

陈广银,吴佩,董金竹,等.猪粪还田对黄淮海地区农业生产影响的研究进展及对策建议[J].江苏农业科学,2022,50(12):10-17.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.12.002

# 猪粪还田对黄淮海地区农业生产影响的研究进展及对策建议

陈广银<sup>1,2</sup>, 吴佩<sup>2</sup>, 董金竹<sup>2</sup>, 曹海南<sup>2</sup>, 黄艳<sup>2</sup>, 汪玉<sup>2</sup>, 方彩霞<sup>1,2</sup>

(1. 安徽省水土污染治理与修复工程实验室 安徽芜湖 241002; 2. 安徽师范大学生态与环境学院,安徽芜湖 241002)

**摘要:**黄淮海地区是我国重要的生猪养殖基地,猪粪还田在农业生产中被广泛应用。针对黄淮海地区猪粪还田问题,估算黄淮海地区的猪粪产量,详细介绍黄淮海地区猪粪还田对农作物产量、品质、土壤质量、土壤微生物、地表水环境、温室气体排放等方面的影响以及对农产品和土壤的潜在风险,并分析黄淮海地区猪粪还田工作存在的问题。结果表明,猪粪还田在大多数情况在对农业生产均表现出正向作用,在部分地区出现猪粪还田对农作物产量无显著影响的结果,但猪粪过量还田易造成农产品减产、品质下降、土壤重金属累积、地表水污染以及增加温室气体排放等。在此基础上,提出源头控制猪粪质量、加强猪粪无害化处理、严控猪粪还田量、完善猪粪还田方式、完善猪粪还田运行管理机制及相关配套政策等建议,并对猪粪还田工作进行展望,以期对该地区猪粪还田工作提供一定的参考价值。

**关键词:**黄淮海地区;猪粪;氮;重金属;土壤;农产品

**中图分类号:**X713 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)12-0010-08

生猪是我国主要的畜禽品种之一,生猪养殖在改善居民生活、增加农民就业、提高农民收入的同时,也产生了数量可观的粪污。猪粪是生猪的主要排泄物之一,其组成受饲料、猪品种、粪便收集方式、管理水平、季节等影响;猪粪的有机组成复杂,包括粗蛋白、淀粉、粗脂肪、纤维素、半纤维素和木质素等,元素组成包括 C、H、O、N、P、K、Ca、Mg 等<sup>[1]</sup>。将猪粪还田在处理猪粪的同时,还可以提高农作物的产量和品质,培肥土壤,减少化肥用量,实现种植、养殖业的双赢和农业碳减排<sup>[2-3]</sup>,但不合理还田可能造成严重的二次污染<sup>[4]</sup>。为规范畜禽粪便还田行为,原农业部于 2010 年提出《畜禽粪便还田技术规范》(GB/T 25246—2010),为我国畜禽粪便还田工作提供了规范性文件,进而有力推动我国畜禽粪便还田工作。黄淮海地区是我国重要的生猪养殖基地,种植业也相当发达,将猪粪还田是该地区猪粪资源化的最主要方式,但系统介绍该地区猪粪还田对农业生产影响的研究还鲜有报道。本研究在大量文献调研的基础上,从猪粪产量、理化特性,到猪粪还田对农作物的产量、品质、土壤质

量、土壤微生物、地表水环境、温室气体排放、其他方面以及对农产品和土壤的潜在风险等进行系统介绍,并针对猪场粪污还田存在的问题提出建议,希望对规范该地区猪粪还田行为、推进猪粪还田工作有一定的参考价值。

## 1 猪粪产量及特性

### 1.1 研究区域概况

黄淮海地区包括北京市、天津市和山东省的全部,河南、河北两省的大部,以及江苏、安徽两省的淮北地区,共 53 个地市+2 个直辖市,376 个县(市、区)<sup>[5]</sup>,总面积达 46.95 万 km<sup>2</sup>,是我国北方人口、产业和城镇最密集的地区之一,也是全国政治、经济、文化中心所在地,在全国经济发展格局中具有十分重要的战略地位。同时,黄淮海地区也是我国四大平原之一,土壤肥沃,农业发达,是我国重要的农产品产地。2017 年该地区年产稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、蔬菜、瓜果分别占全国的 10.69%、72.17%、27.94%、13.71%、37.64%、29.41%、35.82%、49.86%<sup>[6]</sup>。

### 1.2 猪粪产量

2017 年黄淮海地区共出栏生猪 18 071.25 万头,占全国的 23.98%。其中,仅山东省生猪年出栏就达 5 180.68 万头,其次为河南省,达 4 963.72 万头,两省之和占该地区生猪出栏总量的 56.14%,北

收稿日期:2021-09-03

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0801403);安徽省重点研发项目(编号:201904a06020044)。

作者简介:陈广银(1981—),男,江苏盐城人,博士,副研究员,主要从事固体废物资源化研究。E-mail: xzcf2004@163.com。

京市最低,但也有 242.10 万头。

生猪养殖过程中产生了大量的养殖污染物,包括粪便、污水、总氮 (total nitrogen, TN)、总磷 (total phosphorus, TP)、Cu、Zn 等。由表 1 可知,2017 年黄淮海地区共产生猪粪、尿、TN、TP、Cu、Zn 分别达

3 886.84 万、7 881.68 万、96.44 万、13.62 万、5 799.13、8 805.32 t,生猪养殖产生的污染物不容忽视。此外,生猪养殖过程中还使用大量抗生素,残留抗生素随粪尿排入环境中,对生态环境及人体健康的影响不容忽视。

