

文章编号: 1000-5641(2012)06-0021-08

# 崇明岛芦笋大棚土壤中硝酸盐的动态变化

祁莹莹, 毕春娟, 虞中杰, 陈振楼, 许世远, 孙月娣

(华东师范大学 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

**摘要:** 在芦笋不同生长阶段, 对崇明岛芦笋大棚土壤的硝酸盐含量进行测定. 结果表明, 研究期内棚龄为 10 年、4 年和 1 年的大棚 0~40 cm 土壤硝酸盐含量分别为 248.3~651.0 mg N · kg<sup>-1</sup>、18.4~928.4 mg N · kg<sup>-1</sup> 和 52.4~556.2 mg N · kg<sup>-1</sup>, 存在硝酸盐的累积现象. 受氮肥施用和芦笋生长对氮素吸收的综合影响, 土壤硝酸盐含量在不同芦笋生长阶段变化显著. 夏笋生长末期土壤硝酸盐累积现象最为严重, 并存在向下迁移趋势. 3 个大棚土壤均出现了酸化和次生盐渍化现象, 硝酸盐累积是造成高棚龄大棚土壤次生盐渍化的重要原因.

**关键词:** 芦笋大棚; 硝酸盐; 土壤酸化; 土壤盐渍化

**中图分类号:** S153.61; X53 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2012.06.003

## Dynamic variations of nitrate contents in the asparagus greenhouse soils from Chongming Island

QI Ying-ying, BI Chun-juan, YU Zhong-jie,  
CHEN Zhen-lou, XU Shi-yuan, SUN Yue-di

(Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education,  
East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** The dynamic variations of nitrate contents in the asparagus greenhouse soil at different growth stages of asparagus in Chongming Island were measured. The result showed that contents of nitrate in the soils of 10-year, 4-year, and 1-year old asparagus greenhouses ranged from 248.3 to 651.0 mg N · kg<sup>-1</sup>, from 18.4 to 928.4 mg N · kg<sup>-1</sup> and from 52.4 to 556.2 mg N · kg<sup>-1</sup>, respectively. Generally, nitrate accumulated in the soils of all the three greenhouses. Both nitrogen fertilizer applications and plant uptakes of nitrogen caused significant variations of soil nitrate contents at different growth stages. The nitrate was most seriously accumulated in soil at late growth stage of asparagus in summer, which also resulted in heavy leach of nitrogen to the deeper layer. Soil acidifications and salinizations were found in all the three greenhouses. Nitrate accumulation was one of the important factors that caused soil salinization in the 10-year old asparagus greenhouse.

收稿日期: 2012-02

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07317-006); 国家自然科学基金(40971259);  
上海市优秀学科带头人计划(10XD1401600)

第一作者: 祁莹莹, 女, 硕士研究生. E-mail: qiyy1987@gmail.com.

通信作者: 毕春娟, 女, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为城市与三角洲环境过程. E-mail: cjbi@geo.ecnu.edu.cn.

**Key words:** asparagus greenhouse; nitrate; soil acidification; soil salinization

## 0 引 言

2005 年我国的氮肥施用量超 3 000 万 t 纯氮, 占全世界总用量的 35% 左右, 过量施肥在中国已相当普遍<sup>[1,2]</sup>. 由于硝酸盐不易被土壤胶体吸附, 易被水体冲刷进入地表, 造成环境污染<sup>[3,4]</sup>. 另一方面, 土壤中大量的硝酸盐残留使作物奢侈吸收效应强烈, 作物体内硝酸盐超量累积<sup>[5]</sup>. 但也有研究指出, 土壤残留的硝态氮与土壤有机质对作物生长具有同样营养效用<sup>[6]</sup>. 因此, 对于氮肥施用的科学管理很大程度上依赖于对作物生长过程中土壤硝酸盐吸收、累积、迁移这一动态过程的深入理解.

近年来, 大棚土壤硝酸盐累积<sup>[2,7]</sup>、土壤酸化<sup>[7,8]</sup>、次生盐渍化<sup>[9,10]</sup>等土壤退化现象逐渐引起人们重视. 大量研究报道了蔬菜大棚土壤硝酸盐的累积现状, 但很少有研究涉及高强度连续施肥条件下作物生长期与土壤硝酸盐积累的关系. 本文选择了上海崇明岛芦笋大棚, 观察了不同生长季土壤硝酸盐的变化, 并与同一区域内的露天菜地土壤进行对比, 以研究大棚土壤硝酸盐含量在芦笋生长期内的动态变化特征以及硝酸盐积累与土壤酸化、盐渍化指标的相关性, 以期为系统研究农业土壤氮循环和农业环境保护等提供科学依据.

