



黄镇,张卓毅,蓝碧浩,等.施用猪场肥水对玉米农艺性状、产量及土壤化学性质和重金属含量的影响[J].黑龙江农业科学,2024(7):29-35.

施用猪场肥水对玉米农艺性状、产量及土壤化学性质和重金属含量的影响

黄 镇,张卓毅,蓝碧浩,张建森,王 倩,陈宜军
(北京市畜牧总站,北京 100107)

摘要:为有效解决猪场肥水排放所引发的环境问题,将猪场肥水作为追肥施用于农田,通过田间小区试验分析不同猪场肥水施用量(按氮素计)下玉米农艺性状、产量、土壤化学性质和重金属含量的变化,研究猪场肥水替代矿物氮肥还田利用效果与最适宜施用量。试验设计 4 个处理,对照组(CK)[施用 1 倍氮需求量的化肥(氮施用量 $153.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)];处理 1(T1)[施用 1 倍氮需求量的肥水(氮施用量 $153.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)];处理 2(T2)[施用 1.2 倍氮需求量的肥水(氮施用量 $183.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)];处理 3(T3)[施用 1.5 倍氮需求量的肥水(氮施用量 $229.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)];处理 4(T4)[施用 2 倍氮需求量的肥水(氮施用量 $306.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)]。结果表明,相较于对照组(CK),T3、T4 组玉米在穗轴粗、行粒数、百粒重指标上显著增加($P < 0.05$),T3 组最高,为 50.23 mm、38.21 粒和 37.18 g;T3 处理组产量为 $9\,628.88 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比对照组提升 4.63%,增产效果显著($P < 0.05$)。施用猪场肥水显著提升了土壤中有机质含量和全氮含量($P < 0.05$),处理组有机质含量在 $17.50 \sim 18.11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量在 $1.02 \sim 1.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;与种植前相比,土壤中有机质含量提升 3.16%~6.77%,全氮含量 T3 和 T4 提升 13.74%~33.57%;各处理组土壤重金属含量差异不显著,且均未超出农用地土壤污染风险管控标准规定的限值。综合分析认为,当猪场肥水施用量(按氮素总量计)为需求量 1.5 倍时效果最好。

关键词:猪场肥水;玉米;产量;土壤;重金属

我国规模化畜禽养殖业的快速发展,为保障我国肉蛋奶供给做出了重大贡献的同时,畜禽规

模化养殖过程产生大量畜禽粪污,全国每年产生畜禽粪污总量达到近 40 亿 $\text{t}^{[1]}$,给周边环境造成

收稿日期:2024-03-22

基金项目:综合保障项目-畜禽养殖污染治理技术测试与分析(11000024Y000002690526)。

第一作者:黄镇(1990—),男,硕士,高级农艺师,从事畜禽养殖环境监测与污染治理研究。E-mail:jameshuang3908@sina.com。

Effects of Different Tillage and Straw Returning Methods on Soil Nutrients and Microbial Biomass Carbon and Nitrogen

YANG Bing, MENG Xianghai, WANG Baicheng, WANG Wenhui, SHI Xinrui, XU Dehai, ZHANG Shuai, ZHANG Xingzhe

(Mudanjiang Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Mudanjiang 157020, China)

Abstract: In order to promote stable and increased crop yields, field positioning experiments were conducted to study the changes in nutrients, microbial biomass carbon, and microbial biomass nitrogen in soil profiles (0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm) of black soil areas under different tillage methods [no tillage (NT), shallow tillage (ST), deep tillage (DT)] and straw return (straw return, straw removal). The results showed that there were significant differences in soil physical and chemical properties among different cultivation methods. The treatment with the highest soil organic matter content in each cultivation layer was NT-T, DT, ST-T, DT in sequence; The treatment with the highest total nitrogen content was ST-T, DT, NT-T, and NT-T in sequence; The treatments with the highest content of available nitrogen were DT-T, DT-T, DT, and NT in sequence; The soil pH was highest in all cultivation layers under ST treatment; The soil moisture content of NT-T treatment in 0–10 cm soil profiles was highest, and in other soil profiles under ST-T treatment was significantly higher than other treatments; Soil microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen, with ST-T treatment being the highest. Under different cultivation methods, soil organic matter, available nitrogen, and moisture content showed the highest performance under straw returning method; Regardless of whether straw is returned to the field or not, both shallow and deep tillage methods are superior to no tillage in terms of soil biomass carbon and nitrogen.