表 1 2017 年黄淮海地区生猪养殖污染物产量

地区	生猪出栏量 (万头)	污染物产量					
		粪(万 t)	尿(万 t)	TN(万 t)	TP(万 t)	Cu(t)	Zn(t)
北京	242.10	74.68	88.65	1.39	0.25	105.53	117.64
天津	297.22	91.68	108.83	1.71	0.31	129.56	144.42
河南	4 963.73	977.91	2 716.40	35.98	4.77	1 229.66	2 306.84
河北	3 376.45	1 041.47	1 236.32	19.45	3.49	1 471.80	1 640.66
山东	5 180.68	958.79	2 103.15	21.36	2.70	1 613.41	2 590.28
江苏	1 903.73	352.32	772.84	7.85	0.99	592.88	951.84
安徽	2 107.34	390.00	855.49	8.69	1.10	656.28	1 053.64
黄淮海	18 071.25	3 886.84	7 881.68	96.44	13.62	5 799.13	8 805.32

## 2 猪粪还田对农业生产的影响

### 2.1 猪粪还田对农作物生产的影响

2.1.1 对农作物产量的影响 猪粪中含有作物生长需要的 N、P、K 等大量元素, Ca、Mg 等中量元素和 Fe、Mn、Cu、Zn 等微量元素, 将猪粪用于小麦<sup>[7-9]</sup>、玉米<sup>[10]</sup>、水稻<sup>[11]</sup>、茄子<sup>[12]</sup>、花生<sup>[13]</sup>等作物生长中, 均有较好的增产效果。将猪粪替代化肥可以提高鲜食玉米的产量和干物质量, 当替代比例为 30% 时, 鲜食玉米产量和干物质量较化肥处理分别提高 10.00%、15.52%, 氮吸收量增加 12.15%, 氮肥利用率提高 6.23 百分点<sup>[14]</sup>。将猪粪用于不同轮作模式也有较好的效果, 在玉米—小麦轮作(简称“玉麦轮作”)下, 猪粪替代 30% 化学氮小麦、玉米产量较常规施肥提高了 2%~9%<sup>[15]</sup>; 在稻麦轮作下, 猪粪替代化肥水稻各部位养分含量和累积量较施化肥组均显著增加, 肥料贡献率、农学效率以及氮肥、磷肥的偏生产力和利用率增加了 3.82%~66.67%, 稻麦周年产量增加了 10.06%~19.39%<sup>[16]</sup>。然而, Luo 等发现施用猪粪并不能促进作物增产<sup>[17]</sup>; 郭校伟等发现单独施用自然堆肥、好氧发酵猪粪及化肥在产量和氮素积累方面没有显著差异<sup>[18]</sup>。

多数学者认为施用猪粪对提高作物产量是有利的, 但须控制猪粪用量, 用量过大对作物增产并无正向作用。郭智等认为, 猪粪 50% 替代化肥氮时水稻产量未显著下降, 但当猪粪 100% 替代化肥氮时水稻产量大幅降低了 37.87%<sup>[19]</sup>; Zhang 等认为,

在玉麦轮作下过量施用猪粪不会增加农作物产量<sup>[20]</sup>; 张涛则发现高量增施猪粪会降低对小麦增产的正向效应<sup>[21]</sup>。因此, 控制猪粪还田量是猪粪还田工作顺利推进的关键。

2.1.2 对农产品品质的影响 猪粪还田不但可以提高农产品产量, 对提高农产品品质也有较好的效果。殷勤发现长期施用猪粪可以显著提高苹果的硬度和可溶性固形物含量, 降低苹果酸度 ( $P < 0.05$ ), 改善苹果品质<sup>[22]</sup>; 杨东玉认为, 猪粪做底肥时, 花生粗蛋白含量略有增加, 可溶性糖含量显著增加, 对花生粗脂肪含量无显著影响, 可以提高小麦籽粒的粗蛋白含量, 对可溶性糖含量影响不大<sup>[13]</sup>; 孙毅等则发现, 施用猪粪可以显著提高茄子肉中可溶性糖含量<sup>[12]</sup>; 孙娜等研究发现, 猪粪和秸秆部分替代化肥番茄果实中果糖、葡萄糖和番茄红素含量均有不同程度的降低, 对果实中硝酸盐、维生素 C 和可滴定酸含量无显著影响, 有助于具有水果香味和花香味的挥发性物质在果实内的积累, 如 2-异丁基噻唑、 $\beta$ -紫罗兰酮、3-甲基丁醇和 3-甲基丁醛、6-甲基-5-庚烯-2-酮<sup>[23]</sup>。

2.1.3 对农作物生长的风险 集约化生猪养殖大多喂食饲料, 为促进猪生长, 缩短生猪饲养周期, 往往会在猪饲料中添加一定量的重金属, 如 Cu、Zn 等。饲料中的重金属除少部分被猪利用外, 大部分随猪粪排出体外。连续大量施用含有重金属的猪粪, 对农作物及其产品的影响如何? Luo 等发现连续施用猪粪 7 年, 玉米籽粒中 Cu 含量无明显变化,

但秸秆中提高了 40%,Zn 在玉米籽粒和秸秆中分别增加了 20.5%、32.0%<sup>[17]</sup>;郭智等认为,在小麦地连续 7 年施用猪粪会显著增加小麦籽粒中的 Cu、Zn 含量,增幅分别为 27.18%~49.87%、25.66%~98.81%,超过相关食品安全标准(NY 861—2004《粮食及制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量》)<sup>[19]</sup>;孙毅等认为,施用猪粪种植的茄子可食部分的重金属含量虽未超过我国无公害蔬菜重金属含量标准,但随着猪粪用量的增加,茄子果肉中 Pb 和 Hg 含量有增加趋势<sup>[12]</sup>;黄治平等认为,连续 4 年施用猪粪的温室生产的部分番茄和黄瓜中 As 含量超标<sup>[25]</sup>;何梦媛等认为,连续 4 年施用猪粪会显著降低小麦籽粒中 Zn 含量,但施用 60 t/hm<sup>2</sup> 猪粪会显著增加小麦籽粒中 As 含量和秸秆中 Cu、As 含量<sup>[26]</sup>;当猪粪用量大于 50 t/hm<sup>2</sup> 时,小白菜地上部 Cu、Zn 含量显著高于对照,且随着猪粪用量增加,小白菜对土壤中 Cu 的富集系数从 0.11 上升到 0.17,提高了 Cu 在蔬菜中的富集和对人体的健康风险<sup>[10]</sup>。长期施用猪粪导致农产品及其秸秆中重