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域

选择上海崇明现代农业园区为研究基地, 分别选取园区内具有典型特征的 1998 年、2004 年和 2007 年建棚的 3 个芦笋大棚以及相邻的一块露天菜地作为研究对象, 研究区土壤类型为灰潮土. 根据本课题组 2008 年夏季对崇明全岛农业用地土壤硝酸盐含量的调查, 露天菜地土壤硝酸盐的平均含量为  $(52.1 \pm 29.6) \text{ mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

### 1.2 试验设计与样品采集

目前, 崇明当地采用一年 3 季采笋模式, 整个采收期覆盖 1 月至 11 月, 其中夏笋的采收期最长. 本研究从 2008 年 6 月至 2009 年 2 月分别于芦笋的夏笋生长初期(6 月)、夏笋生长中期(10 月)、夏笋生长末期(11 月)、冬眠期(1 月)和春笋生长初期(2 月)对芦笋大棚土壤进行采样分析. 在每个大棚内的前、中、后部各采 3 个平行土柱样, 柱样深 40 cm, 按 5 cm 间距分层取 8 个不同深度样品.

在 2008 年研究期间, 对大棚土壤进行常规施肥和灌水管理. 肥料施用主要以三元复合肥和尿素为主, 每次施肥均以沟灌的方式随灌溉水施入, 根层土壤不进行翻耕. 在 12 月至次年 1 月期间, 园区内开展清园工作, 收割芦笋母茎, 并进行集中施肥和灌水, 全年施肥量约为  $400 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ . 棚龄为 10 年的大棚已经处于老化期, 由于地下根系分布较深较广(根深可达 30~40 cm), 多年累计施肥量相对较多. 棚龄为 4 年的大棚处于芦笋生长的旺盛期, 而 1 年大棚属于种植初期, 根系较浅.

在采集芦笋大棚土壤样品的同时, 以同样方式采集露天菜地土壤, 其施肥量与大棚相当. 该采样点每年 6 月至 9 月种植西瓜, 在 10 月以后轮种花菜. 5 次采样时间分别为西瓜种植期(6 月)、花菜播种期(10 月)、花菜生长期(11 月、1 月)和花菜长成期(2 月).

### 1.3 样品分析方法

在采样现场取一部分土壤样品用 IQ Scientific Instruments 便携式仪器测定土壤的 pH 值,其余土壤样品运回实验室后,冷冻保存.未过筛的土壤样品分散后,上机测定土壤粒径 (LS13320).土壤含水率、有机质含量、速效磷含量均采用常规分析方法测定<sup>[12]</sup>.土壤硝酸盐的测定使用  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  KCl 浸提(水土比为 1:5),振荡 30 min 后用于滤纸过滤,浸提液在 24 h 内用流动注射仪上机测试.大量研究表明,土壤浸出液的电导率(EC)与可溶性盐总量呈极显著相关,是估测土壤含盐量简便快速的方法<sup>[8,12,13]</sup>.本研究中,土壤可溶性盐采用电导法测定<sup>[18]</sup>,并通过温度校正换算成  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  的电导率( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ).

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤基本理化性质

2008 年 6 月至 2009 年 2 月取各柱样 0~40 cm 土壤的平均值来分析大棚土壤及露天菜地土壤的基本理化性质(见表 1).

表 1 供试土壤的基本理化性状

Tab.1 Physical and chemical properties of tested soils

类别	平均粒径/ $\mu\text{m}$	含水率/%	pH	电导率/ $(\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$	有机质/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	速效磷/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$
10 年大棚	27.2~36.3	15.8~20.9	3.8~6.2	299.6~3 945.6	16.6~42.1	121.6~676.4
均值	31.7	18.3	5.0	1 874.4	28.1	375.3
4 年大棚	21.5~34.9	17.5~20.6	5.1~6.8	85.0~3 265.2	12.7~22.5	0.1~423.3
均值	29.4	19.0	5.8	1 538.5	16.7	187.7
1 年大棚	25.9~30.8	16.3~20.4	5.6~7.8	244.6~3 006.3	5.2~12.0	1.6~82.2
均值	27.8	18.0	6.9	1601.3	7.7	35.8
露天菜地	21.5~26.9	12.1~18.5	6.6~7.7	177.5~273.1	10.9~15.9	1.0~4.9
均值	23.9	14.9	7.4	241.5	12.9	2.8

