

连续施用鸡粪与鸽粪土壤次生盐渍化风险研究*

姚丽贤 李国良 何兆桓 付长营

(广东省农业科学院土壤肥料研究所 广东省养分循环利用与耕地保育重点实验室 广州 510640)

摘要 试验研究连续施用鸡、鸽粪对菜心土壤盐分累积的影响,结果表明:在旱季施用 3 茬鸡、鸽粪后,各处理土壤水溶盐浓度明显提高,土壤从轻盐化变为中盐化, K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 均在土壤明显累积,且 K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 浓度增量随鸡、鸽粪用量提高而明显或显著提高,各处理土壤 pH 下降 0.04~0.19。施用 6 茬鸡、鸽粪后,由于后 3 茬经历强降雨,各处理水溶盐和 Ca^{2+} 浓度比试验前明显下降,但施用鸡、鸽粪处理 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 浓度仍较试验前有所提高,各处理土壤 pH 提高 0.04~0.31。在华南多雨地区,连续施用集约化养殖禽粪导致的土壤次生盐渍化危险仍然存在,建议在蔬菜生产上避免一次性大量施用或连续施用含盐量较高的禽粪肥。

关键词 连续施肥 禽粪 土壤盐分 次生盐渍化 pH

Risk potential of secondary soil salinization by repeated application of chicken and pigeon manure. YAO Li-Xian, LI Guo-Liang, HE Zhao-Huan, FU Chang-Ying (Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Soil & Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China), *CJEA*, 2007, 15 (5): 67~72

Abstract Six consecutive field trials of *Brassica parachinensis* were conducted to evaluate risk potential of secondary soil salinization by successive application of chicken and pigeon manure from intensive poultry farms. It is noted that soil total soluble salt (TSS) concentration rises from low to medium levels by fertilization after the third crop during the dry season. K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} and Cl^- markedly accumulate in the soil with increased salt concentrations while, K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} and Cl^- concentrations are elevated as chicken and pigeon manure application rates increase. Meanwhile, soil pH decreases by 0.04~0.19. After the sixth crop, there is an obvious reduction in soil TSS and Ca^{2+} concentration compared to their original levels before the trials, a phenomenon ascribed to leaching from heavy precipitation during the latter three crops. Nevertheless, K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} and Cl^- continue to accumulate in the soil from chicken and pigeon manure application. Soil pH increases in the range of 0.04~0.31. Hence, secondary soil salinization probably occurs by successive poultry manure application, which is true even in south China. Heavy application at a time or repeated application of poultry manure from intensive poultry farms should be avoided in vegetable production to prevent secondary soil salinization.

Key words Successive fertilization, Animal manure, Soil salinity, Secondary salinization, pH

(Received Oct. 3, 2006; revised Dec. 26, 2006)

现代饲料工业普遍使用各种添加剂和采用最大限度促进禽畜生产的饲料配方,集约化养殖禽畜粪与传统养殖的相比已发生很大变化。集约化养殖禽粪不但含有更高的 N、P、K 等养分^[1],还含有较高含量的 Cu、Zn 和 As 等重金属^[1,8,9]及盐分^[1],目前国际上对禽粪养分流失造成的 N、P 污染已有广泛关注^[10~12],对禽粪中残留的重金属添加剂如 As^[13,14]、Cu 和 Zn^[15,16]等的行为也已进行深入研究,但禽畜粪对作物和土壤产生盐分胁迫的深入研究并不多^[16~18]。Omeira 等^[19]比较了来自不同品种及生产系统的鸡粪的 pH 和电导率,认为施用高电导率鸡粪可能使土壤产生次生盐渍化。前期研究指出,养殖场鸡粪盐分在 21.1~100.9g/kg 之间,平均 49.0g/kg,鸽粪为 28.8~89.3g/kg,平均高达 60.3g/kg,猪粪相对较低,在 9.5~35.0g/kg 之间,平均 20.6g/kg^[1]。目前国际上禽畜粪用量仍通常按传统用量或按禽畜粪的含 N 量计算。近年来国外由于禽畜粪会造成 P 污染而提倡按其含 P 量来计算用量^[20],极少考虑到禽畜粪的盐分问题。我国传统上一直把禽畜粪作为优质有机肥而提倡长期施用,国内研究指出施用动物粪肥提高了大棚土壤的盐分^[2],但对于华南降雨充沛地区则缺乏研究。为此进行了连续 6 茬施用养殖场鸡粪和鸽粪菜心田间试验,