金属含量增加已是业内共识,值得警惕。

2.2 猪粪还田对土壤质量及土壤环境的影响

2.2.1 对土壤营养组成的影响 由表 2 可知,施用猪粪会提高土壤有机质、易氧化有机碳、微生物量碳、可溶性有机碳、全氮、速效钾、有效磷、团聚体及胡敏酸含量,具有很好的培肥效果。张玉军发现在水稻土施猪粪能抑制土壤酸化,土壤速效磷含量大幅增加了 376%~474%,且显著提高土壤中活性有机质含量<sup>[27]</sup>;严正娟认为,在设施菜地中施用猪粪会显著增加活性磷组分和土壤磷素吸持饱和度,极大地提高磷在土壤中的移动性,尤其是无机磷的移动<sup>[28]</sup>;殷勤认为,长期施用猪粪水会降低苹果地土壤容重、比重和 pH 值,显著增加土壤孔隙度和有机质水平,提高土壤全氮、全磷和碱解氮、硝态氮、速效磷和有效钾含量<sup>[22]</sup>;郭树芳认为,在华北平原长期以猪粪替代 50% 化肥氮,会提高土壤 SOC 和 TN 含量,氮素利用率增加 25.0%,氮盈余量降低 29.8%,损失途径以氮淋溶和 NH<sub>3</sub> 挥发为主<sup>[29]</sup>。

表 2 黄淮海地区施用猪粪对土壤的培肥效果

序号	作物种类	培肥效果
1	玉米轮作	施用猪粪的处理土壤 TOC 含量年均增幅达 16.42%,连续施用猪粪提高了土壤总有机碳、易氧化有机碳、微生物量碳和可溶性有机碳含量 <sup>[30]</sup>
2	玉米轮作	猪粪替代 30% 化学氮的处理土壤有机质、全氮、速效钾、有效磷含量都高于化肥处理 <sup>[15]</sup>
3	玉米轮作	猪粪还田土壤有机碳含量较秸秆还田提高了 29%,土壤微团聚体结合态以及大团聚体包裹的微团聚体结合态含量比秸秆还田高 49% <sup>[31]</sup>
4	玉米轮作	猪粪还田显著提高了土壤有机质、全氮、全磷、速效磷和速效钾含量 <sup>[9]</sup>
5	小麦	施用猪粪堆肥增加了土壤有机质和全氮含量,显著增加土壤中胡敏酸含量 <sup>[32]</sup>
6	小麦	施用猪粪提高了土壤全氮和有机碳含量,分别增加了 13.85% 和 10.25%,且氮素积累量、氮素偏生产力和氮素利用效率均大于对照 <sup>[8]</sup>
7	小麦	施用猪粪可以提高土壤碳氮库 <sup>[21]</sup>
8	小麦	猪粪还田提高了土壤有机碳和全氮含量,显著提高了深层土壤硝态氮含量 <sup>[7]</sup>
9	玉米	无论猪粪单施还是与化肥配施均可提高土壤全氮和有机碳含量以及 0~40 cm 土层土壤无机氮含量 <sup>[18]</sup>
10	玉米	连续 4 年施用猪粪水显著增加了土壤有机质、碱解氮、速效磷和有效钾的含量 <sup>[10]</sup>
11	稻麦轮作	施用猪粪对土壤有机质、有效磷、速效钾含量有明显促进作用 <sup>[33]</sup>
12	稻麦轮作	施用猪粪提高了土壤有机质、全氮、全磷和速效磷含量,增幅 4.17%~25.73% <sup>[16]</sup>
13	水稻—黑麦草轮作	猪粪连续还田下,每季作物收获后同一土层中土壤全氮含量均与猪粪用量成正比,且土层越深,不同猪粪用量间的差异越小 <sup>[34]</sup>

2.2.2 对土壤重金属含量的影响 大量施用猪粪在提高农作物产量和品质、培肥土壤的同时,猪粪中的重金属大多残留在土壤中,对土壤质量安全存在较大风险。殷勤发现施用猪粪水会显著提高苹果地土壤中 Cu、Zn 含量( $P<0.05$ ),与施化肥组相比,施用猪粪水 11 年和 5 年土壤表层 Cu 含量分别提高 82.40%、94.50%,Zn 含量分别提高

116.50%、145.50%<sup>[22]</sup>;长期施用猪粪有机肥,Zn、Hg、As 等重金属均存在明显的表层聚集现象,连续 17 年施用猪粪导致土壤表层 Cd 含量增加 17~18.90 倍<sup>[35]</sup>。茹淑华等认为,连续 7 年施用猪粪显著增加了 0~15 cm 土层 Cu、Zn、As、Cd 含量,且随猪粪用量增加,耕层土壤(0~15 cm)中 Cu、Zn、As、Cd 含量均显著增加,增幅分别在 77.57%~

