异. 参照饲料卫生标准(GB13078-2001), 黑麦草植株中的各重金属含量均远低于标准限值. 据此认为, 试验条件下所有灌溉量处理的黑麦草重金属含量均为安全水平.

表 3 各处理黑麦草中重金属含量分析 / (mg·kg⁻¹)

处理	Cu	Zn	Pb	Cd	As
T0	10.242a	52.292a	0.497a	0.064a	0.495a
T1	14.967b	50.475a	0.703bc	0.089bc	0.464a
T2	13.267c	53.417a	0.656b	0.093b	0.356b
T3	12.750c	52.500a	0.756c	0.083c	0.452a
T4	14.450b	60.005b	0.778c	0.090b	0.746c
标准			≤5.0	≤0.5	≤2.0

注: 同列字母不相同表示差异显著($p<0.05$).

2.2 沼液灌溉对黑麦草土壤环境的影响

2.2.1 对土壤 pH 的影响

从图 3 可以看出,对照处理表层土壤 pH 在生长期和收获期变化不大,沼液灌溉的处理收获期都明显低于生长期,且都明显低于对照组,这说明沼液的施用会降低土壤 pH. 原因可能是因为沼液产酸过程中形成了有机酸以及黑麦草根系中分泌了大量的有机酸^[10-12].

2.2.2 对土壤有机质的影响

通过图 4 可知,在黑麦草生长过程中,生长期各处理有机质含量变化不大,但收获期的表层土壤有机质明显高于对照,增长率为 15.87%~23.23%. 有机质含量最高的是 T2 处理,但 T2,T3,T4 沼液处理间差异不显著,这说明沼液灌溉均能够有效提高表层土壤有机质含量. 试验条件下,较优的灌溉水平为 T2,T3,T4 处理.

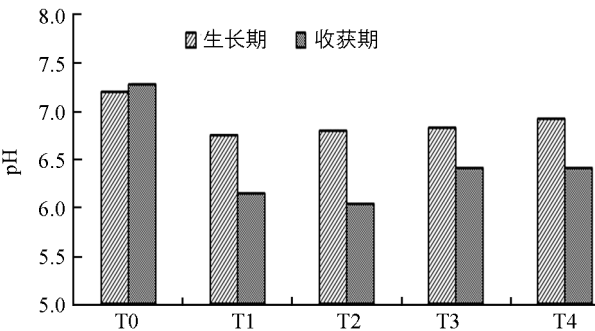


图 3 黑麦草各处理表层 pH 素含量的变化

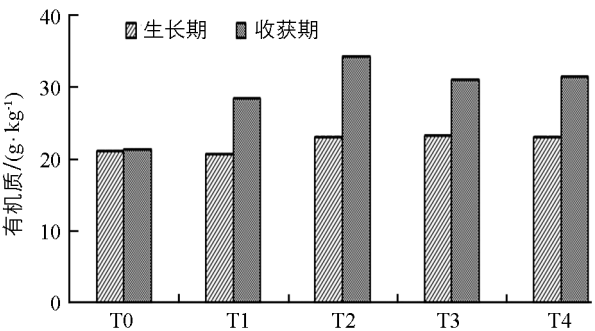
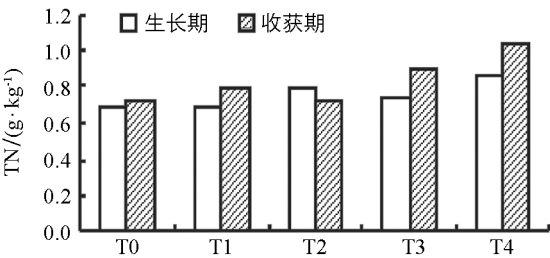