* 广东省科技攻关项目(2005B20801008)及广东省农业科学院科技攻关项目(2004-攻关-20B)资助

根据含 N 量计算鸡粪和鸽粪用量,探讨华南多雨地区施用鸡、鸽粪对土壤盐分累积的影响,为养殖场禽粪肥的合理安全施用提供参考。

1 研究区域概况与研究方法

于 2004 年 10 月至 2005 年 7 月在广州市花都区三东菜场连续进行 6 茬菜心 (*Brassica parachinensis*) 施用鸡、鸽粪试验。供试土壤为菜园土,成土母质为河流冲积物,质地为粉壤土,土壤 pH 7.62,有机质含量 20.8g/kg,有效氮、磷、钾分别为 145.6mg/kg、173.2mg/kg 和 385.7mg/kg。

表 1 试验处理

Tab.1 Experimental treatments

序号 No.	处理 Treatment	代号 Code
1	常量无机肥	IF
2	鸡粪 1(N 450kg/hm ²)	CM1
3	鸡粪 2(N 225kg/hm ²) + 常量无机肥	CM2 + IF
4	鸡粪 3(N 112.5kg/hm ²) + 常量无机肥	CM3 + IF
5	鸡粪 4(N 56.25kg/hm ²) + 常量无机肥	CM4 + IF
6	鸽粪 1(N 450kg/hm ²)	PM1
7	鸽粪 2(N 225kg/hm ²) + 常量无机肥	PM2 + IF
8	鸽粪 3(N 112.5kg/hm ²) + 常量无机肥	PM3 + IF
9	鸽粪 4(N 56.25kg/hm ²) + 常量无机肥	PM4 + IF

试验设 9 个处理,每处理鸡、鸽粪施用量见表 1,每个处理 3 次重复,随机区组排列,每小区 11m²。由于每茬试验菜心品种不尽相同,且生长季节及生育期不同,各茬无机氮肥用量分别为 75kg/hm²、135kg/hm²、45kg/hm²、225kg/hm²、112.5kg/hm² 及 67.5kg/hm²。每茬 N、P、K 肥分别按 N:P₂O₅:K₂O=1:0.4:0.8 比例施入。供试无机肥为广东省农业科学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%,含 Ca 20.4%、Mg 0.60%、S 1.46%,水溶性 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、Cl⁻ 分别为 101.6g/kg、5.6g/kg、2.79g/kg、0.15g/kg、27.9g/kg、101.1g/kg。

供试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 N 含量,按表 1 计算每茬鸡、鸽粪用量。CM1 和 PM1 处理鸡、鸽粪 1/2 用作基肥,1/2 作追肥一次施入,其他处理鸡、鸽粪全部作基肥施入。

表 2 鸡粪与鸽粪主要物质含量

Tab.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	水溶盐/g·kg ⁻¹	K ⁺ /mg·kg ⁻¹	Na ⁺ /mg·kg ⁻¹	Ca ²⁺ /mg·kg ⁻¹	Mg ²⁺ /mg·kg ⁻¹	SO ₄ ²⁻ /mg·kg ⁻¹	Cl ⁻ /mg·kg ⁻¹
Manure	Moisture	Total N	Total P	Total K	Total soluble salt	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹
鸡粪	8.3	34.8	11.3	18.8	42.3	12.0	5.0	2.0	0.5	10.4	7.1
鸽粪	12.3	38.9	10.5	18.7	29.7	13.9	2.3	2.4	0.7	4.9	6.2