261.46%、40.41% ~ 145.68%、41.74% ~ 46.19% 和 14.53% ~ 22.09%; 当猪粪用量高时, Zn 和 Cd 已迁移至 15 ~ 30 cm 土层并在此层积累<sup>[24]</sup>。何梦媛等认为, 连续 4 年施用猪粪显著增加了耕层土壤中的 Cu、Cd 含量, 较对照分别增加 43.80% ~ 118.60%、28.20% ~ 44.90%; 猪粪带入的 Cu、Zn 在耕层土壤的积累率分别为 76.40% ~ 119%、14.20% ~ 20.40%, 施用高量的猪粪 Cu、Zn 存在明显向土壤深层迁移的现象, 连续 4 年施用 60 t/hm<sup>2</sup> 的猪粪, Cu 迁移到了 15 ~ 30 cm 土层; 但连续 4 年施用不同量猪粪, 土壤剖面耕层以下土层中 Cd、Cr、As、Pb 含量均没有显著增加<sup>[26]</sup>。黄治平等认为, 若每年在蔬菜大棚内施用猪粪 150 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 土壤中 Cu、Zn 含量分别经过 10、15 年可能超过国家农田土壤二级标准<sup>[25]</sup>。然而, 杜坤发现施用猪粪水对土壤铜、锌含量的影响不明显<sup>[10]</sup>; 孙毅等认为, 与种植前相比, 施用猪粪的土壤中 Cu、Pb、Cd 含量有降低趋势, Cd 的降幅最大, Zn、As、Cr 含量则表现为增加趋势, 其中 Cr 的增幅为 4.04% ~ 11.97%, 各处理土壤重金属含量均未超出一级土壤标准规定的重金属含量值<sup>[12]</sup>。

**2.2.3 对土壤微生物的影响** 土壤的物质组成和营养环境直接影响土壤微生物的组成和丰度, 大量施用猪粪对土壤微生物结构和丰度的影响如何? 张紧紧等认为, 施用猪粪改变了土壤微生物群落的结构, 提高了土壤微生物数量<sup>[7]</sup>、丰度<sup>[10]</sup>、功能多样性<sup>[36]</sup>以及酶活性<sup>[7,16]</sup>, 土壤中绿弯菌门和厚壁菌门的丰度大幅提高, 而放线菌门和酸酞菌门的丰度有不同程度的下降<sup>[22]</sup>; 在玉米—小麦轮作下, 施猪粪提高会土壤线虫群落数量<sup>[37]</sup>。

**2.2.4 其他** 樊羿发现施用猪粪对减少土壤硝态氮含量有一定效果<sup>[38]</sup>; 韩飞等在氮、磷、钾用量分别为 240、75、150 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 6 000 kg/hm<sup>2</sup> 猪粪替代 50% 化肥处理, 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层全盐含量分别显著降低了 23.76%、31.27%<sup>[11]</sup>。猪粪还田其他方面的效果还有待进一步研究。

综上, 尽管猪粪还田对改善土壤结构、提高土壤质量、丰富土壤微生物区系有重要作用, 但大量施用猪粪造成土壤重金属含量增加, 且猪粪高用量造成土壤中重金属大量富集, 增加了土壤的质量安全风险。

## 2.3 猪粪还田对农田水环境的影响

猪粪中的氮、磷大多以有机态存在, 氮、磷养分

释放速度较化肥慢得多, 故猪粪替代化肥可以提高氮、磷利用率, 减少地表径流氮、磷流失量。郭智等认为, 猪粪 50% 替代化肥氮可减少稻季 TN 径流流失量达 5.49%, 显著降低 TP 径流流失率达 23.32%, 但当猪粪 100% 替代化肥氮时, 会增加稻季 TN 径流流失量 1.31%, 处理间差异不显著, 极显著增加了 TP 径流流失量和流失率<sup>[19]</sup>; 刘源等认为, 施用猪粪后田面水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 及 TN 浓度峰值均出现在施肥后 4 ~ 5 d, 基肥施用后的前 10 d, 田面水以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为主<sup>[39]</sup>; 马凡凡认为, 施用猪粪可有效降低田面水氮素浓度, 降低稻田氮素流失的潜在风险。综上, 猪粪部分替代化肥用于水稻生产, 对降低田面水氮磷流失有较好效果, 但须控制猪粪用量, 过量施用猪粪不但不能减少氮磷流失, 还会大幅增加氮磷流失量, 增加农田污染风险<sup>[33]</sup>。

## 2.4 猪粪还田对温室气体排放的影响

猪粪的主要物质组成是有机物, 猪粪还田后有机物分解, 存在增加农田温室气体排放的风险。王晓娇等认为, 施用猪粪后农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放量较不施肥和施化肥的处理分别大幅提高了 50.6%、36.3%<sup>[40]</sup>; 在保持作物产量和土壤肥力的基础上, 以猪粪替代 50% 化肥氮可以降低华北平原农田 NH<sub>3</sub> 排放和氮淋溶量, 但不能降低农田 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放量<sup>[29]</sup>。但也有学者认为施用猪粪不会增加农田温室气体排放, 如 Luo 等发现施用猪粪不影响氧化亚氮排放<sup>[17]</sup>; 孙国峰等认为, 与常规施肥相比, 100% 猪粪和 50% 猪粪替代化肥氮处理麦季 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放产生的总全球增温潜势 (PGW) 分别降低 34.3%、48.9%, 单位产量的 PGW 分别降低 26.0%、48.9%, 但 100% 猪粪处理的小麦产量显著降低 ( $P < 0.05$ )<sup>[41]</sup>。Zhang 等认为, 适量施用猪粪不会增加土壤温室气体排放, 但过量施用则会增加温室气体排放<sup>[20]</sup>。张涛认为, 施用猪粪可以降低氨排放系数和温室气体排放强度, 但高量增施猪粪会提高温室气体排放强度<sup>[21]</sup>。因此, 在预防温室气体排放上, 控制猪粪用量是关键。

## 2.5 猪粪还田其他方面的影响

猪粪还田还可以提高氮素利用率、降低土壤中杂草种子库丰富度以及降低重金属有效性。郭树芳认为, 以猪粪替代 50% 化学氮处理的氮素利用率增加了 25.00%, 氮盈余量降低了 29.80%<sup>[29]</sup>; 潘俊峰等认为, 长期猪粪配施化肥的土壤杂草种子库优势物种组成较简单, 优势种为 1 ~ 2 种, 以水菟菜为