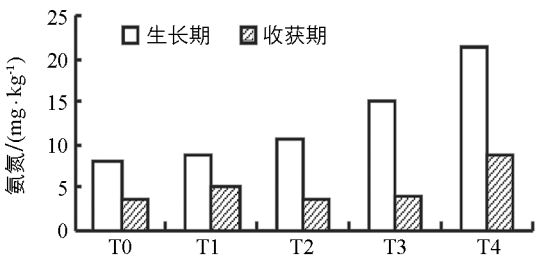
图 4 黑麦草各处理表层有机质含量的变化

2.2.3 对土壤 N 素的影响

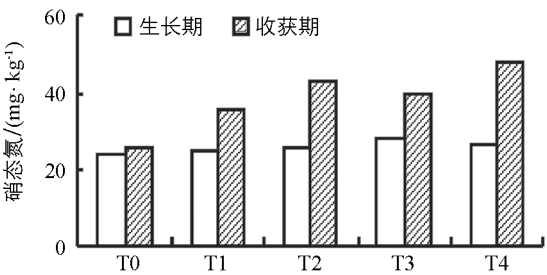
土壤中 N 素能为植物生长提供必要养分,也是蔬菜硝态氮的主要来源^[13]. 从图 5 可以看出,黑麦草消纳沼液试验过程中,各处理的 TN 均出现增长,除 T2 处理外,其他几个处理在收获期的 TN 含量高于生长期. T4 处理的 TN 增长幅度最大,比对照增加了 31.82%. 在生长期,土壤中的氨氮随灌溉强度呈梯度增长,除 T4 处理外,其他各处理氨氮含量均在 5mg/kg 以内. 到收获期时,各处理氨氮含量没有差异. 总的来说,沼液灌溉能够提高土壤中的 N 素含量,提升土壤肥力.



(a)



(b)



(c)

图 5 黑麦草各处理表层 N 素含量的变化

2.2.4 对土壤 P 素的影响

由图 6 可知, 对照处理在生长期和收获期的表层土壤 TP 变化不大, 而灌溉沼液的 4 个处理均有不同程度的增长, 增长率为 12.33%~25.74%, 这说明沼液灌溉能够提高土壤中的 P 素含量.

2.2.5 对土壤重金属的影响

从图 7 可以看出, 沼液灌溉对黑麦草表层土壤中 Cu,Zn 含量的影响不大, 增长率分别为 6.48%~13.62%,7.00%~10.72%. 土壤中 Pb 的含量较对照有所下降, 在生长期表现明显, 这与黑麦草富集铅、镉的能力有关^[16, 18]. 表层土壤中 Cd 和 As 的变化趋势一致, T1,T2,T3 处理中的含量与对照没有差异, 但 T4 处理在收获期明显升高, 较对照分别增长了 17.15%,25.23%, 这可能是因为随着灌溉量的增加, 而黑麦草富集重金属的能力有限, 土壤中的 Cd 和 As 开始累积. 在 T4 灌溉水平下, 土壤中 Cd,As 开始累积.

黑麦草表层土壤重金属含量均低于土壤质量标准限值(GB15618-2008), 单季沼液灌溉黑麦草不会造成土壤的重金属污染. 因此, 从沼液还田角度出发, 在保证作物安全的前提下, T1,T2,T3 处理符合要求.

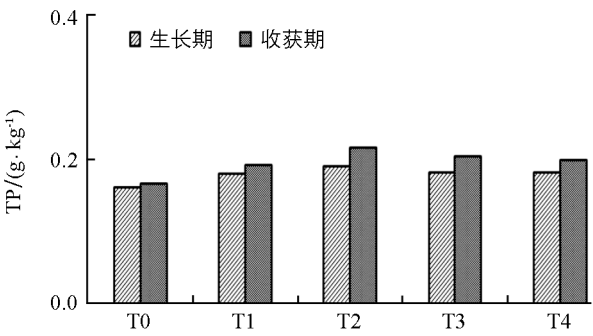
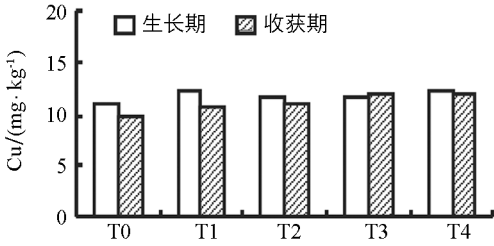
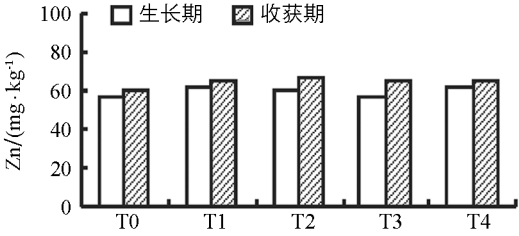


