

连续施用养殖场鸡、鸽粪对土壤养分和重金属含量的影响

姚丽贤, 操君喜, 李国良, 何兆桓

(广东省农业科学院土壤肥料研究所, 广州 510640)

摘要:按照养殖场鸡粪和鸽粪含氮量计算其用量, 进行连续 6 茬施用鸡粪和鸽粪($N\ 0 \sim 450\ kg \cdot hm^{-2}$)菜心田间试验, 研究对土壤养分和重金属含量的影响. 结果表明, 连续施用 3 茬鸡粪和鸽粪后, 土壤铵态氮、硝态氮、有效磷及速效钾含量均明显提高, 4 种养分累积量随鸡、鸽粪用量增加而提高. 由于后 3 茬遭遇较长时间强降雨, 施用 6 茬后土壤硝态氮和速效钾含量不但比第 3 茬后有明显下降, 甚至低于土壤原始含量, 但铵态氮和有效磷含量仍比原始含量提高, 而且含量增量随鸡、鸽粪用量增加而提高. 鸡粪和鸽粪 Pb、Cd、Cr 含量及鸽粪 As 含量很低, 连续施用 6 茬对土壤总 Pb、总 Cd、总 Cr 及总 As 含量影响不大, 但 2 种粪肥 Zn 含量较高(分别为 172.0 、 $299.8\ mg \cdot kg^{-1}$), 施用 6 茬后土壤总 Zn 含量提高 $0.7 \sim 17.1\ mg \cdot kg^{-1}$. 同时, 鸡粪 Cu ($117.7\ mg \cdot kg^{-1}$)、As ($39.6\ mg \cdot kg^{-1}$) 含量相对较高, 施用 6 茬后土壤总 Cu、总 As 含量也有累积趋势.

关键词:连续施用; 鸡粪; 鸽粪; 土壤养分; 重金属

中图分类号: X171.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)04-0819-07

Effect of Continuous Application of Chicken and Pigeon Manure from Poultry Farms on Concentrations of Soil Nutrients and Heavy Metals

YAO Li-xian, CAO Jun-xi, LI Guo-liang, HE Zhao-heng

(Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Animal manures of intensive livestock and poultry farms are composed of complex materials. Effect of continuous application of chicken manure (CM) and pigeon manure (PM) for six crops on soil nutrients and heavy metals was investigated in a vegetable soil in Guangzhou, south China. Application rates ($N\ 0 \sim 450\ kg \cdot ha^{-1}$) of CM and PM were calculated considering their N contents. The results indicate that concentrations of soil ammonium N, nitrate N and phosphorous extracted with sodium bicarbonate ($P-NaHCO_3$), potassium extracted with ammonium acetate ($K-C_2H_3O_2NH_4$) increase considerably after continuous application of CM and PM for three crops. Moreover, their concentration increments go up with the rates of CM and PM. Concentrations of soil nitrate N and $K-C_2H_3O_2NH_4$ after the sixth crop reduce compared with those after the third crop, and also decrease compared with their original ones due to the heavy rainfall during the three latter crops. However, concentrations of soil ammonium N and $P-NaHCO_3$ are still higher than their original ones, and their concentration increments increase with the rates of CM and PM, respectively. Two manures contain low Pb, Cd, Cr and pigeon manure contains low As, there is no great influence on soil Pb, Cd, Cr and As by continuous application. Two manures contain higher Zn (172.0 and $299.8\ mg \cdot kg^{-1}$, respectively), leading to soil Zn concentration increments from 0.7 to $17.1\ mg \cdot kg^{-1}$ after the sixth crop. Meanwhile, CM has relatively high Cu ($117.7\ mg \cdot kg^{-1}$) and As ($39.6\ mg \cdot kg^{-1}$), indicating the trend to accumulate Cu and Zn in soil after the sixth crop.

Key words: continuous application; chicken manure; pigeon manure; soil nutrient; heavy metal

由于饲料工业最大限度地改进饲料配方和普遍使用各种添加剂, 现代集约化养殖禽畜粪与传统养殖的相比, 已经发生了很大的变化. 禽畜对微量元素及有机肿添加剂的利用率通常较低, 大部分随粪尿排出^[1,2]. 集约化养殖禽畜粪不但含有比传统养殖禽畜粪更高的氮、磷、钾等养分元素^[3], 而且还含有较高含量的盐分^[3]、铜、锌和砷等重金属^[3-5]. 目前国际上对禽畜粪养分流失造成的氮、磷污染^[6-9]及重金属砷^[10,11]、铜和锌^[9,12,13]等的行为日益关注, 并进行了较多研究. 而我国传统上一直把禽畜粪肥作为优质有机肥提倡长期施用, 而且施用量相对较高. 由于生产上禽畜粪肥用量通常按照传统用量或

按禽畜粪肥含氮量或含磷量来计算^[8,14], 尚未考虑按禽畜粪中其它对环境有不良影响物质, 如重金属含量来确定其安全用量. 因此, 进行连续 6 茬施用养殖场鸡粪和鸽粪菜心田间试验, 根据鸡、鸽粪含氮量分别计算其用量, 研究施用鸡、鸽粪对菜心产量、品质、重金属含量及土壤质量的影响. 本研究侧重探讨施用鸡、鸽粪对土壤养分和重金属累积的影响, 为养殖场禽畜粪肥的合理安全施用提供多方面的参考.