试验开始前在每小区采集第 1 批土样,采土深度 25cm,每小区之字形采集 8 钻土,充分混匀后作为 1 个小区土样,剔除植物残渣,风干,过 1mm 筛。每茬试验均种植菜心,收获后在原小区整地种植下一茬菜心。分别第 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。土壤水溶盐采用质量法测定,K⁺ 和 Na⁺ 采用火焰光度法测定,SO₄²⁻ 用 BaSO₄ 比浊法测定,Cl⁻ 用 AgNO₃ 滴定法测定,Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 用原子吸收分光光度法测定,CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 用双指示剂中和法测定^[3]。用 Excell 和 SAS 软件进行数据处理和统计。

2 结果与分析

2.1 不同处理与茬别土壤水溶盐浓度变化

由表 3 可知,各试验小区土壤原始水溶盐浓度存在差异,这是由土壤特性存在天然空间变异所致^[21]。根据我国滨海地区土壤盐渍化划分指标^[4],试验小区土壤因多年种植蔬菜已属轻盐化,这在连续多年种植蔬菜的土壤上较为普遍^[5]。本试验所用鸡粪和鸽粪均含较高盐分,连续种植 3 茬后所有处理土壤水溶盐浓度均有提高,浓度增量在 1.407~2.043g/kg 间。其中,所有单施或配施鸡、鸽粪处理均比单施无机肥处理显著提高了水溶盐浓度,达到中盐化。且土壤水溶盐浓度增量表现出随鸡、鸽粪用量提高而增加的趋势。但种植 6 茬菜心后所有处理土壤水溶盐比试验前明显下降,单施无机肥处理水溶盐浓度降幅大于施用鸡粪处理,显著大于施用鸽粪处理,这与鸽粪水溶盐含量高于鸡粪有关。

不同茬别土壤水溶盐浓度变化与试验期间的降雨水平有直接关系。根据广州国际专业气象台统计资料,试验第 1~3 茬期间(2004 年 10 月~2005 年 1 月)广州地区降雨量仅为 16.1mm,而第 4~6 茬期间(2005 年 2~7 月)遭遇长时间强降雨,总降雨量达 1355.7mm,日最大降雨量达到 109.9mm。前 3 茬极低的降雨量造成施肥带入的盐分在土壤中累积,但后 3 茬长时间的强降雨则把土壤盐分脱去,连续施肥导致的土壤次生盐渍化进程被显著减缓,但所有施用鸡、鸽粪处理仍比单施无机肥处理相对累积了更多的盐分。由

于广州地区雨量集中且雨季明显短于旱季,长期连续施用鸡、鸽粪导致土壤次生盐渍化的危险仍然存在。另外,被降雨淋洗的盐分可向下运输至地下水,引起水质恶化^[18]。广州地区年降雨量在1800~2200mm间,被降雨淋洗的大量盐分对地下水的影响尚有待进一步的研究。建议目前蔬菜生产中避免一次性大量施用或连续施用盐分含量较高的养殖场禽粪。

表3 不同处理和茬别土壤水溶盐浓度变化*

Tab.3 Changes of soil soluble salt concentrations with various crops under different treatments

处 理	原始浓度/g·kg ⁻¹	Δ浓度 1/g·kg ⁻¹	Δ浓度 2/g·kg ⁻¹	处 理	原始浓度/g·kg ⁻¹	Δ浓度 1/g·kg ⁻¹	Δ浓度 2/g·kg ⁻¹
Treatment	Original conc.	ΔConc. 1	ΔConc. 2	Treatment	Original conc.	ΔConc. 1	ΔConc. 2
IF	1.540	1.407	-1.173	IF	1.540	1.407	-1.173b
CM1	1.987	1.807	-1.070	PM1	1.610	1.857	-0.217a
CM2+IF	1.787	1.807	-0.807	PM2+IF	1.637	2.043	-0.640a
CM3+IF	1.587	1.640	-0.660	PM3+IF	1.568	1.748	-0.398a
CM4+IF	1.570	1.547	-0.957	PM4+IF	1.525	1.505	-0.648a

