

# 集约化养殖畜禽粪便农用对土壤次生盐渍化的影响评估

王辉<sup>1,2,3</sup>, 董元华<sup>1,2,3\*</sup>, 张绪美<sup>1,2,3</sup>, 李德成<sup>1,2</sup>, 安琼<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 针对畜禽粪便中盐分残留问题, 在江苏省采集分析了 180 个粪便样品, 通过基于 GIS 的空间分析与基于土壤盐分累积模型的模拟预测, 评估了粪便农用对土壤次生盐渍化的潜在影响. 结果表明, 江苏省目前畜禽粪便中盐分含量较高, 最高(以干粪计)达  $24.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; 南通、盐城、连云港等沿海地区与徐州、宿迁、淮安等徐淮地区为畜禽粪便农用造成土壤次生盐渍化的高风险区; 施用畜禽粪便对露天种植的土壤次生盐渍化没有显著影响, 而对温室土壤影响较大, 在畜禽粪便盐分含量较高(以干粪计,  $24.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 中、高施肥量条件下[以干粪计,  $65 \sim 100 \text{ t} / (\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ], 施用纯有机肥 2 ~ 8 a 温室土壤盐分含量增加  $1.0 \sim 2.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 土壤可达轻度、中度甚至强度盐渍化土程度.

**关键词:** 畜禽粪便农用; 土壤次生盐渍化; 影响评估

中图分类号: X825 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)01-0183-06

## Risk of Soil Salinisation by Application of Concentrated Animal Manures

WANG Hui<sup>1,2,3</sup>, DONG Yuan-hua<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Xu-mei<sup>1,2,3</sup>, LI De-cheng<sup>1,2</sup>, AN Qiong<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Joint Laboratory on Soil and Environment, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences-Hongkong Baptist University (ISSAS-HKBU), Nanjing 210008, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The salt content in 180 samples of concentrated animal manures collected in Jiangsu Province was analyzed and the risk of soil salinisation by the application of manures was evaluated by the methods of spatial analysis on GIS and simulating prediction on the accumulation model of salt in soil. The salt content in animal manures was high, with the highest value of  $24.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (dry weight). The risk of potential soil salinisation might exist in the coastal region such as Nantong, Yancheng, Lianyungang and the Xuhuai region such as Xuzhou, Suqian, Huaian with the application of animal manures. There was nearly no risk of salinisation by the application of animal manures on the open-field soil, but was obvious influence on the greenhouse soil, the salt content in the greenhouse soil increased by  $1.0 \sim 2.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  after  $65 \sim 100 \text{ t} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$  dry animal manure with the salt content of  $24.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  was applied for 2 ~ 8 a, which might cause mild, moderate or strong soil salinisation.

**Key words:** animal manures application; soil salinisation; risk evaluation

中国养殖业在改革开放后迅速发展, 呈现出 2 个重要特点: 一是向规模化和集约化方向发展<sup>[1]</sup>, 二是饲料添加剂的广泛使用<sup>[2]</sup>. 但随之而来的畜禽粪便污染问题日趋严重, 2003 年全国畜禽粪便产生量约 31.9 亿 t, 超过农业废弃物的 60%, 是工业废弃物的 3.2 倍<sup>[3,4]</sup>, 且由于大量添加剂的使用, 粪便中重金属等污染物对土壤与环境以及食品安全等构成了威胁<sup>[5~7]</sup>.

过度施用化肥是导致我国农田土壤次生盐渍化和制约农业可持续发展的重要因素之一<sup>[8]</sup>, 减少化肥投入、增施有机肥成为改良农业土壤的重要途径之一<sup>[9]</sup>. 畜禽粪便在我国一直被当作安全、高效的有机肥施用, 但其盐分含量却一直没有得到足够的重视<sup>[10]</sup>. 近期的研究表明目前畜禽粪便含有较高的盐

分<sup>[11,12]</sup>, 但其农用风险方面的研究报道甚少<sup>[7, 10]</sup>. 因此, 以江苏省为例, 本研究对畜禽粪便农用可能造成的土壤次生盐渍化问题进行了预测评估.

