

沼肥施用对油菜生长及土壤环境影响研究

宋丽芬^{1,2}, 孙丽英³, 邵 蕾¹, 吴树彪⁴, 董仁杰^{1,4}, 王德冰⁵, 杨鹏飞¹

(1. 中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670; 2. 小麦玉米国家工程实验室, 济南 250000; 3. 农业部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; 4. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 5. 烟台市牟平区畜牧兽医局, 山东烟台 264100)

摘 要: 试验通过研究鸡粪沼液在大田油菜上的应用, 探讨沼肥施用对油菜生长及土壤环境的影响, 为沼液的合理、安全应用提供技术指导。结果表明, 纯沼肥处理(ZF)的产量低于常规施肥处理(HF+YJ), 沼肥与化肥配施处理(ZF+HF)的产量与常规施肥处理差异不显著; 相对于常规施肥, 施用沼肥与有机肥提高了油菜的 Vc 含量, 降低了硝酸盐含量; 施用沼肥和有机肥后, 在整个试验周期内土壤速效养分含量稳定或逐渐上升, 而化肥表现为施肥后最高, 然后迅速下降; 施用沼肥和有机肥提高了土壤的 pH 值和有机质; 施用沼肥的处理(ZF 和 ZF+HF)土壤铅、铬、砷、镉含量显著高于对照 CK 处理, 且油菜中检测含铬, 但重金属含量都未超过国标。相对于常规施肥, 沼肥与化肥配施减少了肥料投入, 增加了经济效益。

关键词: 沼肥; 油菜; 重金属

中图分类号: S216.4; X713 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2017)06-0083-06

Effects of Biogas Manure Application on Rape Growth and Soil Environment / SONG Li-fen^{1,2}, SUN Li-ying³, SHAO Lei¹, WU Shu-biao⁴, DONG Ren-jie^{1,4}, WANG De-bing⁵, YANG Peng-fei¹ / (1. China Agricultural University (Yantai), Yantai 264670, China; 2. National engineering laboratory of Wheat and Corn, Jinan 250000, China; 3. Agricultural ecology and resource protection station, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China; 4. Key Laboratory of Clean Utilization of Renewable Energy, Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 5. Animal Husbandry and Veterinary of Muping District, Yantai 264100, China)

Abstract: The field experiment was conducted in this paper to study the effects of biogas manure (anaerobically digested poultry waste) on rape growth and soil environment. The results showed that the rape yield of the sole biogas manure treating group (ZF) was less than that of conventional fertilization group (that was chemical fertilizer plus organic fertilizer, HF+YJ). The rape yield of treatment group of biogas fertilizer combined with chemical fertilizer (ZF+HF) was not significantly different from the conventional fertilizer group. Compared with conventional group, the biogas manure group and organic fertilizer group increased the Vc content of rape, and decreased the nitrate content; the available nutrient contents in soil were stable or increasing gradually; and soil quality improved. The chemical fertilizer group had the highest available nutrient contents in soil after the fertilizer was applied and then decreased rapidly. The application of biogas manure (both ZF and ZF+HF groups) increased the contents of Pb, Cr, As, Cd in soil comparing with CK, and the Cr was detected in rape but no heavy metal content was above the national standard. Comparing with the conventional group, ZF+HF group decreased the input for fertilizer, and increased the economic efficiency.

Key words: biogas manure; rape growth; heavy metal

随着种植业和养殖业的集约化和规模化发展, 沼气工程成为有机废弃物循环利用的重要环节^[1-2]。沼肥的及时消纳是制约沼气工程发展的限制性因素。因沼气工程的原料、投料量、含固率等不

同, 沼肥的养分、重金属含量、pH 值等性质也不同^[3-4]; 不同作物的需肥规律和需肥量各不相同。已有的研究表明, 不同原料的沼肥应用于不同的作物, 其效果不同: 丁仁杰^[5]等的研究表明, 施入鸡粪