主,土壤种子库的密度和物种丰富度显著降低。在施入 4% 猪粪后,生菜和菠菜地上部 Cd 含量显著降低,降幅分别达 41% ~ 51%、33% ~ 53%<sup>[42]</sup>;余垚等认为,生菜土壤有效态 Cd 含量下降 20% 左右,醋酸提取态和可还原态 Cd 含量分别下降 25%、22%,残渣态和可氧化态 Cd 含量上升;并钝化土壤中的 Cd,抑制生菜和菠菜对 Cd 的吸收<sup>[43]</sup>。

### 3 存在的问题与建议

#### 3.1 存在的问题

3.1.1 还田猪粪的质量标准缺失 猪粪还田在我国已有几千年历史,受到农民的欢迎。但是,随着集约化养殖的发展,饲料添加剂和抗生素的大量使用,猪粪已不是 30 年前的猪粪。集约化猪场粪便中含有大量重金属和抗生素<sup>[7,44]</sup>,猪粪还田不仅能促进作物生长,提高作物产量和品质,也可能造成农田土壤重金属<sup>[24-25]</sup>和抗生素污染<sup>[45]</sup>。猪粪还田的初衷是利用农田土壤和农作物吸收利用猪粪中的氮磷等物质,达到处理猪粪,减少化肥用量的目的。但如果猪粪中重金属和抗生素含量过高,这样的猪粪还田将成为环境污染的重要来源,直接影响猪粪还田的推广应用。因此,为保护土壤安全以及猪粪还田工作顺利开展,建立还田猪粪的质量标准非常必要,即明确哪些猪粪不能还田。限定猪粪中有毒有害物质的最高浓度,如猪粪经沼气发酵后还田,则还田的沼渣沼液应有相应的质量标准。

3.1.2 确定猪粪还田量的依据亟需完善 确定猪粪的还田量是猪粪还田工作的前提。2018 年原农业部办公厅印发《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》,对指导各地加快推进畜禽粪污资源化利用,优化调整畜牧业区域布局,促进农牧结合、种养循环农业发展发挥了重要作用。目前,确定猪粪还田量大多按照“以需定养”的原则,即根据农作物生长对氮、磷的需求量来确定畜禽粪污还田量,该方式从农业生产的角度有其合理性,但从农村环境保护的角度看则存在一定缺陷,一定量的猪粪还田对农作物生产可能仍然表现为增产,但对地表水和地下水可能已造成明显的污染。因此,在确定猪粪还田量时应综合农作物生长和农田水环境、温室气体排放等多因素综合确定。

3.1.3 猪粪还田的政策保障和运行机制不够健全

尽管猪粪还田实现了种植、养殖业的“双赢”,但由于养殖业受市场影响波动大,直接影响猪粪的处

理利用。与施化肥相比,施用猪粪增加了农民用肥的人力成本,加之猪粪质量不稳定,影响农民的接受度。一方面,集约化养殖的快速发展造成的大量猪粪须要处理;另一方面,农业生产需要大量氮磷肥料,农民对猪粪还田存在顾虑。调研结果表明,猪粪还田在很多地区仍是种植业主的自发行为,如蔬菜大棚种植业主去周边猪场运猪粪用于蔬菜生产,该方式一般规模较小,且用量不稳定,未能建立起成熟的运行机制。国家“两减”工作对推进猪粪还田发挥了重要作用,但工作推进并不顺利。随着农村空心化和老龄化的加剧,农民对猪粪还田积极性不高。因此,政府应为猪粪还田工作制定一系列的政策措施,鼓励第三方企业参与猪粪还田工作,示范推广猪粪还田成熟的运行机制,为猪粪还田工作提供政策保障。

3.1.4 猪粪还田的效果不稳定,经济社会效益有待提高 猪粪还田对农业生产总体上是有利的,但效果并不稳定,不同研究结果间的差异较大,尤其在地区不同性质土壤上的差异更大。但是,将猪粪与秸秆还田结合,与硫肥等其他物料配施对提高猪粪还田效果影响显著,因此,可以将猪粪还田与其他农艺措施结合起来,提高猪粪还田的效果和稳定性,增加猪粪还田的社会经济效益。这就需要各级政府、农技推广部门、农业科研人员与种植业主多方协同,共同努力。

#### 3.2 建议

3.2.1 源头控制猪粪质量 猪粪中有毒有害物质主要包括重金属和抗生素,其含量高低直接决定猪粪能否还田。通过查阅和梳理文献发现,鲜有研究黄淮海地区猪粪还田后抗生素迁移转化及对作物和土壤影响。猪粪中的重金属主要来自饲料,猪粪中重金属含量与饲料中重金属含量呈正相关。因此,如何降低饲料中重金属含量对猪粪后续资源化利用意义重大。研究人员提出通过氨基酸微量元素螯合物替代无机盐的方式,减少饲料中重金属添加量。夏中生等认为,按不同比例添加铁、锌、铜、锰微量元素氨基酸螯合物,对猪的生长性能有一定的改善作用<sup>[46]</sup>;与对照相比,平均日增质量分别提高 9.85%、7.51%、1.34%,料质量比分别降低 6.74%、7.45%、1.42%,微量元素螯合物替代无机元素的适宜比例为 25%;猪粪中铁、锌、铜含量均显著降低( $P < 0.05$ ),锰含量差异不显著。通过这种方式可以降低猪粪中的重金属含量,为猪粪后续资