收稿日期: 2006-04-30; 修订日期: 2006-06-28

基金项目: 广东省科技攻关项目(2005B20801008); 广东省农科院科技攻关项目(2004-攻关-20B)

作者简介: 姚丽贤(1971~), 女, 博士研究生, 副研究员, 主要研究方向为施肥与生态, E-mail: lyaox@yahoo.com.cn

1 材料与方法

于 2004-10 ~ 2005-07 在广州市花都区三东菜场进行连续 6 茬菜心施用鸡、鸽粪试验.

1.1 土样基本性状

供试土壤为河流冲积物发育而成的菜园土, pH 7.62, 质地为粉壤土.

1.2 试验处理

试验设 9 个处理, 具体见表 1. 每个处理 3 次重复, 随机区组排列, 每个小区 11 m². 由于每茬试验菜心品种不尽相同, 而且生长季节及生育期不同, 每茬常量无机氮肥用量分别为 N 75、135、45、225、112.5 及 67.5 kg•hm⁻², 每茬氮磷钾肥分别按 N:P₂O₅:K₂O = 1:0.4:0.8 的比例施入. 供试无机肥为广东省农科院农作物专用肥厂生产的蔬菜专用肥, N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 15%、6% 和 12%.

表 1 试验处理

Table 1 Experimental treatment

序号	处理	代号
1	常量无机肥	IF
2	鸡粪 1(N 450 kg•hm ⁻²)	CM1
3	鸡粪 2(N 225 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	CM2 + IF
4	鸡粪 3(N 112.5 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	CM3 + IF
5	鸡粪 4(N 56.25 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	CM4 + IF
6	鸽粪 1(N 450 kg•hm ⁻²)	PM1
7	鸽粪 2(N 225 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	PM2 + IF
8	鸽粪 3(N 112.5 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	PM3 + IF
9	鸽粪 4(N 56.25 kg•hm ⁻²) + 常量无机肥	PM4 + IF

1.3 供试鸡粪和鸽粪

鸡粪及鸽粪分别采自集约化养殖场, 主要物质含量测定结果见表 2. 鸡粪、鸽粪经堆沤, 在每茬试验前采集鸡、鸽粪样本测定其水分及全氮含量, 按表 1 计算每茬鸡、鸽粪的用量. 处理 2 及 6 的鸡、鸽粪

表 2 鸡粪和鸽粪主要物质含量

Table 2 Major components of chicken and pigeon manure

类别	水分 /%	全 N /g•kg ⁻¹	全 P /g•kg ⁻¹	全 K /g•kg ⁻¹	总 Pb /mg•kg ⁻¹	总 Cd /mg•kg ⁻¹	总 Cr /mg•kg ⁻¹	总 Cu /mg•kg ⁻¹	总 Zn /mg•kg ⁻¹	总 As /mg•kg ⁻¹
鸡粪 CM	8.3	34.8	11.3	18.8	6.9	0.18	1.9	117.7	172.0	39.6
鸽粪 PM	12.3	38.9	10.5	18.7	3.8	0.15	1.4	49.3	299.8	2.9

一半用作基肥, 另一半作 1 次追肥施入, 其余处理的鸡、鸽粪全部作基肥施入.

1.4 土样采集

试验开始前在每个小区采集第 1 批土样. 采土深度为 25 cm, 每个小区采集 8 钻土, 充分混匀后作为一个小区土样, 剔除植物残渣, 风干, 分别过 1 mm 和 0.149 mm 筛. 每茬试验均种植菜心, 收获后在原小区整地种植下 1 茬菜心. 分别在第 3 和第 6 茬菜心收获后采集第 2 和第 3 批土样, 土样处理方法同第 1 批.

1.5 土样测定方法

铵态氮采用 KCl 提取-蒸馏法^[15]; 硝态氮采用 2 mol/L KCl 提取-紫外分光光度法; 有效磷采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色-可见分光光度法^[15]; 速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度法^[15]; 总铅和总镉采用石墨炉原子吸收分光光度法^[16]; 总砷采用氢化物-非色散原子荧光法^[16]; 总铜、总锌和总铬, 采用火焰原子吸收分光光度法^[16]. 重金属测定过程中用标准物质 GBW 07401 及 GBW 07404 进行质量控制.

1.6 数据处理

用 Excell 和 SAS 软件 (1989 ~ 1996 by SAS

Institute Inc., Cary, NC, USA) 进行数据处理和统计.