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与分析

江苏省集约化养殖以猪、奶牛、鸡为主<sup>[13]</sup>, 本研究在全省 13 个地市分别选择了具有代表性的猪、奶牛、鸡集约化养殖场, 每个养殖场采集 1 个混合新鲜

收稿日期: 2007-05-11; 修订日期: 2007-09-11

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD10B05); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-435, KZCX2-YW-N-51-02, ISSASIP0606); 江苏省自然科学基金项目(BK2006254)

作者简介: 王辉(1971~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为畜禽粪便及其有机肥的无害化, E-mail: hwang@issas.ac.cn

\* 通讯联系人, E-mail: yhdong@issas.ac.cn

粪样 3 ~ 5 kg, 共计在全省 150 家养殖场采集到 180 个粪样, 包括 35 个牛粪、80 个猪粪、65 个鸡粪. 样品保持原有组成、自然风干后, 粉碎过 1 mm 筛, 用电导率法测定盐分含量<sup>[14]</sup>.

1.2 数据获取与处理

1.2.1 畜禽粪便排盐量与盐分农田负荷量计算

畜禽粪便排盐量采用如下公式计算:

$$W = \sum XT \tag{1}$$

式中,  $W$  为畜禽粪便排盐量( $t \cdot a^{-1}$ );  $X$  为各类畜禽粪便年排泄量(以干粪计, 下同,  $t \cdot a^{-1}$ ),  $T$  为各类畜禽粪便盐分含量(以干粪计, 下同,  $g \cdot kg^{-1}$ ); 其中, 各类畜禽粪便年排泄量采用文献<sup>[15]</sup>方法计算, 江苏省各地市畜禽养殖量数据由江苏省农业调查局提供.

畜禽粪便盐分农田负荷量采用如下公式计算<sup>[15]</sup>:

$$Y = W/S = \sum XT/S \tag{2}$$

式中,  $Y$  为畜禽粪便盐分农田负荷量 [ $t \cdot (hm^2 \cdot a)^{-1}$ ];  $W$  为畜禽粪便排盐量( $t \cdot a^{-1}$ );  $S$  为有效耕地面积( $hm^2$ ), 数据来源为江苏省历年《江苏统计年鉴》.

1.2.2 土壤次生盐渍化预测

畜禽粪便农用对土壤次生盐渍化的预测参考文献<sup>[16]</sup>, 采用以下公式计算:

$$Q_t = Q_0 + Q \times K(1 - K^t)/(1 - K) \tag{3}$$

式中,  $Q_t$  为某一利用年限土壤盐分含量 ( $g \cdot kg^{-1}$ ),  $t$  为利用年限(a),  $Q_0$  为土壤盐分本底值 ( $g \cdot kg^{-1}$ ),  $Q$  为每年随畜禽粪便农用带入土壤的盐分 [ $kg \cdot (hm^2 \cdot a)^{-1}$ ],  $K$  为土壤盐分残留率(%).

江苏省南通、盐城、连云港等沿海地区(盐渍土面积 > 70%)和徐州、宿迁、淮安等徐淮地区(盐渍土面积 10% ~ 30%)分布有大面积的盐渍土(土壤含盐量 > 1  $g \cdot kg^{-1}$ ), 其他地区为非盐渍土(土壤盐分含量大都 < 0.1  $g \cdot kg^{-1}$ )<sup>[14]</sup>, 因此式(3)计算中  $Q_0$  选择了 2 种土壤盐分背景值, 即 1  $g \cdot kg^{-1}$  和 0.1  $g \cdot kg^{-1}$ .

式(3)中每年随畜禽粪便农用带入土壤的盐分  $Q$  采用公式:  $Q =$  畜禽粪便施用量 [ $t \cdot (hm^2 \cdot a)^{-1}$ ]  $\times$  盐分含量 ( $g \cdot kg^{-1}$ )/单位体积土壤重量 ( $kg \cdot hm^{-2}$ ) 计算. 由于不同土地利用方式畜禽粪便施用量不同, 本研究计算中分别选择了在江苏省具有代表性的大田作物、露天蔬菜地、温室大棚 3 种土地利用方式. 每种利用方式根据在江苏省各地的调查及参考相关文

献, 分别设计了 3 种粪便施用量. 畜禽粪便盐分含量选用本次调查结果的平均值(9.7  $g \cdot kg^{-1}$ )和最高值(24.2  $g \cdot kg^{-1}$ )计算.

土壤盐分残留率  $K$ , 参考相关文献及中国南方地区化学氮肥的土壤残留率<sup>[7, 17, 18]</sup>, 露天作物种植取 30%, 温室大棚取 70%.