收稿日期: 2017-01-13

项目来源: 公益性行业(农业)科研专项(201403019)

作者简介: 宋丽芬(1971-), 女, 山东烟台人, 副教授, 研究方向为土壤肥科学, E-mail: 15805351189@126.com

通信作者: 吴树彪, E-mail: wsb4660017@126.com

沼肥与单施化肥番茄产量无显著差异;吴华山^[6]等研究表明,施用猪粪沼液玉米的产量低于施用化肥;赵凤莲^[7]等研究表明施用鸡粪沼肥比施用牛粪沼肥处理的油菜产量平均高出约25%。因此,要根据作物的品种和沼肥的性质确定沼肥的施用量与施用模式。

上海青油菜(简称油菜)属于十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种,从播种到收获50~60 d。油菜属于易于富集硝酸盐的叶菜类,其生长期短,养分需求量大而且集中。常规施肥以化肥为主,施肥后氮素大量累积在土壤中,造成油菜硝酸盐超标^[8]。有机肥中的养分属于缓效养分,需要经过矿化才能释放;沼肥的养分属于速效兼有。肥料养分的释放速率决定了土壤养分供应量。本试验通过油菜的田间试验,衡量沼肥、有机肥和化肥养分释放的速率及对作物产量与品质的影响,为沼肥的施用方法提供参考依据。

沼肥中重金属的含量、沼肥施用对土壤和植物重金属的累积已有相关研究^[9]。然而,不同来源的沼肥重金属含量不同,因此有必要对不同来源沼肥的施用进行土壤和植物的重金属安全性评价。山东民和生物科技股份有限公司以鸡粪为原料年产沼液约20万m³,自2009年以来无偿供给周围的农田施用,但沼液对土壤和植物的影响目前还没有系统评价。本项目以民和鸡粪沼液为研究对象,探究沼液部分替代化肥和有机肥的可行性,为生长期短的油菜提供养分、为土壤提供有机质;通过评价土壤中速效养分的变化,对比化肥、有机肥、沼肥的养分释放速度;通过测定土壤和植物重金属的累积进行安全评价,为沼肥的合理、安全施用提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在中国农业大学烟台研究院试验基地进行。供试土壤为棕壤,其理化性质如下:有机质0.54%,碱解氮42.21 mg·kg⁻¹,速效磷34.02 mg·kg⁻¹,速效钾30.78 mg·kg⁻¹,pH值6.56。

沼肥:山东民和生物科技股份有限公司养鸡场不经过固液分离的沼液(0.57-0.078-0.25)。

供试作物:上海青油菜(烟台市种子分公司购买)

有机肥:市售(2.63-1.04-1.55),有机质45%,含水量30%,pH值7.07。

化肥:尿素(46-0-0),磷酸一铵(11-44-0),硫酸

钾(0-0-50),磷酸二氢钾(0-52-34)

1.2 试验方法

1.2.1 试验方案

根据农业部发布的《2016年春季主要农作物科学施肥技术指导意见》,参照当地菜农的施肥习惯,本试验确定油菜种植常规施肥量为:氮肥(N)16.5 kg·667 m⁻²,磷肥(P₂O₅)8 kg·667 m⁻²,钾肥(K₂O)13 kg·667 m⁻²,基施商品化有机肥200 kg·667 m⁻²。试验方案见表1。

表1 试验设计 (kg·667 m⁻²)

处 理	由化肥提供的养分			由有机肥或沼肥提供的养分		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0	0	0	0
HF + YJ	16.5	8	13	3.68	1.46	2.17
HF	20.18	9.46	15.17	0	0	0
YJ	0	0	0	20.18	2.76	8.8
ZF	0	0	0	20.18	7.98	11.89
YJ + HF	0	6.7	6.37	20.18	2.76	8.8
ZF + HF	0	1.48	3.28	20.18	7.98	11.89

注:1) HF表示化肥,YJ表示有机肥,ZF表示沼肥;2)有机肥含水量30%,在计算有机肥施用量时要扣除水分。

具体施肥方法如下:

化肥 + 有机肥(HF + YJ)处理:所有的磷钾肥、有机肥与60%氮肥基施,40%氮肥播种后30 d施用。

化肥(HF)处理:所有的磷钾肥与60%氮肥基施,40%氮肥播种后30 d施用。

有机肥(YJ)处理:全部基施。

沼肥(ZF)处理:播种前将沼液全部施在小区内,然后翻地,播种。

有机肥 + 化肥(YJ + HF):全部基施。

50%沼液 + 50%化肥(ZF + HF):全部基施。

参考当地菜农春季种植上海青油菜的时期,试验于4月22日施肥、播种,5月22日追肥,6月23日试验结束,试验时间62 d。

试验采用随机区组设计,每处理3次重复。小区规格5.0 m×1.5 m(7.5 m²),油菜的行距20 cm,株距20 cm,每个小区3行,每行25株。穴播,每穴3粒种子,深度2~3 cm。播种后15 d间苗,每穴一株。

1.2.2 样品的采集与测定

试验定期采集土壤样品分析沼肥施用对土壤的影响;试验结束后采集植物样品测定品质指标。

表2 施肥方案 ($\text{kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$)

处 理	尿素	磷酸一铵	硫酸钾	磷酸二氢钾	沼 肥	有机肥
CK	0.00	0.00	0.00	0	0	0
HF + YJ	31.52	18.18	26.00	0	0	200.00
HF	38.73	21.50	30.34	0	0	—
YJ	0	0	0	0	0	1096.14
ZF	0	0	0	0	3540.35	—
YJ + HF	0	0	3.98	12.88	—	1096.14
ZF + HF	0	0	4.62	2.85	3540.35	0

土壤样品采用3点法在小区采集0~20 cm土样,分别于播种后7 d(4月29日)、20 d(5月12日)、36 d(5月28日)、62 d(6月23日)采集。采样后放置于阴凉处风干。然后分别测定速效氮、速效磷、速效钾、全氮、有机质和pH值。其中速效氮采用碱解扩散法测定、速效磷采用碳酸氢钠提取-钼锑抗显色法测定、速效钾采用醋酸铵提取-火焰分光光度计法测定。全氮采用凯氏定氮法测定,有机质采用重铬酸钾-硫酸外氧化法测定,pH值采用水溶-酸度计法测定。

试验结束后,将油菜地上部分洗净后置于烘箱中105℃杀青15 min,60℃恒温烘干,粉碎过0.25 mm筛后,测定植物样品中的全氮、全磷、全钾。具体方法为采用浓硫酸-双氧水联合消煮,全氮测定采用半微量蒸馏法,全磷测定采用钼锑抗比色法,全钾测定采用火焰光度法。收获时采样测定油菜的品质指标(V_c 、亚硝酸盐)、叶绿素含量(丙酮浸提法)。

试验结束后,采集土壤和植株样品测定As、Hg、Cr、Cd、Pb含量。

1.2.3 数据分析

样品测定数据采用Excel和SAS程序软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 沼肥施用对油菜产量与品质的影响

产量与品质是评价沼肥施用可行性的最重要指标。由表3可以看出以化肥为主的施肥处理(HF和HF+YJ)产量高于以沼肥为主的处理(ZF和ZF+HF),以有机肥为主的处理(YJ和YJ+HF)产量最低。氮磷钾施用量相同的HF+YJ、HF、ZF+HF、YJ+HF4个处理,相对于CK处理的增产率为75.67%、80.72%、56.46%、70.30%。

植物体内的 V_c 含量是评价其营养价值的重要

指标。ZF+HF、YJ+HF处理的 V_c 含量最高,其次为ZF、YJ和HF+YJ,纯施用化肥的HF处理最低。李胜利等的试验也证明了沼液可提高生菜和小白菜的 V_c 含量^[10]。