2 结果与分析

2.1 土壤养分

2.1.1 铵态氮

不同茬别铵态氮含量变化情况见表 3. 试验小区土壤原始含量间有一定差别, 这是由土壤存在天然的空间变异造成的^[17]. 连续种植 3 茬菜心后, 施用鸡粪或鸽粪处理土壤铵态氮含量均有随鸡、鸽粪用量增加而提高的趋势. 而且, 施用鸽粪处理铵态氮含量增加大于鸡粪处理, 这意味着鸽粪氮素养分在土壤中的矿化和释放比鸡粪快. 然而, 连续种植 6 茬后所有处理铵态氮含量均比第 3 茬后明显下降. 第 6 茬后单施无机肥处理铵态氮含量与原始含量相当, 所有施用鸡、鸽粪处理则均有提高, 而且含量增量与鸡、鸽粪用量 (以纯氮用量计) 呈显著正相关关系 ($y = 0.0613x + 8.01$, $R^2 = 0.8075$; $y = 0.0727x + 11.47$, $R^2 = 0.8606$).

根据广州国际专业气象台统计资料, 土壤铵态氮含量变化应与试验期间的气候条件有直接关系. 试验第 1 ~ 3 茬期间 (2004-10 ~ 2005-01) 广州地区降

雨量仅为 16.1 mm,因此施用鸡、鸽粪造成铵态氮在土壤明显累积.第 4~6 茬期间(2005-02~2005-07)遭遇长时间强降雨,总降雨量达到1 355.7 mm,日最大降雨量达到 109.9 mm.强降雨把前 3 茬累积的铵态氮部分淋洗出表土导致第 6 茬后土壤铵态氮含量低于第 3 茬后,但连续 6 茬施用鸡、鸽粪仍比单施无机肥明显或显著提高了土壤铵态氮含量.

表 3 不同茬别土壤铵态氮含量变化/mg•kg⁻¹
Table 3 Change of soil NH₄⁺-N concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处理	原始含量	Δ 含量 1 ¹⁾	Δ 含量 2 ²⁾	Δ 含量 3 ³⁾
IF	95.9a	39.0a	- 35.2ab	3.8b
CM1	97.1a	62.3a	- 24.8b	37.5a
CM2 + IF	97.1a	61.4a	- 46.2a	15.2b
CM3 + IF	88.0a	65.0a	- 47.7a	17.3b
CM4 + IF	94.0a	46.3a	- 28.3b	18.0b
IF	95.9a	39.0c	- 35.2ab	3.8b
PM1	97.7a	117.8ab	- 75.0ab	42.7a
PM2 + IF	97.7a	128.5a	- 101.1a	27.3ab
PM3 + IF	98.3a	66.7bc	- 42.7b	24.0ab
PM4 + IF	102.5a	54.2c	- 33.3b	20.9ab

1)Δ 含量 1 = 第 3 茬后土样铵态氮含量 - 铵态氮原始含量;2)Δ 含量 2 = 第 6 茬后铵态氮含量 - 第 3 茬后铵态氮含量;3)Δ 含量 3 = 第 6 茬后铵态氮含量 - 铵态氮原始含量.表 4~12 注同表 3. 每列数据字母不相同者为差异显著($p < 0.05$).下同

2.1.2 硝态氮

土壤硝态氮含量变化(表 4)显示,连续种植 3 茬菜心后所有处理硝态氮含量均显著提高,而且含量增量有随鸡、鸽粪用量增加而提高的趋势.由于硝态氮是陆地生态系统中最易于被淋溶的氮素形态^[18],加上大部分土壤阴离子交换能力低,后 3 茬的强降雨不但把前 3 茬累积的硝态氮全部淋洗出表

表 4 不同茬别土壤硝态氮含量变化/mg•kg⁻¹
Table 4 Change of soil NO₃⁻-N concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	39.2a	106.1a	- 130.6a	- 24.4a
CM1	51.5a	129.7a	- 149.9a	- 20.2a
CM2 + IF	57.4a	134.8a	- 166.2a	- 31.4a
CM3 + IF	38.4a	120.8a	- 138.7a	- 17.9a
CM4 + IF	44.1a	104.6a	- 126.7a	- 22.1a
IF	39.2a	106.1a	- 130.6a	- 24.4a
PM1	55.4a	149.2a	- 159.0a	- 9.8a
PM2 + IF	57.8a	146.2a	- 170.1a	- 23.9a
PM3 + IF	52.7a	106.4a	- 119.1a	- 12.7a
PM4 + IF	52.5a	110.3a	- 124.3a	- 14.0a

土,而且把土壤原有硝态氮也部分淋洗出去,导致第 6 茬后硝态氮含量甚至低于原始含量,但不同处理间未表现出明显规律,可能是降雨强度太大而掩盖了处理间的差异.