* Δ浓度 1=第3茬土样水溶盐浓度-土样水溶盐原始浓度,Δ浓度 2=第6茬土样水溶盐浓度-土样水溶盐原始浓度,同列数据后字母不相同者为差异显著($P<0.05$),下同。

2.2 不同处理与茬别土壤盐分阳离子浓度变化

本试验所用鸡、鸽粪均含有较高含量的K⁺。表4表明,施用无机肥带入土壤的K⁺明显低于单施鸡粪和鸽粪处理带入的K⁺,鸡粪和鸽粪单施或与无机肥配施,连续施用3茬后土壤K⁺浓度均大幅提高。整体来看,土壤K⁺浓度增量与鸡、鸽粪用量均存在显著正相关关系[$y=0.5369x(\text{CM})+87.44, R^2=0.8615^*$; $y=0.3895x(\text{PM})+95.57, R^2=0.8792^*$]。连续施用6茬后,经过后3茬强降雨的淋洗,配施相对低量鸡粪和鸽粪处理土壤K⁺浓度比试验前有所下降,但配施相对高量处理K⁺浓度仍有提高,且K⁺浓度增量仍随鸡、鸽粪用量的提高而显著提高[$y=0.3234x(\text{CM})-45.464, R^2=0.9769^{**}$; $y=0.2552x(\text{PM})-53.513, R^2=0.8909^*$]。换言之,不论在旱季或雨季,由于鸡、鸽粪K⁺含量较高,连续施用鸡粪和鸽粪均显著促进了K⁺在土壤的累积。

表4 不同处理和茬别土壤K⁺浓度的变化

Tab.4 Changes of soil K⁺ concentrations with various crops under different treatments

处 理	原始浓度/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 1/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 2/mg·kg ⁻¹	处 理	原始浓度/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 1/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 2/mg·kg ⁻¹
Treatment	Original conc.	ΔConc. 1	ΔConc. 2	Treatment	Original conc.	ΔConc. 1	ΔConc. 2
IF	158.3	61.7	-56.1d	IF	158.3	61.7c	-56.1c
CM1	134.5	302.4a	100.5a	PM1	130.9	252.5a	70.5a
CM2+IF	147.6	246.8ab	20.2b	PM2+IF	164.3	206.7ab	-22.6bc
CM3+IF	122.6	192.9b	-1.2bc	PM3+IF	139.3	163.5abc	-11.9b
CM4+IF	138.1	86.4c	-17.9c	PM4+IF	159.5	122.1bc	-32.1bc

由表5可知,施用鸡粪处理土壤Na⁺浓度变化与土壤K⁺类似。连续施用3茬后,土壤Na⁺浓度增量与鸡粪用量呈极显著正相关关系($y=0.2172x+27.148, R^2=0.9838^{**}$)。经过后3茬的降雨淋洗,单施无机肥处理土壤Na⁺浓度下降,但施用鸡粪处理Na⁺浓度与试验前持平或有所提高,浓度增量与鸡粪用量间仍存在极显著正相关关系($y=0.0686x-5.6725, R^2=0.9843^{**}$)。这与Diez^[22]提出的施用高量猪粪比低量

表5 不同处理和茬别土壤Na⁺浓度的变化

Tab.5 Changes of soil Na⁺ concentrations with various crops under different treatments