相关数据处理与空间图件绘制在 Stat6.0 和 ARCGIS9.0 中进行, 图表在 EXCEL 中绘制.

2 结果与讨论

2.1 江苏省畜禽粪便中盐分含量

表 1 为江苏省 13 个地市畜禽粪便样品分析结果. 江苏省粪便样品盐分含量的平均值为 9.7  $g \cdot kg^{-1}$ , 范围介于 1.8 ~ 24.2  $g \cdot kg^{-1}$  之间, 但不同畜禽种类之间差异明显, 其中鸡粪的盐分含量平均值为 15.0  $g \cdot kg^{-1}$ , 显著高于猪粪(8.0  $g \cdot kg^{-1}$ )和牛粪(6.1  $g \cdot kg^{-1}$ )的盐分含量. 鸡粪的养分含量较高<sup>[11, 12]</sup>, 作为有机肥施用更受农民欢迎, 其对土壤次生盐渍化的威胁更大. 江苏省 13 个地市之间畜禽粪便盐分含量差异也较大, 猪粪的盐分含量盐城最高, 牛粪的含量苏州最高, 鸡粪的含量宿迁、淮安最高. 养殖过程中大量使用的饲料添加剂应是畜禽粪便中盐分的主要来源之一<sup>[12]</sup>.

2.2 江苏省畜禽粪便排盐量及其农田负荷量

图 1 为江苏省 13 个地市年均畜禽粪便排盐量及其农田负荷量. 江苏省畜禽粪便排盐量有 2 个较高的地区, 一个为南通、盐城等沿海地区, 另一个为徐州、淮安、宿迁等徐淮地区. 这 2 个地区, 不仅畜禽粪便中盐分含量较高(表 1), 而且养殖量较大, 粪便排泄量较多<sup>[13]</sup>, 导致该地区畜禽粪便排盐量较高. 江苏省畜禽粪便盐分农田负荷量与畜禽粪便排盐量具有类似的规律, 也呈现出 2 个较高的地区, 即盐城、南通等沿海地区和淮安、徐州、宿迁等徐淮地区, 泰州由于是 1997 年刚成立的地级市, 耕地面积较少, 养殖量相对较大, 导致盐分农田负荷较高.

江苏省的沿海地区(南通、盐城、连云港)和徐淮地区(徐州、宿迁、淮安)土壤与地下水中盐分(矿化度)含量较高, 本身就易受地下水高矿化度、水盐运动影响导致土壤次生盐渍化<sup>[14]</sup>, 较高的畜禽粪便排盐量与盐分农田负荷进一步加剧了本地区发生土壤次生盐渍化与污染地下水的风险; 同时, 这 2 个地区的地下水与盐渍土类型为氯化物-硫酸盐类型, 根据姚丽贤等<sup>[12]</sup>的研究结果, 畜禽粪便中的盐分主要为 K、Na 的硫酸盐和氯化物,  $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$  约占到盐分离子

表 1 江苏省各地市畜禽粪便盐分含量(干粪)/g·kg<sup>-1</sup>

Table 1 Salt contents of animal manures in various regions of Jiangsu Province (dry weight)/g·kg<sup>-1</sup>