2.1.3 有效磷

传统上主要是根据作物需氮量而不是作物需磷量来计算禽畜粪肥的用量,而作物 P/N 通常小于禽畜粪肥 P/N,禽畜粪肥带入的超过作物吸收的那部分磷将在土壤中累积^[14,19].本试验用鸡、鸽粪的磷含量均较高,如表 5 所示,连续种植 3 茬菜心后所有处理土壤有效磷含量显著提高,而且含量增量有随鸡粪用量增加而提高的趋势,与鸽粪用量则有极显著正相关关系($y = 0.1474x + 87.626, R^2 = 0.9658$).后 3 茬的强降雨促使磷素淋洗,第 6 茬后除单施鸡粪处理有效磷含量仍明显提高外,其它所有处理均比第 3 茬后下降,但仍比原始含量有大幅提高,而且含量增量随鸡、鸽粪用量的提高而显著提高($y = 0.4274x + 46.94, R^2 = 0.9399$; $y = 0.2491x + 43.62, R^2 = 0.9173$),显著提高了可供下 1 个雨季淋洗的磷量.试验所用鸡粪 P/N 为 0.32,鸽粪 P/N 为 0.27,因此施用鸡粪比鸽粪促进了磷在土壤的累积.这再次证实了前人提出的按照作物需磷量计算禽畜粪肥用量的必要性^[14,19].

表 5 不同茬别土壤有效磷(P)含量变化/mg•kg⁻¹
Table 5 Change of soil available P at different crop stages/mg•kg⁻¹

处理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	179.2a	93.9b	- 39.9b	53.9d
CM1	182.0a	135.9ab	116.2a	252.0a
CM2 + IF	170.8a	145.2a	- 22.9b	122.3b
CM3 + IF	172.6a	122.7ab	- 47.5b	75.1cd
CM4 + IF	179.2a	113.2ab	- 21.3b	91.9bc
IF	179.2a	93.9a	- 39.9a	53.9b
PM1	173.2a	154.4a	- 3.2a	151.3a
PM2 + IF	170.7a	123.8a	- 6.5a	117.2a
PM3 + IF	165.1a	98.2a	- 37.5a	60.7b
PM4 + IF	166.1a	92.2a	- 47.0a	45.2b

2.1.4 速效钾

从土壤速效钾含量变化(表 6)来看,种植 3 茬菜心后所有处理的速效钾含量明显提高,而且含量增量均随鸡、鸽粪用量的提高而显著增加($y = 1.1131x + 134.7643, R^2 = 0.9288$; $y = 0.685x + 163.9437, R^2 = 0.7910$),后 3 茬期间的速效钾含量下降(Δ 含量 2)也与鸡粪用量有显著正相关关系($y = - 0.5576x - 310.92, R^2 = 0.7748$),与鸽粪用量关系则未达显著水平.第 6 茬后,除单施鸡、鸽粪

处理由于鸡、鸽粪用量最高而速效钾含量比原始含量有所提高外,其它所有处理均降低,而且速效钾含量变化量(Δ 含量3)也随鸡、鸽粪用量的提高而显著增加($y = 0.555\ 6x - 176.185$, $R^2 = 0.979\ 6$; $y = 0.500\ 5x - 201.174$, $R^2 = 0.989$).即施用鸡、鸽粪处理速效钾在土壤的累积量及损失总量均随鸡、鸽粪用量的提高而增大.

表 6 不同茬别土壤速效钾(K)含量的变化/mg•kg⁻¹

Table 6 Change of soil available K at different crop stages/mg•kg⁻¹

处 理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	410.7a	89.9c	- 286.2b	- 196.3c
CM1	365.7a	596.8a	- 527.7a	69.2a
CM2 + IF	385.5a	438.9a	- 486.6a	- 47.7b
CM3 + IF	360.7a	325.8c	- 437.6ab	- 111.8 b
CM4 + IF	370.6a	161.6c	- 287.1b	- 125.6bc
IF	410.7a	89.9c	- 286.2b	- 196.3c
PM1	345.9a	425.7a	- 394.3ab	31.5a
PM2 + IF	380.5a	380.5a	- 485.3a	- 104.9b
PM3 + IF	380.9a	305.2ab	- 448.6a	- 143.5bc
PM4 + IF	415.6a	196.4bc	- 366.9ab	- 170.5bc

2.2 土壤重金属

2.2.1 总铅

如表 7 所示,种植 3 茬菜心后除个别处理外,所有处理土壤总铅含量稍有下降,第 6 茬后含量比第 3 茬后也稍有下降,处理间差别不大.第 6 茬后所有施用鸡粪处理总铅含量下降均低于单施无机肥处理,但施用鸽粪处理没有表现出这种规律,这大概与鸡粪铅含量相对高于鸽粪有关.由于本试验用鸡粪和鸽粪铅含量很低,土壤总铅含量下降主要是由菜心带走量大于土壤输入量造成,强降雨对土壤总铅含量影响不大.