处 理	原始浓度/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 1/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 2/mg·kg ⁻¹	处 理	原始浓度/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 1/mg·kg ⁻¹	Δ浓度 2/mg·kg ⁻¹
Treatment	Original conc.	ΔConc. 1	ΔConc. 2	Treatment	Original conc.	ΔConc. 1	ΔConc. 2
IF	30.2	29.0	-5.2	IF	30.2	29.0	-5.2
CM1	31.3	122.1	26.0	PM1	29.9	46.9	19.9
CM2+IF	29.9	83.4	8.7	PM2+IF	31.3	50.4	-2.8
CM3+IF	30.6	50.8	0.0	PM3+IF	29.2	40.1	-5.6
CM4+IF	26.4	33.7	0.0	PM4+IF	31.0	35.7	-7.4

猪粪或尿素显著提高了土壤 Na^+ 浓度的结果相近。由于鸽粪 Na^+ 含量明显低于鸡粪,施用 3 茬后土壤 Na^+ 浓度增量基本低于鸡粪处理,且与鸽粪用量间的关系也未达显著水平,但施用 6 茬后两者则表现有显著正相关关系($y=0.059x-10.173, R^2=0.8519^{**}$)。表明即使鸽粪 Na^+ 含量较低,连续施用也会造成 Na^+ 的累积。

由表 6 可知,连续种植 3 茬后,所有处理 Ca^{2+} 浓度均明显提高。其中所有鸡粪或鸽粪与无机肥配施处理 Ca^{2+} 浓度均明显高于单施鸡粪或鸽粪处理,这是因为鸡、鸽粪的 Ca^{2+} 含量很低,而本试验所用无机肥以石粉为填充料(成分为 CaCO_3),含 Ca 量高达 20.4%,施入土壤后 CaCO_3 逐渐转化为 Ca^{2+} 而使土壤 Ca^{2+} 浓度提高。由于 Ca^{2+} 在土壤的吸附能力低于 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 H^{+} ^[6],相对更易被淋洗,因此种植 6 茬后所有处理在前 3 茬累积的 Ca^{2+} 全部被强降雨洗脱,而且土壤原有部分 Ca^{2+} 也被淋洗出去而使浓度比试验前降低。另外,6 茬后处理间 Ca^{2+} 浓度未表现出明显规律,可能是后 3 茬降雨量太大而掩盖了处理间的差异所致。

表 6 不同处理和茬别土壤 Ca^{2+} 浓度的变化

Tab.6 Changes of soil Ca^{2+} concentrations with various crops under different treatments

处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Treatment	Original conc.	Δ Conc.1	Δ Conc.2	Treatment	Original conc.	Δ Conc.1	Δ Conc.2
IF	615.7	581.0	-34.3	IF	615.7	581.0	-34.3
CM1	606.3	292.4	-80.2	PM1	656.9	247.3	-45.5
CM2+IF	586.1	598.9	-85.5	PM2+IF	770.4	413.5	-149.0
CM3+IF	545.0	583.2	-40.1	PM3+IF	663.2	539.8	-9.4
CM4+IF	625.6	528.3	-16.1	PM4+IF	639.2	736.6	-2.9

由表 7 可知,即使鸡粪、鸽粪和无机肥含 Mg 量均很低,但施用 3 茬后所有处理土壤 Mg^{2+} 浓度明显提高,其中施用鸡粪和鸽粪处理 Mg^{2+} 浓度增量明显或显著高于单施无机肥处理。种植 6 茬后,除单施无机肥处理 Mg^{2+} 浓度下降外,所有施用鸡粪和鸽粪处理 Mg^{2+} 浓度均提高,整体上所有处理 Mg^{2+} 浓度增量随鸡、鸽粪用量增加而显著提高[$y=0.0292x(\text{CM})-1.36, R^2=0.9041^*$; $y=0.0467x(\text{PM})-1.455, R^2=0.9798^{**}$]。表明 Mg^{2+} 在土壤中的吸附能力较强,即使经过强降雨的淋洗,主要来自鸡粪和鸽粪的 Mg^{2+} 仍可在土壤累积。