| 地点                | 样本数 | 猪                | 牛                | 鸡                 | 平均值  | 最小值 | 最大值  | 标准差  | 变异系数 |
|-------------------|-----|------------------|------------------|-------------------|------|-----|------|------|------|
| 苏州                | 15  | 9.7              | 10.0             | 11.3              | 10.3 | 5.5 | 15.5 | 3.40 | 0.33 |
| 无锡                | 12  | 6.6              | 5.9              | 14.5              | 9.0  | 4.8 | 17.7 | 4.30 | 0.48 |
| 常州                | 14  | 8.3              | 5.0              | 13.9              | 9.0  | 4.0 | 17.1 | 4.48 | 0.50 |
| 南京                | 15  | 5.2              | 4.6              | 11.7              | 7.2  | 1.8 | 14.5 | 4.28 | 0.60 |
| 镇江                | 13  | 5.9              | 5.8              | 9.7               | 7.1  | 4.8 | 13.7 | 2.73 | 0.38 |
| 扬州                | 15  | 7.9              | 4.7              | 15.8              | 9.4  | 3.0 | 21.0 | 5.81 | 0.61 |
| 南通                | 15  | 9.0              | 5.1              | 14.0              | 9.4  | 3.8 | 24.2 | 5.35 | 0.57 |
| 泰州                | 14  | 6.9              | 6.3              | 19.1              | 10.8 | 5.3 | 20.8 | 6.43 | 0.60 |
| 盐城                | 15  | 11.0             | 7.5              | 11.5              | 10.0 | 7.2 | 14.3 | 2.15 | 0.22 |
| 连云港               | 15  | 9.9              | 4.7              | 15.4              | 10.0 | 4.0 | 22.6 | 5.80 | 0.58 |
| 徐州                | 12  | 8.1              | 5.8              | 17.9              | 10.6 | 4.0 | 21.0 | 5.37 | 0.51 |
| 宿迁                | 14  | 6.3              | 6.9              | 20.2              | 11.1 | 4.0 | 21.8 | 7.15 | 0.64 |
| 淮安                | 11  | 9.7              | 7.2              | 20.1              | 12.3 | 6.8 | 21.0 | 5.43 | 0.44 |
| 江苏省 <sup>1)</sup> | 180 | 8.0 <sup>a</sup> | 6.1 <sup>b</sup> | 15.0 <sup>c</sup> | 9.7  | 1.8 | 24.2 | 5.08 | 0.52 |

1)LSD 差异性统计在江苏省猪粪、牛粪、鸡粪之间进行,相同字母或数字表示没有差异性,不同字母表示差异性显著, $p < 0.05$

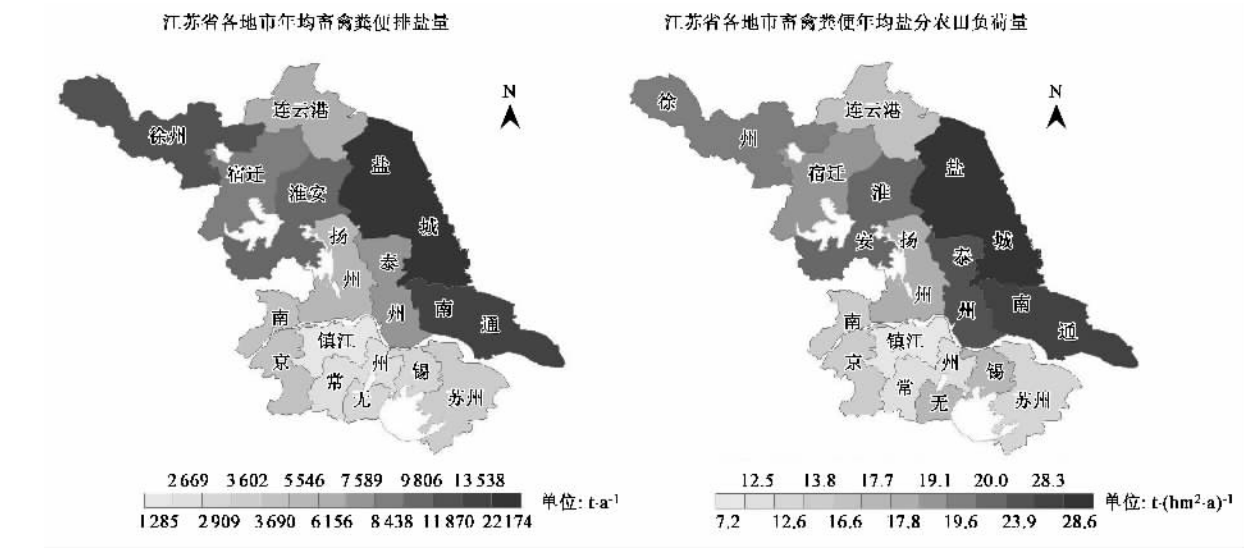


Fig.1 Salt amount produced from animal manures and the farmland load in various regions of Jiangsu

组成的 45%。根据 Moral 等<sup>[7]</sup>的研究结果,当畜禽粪便施用量达到 7~10 t·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>,农田土壤的 Na 和 Cl 负荷可达 415 kg·hm<sup>-2</sup>,可给西班牙东南部半干旱地区土壤带来显著的次生盐渍化风险。因此,江苏省的沿海地区和徐淮地区是畜禽粪便农用有可能导致土壤次生盐渍化和地下水污染的高风险区。