大棚土壤平均粒径与露天菜地土壤相近,两者物理组成相似.但由于大棚高温高湿的半封闭环境,土壤含水率高于露天菜地,增加了硝酸盐向土壤深层运移的可能性<sup>[11]</sup>.按照土壤酸度分类标准,10 年大棚土壤属于强酸性至弱酸性、4 年大棚土壤属于酸性至弱酸性,而 1 年大棚土壤为中性.按照蔬菜出现生理障碍的临界土壤 pH 值 5.52 来评价<sup>[10]</sup>,10 年大棚和 4 年大棚土壤均出现了明显的酸化现象.有研究表明,蔬菜土壤溶液电导率小于  $500 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  时,其值越高蔬菜生长越好;电导率大于  $500 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  时,吸收水分、养分开始受阻<sup>[13]</sup>,而蔬菜苗期盐害临界值为  $800 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ <sup>[8,13]</sup>.因此,按“电导率  $< 500 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  为较适宜,  $500 \sim 800 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  为作物生长受阻,电导率  $> 800 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ”为产生盐害作为评价标准;则 10 年大棚电导率最大值高出盐害限值近 5 倍,3 个大棚土壤均出现了严重的土壤盐渍化现象.

大棚土壤有机质含量和速效磷含量随着棚龄的增加出现了显著的递增趋势.按照《绿色食品产地环境技术条件(NY/T391—2000)》中土壤肥力分级标准来评价,10 年、4 年和 1 年大棚土壤整体分别处于有机质含量的优良、尚可和较差水平;10 年、4 年大棚土壤速效磷含量处于优良水平,1 年大棚处于尚可水平.

## 2.2 土壤硝酸盐含量的逐月变化特征

10年大棚土壤硝酸盐平均含量的变化范围为 $248.3\sim 651.0\text{ mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,在夏笋生长末期达到最高.4年大棚土壤硝酸盐平均含量的变化范围为 $18.4\sim 928.4\text{ mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,最大值也出现在夏笋生长末期,而在夏笋生长中期降至 $18.4\text{ mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的极低水平.1年大棚土壤硝酸盐含量平均值变化范围为 $52.4\sim 556.2\text{ mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ .注意到10年大棚和4年大棚土壤硝酸盐平均含量均在夏笋生长末期上升至最高水平,1年大棚在这时期也相较生长中期有所增加.