Keywords: cultivation methods; straw returning; different cultivation layers; soil nutrients; microbial biomass carbon and nitrogen

了巨大的环保压力。我国第二次全国污染源普查结果显示,畜禽养殖业化学需氧量(COD)的排放量为1 000.53万t,占农业源排放总量的93.75%,为同期工业源的10.99倍,生活源的1.02倍^[2]。养殖粪污中含有丰富的有机质和氮、磷等营养物质,相关研究表明,养殖废水中的有机态氮、磷经厌氧处理可以转化为植物易吸收利用的 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} ,对COD去除率也有显著效果^[3]。因此,将养殖废水经过处理后转变为水肥资源循环利用是资源循环利用和控制养殖污染的最佳途径^[4],不仅减少了养殖粪污排放对环境造成的污染,更重要的是充分利用了养殖肥水中富含的氮、磷等营养物质,降低了农业生产对化肥资源的需求,有利于农业生产过程中的化肥减量,促进种养循环型农业发展。

目前,国内外开展的再生水灌溉作物的研究主要集中在城市污水及工业废水再生^[5-8],也有部分学者研究了将养殖粪污厌氧消化处理后施用于

水稻、小麦、蔬菜等作物^[9-10],但绝大部分将畜禽粪污厌氧发酵后形成的沼液或沼渣作为肥料施用,研究其对作物生长发育、产量、品质及抗病性等的影响,而对于长期存储后的猪场肥水直接施用,探究猪场肥水最适宜施用量的研究则鲜有报道。因此本研究将猪场肥水施用于玉米田,从玉米产量、土壤理化性质和重金属含量变化的角度,分析了施用猪场肥水替代矿物氮肥的效果和最佳施用量,为建立猪场肥水玉米农田循环利用技术模式,推进种养结合和规模养殖场粪肥资源化利用提供科学依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于北京市海淀区上庄镇种植基地内进行。种植土壤类型为普通褐土,试验地0~20 cm耕层土壤养分及重金属含量见表1。

表1 土壤养分及重金属含量

有机质/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	pH	铅/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	镉/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	汞/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	砷/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	铬/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
16.96	1.15	0.69	8.54	26.41	1.435×10^{-3}	7.16×10^{-2}	11.14	44.53

1.2 材料

供试玉米品种为京科968,北京屯玉种业有限责任公司生产。

供试猪场肥水来自于北京市顺义区某猪场,

该场存栏规模5 000头,采用干清粪工艺,养殖污水采用自然贮存的方式贮存120 d后加以利用。施用的肥水大肠杆菌菌群数为35万个 $\cdot\text{L}^{-1}$,蛔虫卵死亡率>99%,具体水质见表2。

表2 猪场肥水水质

总氮/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	电导率/ ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)	铅/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	镉/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	汞/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	砷/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	铬/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH
2424.00	84.25	8.30	1.2×10^{-3}	2.3×10^{-4}	1.2×10^{-3}	1.2×10^{-2}	4.126×10^{-3}	8.21

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用田间小区试验,共设置4个处理,各处理3次重复,共计12个小区。小区宽4 m,长15 m,面积为60 m^2 。小区之间间隔为1 m。2023年6月2日人工定植玉米,宽行70 cm,窄行30 cm,株距30 cm,种植密度为6.8万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$,2023年9月15日收获,生长期共计105 d。

试验组和对照组底肥统一施用15 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的商品有机肥(北京顺义奥格尼克,有机质 $\geq 40\%$ 、总养分 $\geq 5\%$)。在玉米小喇叭口期和大喇叭口期,试验组分别按照所需养分^[11](表3)的1.0倍、1.2倍、1.5倍和2.0倍将养殖肥水作为追肥施用,施用量则根据肥水中总氮含量核算出肥水施用量,试验分组设计具体情况见表4。