2.3 不同土地利用方式下畜禽粪便农用对土壤次生盐渍化的预测

目前农业生产实践中土壤次生盐渍化的问题较突出<sup>[7, 19~21]</sup>。根据笔者在江苏省各地的调查结果,温室大棚一般种植 5 a 左右甚至 2~3 a 就会出现影响农作物生长的土壤次生盐渍化,在江苏沿海地区还

发生了露天蔬菜地土壤次生盐渍化影响作物生长。不同的作物耐盐性不同,大多数蔬菜作物尤其是瓜果类作物如黄瓜等均为低、中耐盐作物,在中度盐渍土条件下(土壤盐分 2~4 g·kg<sup>-1</sup>)作物生长及产量就会受到明显影响(不出苗或产量减少 20%~50%)<sup>[14]</sup>。不同土地利用方式下有机肥施用量差异较大,以畜禽粪便排盐量或农田盐分负荷量并不能完全反映有机肥施用对土壤次生盐渍化的影响,因此,本研究针对不同土地利用方式进一步对畜禽粪便农用有可能造成的土壤次生盐渍化进行了的模拟预测。

综合本研究在江苏各地的调查,以及相关报

道<sup>[19~21]</sup>,目前一般大田作物年施用畜禽粪便(以干粪计,下同)5~30 t·hm<sup>-2</sup>,露天蔬菜地年施用5~50 t·hm<sup>-2</sup>,温室大棚年施用30~100 t·hm<sup>-2</sup>.为此,笔者做如下假设:在不考虑化肥施用对土壤次生盐渍化影响的情况下,以每种利用方式施用畜禽粪便的最低施肥量、最高施肥量和中位值分别作为低施肥、高施肥和中施肥3种施肥量(表2)来计算,畜禽粪便的盐分含量选用本次江苏省调查的平均值和最高值来计算,结果如图2和图3,其中图2为畜禽粪便盐分含量采用本次调查的平均值9.7 g·kg<sup>-1</sup>计算得

出的模拟趋势图,图3为采用最高值24.2 g·kg<sup>-1</sup>的趋势图.

表2 不同土地利用方式有机肥年施用量(干粪)/t·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>

Table 2 Annual application amount of animal manures in different land use types (dry weight) /t·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>

| 利用方式  | 有机肥施用量范围 | 最低施肥量 | 中位值 | 最高施肥量 |
|-------|----------|-------|-----|-------|
| 大田作物  | 5~30     | 5     | 15  | 30    |
| 露天蔬菜地 | 5~50     | 5     | 30  | 50    |
| 温室大棚  | 30~100   | 30    | 65  | 100   |