叶菜类易于富集硝酸盐,而硝酸盐在人体内可被还原成强致癌的亚硝酸盐^[11]。试验中纯施用化肥的HF处理硝酸盐含量最高,以化肥为主的HF+YJ处理硝酸盐含量高于以有机肥和沼肥为主的ZF+HF、YJ+HF处理,而不施用化肥的ZF和YJ处理最低。

植物叶片叶绿素含量可间接反应植物光合作用的能力,与作物的产量密切相关。叶片叶绿素含量与氮素供应水平密切相关^[12]。本试验中以化肥为主的HF+YJ、HF处理的叶绿素含量最高,其次为ZF+HF、YJ+HF和ZF处理,施用纯有机肥的YJ处理叶绿素含量最低。

表3 不同处理产量和品质的比较

处 理	产量	V_c	硝酸盐	叶绿素
	($\text{kg} \cdot \text{小区}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
CK	15.25e	0.20e	95.55e	4.52d
HF + YJ	26.79ab	0.30c	375.74b	7.43a
HF	27.56a	0.27d	428.74a	7.54a
YJ	22.59d	0.30c	224.58d	6.32c
ZF	24.43bc	0.32bc	246.37d	6.85b
YJ + HF	23.86cd	0.34ab	285.52c	7.04b
ZF + HF	25.97b	0.36a	275.85c	7.14b

注:在同一列中的数据用邓肯多重比较分析,凡尾部标有不同字母的数值表示其间差异显著($p < 0.05$)。

2.2 沼肥施用对土壤速效氮含量的影响

由图1可以看出,施用氮肥7 d后(4月29日)和追肥7 d后(5月28日)HF处理的土壤速效氮含量显著上升。随着时间的延长,YJ和ZF处理的土壤速效氮含量逐渐增加;而4次测定的ZF处理的土壤速效氮含量都高于YJ处理。

YJ与YJ+HF处理的氮肥完全由有机肥提供,ZF与ZF+HF处理的氮肥完全由沼肥提供。因此YJ+HF与YJ处理间土壤速效氮含量变化规律相似,ZF与ZF+HF处理间土壤速效氮含量变化规律也相似,都表现出逐渐升高的规律。

HY和HF处理基施和追施了氮肥,因此土壤中速效氮含量在施用氮肥后显著增加。随着时间的延长,施用YJ处理和ZF处理的土壤速效氮含量逐渐增加;而4次测定的沼液处理(ZF)的土壤速效氮含

量都高于 YJ 处理。

土壤中的有机养分在土壤微生物作用下,将有机态化合物转化为无机态化合物,从而释放出无机养分离子^[13]。通过施用化肥、有机肥、沼肥后土壤养分含量变化比较化肥、有机肥和沼肥养分释放的速率。

HF, YJ, ZF, YJ + HF, ZF + HF 处理间氮素的施用量一致,施用氮肥 7 d 后(4 月 29 日)和追肥 7 d 后(5 月 28 日) HF 处理的土壤速效氮含量显著高于其它处理。化肥为速效肥料,施入土壤后迅速溶解成离子状态,造成短期内养分累积。沼肥和有机肥需要经过矿化才能将有机养分变为无机养分,因此在整个试验周期内 YJ 和 ZF 处理的土壤速效氮为上升趋势。

YJ 和 ZF 处理间比较:在整个试验周期内 ZF 处理的土壤速效氮含量显著高于 YJ 处理,说明试验所用的鸡粪沼液的矿化速率高于有机肥。

沼液与有机肥养分释放速率的比较:施肥后 7 d ZF 处理的土壤速效氮含量高于 YJ 处理,说明沼液中不仅含有有机氮,也含有无机氮;在整个试验周期内 ZF 处理的土壤速效氮含量都高于 YJ 处理,说明试验所用的鸡粪沼液矿化速率高于以鸡粪和秸秆为原料的有机肥。