处理1(T1):1.0倍氮需求量肥水(N 0.9187 kg,所施肥水含氮量与需氮量相等);处理2(T2):1.2倍氮需求量肥水(N 1.102 4 kg,所施肥水含氮量是作物需氮量的1.2倍);处理3(T3):1.5倍氮需求量肥水(N 1.378 0 kg,所施肥水含氮量是作物需氮量的1.5倍);处理4(T4):2.0倍氮需求量肥水(N 1.837 4 kg,所施肥水含氮量是作物需氮量的2.0倍);对照组(CK):施用平衡型水溶复合肥(山东允发,N- P_2O_5 - K_2O :28-12-14)。

表3 供试玉米追肥期总需氮量

作物类型	种植面积/ m^2	推荐施肥量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,以尿素计)	总需肥量/ (kg,以氮计)
玉米	60.00	330.00	0.9187

表 4 试验分组设计

组别	肥水氮肥含量/ (kg·L ⁻¹ ,以氮计)	肥水浇灌总量/ L	水溶肥施用量/ kg	追肥期供肥总量/ (kg,以氮计)	追肥期作物需肥量/ (kg,以氮计)
T1(1.0 倍)	2.4240×10 ⁻³	379.0	—	0.9187	0.9187
T2(1.2 倍)	2.4240×10 ⁻³	454.8	—	1.1024	0.9187
T3(1.5 倍)	2.4240×10 ⁻³	568.5	—	1.3780	0.9187
T4(2.0 倍)	2.4240×10 ⁻³	758.0	—	1.8374	0.9187
CK	—	—	3.2810	0.9187	0.9187

1.3.2 测定项目及方法 分别在玉米种植前和成熟后进行土壤耕作层样品采集,每个处理地块随机选 5 个取样点,采集 0~20 cm 土层的土壤,混合均匀后参照鲁如坤^[12]方法测定土壤中全氮、全磷、有机质、铅、镉、汞、砷、铬的含量和 pH。

于玉米收获期各处理每个重复中选取有代表性的 20 穗进行考种,分别测量穗长、穗轴粗、秃尖长、行粒数、百粒重。产量于收获时各小区单打单收测产。

1.3.3 数据分析 采用 SPSS 17.0 软件对试验数据进行单因素方差分析和 LSD 法多重比较,结果均以“平均值±标准差”表示,以 $P<0.05$ 作为差异显著性判定标准。

2 结果与分析

2.1 施用猪场肥水对玉米农艺性状的影响

由表 5 可知,在穗轴粗、行粒数、百粒重 3 个指标上,随着肥水施用量(氮素总量)的增加,试验组呈现先增加后降低的趋势,试验组 T3 最高,分别为 50.23 mm、38.21 粒、37.18 g,试验组 T3、T4 显著高于对照组 CK($P<0.05$),试验组 T1 显著低于对照组 CK($P<0.05$)。随着肥水施用量(氮素总量)的增加,穗长呈现增加趋势,秃尖呈现降低趋势,但各处理组差异不显著。总体来看,施用氮需求量 1.2 倍以上的猪场肥水对玉米部分农艺性状的提升有促进作用。

表 5 施用猪场肥水对玉米农艺性状的影响

处理	穗长/cm	穗轴粗/mm	秃尖/cm	行粒数/粒	百粒重/g
CK	18.54±1.11 a	48.26±0.64 b	0.75±0.21 a	36.15±1.20 b	34.24±0.44 b
T1	17.89±0.92 a	46.12±0.54 c	0.82±0.15 a	35.12±2.15 c	30.82±1.01 c
T2	18.41±1.22 a	47.79±0.72 b	0.81±0.11 a	37.31±0.85 b	34.01±0.68 b
T3	18.75±1.19 a	50.23±0.63 a	0.72±0.13 a	38.21±1.35 a	37.18±0.75 a
T4	18.76±1.13 a	49.21±0.59 a	0.72±0.14 a	38.11±1.15 a	36.25±1.21 a

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 施用猪场肥水对玉米产量的影响

由图 1 可知,随着肥水施用总量(氮素总量)的增加,玉米产量呈先升高后降低的趋势,玉米产量以 T3 处理组最高,为 9 628.88 kg·hm⁻²,较对照组 CK(9 202.98 kg·hm⁻²)高 425.90 kg·hm⁻²,增产 4.63%,差异达显著水平($P<0.05$)。T4 处理高于 CK,但差异不显著,其他肥水施用量处理则未见明显增产效果,说明当肥水施用量(氮素总量)为需求量的 2.0 和 1.5 倍时,能使玉米增产,1.5 倍时,玉米增产效果最好。