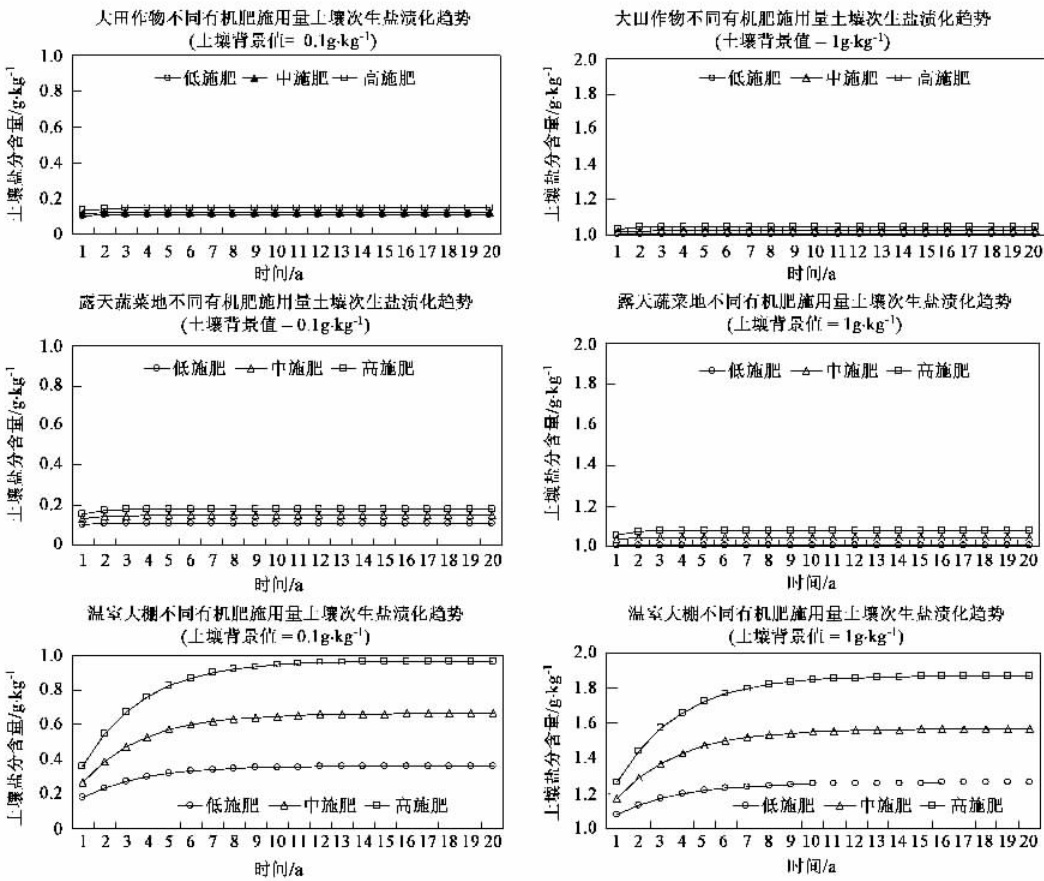


图2 畜禽粪便施用对土壤次生盐渍化的预测(盐分含量按9.7 g·kg<sup>-1</sup>计算)  
Fig.2 Prediction of animal manures application on soil salinisation (salt content of animal manures = 9.7 g·kg<sup>-1</sup>, dry weight)

对露天种植的大田作物和露天蔬菜地而言,不考虑化肥投入对土壤次生盐渍化的影响,在高、中、低3种施肥量的状况下,无论施入的有机肥是以本次调查畜禽粪便盐分含量的平均值(图2)还是最高值(图3)计算,畜禽粪便施用2~3 a后,土壤盐分有<0.3 g·kg<sup>-1</sup>的增加值,之后土壤盐分含量基本稳定.在盐渍土地区(土壤盐分背景值=1 g·kg<sup>-1</sup>)和非盐渍土地区(土壤盐分背景值=0.1 g·kg<sup>-1</sup>),土壤

盐分含量均远未达到影响作物生长的中度或强度盐渍化程度,或者说,在目前的有机肥施用状况下,畜禽粪便农用对露天种植的土地利用方式没有显著的土壤次生盐渍化风险.Moral等<sup>[7]</sup>在西班牙东南部半干旱地区的预测结果表明,当畜禽粪便施用量达到7~10 t·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>时,对露天农田土壤带来显著的次生盐渍化风险.江苏省地处湿润半湿润地区,受降水淋洗作用的影响,即使在畜禽粪便施用量达5