表 7 不同茬别土壤总铅含量的变化/mg•kg⁻¹

Table 7 Change of soil Pb concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处 理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	74.2a	- 4.0a	- 7.7a	- 11.7b
CM1	71.9a	- 3.6a	- 3.2a	- 6.9ab
CM2 + IF	65.8a	2.6a	- 5.9a	- 3.3a
CM3 + IF	72.4a	- 3.4a	- 5.9a	- 9.2ab
CM4 + IF	72.1a	- 1.7a	- 4.1a	- 5.8ab
IF	74.2a	- 4.0a	- 7.7a	- 11.7a
PM1	76.1a	- 9.0a	- 3.6a	- 12.7a
PM2 + IF	71.1a	- 3.7a	- 6.8a	- 10.5a
PM3 + IF	77.8a	- 10.8a	- 2.0a	- 12.8a
PM4 + IF	70.3a	- 1.3a	- 6.9a	- 8.2a

2.2.2 总镉

不同茬别土壤总镉含量变化显示(表 8),连续

种植 3 茬后所有处理总镉含量下降,施用鸡粪处理总镉含量下降与单施无机肥处理差别不大,但均明显大于施用鸽粪处理.连续种植 6 茬后,所有处理(PM1 处理例外)总镉含量比第 3 茬后均稍有提高,比原始含量仍稍下降.这是由于第 1~3 茬菜心生长正常,菜心镉吸收量大于输入量而使土壤总镉含量下降,后 3 茬尤其是第 5、第 6 茬由于受强降雨影响菜心生长较差,菜心带走的镉很少,因此第 6 茬后所有处理土壤总镉含量要比第 3 茬后提高.同时,不同鸡、鸽粪用量处理间土壤总镉含量变化差异不大.整体上看,由于鸡粪和鸽粪的镉含量很低,连续 6 茬施用对土壤总镉含量影响不大.

表 8 不同茬别土壤总镉含量的变化/mg•kg⁻¹

Table 8 Change of soil Cd concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处 理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	0.277a	- 0.047a	0.019a	- 0.029a
CM1	0.305a	- 0.061a	0.024a	- 0.037a
CM2 + IF	0.313a	- 0.050a	0.017a	- 0.033a
CM3 + IF	0.270a	- 0.065a	0.024a	- 0.124a
CM4 + IF	0.275a	- 0.046a	0.024a	- 0.021a
IF	0.277a	- 0.047a	0.019a	- 0.029a
PM1	0.212a	- 0.004a	- 0.013a	- 0.017a
PM2 + IF	0.140a	- 0.018a	0.034a	0.016a
PM3 + IF	0.177a	- 0.010a	0.032a	0.022a
PM4 + IF	0.230a	- 0.012a	0.020a	0.008a

2.2.3 总铜

从表 9 土壤总铜含量变化来看,种植 3 茬菜心后,所有处理土壤总铜含量均稍有降低,施用鸡粪和鸽粪处理(CM2 + IF 处理例外)总铜含量下降均大于单施无机肥处理.种植 6 茬后总铜含量比第 3 茬后稍有提高,所有施用鸡、鸽粪处理含量增量均比单施无机肥处理有不同程度提高.种植 6 茬后除单施鸡粪及配施最高量鸡粪处理(CM1 和 CM2 + IF)总铜含量比原始含量稍有增加外,其它配施低量鸡粪和所有鸽粪处理总铜含量均稍有下降.不同茬别间土壤总铜含量变化主要由菜心铜吸收量和铜输入量的差异造成.由于鸡粪铜含量明显高于鸽粪,施用 6 茬鸡粪后土壤总铜含量有累积趋势.

2.2.4 总锌

不同茬别土壤总锌含量变化见表 10.种植 3 茬后施用鸡粪和常量无机肥处理由于菜心锌吸收量大于输入量而使锌含量降低,后 3 茬菜心锌吸收量较低而使第 6 茬后土壤总锌含量比第 3 茬后提高,比原始含量也有所增加.鸽粪由于锌含量明显高于鸡粪,施用 3 茬后土壤总锌含量即提高,第 6 茬后总锌

含量比第3茬后继续增加且含量增量显著高于单施无机肥处理.不同茬别间总锌含量增量与鸽粪用量间关系虽未达显著水平,但均表现出随鸽粪用量增加而提高的趋势.鸡粪和鸽粪含锌量相对高于其它重金属元素,连续施用6茬后土壤总Zn含量分别提高0.7~6.9和2.0~17.1 mg•kg⁻¹.