2.3 施用猪场肥水对土壤化学性质的影响

由表 6 可知,土壤中全氮含量随着肥水施用量的增大而增加,不同肥水试验组间差异显著($P<0.05$);各处理组均较 CK 有所增加,T2、T3、T4 显著高于 CK($P<0.05$)。不同肥水施用处理间对土壤中全磷、有机质含量的影响不显著;不同肥

水试验组有机质含量均显著高于 CK($P<0.05$),这说明施用养殖肥水能显著改善土壤有机质含量水平。不同处理组的土壤 pH 差异不显著,但各处理均较 CK 降低,可见养殖肥水有一定的调节土壤酸碱度的作用。

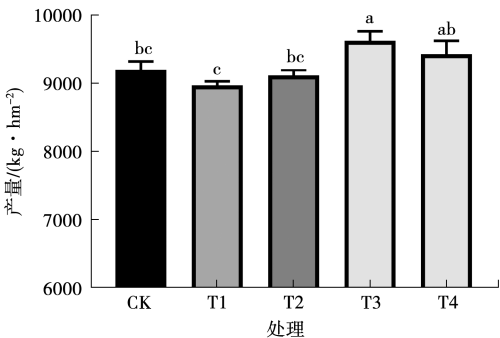


图 1 施用猪场肥水对玉米产量的影响

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

表 6 施用猪场肥水对玉米收获期土壤耕作层主要养分含量的影响

处理	全氮/(g·kg ⁻¹)	全磷/(g·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	pH
CK	0.98±0.04 d	0.90±0.11 a	15.85±0.36 b	8.79±0.12 a
T1	1.02±0.07 d	0.87±0.07 a	17.50±0.75 a	8.58±0.09 a
T2	1.12±0.12 c	0.78±0.09 a	18.03±0.54 a	8.65±0.14 a
T3	1.31±0.08 b	0.81±0.07 a	17.95±0.56 a	8.53±0.16 a
T4	1.54±0.06 a	0.88±0.06 a	18.11±0.32 a	8.73±0.11 a

由表 7 可知,与种植前相比,T1、T2 收获期土壤中全氮含量虽然出现了下降(T1:−11.48%;T2:−2.78%),但降幅均低于对照组(CK:−15.13%),说明试验组中玉米吸收土壤中原有氮素的含量少于对照组,T3、T4 收获期土壤中全氮含量有所增加(T3:13.74%;T4:33.57%),说明 T3、T4 施用量下肥水中提供的氮素满足了玉米生长需求。试验组土壤中有机质含量相较于种植前均有不同程度增加(3.16%~6.77%),对照组则出现了下降(−6.75%)。土壤中全磷含量都有增加的趋势,但试验组增幅(12.75%~28.12%)小于对照组(32.75%)。各处理 pH 变化幅度(−0.08%~2.26%)整体小于 CK(2.99%)。

2.4 施用猪场肥水对土壤中重金属含量的影响

由表 8 和表 9 可知,相较于对照组,不同处理组收获期土壤 0~20 cm 土层中主要重金属含量差异不显著;与种植前相比,不同处理组土壤中铅和汞的含量呈现降低的趋势,降幅最大的为汞,肥

水施用后降幅为 13.41%~19.88%,但小于对照组的降幅(−31.24%)。铅的含量在各处理组间降幅为(−3.61%~−4.42%)高于对照组(−3.50%);而镉、砷和铬含量相对种植前有增加的趋势,其中镉的增幅最大,为 14.98%~24.74%。收获后土壤中的重金属含量参照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618−2018)》(表 10)中重金属含量污染风险值的相关要求,各处理土壤重金属含量均未超过农用地污染风险筛选值。

表 7 收获后土壤中养分含量与种植前

土壤中养分含量对比				单位:%
处理	全氮	全磷	有机质	pH
CK	−15.13	32.75	−6.75	2.99
T1	−11.48	25.51	3.16	0.53
T2	−2.78	12.75	6.30	1.38
T3	13.74	17.68	5.81	−0.08
T4	33.57	28.12	6.77	2.26