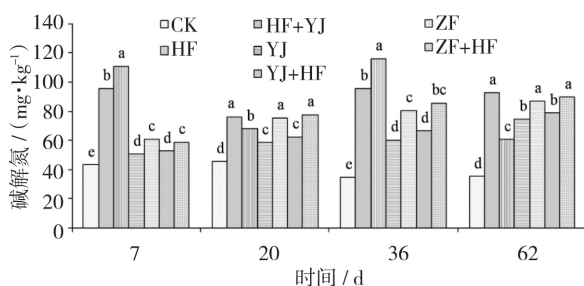


图1 不同处理土壤碱解氮含量的变化

2.3 沼肥施用对土壤速效磷含量的影响

由图2可以看出,由于 HF 处理的磷肥全部作为基施,因此随着时间的延长,土壤中速效磷含量逐渐地降低。

YJ 处理的磷素全部来自于有机肥, ZF 处理的磷素全部来自于沼液, HF 处理磷素施用量为 $9.46 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$,而 YJ 和 ZF 处理的磷肥施用量为 $7.98 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 和 $2.76 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。YJ 处理的土壤速效磷随着时间的延长,表现为逐渐上升的趋势;而 ZF 处理的磷素施用量低,在整个试验周期内土壤速效磷含量变化小。

相对于 YJ 和 ZF 处理, YJ + HF 和 ZF + HF 处理补充磷素施用量到 $9.46 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$,分别补充磷素 $1.48 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 和 $6.7 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。相对于 ZF 处理, ZF + HF 处理补充磷素多,因此 ZF + HF 处理的土壤速效磷含量显著高于 ZF 处理; YJ 和 YJ + HF 处理的土壤速效磷含量差异小。

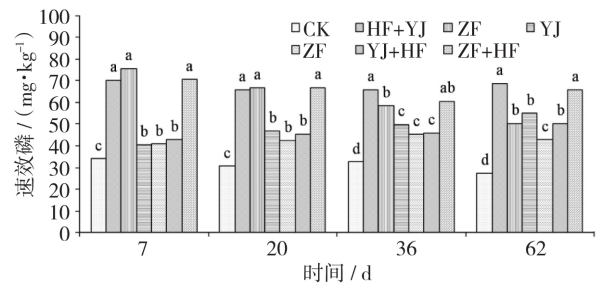


图2 不同处理土壤速效磷含量的变化

2.4 沼肥施用对土壤速效钾含量的影响

由图3可以看出,由于 HF 处理的钾肥全部作为基施,因此随着时间的延长,土壤中速效钾含量逐渐地降低。

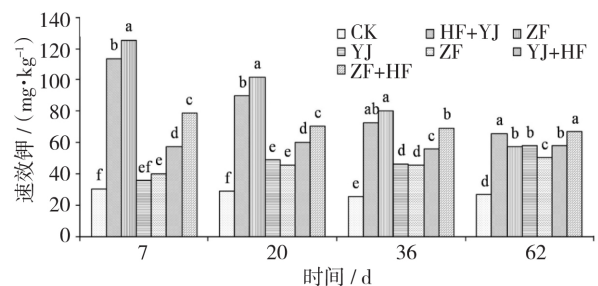


图3 不同处理土壤速效钾含量的变化

YJ 处理的钾素全部来自于有机肥, ZF 处理的钾素全部来自于沼液, HF 处理磷素施用量为 $15.17 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$,而 YJ 和 ZF 处理的磷肥施用量为 $11.89 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 和 $8.80 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。YJ 处理的土壤速效钾随着时间的延长,表现为逐渐上升的趋势;而 ZF 处理的钾素施用量低,在整个试验周期内土壤速效钾含量变化小。

相对于 YJ 和 ZF 处理, YJ + HF 和 ZF + HF 处理补充钾素施用量到 $15.17 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$,分别补充钾素 $3.28 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 和 $6.37 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$ 。相对于 ZF 处理, ZF + HF 处理补充钾素多,因此 ZF + HF 处理的土壤速效钾含量显著高于 ZF 处理。