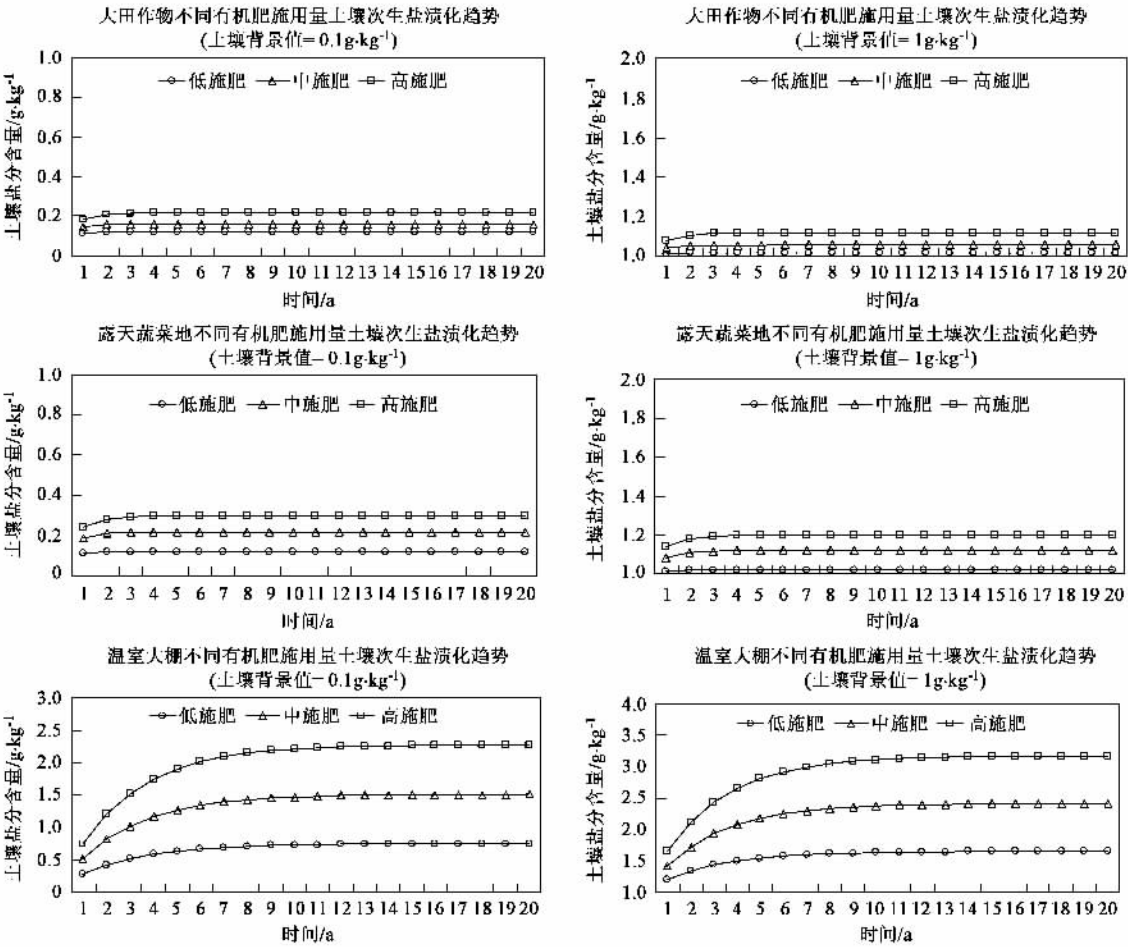


图3 畜禽粪便施用对土壤次生盐渍化的预测(盐分含量按24.2 g·kg<sup>-1</sup>计算)

Fig.3 Prediction of animal manures application on soil salinisation (salt content of animal manures = 24.2 g·kg<sup>-1</sup>, dry matter)

~ 50 t·(hm<sup>2</sup>·a)<sup>-1</sup>、远高于西班牙东南部地区的情况下,土壤也未达到严重盐渍化程度,但其对地下水的污染却可能远高于西班牙东南部半干旱地区。

对于温室大棚土壤而言,在畜禽粪便中等盐分含量的条件下(图2),经过6 a左右的累积,高施肥量土壤盐分含量增加值接近1 g·kg<sup>-1</sup>,非盐渍化土地地区土壤含盐量接近轻度盐渍化土水平,盐渍化土地地区土壤盐渍化程度接近中等盐渍化水平,已能影响蔬菜等农作物的生长。在畜禽粪便盐分含量较高的状况下(图3),中、高施肥量施用畜禽粪便,经过2~3 a左右的累积,土壤盐分含量增加值即可达到1 g·kg<sup>-1</sup>,在非盐渍土地地区,土壤已达轻度盐渍化程度,盐渍土地地区土壤已达中度盐渍化土程度;经过3~8 a左右的累积,土壤盐分含量增加值可达1.5~2.5 g·kg<sup>-1</sup>,非盐渍土地地区土壤盐渍化程度已接近或达到中度盐渍化土水平,盐渍土地地区土壤盐渍化程度接近强度盐渍化程度,已能严重影响农作物的生

长;而低施肥量条件下,土壤盐分含量增加值<0.5 g·kg<sup>-1</sup>,无论盐渍土地地区或非盐渍土地地区,畜禽粪便农用均不会对农作物生长造成显著影响。

以上预测均未考虑化肥投入对农田土壤次生盐渍化的影响,由于农业生产过程中一般化肥与有机肥同时施用,因此土壤次生盐渍化的问题可能比预测严峻得多,即使露天蔬菜地土壤在大量化肥与有机肥施用后、淋洗前短时间内也有可能受到土壤盐分的严重影响,江苏沿海地区露天蔬菜地发生的土壤严重次生盐渍化问题可能就与此相关。