表 8 收获期土壤耕作层重金属含量

					单位:mg·kg ⁻¹
处理	铅	镉	汞	砷	铬
CK	25.49±0.03 a	0.164±0.011 a	0.0492±0.0042 a	11.71±0.91 a	46.68±1.48 a
T1	25.46±0.07 a	0.175±0.016 a	0.0573±0.0005 a	11.52±0.91 a	50.06±3.59 a
T2	25.24±0.07 a	0.165±0.021 a	0.0606±0.0105 a	12.13±0.08 a	47.81±1.54 a
T3	25.32±0.17 a	0.179±0.016 a	0.0620±0.0197 a	11.66±0.56 a	47.22±0.75 a
T4	25.24±0.02 a	0.167±0.012 a	0.0606±0.0131 a	12.55±0.54 a	47.39±1.90 a

表 9 收获后土壤中重金属含量与种植前

土壤中重金属含量对比					单位:%
处理	铅	镉	汞	砷	铬
CK	−3.50	14.52	−31.24	5.10	4.83
T1	−3.61	21.95	−19.88	3.45	12.42
T2	−4.43	14.98	−15.32	8.93	7.37
T3	−4.13	24.74	−13.41	4.71	6.05
T4	−4.43	16.14	−15.32	12.67	6.43

表 10 国标中农用地土壤重金属含量污染风险筛选值

pH	铅/ (mg·kg ⁻¹)	镉/ (mg·kg ⁻¹)	汞/ (mg·kg ⁻¹)	砷/ (mg·kg ⁻¹)	铬/ (mg·kg ⁻¹)
>7.5	≤170	≤0.6	≤3.4	≤25	≤250

3 讨论

玉米的行粒数和百粒重等产量构成因素是反映作物生长状况及养分吸收的重要指标^[13]。李奇等^[14]研究表明,随着有机肥施用量的增加,玉

米在百粒重、穗轴粗、行粒数等穗部性状上呈现先增加后降低的趋势。本研究发现,随着施用肥水总量(氮素总量)的增加,试验组在穗轴粗、行粒数、百粒重指标上,呈现先增加后降低的趋势,T3处理的穗轴粗、行粒数、百粒重最高,显著高于对照组(CK),这表明施用1.5倍氮需求量的肥水可以提高玉米的农艺性状,但是过高肥水施用量会降低施用效果,这与前人研究一致。

此外,陈云梅等^[15]、温延臣等^[16]的研究表明,有机肥替代化肥不会显著影响玉米穗长、秃尖等穗部性状。本研究得到相似结果,各处理组与对照组在穗长、秃尖指标上差异不显著。

有机肥替代无机肥可以提高作物产量,这在许多作物^[17-21]中得到共识。施用商品有机肥可显著提高春玉米产量^[22],但也不能认为有机肥施用越多越好^[23-24]。有研究显示,有机肥施肥量和玉米产量的关系呈抛物线形^[25]。本研究也得到相似结果,随着肥水施用量的增加玉米产量也增加,T3处理组的产量最高,相较于对照组(CK)增产4.63%,达到显著差异水平($P < 0.05$)。当超过一定施用量后,玉米产量有所下降。这和肥水施用对玉米农艺性状影响的结果相对应。其原因可能是因为过量施肥会降低作物对养分的利用效率^[26]。

玉米是喜氮作物,在玉米拔节期、抽雄期、灌浆期对氮素的需求非常大,因此氮成为作物高产的主要限制因素^[27]。但有机肥具有缓释性,肥效发挥时间较长,有机肥施入土壤中后释放养分需要经过微生物的矿化分解,而土壤微生物的生长、繁殖与作物生长形成养分竞争的关系,这将直接影响作物对养分的吸收,从而影响作物产量^[28]。本研究中,同等氮施用量下的T1处理组的玉米产量低于对照组(CK),可能是由于肥水中的氮素需要矿化后才能被作物利用,而氮的矿化需要一定时间,导致在作物生长的前期肥水的肥效不能完全迅速释放,不能及时为作物前期生长提供充足的养分,因此作物产量会比同等氮量的化肥处理低。这也说明在考虑肥水中养分当季利用率的情况下,需要施用适当高于作物氮素需求量的养殖肥水才能满足作物养分需求。