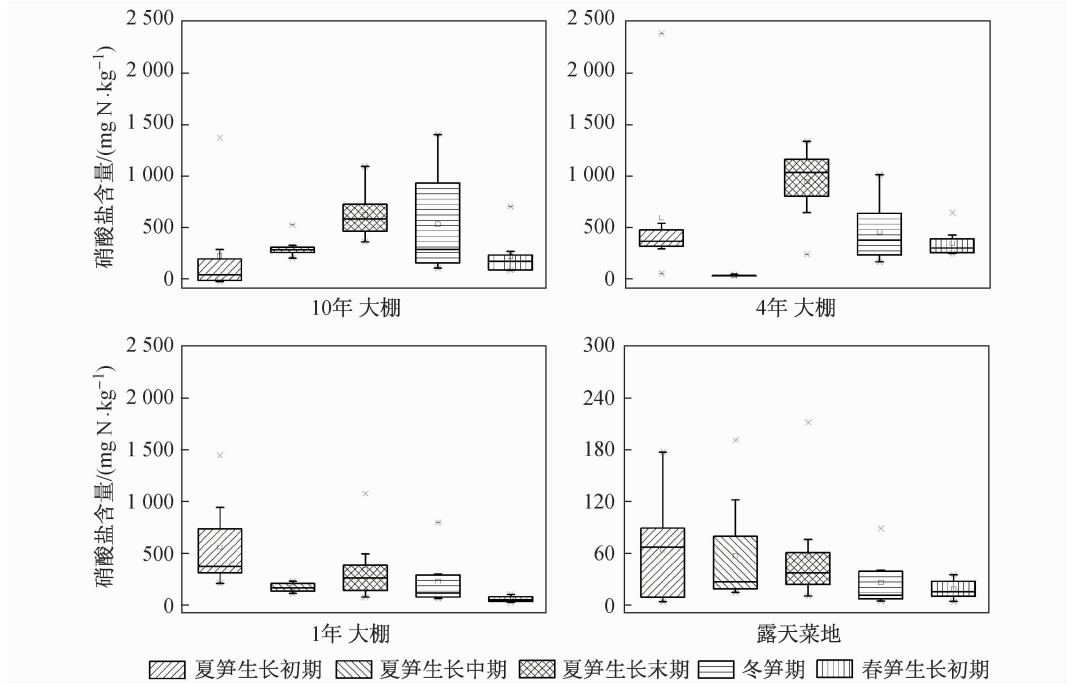


图1 土壤硝酸盐含量在不同芦笋生长阶段内的变化

Fig. 1 Nitrate contents in the asparagus soil in different growth phases

露天菜地土壤硝酸盐平均含量的变化范围在 $22.5\sim 68.2\text{ mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,将其与大棚土壤硝酸盐含量相比较,大棚土壤总体高出近10倍.如果以 $60\text{ mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ 作为蔬菜地土壤硝酸盐积累的临界值来评价<sup>[14]</sup>,仅在4年大棚的夏笋生长中期以及1年大棚的春笋生长初期未低于标准,大棚土壤硝酸盐含量在芦笋整个生长周期内总体存在过量积累现象.

## 2.3 土壤硝酸盐含量的垂向分布特征

在夏笋生长初期和冬眠期,3个大棚表层 $0\sim 5\text{ cm}$ 土壤硝酸盐积累现象相当明显(见图2).而到了夏笋生长中期和春笋生长初期,土壤表层硝酸盐含量显著降低,硝酸盐负荷在整个垂向剖面均较低且分配相对平均.与其他时期不同,3个大棚在夏笋生长末期不仅在土壤表层大量积累,在 $10\sim 25\text{ cm}$ 的柱样中部硝酸盐含量依然处于较高水平,10年大棚和4年大棚土壤硝酸盐在此土层范围内的含量高达 $500\sim 1\ 000\text{ mg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,硝酸盐负荷存在向深层移动的趋势.

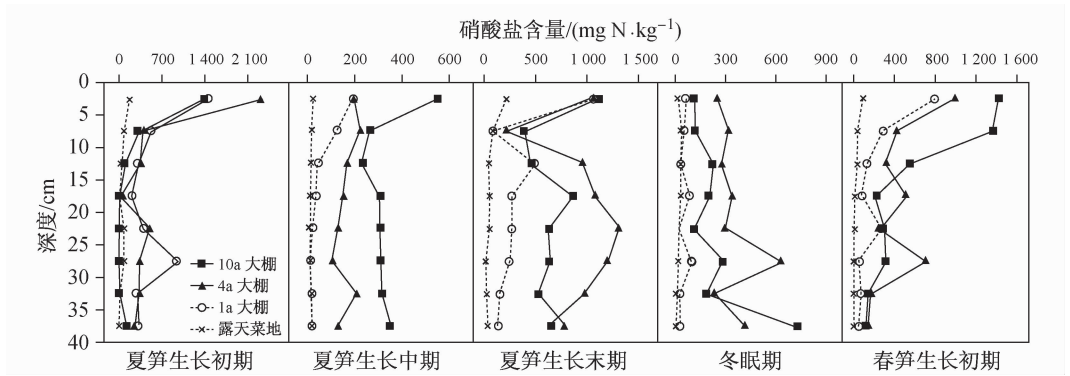


图 2 土壤硝酸盐含量在不同芦笋生长阶段的垂向变化

Fig. 2 Vertical distributions of nitrate contents in different growth phases of asparagus

由于露天菜地在 6 月至 10 月之间进行了轮种并伴随着集中的施肥与翻耕,与芦笋大棚相比较,其土壤硝酸盐含量在各月份之间不存在明显的垂向变化.这反映出在大棚种植过程中的高强度施肥以及独特的人工环境使得土壤硝酸盐含量随着作物生长呈现出更为强烈的垂向变化特征.

#### 2.4 土壤硝酸盐含量与电导率的相关性

将大棚所有分层土壤硝酸盐含量与电导率(EC)作箱形图来分析两者随棚龄的变化趋势,并利用配对 T 检验来分析不同大棚之间的差异.结果表明,10 年、4 年和 1 年大棚之间电导率均没有显著差异( $p > 0.05$ ),总体含量水平相当(见图 3A).10 年大棚和 4 年大棚之间土壤硝酸盐含量没有显著差异( $p > 0.05$ ),但均显著高于 1 年大棚(分别为  $p = 0.011$  和  $p = 0.002$ ,见图 3B).10 年大棚土壤硝酸盐含量与电导率之间存在显著正相关性( $p < 0.01$ ),可用线性方程  $y = 2.227x + 969.536 (R^2 = 0.255, p < 0.01)$  来拟合(见图 4).4 年大棚土壤硝酸盐含量与电导率之间也存在显著正相关性,并可用  $y = 2.946x + 175.076 (R^2 = 0.553, p < 0.01)$  来拟合.1 年大棚土壤硝酸盐含量与电导率之间不存在显著相关性.