表9 不同茬别土壤总铜含量的变化/mg•kg⁻¹

Table 9 Change of soil Cu concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处 理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	15.1a	-1.1a	0.1b	-1.1a
CM1	13.6a	-2.3a	3.1a	0.8a
CM2 + IF	13.9a	-0.2a	1.2ab	1.0a
CM3 + IF	13.8a	-1.8a	0.6b	-0.2a
CM4 + IF	14.3a	-1.7a	1.0ab	-0.7a
IF	15.1a	-1.1a	0.1a	-1.1a
PM1	17.4a	-3.7a	0.8a	-2.9a
PM2 + IF	13.4a	-1.9a	0.8a	-1.1a
PM3 + IF	13.0a	-1.7a	1.4a	-0.3a
PM4 + IF	12.4a	-1.3a	0.3a	-1.0a

表10 不同茬别土壤总锌含量的变化/mg•kg⁻¹

Table 10 Change of soil Zn concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处 理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	60.9a	-3.8a	-0.3c	-4.0c
CM1	65.5a	-6.7a	13.6a	6.9a
CM2 + IF	62.0a	-2.8a	4.1bc	1.4b
CM3 + IF	64.7a	-3.0a	3.7bc	0.7bc
CM4 + IF	62.6a	-3.8a	6.8b	2.9ab
IF	60.9a	-3.8a	-0.3c	-4.0c
PM1	56.5a	7.3a	9.9a	17.1a
PM2 + IF	64.1a	1.8a	12.0a	13.7a
PM3 + IF	61.8a	4.7a	7.4a	12.0a
PM4 + IF	63.5a	1.1a	0.9b	2.0b

2.2.5 总铬

表11数据显示,绝大部分处理在种植3茬或6茬后,由于菜心的吸收土壤总铬含量均稍有下降.鸡粪和鸽粪的铬含量均很低,不同用量处理间基本没有差别,施用6茬后对土壤总铬含量基本没有影响.

2.2.6 总砷

在种植3茬菜心后,所有处理土壤总砷含量均有提高,除施肥最低量鸡粪和鸽粪处理外,其它所有施用鸡粪和鸽粪处理总砷含量增量均大于单施无机肥处理(表12).然而,在第6茬后除单施鸡粪处理外,其它所有处理总砷含量均比第3茬后下降.由于鸡粪中砷约有71%为水溶性^[8]而易于被淋洗,因此前3茬累积的砷被后3茬的强降雨淋洗而使第6茬

表11 不同茬别土壤铬含量的变化/mg•kg⁻¹

Table 11 Change of soil Cr concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	26.2a	-0.8a	-5.4a	-6.2a
CM1	26.5a	-2.4a	0.2a	-2.2a
CM2 + IF	27.3a	-3.7a	-1.0a	-4.7a
CM3 + IF	25.1a	-0.7a	-3.2a	-3.9a
CM4 + IF	26.2a	0.0a	-2.8a	-2.8a
IF	26.2a	-0.8a	-5.4a	-6.2a
PM1	26.2a	-3.5a	0.9a	-2.6a
PM2 + IF	24.5a	-1.8a	-1.8a	-3.6a
PM3 + IF	26.1a	-3.3a	-0.7a	-4.1a
PM4 + IF	25.6a	-1.9a	-1.3a	-3.2a

后含量反而比第3茬后下降,单施鸡粪处理由于鸡粪含砷量较高且用量大而含量有所提高.与原始含量相比,种植6茬后除单施鸡粪及配施最高量鸡粪处理外,其它所有处理土壤总砷含量均下降.由于鸡粪砷含量明显高于鸽粪,连续以较高用量(N 225~450 kg•hm⁻²)施入鸡粪土壤已出现砷的累积,而且第6茬后总砷含量增量随鸡粪用量增加而显著提高($y = 0.003x - 0.5018, R^2 = 0.9119$).鸽粪由于含砷量很低,连续施用6茬对土壤总砷含量影响不大.

表12 不同茬别土壤总砷含量的变化/mg•kg⁻¹

Table 12 Change of soil As concentration at different crop stages/mg•kg⁻¹

处 理	原始含量	Δ 含量 1	Δ 含量 2	Δ 含量 3
IF	7.307a	0.240a	-0.953b	-0.713c
CM1	7.447a	0.437a	0.407a	0.844a
CM2 + IF	7.167a	0.533a	-0.467b	0.067b
CM3 + IF	7.220a	0.300a	-0.347ab	-0.047bc
CM4 + IF	7.227a	0.113a	-0.247ab	-0.133c
IF	7.307a	0.240a	-0.953a	-0.713a
PM1	7.157a	0.292a	-0.617a	-0.325a
PM2 + IF	7.180a	0.253a	-0.520a	-0.267a
PM3 + IF	7.260a	0.307a	-0.613a	-0.306a
PM4 + IF	7.147a	0.233a	-0.767a	-0.534a