表 7 不同处理和茬别土壤 Mg^{2+} 浓度的变化

Tab.7 Changes of soil Mg^{2+} concentrations with various crops under different treatments

处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Treatment	Original conc.	Δ Conc.1	Δ Conc.2	Treatment	Original conc.	Δ Conc.1	Δ Conc.2
IF	14.0	6.9b	-2.6b	IF	14.0	6.9	-2.6c
CM1	13.2	20.0a	12.4a	PM1	12.6	18.6	19.8a
CM2+IF	12.9	23.9a	3.2b	PM2+IF	13.7	22.3	7.7b
CM3+IF	11.2	15.6ab	2.2b	PM3+IF	12.4	12.1	4.9bc
CM4+IF	12.7	7.8b	2.6b	PM4+IF	12.7	14.4	2.3bc

2.3 不同处理与茬别土壤盐分阴离子浓度变化

由于鸡、鸽粪及无机肥均含有 SO_4^{2-} ,由表 8 可知,种植 3 茬后所有处理土壤 SO_4^{2-} 浓度大幅度提高,整体上土壤 SO_4^{2-} 浓度有随鸡、鸽粪用量增加而提高的趋势。种植 6 茬后,经强降雨淋洗,单施无机肥和配施

表 8 不同处理和茬别土壤 SO_4^{2-} 浓度的变化

Tab.8 Changes of soil SO_4^{2-} concentrations with various crops under different treatments

处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Treatment	Original conc.	Δ Conc.1	Δ Conc.2	Treatment	Original conc.	Δ Conc.1	Δ Conc.2
IF	179.5	112.8	-71.6	IF	179.5	112.8	-71.6
CM1	175.3	308.6	95.2	PM1	190.5	169.1	23.1
CM2+IF	187.1	274.8	52.6	PM2+IF	190.7	207.9	31.2
CM3+IF	128.8	302.4	62.7	PM3+IF	173.6	103.8	-9.9
CM4+IF	170.2	155.5	-17.4	PM4+IF	184.0	123.3	-47.8

最低量鸡粪处理 SO_4^{2-} 浓度比试验前下降,但单施鸡粪和其他 3 个配施相对高量鸡粪处理仍有提高。鸽粪 SO_4^{2-} 含量明显低于鸡粪,施用 3 茬及 6 茬后在土壤的累积量均低于鸡粪处理,但 SO_4^{2-} 浓度增量也有随鸡粪用量增加而提高的趋势。施用 6 茬后单施鸽粪和配施最高量鸽粪处理土壤出现 SO_4^{2-} 的累积。

由表 9 可知种植 3 茬后所有处理 Cl^- 浓度约 3~9 倍于试验前浓度,是所有盐分离子中浓度增幅最大的一种离子。本试验所用无机肥含有几乎等量的 K^+ 和 Cl^- ,鸡粪和鸽粪 K^+ 含量约为 Cl^- 的两倍,但 K^+ 是作物正常发育所必需的大量营养元素而 Cl^- 是微量营养元素,故施用鸡粪和鸽粪有利于 Cl^- 在土壤中的累积。其中单施鸡粪和配施最高量鸡粪处理 Cl^- 浓度增量显著高于单施无机肥处理。除单施鸡粪处理外,其他施用鸡粪处理土壤 Cl^- 浓度增量与鸡粪用量呈显著正相关关系 ($y=0.8325x+119.68$, $R^2=0.9043^*$),但施鸽粪处理 Cl^- 浓度增量与鸽粪用量间关系则未达显著水平。种植 6 茬后,所有处理土壤虽经强降雨淋洗仍出现 Cl^- 的累积,但处理间累积规律不明显。

表 9 不同处理和茬别土壤 Cl^- 浓度的变化

Tab.9 Changes of soil Cl^- concentrations with various crops under different treatments