3 结论

(1)江苏省目前集约化养殖畜禽粪便中盐分含量较高,盐分含量在不同地市之间差异显著。

(2)集约化养殖的快速发展带来大量畜禽粪便的排放,在畜禽粪便农用过程中对土壤次生盐渍化与地下水污染造成了较大的压力,江苏省的南通、盐

城、连云港等沿海地区与徐州、宿迁、淮安等徐淮地区为畜禽粪便农用造成土壤次生盐渍化与地下水污染的高风险区。

(3)通过模拟预测表明,在目前畜禽粪便(有机肥)施用量的状况下,畜禽粪便农用对露天种植的大田作物和蔬菜地土壤次生盐渍化基本不会造成显著影响,而对温室大棚土壤次生盐渍化影响较大,在畜禽粪便盐分含量较高( $24.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ),中、高施肥量条件下[ $65\sim100\text{ t}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$ ],施用有机肥  $2\sim8\text{ a}$  大棚土壤盐分含量增加  $1.0\sim2.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,土壤可达轻度、中度甚至强度盐渍化土程度。

参考文献:

[ 1 ] 孙永明,李国学,张夫道,等.中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J].农业工程学报,2005,21(8): 169-173.

[ 2 ] 李鹏,齐光海.饲料添加剂的使用安全研究进展[J].饲料工业,2006,27(18):7-10.

[ 3 ] 孙振钧,孙永明.我国农业废弃物资源化与农村生物质能源利用的现状与发展[J].中国农业科技导报,2006,8(1):6-13.

[ 4 ] 王方浩,马文奇,窦争霞,等.中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J].中国环境科学,2006,26(5):614-617.

[ 5 ] Ajit K S, Michael T M, Alistair B A, *et al.* A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment[J]. Chemosphere, 2006, 65: 725-759.

[ 6 ] Nicholson F A, Chambers B J, William J R, *et al.* Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales [J]. Bioresource Technology, 1999, 70(1): 23-31.

[ 7 ] Moral R, Perez-Murcia M D, Perez-Espinosa A, *et al.* Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from

South-eastern Spain[J]. Waste Management, 2007. doi: 10.1016/j.wasman.2007.01.009.

[ 8 ] 何文寿.设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J].土壤,2004,36(3):235-242.

[ 9 ] 宿庆瑞,李卫孝,迟凤琴.有机肥对土壤盐分及水稻产量的影响[J].中国农学通报,2006,22(4):299-301.

[ 10 ] 秦巧燕,贾陈忠,曲东,等.我国设施农业发展现状及施肥特点[J].湖北农学院学报,2002,22(4):373-376.

[ 11 ] 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.

[ 12 ] 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[J].应用生态学报,2006,17(10):1989-1992.

[ 13 ] 张绪美,董元华,王辉,等.江苏省农田畜禽粪便负荷时空变化[J].地理科学,2007,27(4):597-601.

[ 14 ] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.312-317.

[ 15 ] 张绪美,董元华,王辉,等.中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析[J].环境科学,2007,28(6):1311-1318.

[ 16 ] 酆桂芳.环境质量评价[M].北京:中国环境科学出版社,1989.416-417.

[ 17 ] 李辉信,胡峰,蔡贵信,等.红壤的供氮能力及化肥氮的去向[J].土壤学报,2002,39(3):390-396.

[ 18 ] 国家环保局.2003 年长江三峡工程生态与环境监测公报[EB/OL]. [http://www.zhb.gov.cn/tech/hjjc/jcxc/sxgb/2003/200306/t20030616\\_85467.htm](http://www.zhb.gov.cn/tech/hjjc/jcxc/sxgb/2003/200306/t20030616_85467.htm).

[ 19 ] 余海英,李廷轩,周健民.典型设施栽培土壤盐分变化规律及潜在的环境效应研究[J].土壤学报,2006,43(6):571-576.

[ 20 ] 黄锦法,曹志洪,李艾芬,等.稻麦轮作改为保护地菜田土壤肥力质量演变[J].植物营养与肥料学报,2003,9(1):19-25.

[ 21 ] 刘建玲,唐文化,高志岭,等.河北省蔬菜保护地土壤养分累积状况及影响因素[J].河北农业大学学报,2004,27(1):19-24.