3 讨论

虽然禽畜粪肥具有改良土壤物理性质、提供作物生长所需养分等优点,本试验结果也表明施用鸡粪和鸽粪有利于土壤氮、磷和钾养分的累积,但累积的硝态氮、有效磷、铵态氮及速效钾均易被降雨淋洗.流失的氮、磷养分对地下水及地表水均可以产生污染^[6,20],成为农业面源污染的污染源之一.如在我国陕西关中地区大量施用以鸡粪为主有机肥(用量折合N约1 000 kg•hm⁻²以上)的蔬菜地进行的调查发现,在280~400 cm土层土壤的NO₃⁻-N含量达40

~ 50 mg·kg⁻¹, 而蔬菜地附近部分水井中 NO₃⁻-N 已超过世界卫生组织规定的饮用水标准 (10 mg·kg⁻¹)^[21]. 美国 Chesapeake 湾附近地区密集的禽畜养殖业及农业生产上长期施用禽畜粪被认为是该地区水域严重营养化的重要原因^[22]. 近年来, 珠江流域水质日益恶化. 根据广东省水文局监测结果, 珠江广州片、北江片及西江片河道在各项水质中总磷超标最为严重, 超标率高达 71.0%, 氨氮超标也较为普遍^[23]. 流经典型农业区的珠江流溪河^[24]、北江片三水西南涌^[25]、东江博罗县段^[26]水质无机氮及磷酸盐污染严重. 珠江入海最大河口湾伶仃洋近十年来水体污染程度不断加重, 其中无机氮和无机磷污染严重, 水体富营养化程度较高^[27]. 2002-06-04 ~ 2002-06-13 珠江口海域发生了较大规模的条纹环沟藻赤潮, 水体氮、磷含量较高被认为是本次赤潮发生的主要诱因之一^[28, 29]. 广东省养殖业发达, 禽畜粪主要用于作物生产. 珠江三角洲农田集中连片, 河网密布, 串排灌系统完善, 而且降雨丰沛, 地表径流丰富, 极容易发生农业面源污染. 在珠江三角洲典型小流域进行的研究显示, 农田营养元素大量进入水体是造成水质下降的主要原因之一^[30]. 然而, 养殖业及禽畜粪肥产生的农业面源污染问题在我国尚未得到应有的重视.

不合理施用禽畜粪除养分流失造成氮磷污染外, 由于养殖业普遍添加铜、锌和砷制剂, 禽畜粪中这 3 种元素普遍较高, 容易产生重金属的累积污染. 根据调查结果^[3], 本试验所用鸡粪和鸽粪的铜、锌和砷含量在禽畜粪中并不高, 但即使经过后三茬强降雨淋洗, 锌仍在土壤中累积, 铜和砷也有累积趋势. 本试验结果还显示, 土壤重金属的流失要远远低于氮磷养分的流失. 一次性大量施用或长期施用禽畜粪, 其中的重金属将主要累积在土壤直接影响到作物的食用安全. 如 Zhou 等的盆栽试验结果显示, 当茬施用含锌猪粪已使萝卜的锌含量超过国家食品卫生标准^[12]. 最近有报道指出, 养殖场禽畜粪甚至还含有较高含量的抗生素^[31]. 因此, 出于对农作物食用安全及环境安全的考虑, 对禽畜粪所有物质进行全面考虑才是明智和安全的^[32].

4 结论

(1) 连续施用 3 茬鸡粪和鸽粪后, 土壤铵态氮、硝态氮、有效磷及速效钾含量均明显提高, 4 种养分浓度增量随鸡、鸽粪用量的增加而提高. 后 3 茬遭遇较长时间强降雨, 施用 6 茬后土壤硝态氮和速效钾

含量不但比第 3 茬后明显下降, 甚至低于土壤原始含量, 但铵态氮和有效磷含量仍比原始含量提高, 而且含量增量随鸡、鸽粪用量的增加而提高.

(2) 不同茬别土壤重金属含量变化与鸡粪和鸽粪的重金属含量有密切关系. 鸡粪和鸽粪 Pb、Cd、Cr 含量及鸽粪 As 含量很低, 连续施用 6 茬对土壤总 Pb、总 Cd、总 Cr 及总 As 含量影响不大, 但 2 种粪肥 Zn 含量较高, 施用 6 茬后土壤总 Zn 含量提高 0.7 ~ 17.1 mg·kg⁻¹. 由于鸡粪 Cu、As 含量相对较高, 施用 6 茬后土壤总 Cu、总 As 含量也有累积趋势.

(3) 从养分流失及重金属累积的角度来看, 合理安全施用禽畜粪肥应充分考虑到作物养分需求、禽畜粪肥重金属含量及降雨等气候条件的影响.