处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	处 理	原始浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 1/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Δ 浓度 2/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Treatment	Original conc.	$\Delta\text{Conc.1}$	$\Delta\text{Conc.2}$	Treatment	Original conc.	$\Delta\text{Conc.1}$	$\Delta\text{Conc.2}$
IF	34.3	148.1b	7.1	IF	34.3	148.1	7.1
CM1	46.2	305.3a	8.0	PM1	42.8	191.5	30.6
CM2+IF	35.6	322.1a	1.7	PM2+IF	43.8	205.0	23.7
CM3+IF	23.7	196.4ab	13.0	PM3+IF	52.1	141.0	16.7
CM4+IF	23.7	139.9b	17.7	PM4+IF	42.0	176.3	25.4

2.4 不同处理与茬别土壤 pH 变化

由表 10 可知,种植 3 茬菜心后所有处理土壤 pH 下降 0.04~0.19,但处理间差异无明显规律。表明连续施用无机肥或禽粪肥,由于盐分的累积均可能导致土壤酸化。种植 6 茬后所有处理土壤 pH 提高 0.04~0.31,但处理间仍未表现出明显规律。根据前面水溶盐浓度变化,后 3 茬的强降雨把土壤盐分、尤其是 Ca^{2+} 强烈脱去,是造成第 6 茬后土壤 pH 上升的真正原因^[7]。

表 10 不同处理和茬别土壤 pH 变化*

Tab.10 Changes of soils pH with various crops under different treatments

处 理	原始值	ΔpH1	ΔpH2	处 理	原始值	ΔpH1	ΔpH2
Treatment	Original pH			Treatment	Original pH		
IF	7.62	-0.06	0.20	IF	7.62	-0.06	0.20
CM1	7.58	-0.04	0.19	PM1	7.57	-0.04	0.26
CM2+IF	7.50	-0.07	0.31	PM2+IF	7.58	-0.04	0.18
CM3+IF	7.75	-0.19	0.12	PM3+IF	7.61	-0.05	0.12
CM4+IF	7.70	-0.13	0.04	PM4+IF	7.65	-0.11	0.05

* ΔpH1 = 第 3 茬土样 pH - 原始 pH, ΔpH2 = 第 6 茬土样 pH - 原始 pH。

3 讨 论

盐分是世界上盐/碱土地限制作物生产和生态环境质量的主要土壤障碍因子之一^[23],过量的盐分对土壤理化性质、微生物活性及植物生产均有不良影响^[24~26],盐分与 NP 污染、农药、病原物等被同样视为农业非点源污染源之一^[27]。从本试验结果看,连续施用鸡粪和鸽粪导致土壤水溶盐提高是由于鸡、鸽粪带入大量盐分离子所致,这与前人观点一致^[28]。集约化养殖鸡、鸽和猪粪的盐分组成主要为 K、Na 的硫酸盐和氯化物^[1]。在旱季施用 3 茬鸡粪和鸽粪后,土壤次生盐渍化作用明显, K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- ,尤其是 Cl^- 在土壤中大量累积,即使经过后 3 茬强降雨淋洗,这 4 种离子仍有累积。若长期施用此类禽粪,带入的盐分离子将对土壤盐分离子结构产生明显影响。因此华南多雨地区连续施用含盐量较高的集约化养殖禽粪发生土壤次生盐渍化的危险仍然存在,建议在蔬菜生产上避免一次性大量施用或连续施用含盐量较高的禽粪肥。