源化利用提供了便利。

3.2.2 加强猪粪无害化处理 新鲜猪粪中有机物大多为易分解有机物,将其施入农田后,猪粪中的有机物快速分解产生大量中间产物,影响种子发芽和生长,出现烧苗。此外,猪粪中可能含有少量病原微生物,猪粪直接还田存在疾病传播风险。因此,在猪粪还田前须进行无害化处理。猪粪经堆肥后更有利于小麦对氮素的吸收利用,增加小麦体内<sup>15</sup>N 的累积量,水稻土和灰潮土 2 种土壤上的回收率均表现为相同配比猪粪堆肥处理 > 猪粪未堆肥处理 > 单施化肥处理,施用猪粪堆肥的土壤矿质态氮含量高于施用猪粪处理<sup>[47]</sup>。与施用自然堆肥的猪粪相比,施用好氧发酵猪粪可提高土壤全氮和有

机碳含量及 0 ~ 40 cm 土层土壤无机氮含量<sup>[18]</sup>。

3.2.3 严控猪粪还田量 尽管猪粪还田为农业生产带来诸多好处,但需严格控制猪粪还田量。施用适量猪粪可以促进作物生长,进而提高农产品产量和品质,降低温室气体排放,减少氮磷流失和农田水环境污染风险等,过量施用猪粪则不利于作物生产,增加氮磷流失风险和温室气体排放,增加农作物秸秆、农产品和土壤中重金属累积风险。因此,确定猪粪替代化肥氮的比例是猪粪还田工作的重中之重。由表 3 可知,不同地区不同作物猪粪的最适替代化肥氮的比例不同,但大多在 20% ~ 50%,这可能与不同地区的土壤类型、土壤肥力、农田管理、作物种类、气候等有关,还有待进一步研究。

表 3 黄淮海地区猪粪替代化肥氮的比例汇总

序号	替代比例/施用量/承载量	作物种类	效果
1	替代 50% 化肥氮	甜高粱—黑麦草, 高丹草—黑麦草	氮肥偏生产力高、表观损失低 <sup>[48]</sup>
2	107.30 头育肥猪/hm <sup>2</sup>	玉米	玉米正常生长 <sup>[49]</sup>
3	替代化肥氮 20% ~ 30%	油菜	有效减轻油菜菌核病的发生,改善油菜的产量结构,有利于提高产量 <sup>[50]</sup>
4	替代化肥氮 20%	小麦	显著增加籽粒氮素积累量,提高小麦氮素利用效率和产量,实现豫北冬小麦稳产和高产 <sup>[51]</sup>
5	替代化肥氮 30%	鲜食玉米	鲜食玉米产量、干物质量较化肥处理分别提高 10.00% 和 15.52%,鲜食玉米氮吸收量较化肥处理增加 12.15%,而氮肥利用率较化肥处理提高 6.23 百分点 <sup>[14]</sup>
6	替代化肥氮 10%	小麦	提高冬小麦产量和土壤肥力,小麦增产 5.00% <sup>[52]</sup>
7	32 ~ 64 t/hm <sup>2</sup>	黑麦草	不会造成二次污染 <sup>[53]</sup>
8	8.50 ~ 17 t/hm <sup>2</sup>	水稻	不会造成二次污染 <sup>[53]</sup>
9	192 ~ 384 g/盆	白菜	不会造成二次污染 <sup>[53]</sup>
10	6 头奶牛或 18 头肉牛或 47 ~ 51 头生猪或 731 ~ 789 羽蛋鸡或 8 062 ~ 8 705 羽肉鸡粪便氮	玉米—小麦轮作	保证粮食稳产 <sup>[54]</sup>
11	化肥氮 300 kg/hm <sup>2</sup> + 猪粪氮 261.20 kg/hm <sup>2</sup>	玉米—小麦轮作	使农田氮素收支达到平衡,在兼顾环境效益的基础上获得较高的产量效益 <sup>[38]</sup>
12	10.02 t/hm <sup>2</sup>	稻麦轮作	基于猪粪周年安全施用量(氮磷平衡) <sup>[55]</sup>
13	替代化肥氮 50%	小麦	在保持作物产量和土壤肥力的基础上,降低华北平原农田 NH <sub>3</sub> 排放和氮淋溶量 <sup>[29]</sup>
14	替代化肥氮 30% ~ 50%	稻麦轮作	小麦、水稻增产或不减产 <sup>[33]</sup>

3.2.4 完善猪粪还田方式 针对猪粪还田存在的问题,如何提高猪粪还田效果,降低猪粪还田的生态环境风险,是猪粪还田工作必须解决的问题。王崇华等认为,在秸秆还田基础上,硫酸钙与猪粪有机肥配施不但可以提高大蒜的产量和品质,还可以改善土壤养分供应状况和土壤结构<sup>[56]</sup>;刘源等认为,在水稻生产中施用猪粪增加了氮流失风险,但尿素配合猪粪和秸秆施用,可降低田面水的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -

N 和 DON 含量<sup>[39]</sup>;郭校伟等认为,单独施用自然堆肥、好氧发酵猪粪及化肥在产量和氮素积累方面没有显著差异,但好氧发酵猪粪与化肥配施可显著提高夏玉米产量和氮素累积吸收量<sup>[18]</sup>;孙娜等认为,将化肥、猪粪和秸秆配施更有利于具有水果香味和花香味的挥发性物质在果实内的积累,如 2 - 异丁基噻唑、β - 紫罗兰酮、3 - 甲基丁醇、3 - 甲基丁醛等<sup>[23]</sup>。综上,探究猪粪与其他物料配施或混施技