HF, YJ, ZF 处理间施磷钾量不一致,土壤中速效磷钾含量没有可比性。HF, YJ + HF, ZF + HF 处理间磷钾的施用量一致,但是 YJ + HF, ZF + HF 处理中有机肥和沼液提供部分磷钾元素,剩下的由化

肥提供。HF 处理的土壤速效磷钾含量在试验周期内为逐渐下降的趋势; YJ 处理的土壤速效磷钾和 ZF 处理的土壤速效钾含量在试验周期内为逐渐上升的趋势; 在试验周期内, ZF 处理的土壤速效磷钾含量稳定。

2.5 沼肥施用对土壤 pH 值与有机质的影响

试验所用有机肥的 pH 值为 7.07, 沼液的 pH 值为 8.24。由图 4 可以看出, 试验结束后, 施用沼液的 ZF 和 ZF + HF 处理的土壤 pH 值最高, 其次为施用有机肥的 YJ 和 YJ + HF 处理。施用化肥的 HF 和 HY 处理土壤 pH 值最低, 低于对照处理(CK)。黄继川^[14]等在水稻上应用沼液的试验表明第一茬试验土壤 pH 值下降, 连续施用 2 茬土壤 pH 值升高。

试验所用有机肥的有机质为 45%, 沼液的有机质为 1.40%。试验结束后, 施用有机肥的 YJ 和 YJ + HF 处理土壤有机质最高, 其次为施用沼液的 ZF 和 ZF + HF 处理; CK 和 HF 处理的土壤有机质差异不显著, 两者显著高于 HF 处理(见图 5)。相对于化肥处理, 施用沼肥提高了土壤有机质含量, 这与前人的研究一致^[14]。

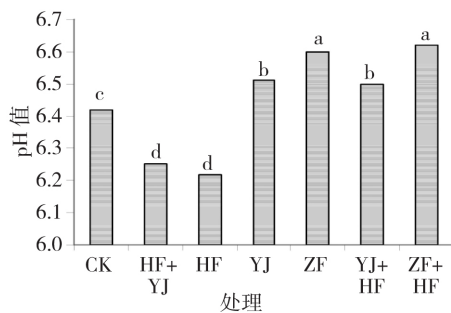


图 4 不同处理土壤 pH 值

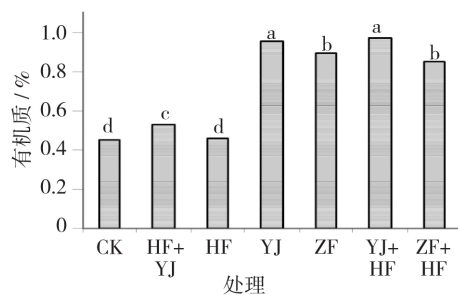


图 5 不同处理土壤有机质

2.6 沼肥施用对土壤和植物重金属含量的影响

沼液中的重金属是限制其应用的主要因素之一。刘思辰^[15]等研究表明河南、安徽的工程沼液中重金属含量的风险较高, 不能直接灌溉; 湖南、浙江

的沼液存在低风险, 内蒙古、辽宁、福建、四川和重庆 5 个地区的户用沼液中重金属元素含量均无污染风险, 可直接进行灌溉。因此, 沼液灌溉前必须要评价其重金属污染风险。

施用化肥的 HF 处理铅、铬、汞、砷、镉含量与对照 CK 处理差异不显著。施用沼液的 ZF 和 ZF + HF 处理土壤铅、铬、砷、镉含量显著高于对照 CK 处理(见表 4), 分别提高了 6.9, 10.5, 3.9, 0.021 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 提高的幅度为《GB 15618-1995 土壤环境质量标准》二级土壤中的限定值的 2.76%, 4.2%, 13.0%, 7.0%。

由表 5 可以看出, 只有施用沼液的 ZF 和 ZF + HF 处理检测出含铬 0.09 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 0.07 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 但低于《GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量》中的铬限定值 0.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