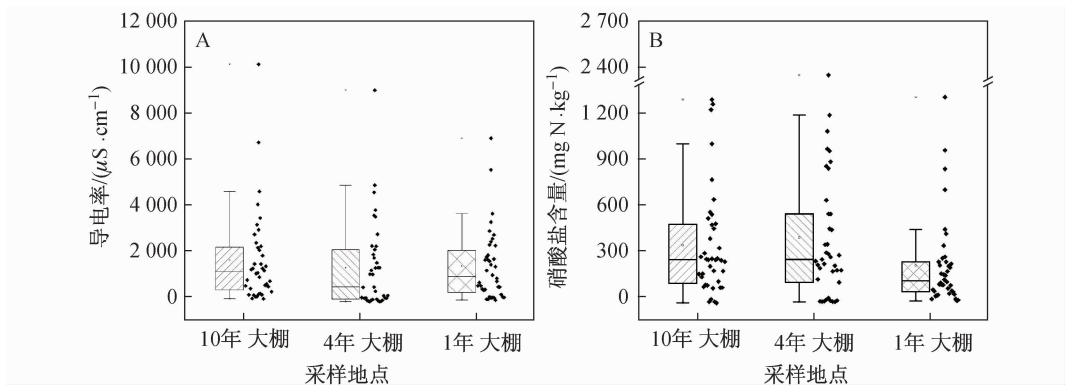


图 3 土壤硝酸盐含量与电导率

Fig. 3 Contents of nitrate and EC in the asparagus soil

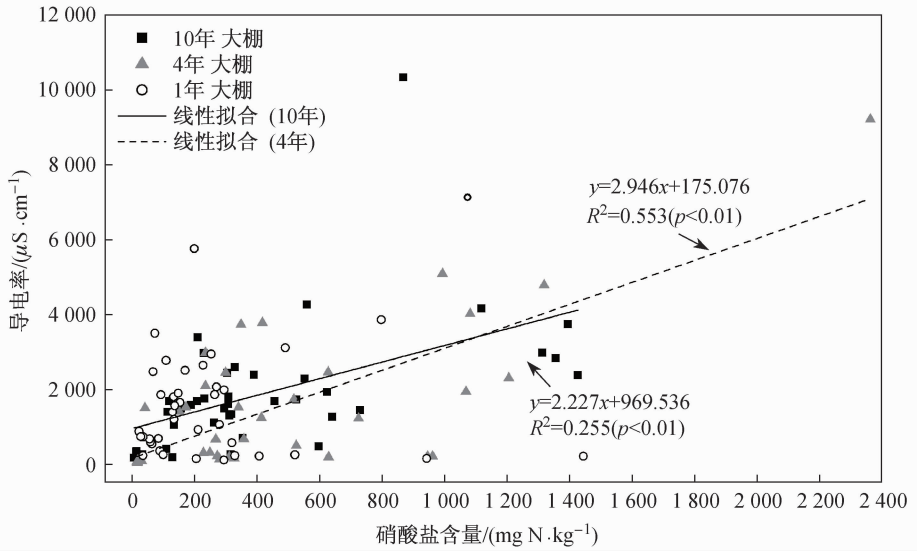


图4 土壤硝酸盐含量与电导率的相关关系

Fig. 4 Relationship between nitrate contents and EC in the asparagus soil

### 3 讨 论

#### 3.1 芦笋大棚土壤硝酸盐逐月变化及垂向分布特征

研究表明,在作物不同的生长期和不同的季节,土壤硝酸盐含量存在明显的变化.范亚宁等<sup>[11]</sup>在对半湿润地区夏玉米地土壤硝态氮含量研究中发现,在夏玉米整个生育期内土壤硝态氮的累积量呈现出倾斜的“W”形变化趋势,并且与前茬作物收获后硝态氮的残留量、夏玉米对氮素的吸收利用率和土壤有机氮矿化程度等因素相关.吴永成等<sup>[15]</sup>研究发现,华北地区夏玉米地土壤硝态氮的累积量不仅随玉米生育进程和氮肥吸收率的变化呈现出“N”形变化趋势,硝态氮土壤垂向累积分布还受降水量变化、土壤水份运移等因素影响.然而,大棚蔬菜种植因其特殊的半封闭环境又与大田环境存在极大的差异.