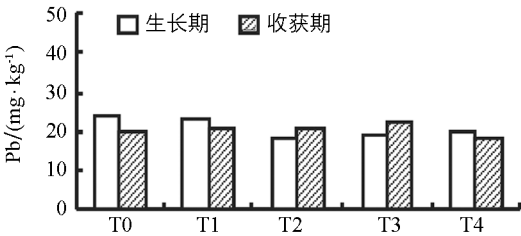
图 6 黑麦草各处理表层 P 素含量的变化



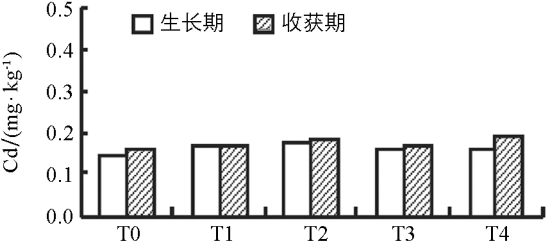
(a)



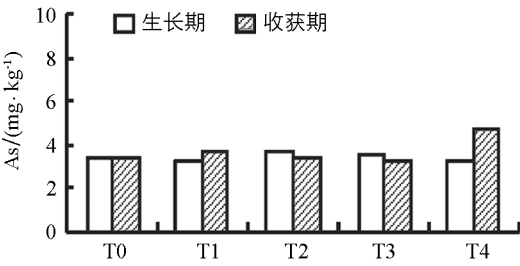
(b)



(c)



(d)



(e)

图 7 黑麦草各处理表层土壤重金属含量的变化

2.3 紫色土-黑麦草系统消纳沼液的潜力分析

2.3.1 从牧草产量及品质角度消纳沼液的潜力

沼液灌溉可以明显提高作物产量,黑麦草鲜草增产率为 53.04%~96.64%,干草增产率为 13.04%~19.03%,但过高灌溉水平的沼液施用反而会降低作物增产量.因此,从产量分析,T2,T3,T4 都可增产,其中 T2 处理产量最高.

适量的沼液灌溉能够提高作物品质,试验中,T2,T3 处理黑麦草内硝酸盐含量与对照相比降低,T4 处理与对照相比升高,已接近警戒线值;黑麦草中的 Pb,Cd,As 含量均远低于国家标准限值,因此,从品质分析,较优的灌溉水平是 T2,T3 处理.

综上,在保证作物产量及品质安全的前提下,沼液灌溉量为 T3 处理较为适宜.即折算为大田灌溉量,单季可消纳沼液 1 584 m³/hm².

2.3.2 从土壤环境安全角度消纳沼液的潜力

沼液灌溉能够增加土壤养分含量(有机质,N,P),提高土壤肥力;沼液灌溉对土壤中的 Cu,Zn 含量影响不大,高灌溉水平导致了重金属 Cd,As 的累积,虽然单季沼液灌溉的土壤中重金属含量均低于国家土壤环境质量的限值,考虑到长期灌溉造成的累积风险,较为适宜的灌溉量为 T1,T2,T3 处理.

研究所用沼液灌溉量尚不足以对土壤安全造成威胁,本试验条件下,沼液最大灌溉量为 T3 处理,单季可消纳沼液 1 584 m³/hm².

综上考虑黑麦草的质量安全和土壤环境质量安全,可以得出,本试验条件下,黑麦草单季可消纳沼液 1 584 m³/hm².