术,对提高农作物产量、品质及氮素利用率,降低环境风险均具有较好的效果,是今后猪粪还田工作的重要研究内容。

**3.2.5 完善猪粪还田运行管理机制及相关配套政策** 在对还田猪粪的质量监管、还田量监管、还田方式监管等基础上,建立并完善猪粪还田长效运行管理机制及相关配套政策,是猪粪还田工作能否持续健康稳定运行的关键。猪粪还田是一项环保工程,也是一项农业生产工程,更是一项惠民利民的民生工作,关系到农村生态环境保护工作的成败以及农民脱贫致富的成败。因此,各级政府部门应对猪粪还田工作有足够的重视,鼓励第三方企业参与到猪粪还田工作中,形成第三方企业主导、政府引导监督、种植、养殖场(户)主积极配合的运行机制,运行经费由政府引导养殖企业设立猪粪还田基金(由政府代管),种植业主根据农田面积大小按比例向该基金申请补充资金,政府从有机肥还田经费中向该基金补充资金,保证该基金账户资金来源有保障。此外,政府对积极参与猪粪还田的种植业给予水利、道路等设施配套,积极鼓励种植企业参与到猪粪还田工作中,并给予一定奖补资金,以提高企业的积极性。

## 4 结论与展望

黄淮海地区是我国重要的生猪养殖基地,2017 年产生猪粪、污水、TN、TP 分别达 3 886.84 万、28 769.43 万、96.44 万、13.62 万 t,猪粪还田工作压力大。猪粪还田可以提高农作物产量和品质,提高土壤质量和微生物多样性,减少因化肥氮过量施用造成的农田地表径流污染,减少温室气体排放量和土壤中杂草种子库丰富度等。但过量施用猪粪会造成重金属在农作物、土壤中的积累,降低作物产量,增加温室气体排放以及地表水污染风险。因此,控制猪粪还田量或替代化肥氮比例是猪粪还田的首要任务,但猪粪用量在不同地区不同作物上有较大差异,猪粪替代化肥氮比例一般在 20%~50% 之间。此外,将猪粪高温好氧堆肥后还田,并与秸秆等其他物料混施可以取得更好的培肥和增产效果。为确保猪粪还田工作长期稳定运行,建立以“政府引导监督、第三方企业主导、种养殖场(户)主积极配合”的运行机制,并通过多方途径保障猪粪还田工作经费。

为提高猪粪还田效果,降低猪粪还田后的生态

环境风险,研究不同地区猪粪用于不同轮作模式下的还田潜力及还田方式,并给出猪粪连续还田的最大年限是猪粪还田研究的重要方向。此外,猪粪还田后对农田水环境影响的关注不够,须加强这方面的研究。猪粪中高浓度抗生素还田的生态环境效应将是猪粪还田工作未来重点关注的方向。尽管猪粪还田已大规模推广应用,在我国也有上千年的应用历史,但新时期的猪粪还田工作仍存在许多新问题需要去关注、探索。

## 参考文献:

- [1]吕凯,石英尧,高振魁.猪粪的成分及其利用的研究[J].安徽农业科学,2001,29(3):373-374,389.
- [2]农业部关于印发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》的通知(农农发[2015]2 号)[EB/OL].(2017-11-29)[2021-05-20].[http://www.moa.gov.cn/nybgh/2015/san/201711/t20171129\\_5923401.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgh/2015/san/201711/t20171129_5923401.htm).
- [3]农业部关于印发《畜禽粪污资源化利用行动方案(2017—2020 年)》的通知(农牧发[2017]11 号)[EB/OL].(2017-08-20)[2021-05-20].[http://www.moa.gov.cn/nybgh/2017/dbq/201801/t20180103\\_6134011.htm](http://www.moa.gov.cn/nybgh/2017/dbq/201801/t20180103_6134011.htm).
- [4]张大弟,张晓红,章家骥,等.上海市郊区非点源污染综合调查评价[J].上海农业学报,1997,13(1):31-36.
- [5]邓伟,白军红.典型湿地系统格局演变与水生态过程:以黄淮海地区为例[M].北京:科学出版社,2012.
- [6]国家统计局.中国统计年鉴:2011—2020[M].北京:中国统计出版社,2011—2020.
- [7]张紧紧.深耕和有机物料还田对土壤-小麦系统碳、氮动态影响的研究[D].新乡:河南师范大学,2014.
- [8]李春喜,张令令,马守臣,等.有机物料还田对麦田土壤碳氮含量、小麦产量及经济效益的影响[J].作物杂志,2017(2):145-150.
- [9]韩蕊.耕作措施和肥料施用对麦玉两熟制农田土壤质量影响的研究[D].新乡:河南师范大学,2018.
- [10]杜坤.猪粪肥种植玉米农田消纳参数及对土壤性状的影响研究[D].泰安:山东农业大学,2018.
- [11]韩飞,何伟,张行,等.不同施肥模式对盐碱地土壤改良及谷子生长的影响[J].土壤通报,2020,51(4):860-865.
- [12]孙毅,王笑颖,陈宗培,等.猪粪对茄子和土壤重金属积累的影响[J].河北农业大学学报,2019,42(5):52-56,90.
- [13]杨东玉.猪粪和沼渣在花生、小麦—玉米轮作体系中的应用及重金属积累研究[D].保定:河北农业大学,2016.
- [14]李明悦,金修宽,高伟,等.有机肥替代部分氮肥对鲜食玉米产量、干物质和氮吸收的影响[J].天津农业科学,2020,26(9):56-60.
- [15]武晓森.小麦玉米轮作体系中不同施肥制度对土壤微生物特性的影响[D].保定:河北农业大学,2014.
- [16]李其胜,赵贺,汪志鹏,等.有机肥替代部分化肥对稻麦轮作土壤养分利用和酶活性的影响[J].土壤通报,2020,51(4):912-919.