参 考 文 献

- 1 姚丽贤,李国良,党志.集约化养殖禽畜粪中主要化学物质调查.应用生态学报,2006,17(10):1989~1992
- 2 夏立忠,李忠佩,杨林章.大棚栽培番茄不同施肥条件下土壤养分和盐分组成与含量的变化.土壤,2005,37(6):620~625
- 3 鲁如坤.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科技出版社,2000.87~98
- 4 熊毅,李庆远.中国土壤(第2版).北京:科学出版社,1990.242~243
- 5 王辉,董元华,安琼,等.高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究——以南京市南郊为例.土壤,2005,37(5):530
- 6 张芸,吕宪国,杨青.三江平原典型湿地水化学性质研究.水土保持学报,2005,19(1):184~187
- 7 陈巍,陈邦本,沈其荣.滨海盐土脱盐过程中 pH 变化及碱化问题研究.土壤学报,2000,37(4):521~528
- 8 Cang L., Wang Y. J., Zhou D. M., *et al.* Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province. *Journal of Environmental Science*, 2004, 16(3): 371~374
- 9 Li Y. X., Chen T. B. Concentrations of additive arsenic in Beijing pig feeds and the residues in pig manure. *Resources, Conservation and Recycling*, 2005, 45(4): 356~367
- 10 Williams P. E. V. Animal production and European pollution problems. *Animal Feed Science and Technology*, 1995, 53(2): 135~144
- 11 Mantovi P., Fumagalli L., Beretta G. P., *et al.* Nitrate leaching through the unsaturated zone following pig slurry applications. *Journal of Hydrology*, 2006, 316(1/4): 195~212
- 12 Almasri M. N., Kaluarachchi J. J. Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds. *Journal of Hydrology*, 2004, 295(1/4): 225~245
- 13 Garbarino J. R., Bednar A. J., Rutherford D. W., *et al.* Environmental fate of roxarsone in poultry litter. I. Degradation of roxarsone during composting. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, 37(8): 1509~1514
- 14 Bednar A. J., Garbarino J. R., Ferrer I., *et al.* Photodegradation of roxarsone in poultry litter leachates. *Sci. Total Environ.*, 2003, 302(1/3): 237~245
- 15 Kingery W. L., Wood C. W., Delaney D. P., *et al.* Impact of long-term application of broiler litter on environmentally related soil properties. *J. Environ. Qual.*, 1994, 23(1): 139~147
- 16 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. *Chemosphere*, 2005, 59(2): 167~175
- 17 Eghball B., Power J. F. Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. *Agronomy Journal*, 1999, 91(5): 819~825
- 18 Darwish T., Atallah T., Moujabber M. El., *et al.* Salinity evolution and crop response to secondary soil salinity in two agro-climatic zones in Lebanon. *Agricultural Water Management*, 2005, 78(1/2): 152~164
- 19 Omeira N., Barbour E. K., Nehme P. A., *et al.* Microbiological and chemical properties of litter from different chicken types and production systems. *Science of the Total Environment*, 2006, 367(1): 156~162
- 20 Eghball B. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Agronomy Journal*, 2002, 94(1): 128~135
- 21 Yost R. S., Uehara G., Fox R. L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semivariograms. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982, 46: 1028~1032
- 22 Diez J. A., De La Torre A. I., Cartagena M. C., *et al.* Evaluation of the application of pig slurry to an experimental crop using agronomic and ecotoxicological approaches. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(6): 2165~2172
- 23 Liang Y., Nikolic M., Peng Y., *et al.* Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biol. Biochem.*, 2005, 37(6): 1185~1195
- 24 Tejada M., Gonzalez J. L. Beet vinasse applied to wheat under dryland conditions affects soil properties and yield. *Europ. J. Agron.*, 2005, 23(4): 336~347
- 25 Garcia C., Hernandez T. Influence of salinity on the biological and biochemical activity of a calciorthird soil. *Plant and Soil*, 1996, 178(2): 255~263
- 26 Rietz D. N., Haynes R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biol. Biochem.*, 2003, 35(6): 845
- 27 Shortle J. S., Abler D. G., Ribaud M. Agriculture and water quality: the issues. *Environmental Policies for Agricultural Pollution Control*. New York: CABI Publishing, 2000. 1~18
- 28 Wong J. W. C., Ma K. K., Fang K. M., *et al.* Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. *Bioresour. Technol.*, 1999, 67(1): 43~46