吴华山^[16]等研究了猪粪沼液对土壤和玉米重金属累积, 结果表明土壤中 Cd, Cr, Hg 含量与清水对照相比略有增加, 玉米籽粒中 Cd, Cr, Pb 的含量略有增加。试验中, 施用沼液后显著提高了土壤 Pb, Cr, As, Cd 和油菜中 Cr 含量, 虽然没有超过国家标准, 但是仍然存在土壤污染和农产品安全的问题。

表 4 不同处理的土壤重金属含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理	铅	铬	汞	砷	镉
CK	19.2b	61.5b	0.016a	11.3b	0.057b
HY	22.8b	69.3a	0.015a	13.9ab	0.073b
HF	19.8b	59.1b	0.04a	11.2b	0.063b
YJ	23.0b	70.8a	0.05a	11.8b	0.055b
ZF	26.1a	72.0a	0.002a	15.2a	0.078a
YJ + HF	19.8b	61.7b	0.01a	11.2b	0.059b
ZF + HF	27.2a	61.8b	0.013a	13.2ab	0.077a

注: 在同一列中的数据用邓肯多重比较分析, 凡尾部标有不同字母的数值表示其间差异显著 ($p < 0.05$)。

表 5 不同处理的植物重金属含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理	铅	铬	汞	砷	镉
CK	未测出	未测出	未测出	未测出	未测出
HY	未测出	未测出	未测出	未测出	未测出
HF	未测出	未测出	未测出	未测出	未测出
YJ	未测出	未测出	未测出	未测出	未测出
ZF	未测出	未测出	未测出	0.09	未测出
YJ + HF	未测出	未测出	未测出	未测出	未测出
ZF + HF	未测出	未测出	未测出	0.07	未测出

2.7 经济效益评价

依据于中国农业科学研究院经济作物研究所提出的《农业科研成果经济效益计算办法》,对沼肥与化肥的配施处理(ZF+HF)与常规施肥处理(HF+YJ)的经济效益状况进行对比(见表6)。

试验所用沼肥为民和公司的沼液,民和公司无偿将沼液提供给农户施用,用户自己用车拉走,因此不计入肥料投入。常规施肥每 667 m^2 需要施用化肥 70.57 kg 和有机肥 200 kg ,化肥投入 $512\text{ 元}\cdot 667\text{ m}^{-2}$;沼肥与化肥配施后每 667 m^2 仅需要化肥 7.47 kg ,化肥投入 $28.11\text{ 元}\cdot 667\text{ m}^{-2}$ 。

相对于常规施肥处理(HF+YJ),沼肥与化肥的配施(ZF+HF)的产量降低了 $72.9\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^{-2}$,但是肥料投入减少了 $483.89\text{ 元}\cdot 667\text{ m}^{-2}$,因此经济效益提高了 $327.49\text{ 元}\cdot 667\text{ m}^{-2}$ 。

表6 施用沼肥的投入产出效益分析表

项 目	单 位	ZF+HF	HF+YJ	增减数量
对比试验规模	m^3	7.5	7.5	—
产出	$(\text{kg}\cdot 667\text{ m}^{-2})$	2309.6	2382.5	-72.9
	$(\text{元}\cdot 667\text{ m}^{-2})$	6928.8	7147.5	-156.4
投入	用工 $(\text{元}\cdot 667\text{ m}^{-2})$	3000	3000	0
	肥料 $(\text{元}\cdot 667\text{ m}^{-2})$	28.11	512	-483.89
	其他 $(\text{元}\cdot 667\text{ m}^{-2})$	700	700	0
	合计 $(\text{元}\cdot 667\text{ m}^{-2})$	3728.11	4212	-483.39
增加效益	$(\text{元}\cdot 667\text{ m}^{-2})$	—	—	327.49