- [17] Luo W Q, O'Brien P L, Hatfield J L. Crop yield and nitrous oxide emissions following swine manure application: a meta-analysis[J]. *Agricultural & Environmental Letters*, 2019, 4(1): 190024.
- [18] 郭校伟, 潘军晓, 张济世, 等. 好氧发酵猪粪部分替代化肥提高夏玉米氮素利用率和土壤肥力[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(6): 1025–1034.
- [19] 郭智, 周炜, 陈留根, 等. 施用猪粪有机肥对稻麦两熟农田稻季养分径流流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(6): 21–25, 61.
- [20] Zhang T, Liu H B, Luo J F, et al. Long-term manure application increased greenhouse gas emissions but had no effect on ammonia volatilization in a Northern China upland field[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 633: 230–239.
- [21] 张涛. 猪粪处置方式及施用年限对土壤氮通量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [22] 殷勤. 施用猪场粪水对种植土地土壤理化性状及菌群组成的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [23] 孙娜, 王丽英, 孙焱鑫, 等. 猪粪和秸秆替代部分化肥提高番茄营养品质及挥发性风味物质种类和数量[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(6): 1106–1116.
- [24] 茹淑华, 徐万强, 侯利敏, 等. 连续施用有机肥后重金属在土壤-作物系统中的积累与迁移特征[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(10): 2070–2078.
- [25] 黄治平, 徐斌, 张克强, 等. 连续四年施用规模化猪场猪粪温室土壤重金属积累研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 239–244.
- [26] 何梦媛, 董同喜, 茹淑华, 等. 畜禽粪便有机肥中重金属在土壤剖面中积累迁移特征及生物有效性差异[J]. *环境科学*, 2017, 38(4): 1576–1586.
- [27] 张玉军. 长期施肥下不同碳饱和程度土壤碳组分变化特征[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
- [28] 严正娟. 施用粪肥对设施菜田土壤磷素形态与移动性的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [29] 郭树芳. 华北平原农田生态系统氮损失及其环境效应研究[R]. 中国农业科学院博士后研究报告, 2019.
- [30] 陈源泉, 隋鹏, 严玲玲, 等. 有机物料还田对华北小麦玉米两熟农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(增刊2): 94–102.
- [31] 龙攀. 有机物料还田对麦玉两熟农田土壤有机碳和系统碳净平衡影响研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [32] 孙向平, 李国学, 肖爱平, 等. 施用猪粪堆肥对玉米产量及土壤理化性质的影响分析[J]. *中国麻业科学*, 2013, 35(5): 258–264.
- [33] 马凡凡. 有机肥替代对稻-麦产量、土壤肥力及农田氮磷流失的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- [34] 朱利群. 粪肥还田对农田生态系统氮素的影响及径流流失风险评估[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [35] 叶必雄, 刘圆, 虞江萍, 等. 施用不同畜禽粪便土壤剖面中重金属分布特征[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(12): 1708–1714.
- [36] 邢鹏飞, 武晓森, 高圣超, 等. 不同施肥处理对玉米-小麦轮作土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. *微生物学杂志*, 2016, 36(1): 22–29.
- [37] 叶成龙. 不同施肥措施对华北地区小麦-玉米轮作下土壤线虫群落的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [38] 樊羿. 有机肥资源利用现状调查与施用有机肥对土壤环境的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006.
- [39] 刘源, 陈功磊, 郑网宇, 等. 不同来源养分对稻田施肥周期内田面水氮含量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(3): 381–384.
- [40] 王晓娇, 张仁陟, 齐鹏, 等. Meta分析有机肥施用对中国北方农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(10): 99–107.
- [41] 孙国峰, 郑建初, 陈留根, 等. 配施猪粪对麦季 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放及温室效应的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(4): 349–354.
- [42] 潘俊峰, 万开元, 章力干, 等. 长期有机-无机肥配施对农田杂草土壤种子库的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(2): 480–488.
- [43] 余垚, 张敏, 万亚男, 等. 猪粪对生菜和菠菜吸收和累积镉的影响[J]. *环境科学与技术*, 2015, 38(7): 71–76.
- [44] Pan X, Qiang Z M, Ben W W, et al. Residual veterinary antibiotics in swine manure from concentrated animal feeding operations in Shandong Province, China[J]. *Chemosphere*, 2011, 84(5): 695–700.
- [45] 楼晨露. 长期定量施用猪粪稻田土壤中典型抗生素及其抗性基因污染研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [46] 夏中生, 刘丹, 李玉艳, 等. 微量元素氨基酸螯合物对生长猪生产性能和血清微量元素含量的影响[J]. *广西农业生物科学*, 2007, 26(增刊1): 49–53.
- [47] 郁洁. 不同有机无机肥配施对麦稻生长及氮素吸收的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [48] 李硕, 李晓欣, 赵善丽, 等. 华北平原有机肥替代化肥条件下“粮-饲”轮作系统氮素表现平衡研究[J]. *农业环境科学学报*, 2021, 40(3): 609–620, 468.
- [49] 杜坤, 焦洪超, 王晓鹏, 等. 基于玉米种植的生长育肥猪粪污农田承载力[J]. *畜牧兽医学报*, 2020, 51(5): 1049–1059.
- [50] 王家宝, 孙义祥, 李虹颖, 等. 生物有机肥用量和部分替代化肥对油菜产量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2020, 48(15): 173–175.
- [51] 申长卫, 袁敬平, 李新华, 等. 有机肥氮替代 20% 化肥氮提高豫北冬小麦氮肥利用率和土壤肥力[J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, 26(8): 1395–1406.
- [52] 李燕, 朱国梁, 张雪飞, 等. 有机肥替代部分化肥对冬小麦产量和土壤改良效应的影响[J]. *山东农业科学*, 2020, 52(11): 31–35.
- [53] 黄卉. 规模化养殖场粪便废弃物的还田处理与二次污染风险研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [54] 楚天舒, 韩鲁杨, 杨增玲. 考虑种养平衡的黄淮海小麦-玉米模式下畜禽承载力估算[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(11): 214–222.
- [55] 孙叶笛. 基于稻麦轮作制的猪粪安全利用技术模式研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
- [56] 王崇华, 王喜枝, 王立河, 等. 猪粪有机肥与硫酸钙配施对潮土区大蒜产量、品质及土壤性状的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(6): 62–67.