3 结 论

- 1) 紫色土-黑麦草系统在适当的灌溉水平下,沼液的灌溉能够提升黑麦草的产量及品质,黑麦草中的重金属含量均远低于国家标准限值,不会对家畜健康造成危害;
- 2) 沼液灌溉能够增加土壤中的养分含量,提升土壤肥力,高灌溉水平会导致土壤 Cd,As 的累积;
- 3) 本试验条件下,从沼液灌溉的角度出发,重庆地区黑麦草单季灌溉量应控制在 1 584 m³/hm² 以内.

参考文献:

- [1] 李传彬.农村水资源现状及对策分析[J].科技创新与应用,2012(2):105.
- [2] 姜丽娜.沼液稻田消解对水稻生产、土壤与环境安全影响研究[J].农业环境科学学报,2011,30(7):1328—1336.
- [3] 杨平,杨志敏,刘静,等. Cu 胁迫下电极-SBBR 的反硝化脱氮研究[J].西南大学学报(自然科学版),2012,34(11):57—62.
- [4] 王莉玮,蒋小丽,杨志敏,等.竹炭-微生物联合法对沼液中 COD 的去除[J].西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(10):130—134.
- [5] 徐卫红,熊治庭,李文一,等.4 品种黑麦草对重金属 Zn 的耐性及 Zn 积累研究[J].西南农业大学学报(自然科学版),2005,27(6):787—790.
- [6] 顾洪如,李元姬,沈益新,等.追施不同氮量对多花黑麦草干物质产量和可消化干物质产量的影响[J].江苏农业学报,2004,20(4):254—258.
- [7] SALSAC, CHAILLOU, MOROT GAUDRY, et al. Nitrate and Ammonium Nutrition in Plants[J]. Plant Physiology Biochemistry, 1987, 25: 805—812.
- [8] 鲍乐,郝福兰,莱斯费尔德.南方牧草[M].北京:中国农业出版社,2001:253.
- [9] 钟小仙,江海东,顾洪如,等.施肥对杂交狼尾草植株硝酸盐含量的影响[J].草业科学,2004,21(10):29—32.

[10] 陈龙池, 廖利平. 根系分泌物生态学研究 [J]. 生态学杂志, 2002, 21(6): 57—62.

[11] 段金辉. 果园种植黑麦草对土壤和果树的影响 [J]. 山西果树, 2008(4): 3—4.

[12] 黄建凤, 吴 昊. 植物根系分泌的有机酸及其作用 [J]. 现代农业科技, 2008(20): 323—324.

[13] 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀. 叶类蔬菜的硝态氮累积及成因研究 [J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1136—1141.

Consumptive Potential of Biogas Slurry in the Purple Soil-Ryegrass System

Guan Hong-you¹, DAI Yong¹, ZHANG Xin-wei¹,
CHEN Yu-cheng^{1,2}, LI Yan-yan¹

1. School of Resources & Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;
2. Chongqing Key Lab of Agricultural Resources & Environment, Chongqing 400716, China

Abstract: In order to research the consumptive potential of biogas slurry irrigation in the purple soil-ryegrass system, a pot experiment was conducted to study the impacts of different amounts of biogas slurry irrigation on soil environment and the quality of ryegrass. The results showed that biogas slurry irrigation markedly improved the yield and quality of ryegrass, and the contents of heavy metals in ryegrass remained far below the national standard limit; in addition, biogas slurry irrigation improved the contents of soil nutrients. High-level irrigation led to Cd and As accumulation in the soil, but they did not exceed the limit of the National Soil Environmental Quality Standard of China (GB15618-19952001) in single-season biogas irrigation. Considering the safety of ryegrass and soil environmental, the amount of single-season biogas slurry irrigation in the purple soil-ryegrass system should be controlled within 1 584 m³/hm².

Key words: purple soil-ryegrass system; biogas slurry; irrigation; soil environment; consumptive potential

责任编辑 陈绍兰