畜禽粪肥是优质的天然复合肥^[29-30],不仅能

够直接给作物提供养分,增加产量^[31-32],还能活化土壤中的潜在养分,提高土壤总有效养分的含量^[33-34]。本研究中,收获期土壤中全氮含量随着肥水施用量的增大而增加。这与张鹏等^[35]研究结果一致。玉米种植前后不同处理组土壤中氮素含量有增有减,这可能是受氮元素当季利用率影响。华北平原的氮肥当季利用率为30%~35%^[36]。因此当肥水中氮素按照作物需求量1.0倍、1.2倍施用时,会出现土壤中氮素含量负增长的“吃老本”现象,而当施用量为需求量的1.5倍、2.0倍时才出现土壤中氮素少量增长。

本研究中,4种施用肥水处理与CK相比,收获期土壤中有有机质含量显著提升,说明施用肥水能改善土壤有机质含量,对于土壤性状起到了较好的改良作用,这与张永峰等^[24]、李永平等^[37]的研究结果相一致。但各肥水处理组之间的变化不显著,这可能是由于土壤有机质的积累需要一定的时间,肥水中的养分在较短时间内并不能对土壤结构起到明显的改善效果,这与前人研究一致^[38]。

猪场肥水中重金属主要直接来自动物饲料,或者间接来自养殖粪污的处理过程。施用有机肥会逐渐提高土壤中重金属含量,但是不会影响土壤质量,造成土壤受到重金属污染^[39]。本研究也发现,处理组和对照组收获期土壤中主要重金属含量差异不显著,各处理组土壤中重金属含量未达到《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618—2018)》所要求的最低限,这表明肥水施用短期内不会造成土壤中重金属含量超标。但不同处理组土壤中镉、砷和铬的含量随着肥水灌溉量的增加呈现升高趋势,这与前人的研究结果相类似^[39]。原因可能是因为土壤pH较高,使重金属碳酸盐不易转化为水溶态物质,并且肥水的施入又使土壤有机质含量增加,促进重金属离子与有机质结合形成不易吸收的络合物^[40-41]。

4 结论

施用猪场肥水能够提高玉米穗轴粗、行粒数和百粒重进而提高玉米产量。当肥水施用量(氮素总量)为玉米需求量的1.5倍时,玉米的穗轴粗、行粒数、百粒重指标最好,分别为50.23 mm、38.21粒和37.18 g;产量为9 628.88 kg·hm⁻²,较对照增

产 4.63%,效果提升显著。猪场肥水灌溉能显著改善土壤有机质和全氮含量,使土壤中有机质含量提升 3.16%~6.77%,其中 T3 和 T4 处理使全氮含量提升 13.74%~33.57%。收获后土壤中重金属含量均未超出国家相关标准,综合分析认为,当肥水施用量(按氮素总量计)为需求量 1.5 倍时,肥水施用效果最好。

参考文献:

- [1] 李伟,宋青松. 畜禽废弃物无害化处理技术与设备[J]. 农机科技推广,2017(12):34-35.
- [2] 中华人民共和国生态环境部,国家统计局,中华人民共和国农业农村部. 第二次全国污染源普查公报[R/OL]. (2020-06-10)[2024-01-20]. https://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518391.htm.
- [3] 王风,高尚宾,张克强,等. 废水灌溉农田研究进展与展望[J]. 土壤通报,2009,40(6):1485-1488.
- [4] 章明奎,刘丽君,黄超. 养殖污水灌溉对蔬菜地土壤质量和蔬菜品质的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(1):87-91.
- [5] AIELLO R, CIRELLI G L, CONSOLI S. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits:a case study in Sicily (Italy)[J]. Agricultural Water Management, 2007,93(1/2):65-72.
- [6] AL-LAHHAM O, EL ASSI N M, FAYYAD M. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit[J]. Agricultural Water Management, 2003,61(1):51-62.
- [7] HASSANLI A M, ALI EBRAHIMIZADEH M, BEECHAM S. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region[J]. Agricultural Water Management,2009,96(1):93-99.
- [8] 徐珊珊,侯朋福,薛利红,等. 生活污水灌溉对稻田还田麦秸腐解特征和养分释放规律的影响[J]. 应用与环境生物学报,2017,23(5):866-872.
- [9] 王静童,王勇,殷金忠,等. 短期沼液还田对小麦产量和土壤理化性质的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2019,47(4):5-9.
- [10] 谢宜,罗尊长,董春华,等. 沼液在玉米和水稻生产上的应用效果及效益评估[J]. 作物研究,2018,32(5):378-384.
- [11] 王立平,李旭军. 施肥技术手册[M]. 北京:中国农业大学出版社,2010.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [13] 徐磊,谭福忠,师臣,等. 黑龙江省西部干旱区玉米产量与产量构成因素的相关性分析[J]. 黑龙江农业科学,2020(7):1-6.
- [14] 李奇,陈礼鹏,郭正厅. 菌渣有机肥替代部分化肥对土壤肥力及玉米产量的影响[J]. 安徽农业科学,2022,50(1):168-170,254.
- [15] 陈云梅,肖厚军,赵欢,等. 商品有机肥替代化肥对春玉米生长、产量及土壤肥力的影响[J]. 西南农业学报,2022,35(1):148-152.
- [16] 温延臣,张曰东,袁亮,等. 商品有机肥替代化肥对作物产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学,2018,51(11):2136-2142.
- [17] 王俊红,王星琳,王康,等. 生物有机肥替代化肥对小麦根际土壤环境的影响[J]. 华北农学报,2021,36(4):155-162.
- [18] 马顺圣,毛伟,李文西. 有机肥等氮量替代化肥对水稻产量、土壤理化性状及细菌群落的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(24):90-94.
- [19] 李雅洁. 有机肥替代部分化肥对马铃薯生长的影响[J]. 安徽农学通报,2021,27(8):87-88.
- [20] 牛新湘,蒲胜海,吴湘琳,等. 有机肥替代化肥对棉花生长性状、产量的影响[J]. 新疆农业科学,2021,58(11):2043-2048.
- [21] 吴光磊. 有机无机肥配施对玉米产量和品质的影响及生理基础[D]. 泰安:山东农业大学,2008.
- [22] 吴巍,荣湘民,张玉平,等. 猪粪型有机肥对春玉米地土壤养分含量及产量的影响[J]. 湖南农业科学,2011(9):45-48.
- [23] 田艳洪,闫凤超,李鹏,等. 不同有机肥用量对玉米植株生长及产量的影响[J]. 中国农学通报,2020,36(19):13-17.
- [24] 张永峰,祝延立,那伟. 施用不同粪肥对土壤理化性质及玉米产量的影响[J]. 农业科技通讯,2010(8):55-58.
- [25] 夏文豪,刘涛,唐诚,等. 北疆滴灌玉米施氮量估算及减氮增铵效应[J]. 干旱地区农业研究,2017,35(1):79-84,102.
- [26] 龚雪蛟,秦琳,刘飞,等. 有机类肥料对土壤养分含量的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(4):1403-1416.
- [27] 邹原东,范继红. 有机肥施用对土壤肥力影响的研究进展[J]. 中国农学通报,2013,29(3):12-16.
- [28] 叶玉适,梁新强,金熠,等. 节水灌溉与控释肥施用对稻田田面水氮素变化及径流流失的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(5):105-112,118.
- [29] 李晓欣,胡春胜,程一松. 不同施肥处理对作物产量及土壤中硝态氮累积的影响[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(3):38-42.
- [30] 王晓娟,贾志宽,梁连友,等. 不同有机肥量对旱地玉米光合特性和产量的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(2):419-425.
- [31] 刘镜波,王小林,张岁岐,等. 有机肥与种植密度对旱作玉米根系生长及功能的影响[J]. 水土保持通报,2011,31(6):32-36,41.
- [32] 漆华. 长期施用化肥和有机肥对土壤氮磷钾养分的影响[J]. 四川农业科技,2002(10):28.
- [33] 古巧珍,杨学云,孙本华,等. 旱地土娄土长期定位施肥土壤剖面硝态氮分布与累积研究[J]. 干旱地区农业研究,

2003,21(4):48-52.