参考文献:

- [1] Morrison J L. Distribution of arsenic from poultry litter in broiler chickens, soil and crops [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1969, **17**: 1288 ~ 1290.
- [2] 闫秋良, 刘福柱. 通过营养调控缓解畜禽生产对环境的污染 [J]. *家畜生态*, 2002, **23**(3): 68 ~ 70.
- [3] 姚丽贤, 李国良, 党志. 集约化养殖畜禽粪主要化学物质调查 [J]. *应用生态学报*, 2006, **17**(10): 1989 ~ 1992.
- [4] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, *et al.* Study of heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province [J]. *Journal of Environmental Science*, 2004, **16**(3): 371 ~ 374.
- [5] Li Y X, Chen T B. Concentrations of additive arsenic in Beijing pig feeds and the residues in pig manure [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2005, **45**(4): 356 ~ 367.
- [6] Williams P E V. Animal production and European pollution problems [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1995, **53**(2): 135 ~ 144.
- [7] Mantovi P, Fumagalli L, Beretta G P, *et al.* Nitrate leaching through the unsaturated zone following pig slurry applications [J]. *Journal of Hydrology*, 2006, **316**(1 ~ 4): 195 ~ 212.
- [8] Pierson S T, Cabrera M L, Evanylo G K, *et al.* Phosphorus and ammonium concentrations in surface runoff from grasslands fertilized with broiler Litter [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, **30**: 1784 ~ 1789.
- [9] Kingery W L, Wood C W, Delaney D P, *et al.* Impact of long-term land application of broiler litter on environmentally related soil properties [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, **23**: 139 ~ 147.
- [10] Jackson B P, Bertsch P M, Cabrera M L, *et al.* Trace element speciation in poultry litter [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, **32**: 535 ~ 540.
- [11] Garbarino J R, Bednar A J, Rutherford D W, *et al.* Environmental fate of roxarsone in poultry litter. I. Degradation of roxarsone during composting [J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, **37**: 1509 ~ 1514.

- [12] Zhou D M, Hao X Z, Wang Y J, *et al.* Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures [J]. *Chemosphere*, 2005, **59**(2): 167 ~ 175.
- [13] Franzluebbers A J, Wilkinson S R, Stuedemann J A. Bermudagrass Management in the Southern Piedmont, USA IX. Trace elements in soil with broiler litter application [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, **33**: 778 ~ 784.
- [14] Eghball B. Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, **94**: 128 ~ 135.
- [15] 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.
- [16] 刘凤枝. 农业环境监测实用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [17] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semivariogram [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1982, **46**: 1028 ~ 1032.
- [18] Strahm B D, Harrison R B, Terry T A, *et al.* Soil solution nitrogen concentrations and leaching rates as influenced by organic matter retention on a highly productive Douglas-fir site [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, **218**(1 ~ 3): 74 ~ 88.
- [19] Hooda P S, Truesdale V W, Edwards A C, *et al.* Manuring and fertilization effects on phosphorus accumulation in soils and potential environmental implications [J]. *Advances in Environmental Research*, 2001, **5**(1): 13 ~ 21.
- [20] http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/x5303e/x5303e00.htm
- [21] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 有机肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. *土壤与环境*, 2000, **9**(3): 197 ~ 200.
- [22] Boesch D F, Brinsfield R B, Magnien R E. Chesapeake Bay eutrophication: scientific understanding, ecosystem restoration, and challenges for agriculture [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, **30**(2): 303 ~ 320.
- [23] 杨浩文, 钟秀英. 洪水期珠江三角洲网河区水质污染状况分析[J]. *广东水利水电*, 2001(增刊): 52 ~ 53, 58.
- [24] 刘玉, Vermaatj E, Ruyier E D, 等. 珠江、流溪河大型底栖动物分别和氮磷因子的相关分析[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2003, **42**(1): 95 ~ 99.
- [25] 贾晓珊, 徐昕荣, 李适宇, 等. 珠江流域河网底泥的氮磷污染特征及释放机理[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2005, **44**(2): 107 ~ 110.
- [26] 杨科明, 刘向宣, 邓寿平. 珠江水系主干东江博罗县段水源水质分析[J]. *华南预防医学*, 2005, **31**(4): 77.
- [27] 林洪瑛, 韩舞瑛. 珠江口伶仃洋枯水期十年前后的水质状况与评价[J]. *海洋环境科学*, 2001, **20**(2): 28 ~ 31.
- [28] 王汉奎, 黄良民, 黄小平, 等. 珠江口海域条纹环沟藻赤潮的生消过程和环境特征[J]. *热带海洋学报*, 2003, **22**(5): 55 ~ 62.
- [29] 朱小山, 易斌, 董燕红, 等. 珠江口赤湾一次双相赤潮成因初探[J]. *海洋环境科学*, 2004, **23**(4): 41 ~ 44.
- [30] 吴志峰, 卓慕宁, 王继增, 等. 珠海正坑小流域土壤与氮、磷养分流失估算[J]. *水土保持学报*, 2004, **18**(1): 100 ~ 102, 114.
- [31] 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, **11**(6): 822 ~ 829.
- [32] Bolan N S, Adriano D C, Mahimairaja S. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2004, **34**(3): 291 ~ 338.