注:1)用工费用根据当地蔬菜种植户的实际用工数进行估算;2)硫酸钾按照 $3\text{ 元}\cdot \text{kg}^{-1}$ 计算、尿素 $1.6\text{ 元}\cdot \text{kg}^{-1}$,磷酸一铵 $3.5\text{ 元}\cdot \text{kg}^{-1}$,磷酸二氢钾 $5\text{ 元}\cdot \text{kg}^{-1}$,有机肥 $1.6\text{ 元}\cdot \text{kg}^{-1}$;3)其他费用包括种子、翻地、水、电等;4)油菜价格按照 $3\text{ 元}\cdot \text{kg}^{-1}$ 计算

3 结论

(1) 试验沼肥养分矿化速度慢,纯沼肥不能满足油菜的生长需要,其产量低于常规施肥。沼液和化肥配合施用产量与常规施肥差异不显著。

(2) 相对于常规施肥,施用沼肥与有机肥提高了油菜的Vc含量,降低了硝酸盐含量。

(3) 施用沼肥后显著提高了土壤铅、铬、砷、镉和油菜中铬含量,但没有超过国家相关标准。

(4) 相对于常规施肥,沼肥与化肥配施减少了肥料投入,增加了经济效益。

参考文献:

[1] 吕品,王立民,张继舟,等.沼液抗旱剂重金属安全性分析及对大豆叶片Tr和RWC的影响[J].安徽农业科学,2014,42(34):1221-1222.

- [2] 蒲俊华,陈大伟,刘茵茵,等.江苏华东某省部分禽场重金属污染检测与分析[J].家畜生态学报,2014,35(11):69-72.
- [3] 吴爱兵,曹杰,朱德文,等.麦秸与牛粪混合堆沤预处理厌氧干发酵产沼气中试试验[J].农业工程学报,2015,31(22):987-991.
- [4] 肖艳春,黄婧,林香信,等.去除猪场沼液重金属Pb的离子印迹膜制备及其应用.福建农业学报[J].2016,31(1):57-62.
- [5] 丁仁杰,张本凯.施用沼肥对番茄田节肢动物群落结构及番茄产量的影响[J].植物保护学报,2010(5):403-407.
- [6] 吴华山,郭德杰,等.猪粪沼液施用对土壤氮挥发及玉米产量和品质的影响[J].中国生态农业导报,2012,20(2):163-168.
- [7] 赵凤莲,孙钦平,等.不同沼肥对油菜产量、品质及氮素利用效率的影响[J].水土保持学报,2010(6):127-130.
- [8] 韩晓莉,李博文,王小敏,等.沼液配方肥肥效特点及其对油菜硝酸盐含量的影响[J].水土保持学报,2012,26(3):265-268.
- [9] 熊飞,孙钦平,李吉进,等.沼肥施用对油菜产量、品质和环境效应研究[J].中国农学通报,2012,28(24):152-156.
- [10] 李胜利,夏亚真,刘金,孙治强.沼液与钾钙耦合对黄瓜叶绿素荧光参数、产量及品质的影响[J].河南农业科学,2013,42(11):106-110.
- [11] 赵凤莲,孙钦平,李吉进,等.不同来源沼肥对油菜、西芹产量及氮素利用率的影响[J].中国农学通报,2011,27(8):156-161.
- [12] 刘红耀.氮磷钾配施对大蒜生长发育的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(5):332-336.
- [13] 王玉红,马天娥,魏艳春,等.黄土高原半干旱草地封育后土壤碳氮矿化特征[J].生态学报,2017,37(3):1-8.
- [14] 黄继川,徐培智,彭智平,等.基于稻田土壤肥力及生物学活性的沼液适宜用量研究[J].植物营养与肥料学报,2016,22(2):362-371.
- [15] 刘思辰,王莉玮,李希希,等.沼液灌溉中的重金属潜在风险评估[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1517-1524.
- [16] 吴华山,郭德杰,等.猪粪沼液施用对土壤氮挥发及玉米产量和品质的影响[J].中国生态农业导报,2012,20(2):163-168.