[34] 李北齐,邵红涛,孟瑶,等.生物有机肥对盐碱土壤养分、玉米根际微生物数量及产量影响[J].安徽农学通报(上半月刊),2011,17(23):99-102.

[35] 张鹏,贾志宽,路文涛,等.不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(5):1122-1130.

[36] WANG H F, ZHENG H, JIANG Z X, et al. Efficacies of biochar and biochar-based amendment on vegetable yield and nitrogen utilization in four consecutive planting seasons[J]. Science of the Total Environment, 2017,593:124-133.

[37] 李永平,田艳,史向远,等.施用畜禽粪肥对土壤呼吸和玉米产量的影响及其增效分析[J].华北农学报,2017,32(1):193-200.

[38] 刘骏,陈荣丽,陈桂月,等.秸秆还田与氮肥、有机肥配施对小麦生长发育和产量的影响[J].河南农业科学,2015,44(3):48-51,64.

[39] 金月,冷明珠,裴惠民,等.有机肥替代化肥对安吉茶园土壤重金属含量的影响[J].中国农技推广,2021,37(12):60-62.

[40] 王林江,刘廷吉,林则鑫,等.土壤-作物系统重金属迁移转化研究进展[J].安徽农学通报,2021,27(22):147-154.

[41] 李金澄,孙吉翠,张忠兰,等.沼液-土壤-玉米系统中重金属迁移富集特性[J].江苏农业科学,2020,48(21):292-297.

Effects of Applying Swine Effluent on Agronomic Traits and Yield of Maize, Soil Chemical Properties and Heavy Metal Contents

HUANG Zhen, ZHANG Zhuoyi, LAN Bihao, ZHANG Jianmiao, WANG Qian, CHEN Yijun
(Beijing General Station of Animal Husbandry, Beijing 100107, China)

Abstract: In order to effectively solve the environmental problems caused by the discharge of swine effluent, this paper applied swine effluent as topdressing fertilizer to farmland. Through field plot experiments, the effect of different swine effluent application rates (calculated by nitrogen) on maize agronomic traits, yield, soil chemical properties, and heavy metal content were analyzed, the optimal application rate of swine effluent for irrigation was studied. Four treatments were designed, control group (CK): applying chemical fertilizer with 1 times nitrogen demand (nitrogen application rate of 153.1 kg·ha⁻¹), treatment 1 (T1): applying swine effluent with 1 times nitrogen demand (nitrogen application rate of 153.1 kg·ha⁻¹); treatment 2 (T2): applying swine effluent with 1.2 times nitrogen demand (nitrogen application rate of 183.7 kg·ha⁻¹); treatment 3 (T3): applying swine effluent with 1.5 times nitrogen demand (nitrogen application rate of 229.7 kg·ha⁻¹); treatment 4 (T4): applying swine effluent with 2 times nitrogen demand (nitrogen application rate of 306.2 kg·ha⁻¹). The results showed that compared with the control group (CK), the thickness of maize cob diameter, row number per ear and 100-grain weight of maize in T3 and T4 groups increased significantly (*P*<0.05), the T3 group had the highest values of 50.23 mm, 38.21 grains, and 37.18 g, respectively. The yield of the T3 group was 9 628.88 kg·ha⁻¹, which was 4.63% higher than the control group (CK), demonstrating significant productivity enhancement (*P*<0.05). Irrigation of swine effluent significantly improved the soil organic matter content and total nitrogen content (*P*<0.05). The organic matter content in the treatment group ranged from 17.50 to 18.11 g·kg⁻¹, and the total nitrogen content ranged from 1.02 to 1.54 g·kg⁻¹. Compared to pre-planting, the soil organic matter content increased by 3.16% to 6.77%, and the total nitrogen content increased by 13.74% to 33.57%. Heavy metal content in the soil did not significantly differ among treatment groups, and none exceeded the limit stipulated by the risk control standard for soil contamination of agricultural land. Comprehensive analysis showed that when the irrigation amount of swine effluent (calculated by total nitrogen) was 1.5 times of the maize demand, the application effects was the best.

Keywords: swine effluent; maize; yield; soil; heavy metals