10年、4年和1年芦笋大棚0~40 cm土壤硝酸盐含量平均值远高于该地区相邻的露天菜地,总体均存在硝酸盐的累积现象.通过逐月分析发现硝酸盐含量随着芦笋的生长进程呈现出较大波动.在冬眠期,为确保下一季芦笋的生长,农户对大棚土壤进行集中大量施肥.在芦笋生长期,芦笋消耗的有效氮越来越多,使得土壤硝酸盐含量明显下降,大大缓解了表层累积现象.但到了夏笋生长末期,3个大棚土壤硝酸盐累积现象又趋严重.这主要是由于在这一时期农户追施了秋发肥,希望在芦笋生长末期进一步催升产量.但是此时由于芦笋根系的吸收能力及植株的代谢作用下降,吸收利用硝酸盐的能力也随之降低,使得土壤硝酸盐大量累积,加上大量的随肥灌水极易造成硝酸盐的淋失.10年大棚和4年大棚在这一时期不仅出现了表层累积现象,在30~40 cm芦笋根系较难利用的土层土壤中硝酸盐含量依然较高,存在向下淋失的风险.

另有研究表明,在蔬菜生长末期的大量追肥将导致蔬菜吸收大量的硝酸盐,在短时间内不能同化利用而导致体内硝酸盐积聚<sup>[1,5]</sup>.芦笋生长末期的硝酸盐累积同样将对芦笋的食

用安全构成威胁。

10年大棚土壤硝酸盐含量自夏笋生长初期至末期均呈现出斜线型上升的变化趋势,4年和1年大棚土壤硝酸盐含量自夏笋生长初期至末期均呈现出“V型”的变化趋势,氮肥施用和植物氮素利用对土壤硝酸盐累积的综合影响显著。

### 3.2 芦笋大棚土壤硝酸盐累积与土壤酸化、盐渍化的关系

土壤酸化和次生盐渍化是蔬菜大棚土壤退化的两个主要特征。大量研究表明,硝酸盐累积是土壤次生盐渍化的主要贡献因子。盐渍化表层土壤中的硝酸根可约占阴离子总量的67%~76%<sup>[2]</sup>。土壤次生盐渍化不利于作物根系的正常生长,导致根系吸收能力降低,从而提高了作物对土壤养分浓度的要求<sup>[2]</sup>。然而,大量施肥又加剧了土壤的次生盐渍化,形成恶性循环。另一方面,肥料中的 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{SO}_4^{2-}$ 等强酸性离子同样大量残留于土壤中,造成严重的土壤酸化现象<sup>[7,8]</sup>。调查显示,70.9%的大棚土壤pH值 $<6.5$ <sup>[10]</sup>,6年大棚pH值可降至5.5以下<sup>[8]</sup>。本研究中,10年和4年大棚出现了明显的土壤酸化现象,但土壤pH值与硝酸盐含量及其他土壤理化性质之间不存在显著的相关性。这可能是因为土壤在不同pH值区段内的化学性质及盐基离子的脱除速度存在不一致的变化趋势<sup>[16]</sup>,土壤中的硝酸根离子也可能是在与其他离子的协同作用下来改变土壤的pH值<sup>[14]</sup>。

3个芦笋大棚均出现了严重的土壤次生盐渍化现象。10年大棚和4年大棚土壤硝酸盐含量与电导率之间存在显著的正相关关系,土壤硝酸盐累积是造成高棚龄大棚土壤次生盐渍化的重要因素。10年大棚土壤酸化严重,可导致盐基离子的脱除速度显著增加<sup>[16]</sup>,对大棚进行灌溉时盐分淋失的差异性较大。10年大棚硝酸盐含量与电导率的散点图中点较离散,原因可能是土壤中盐分组成复杂,除了硝酸盐之外还有很多其他离子,而且不同土层和不同采样时间也对相关性结果有一定影响。另外,在高强度施肥条件下,10年大棚已处于老化期,高度熟化土壤中物质分解与盐基离子释放等土壤微生物参与的生物化学过程进行速率<sup>[17]</sup>以及氮等肥力指标的累积速度均有所放缓<sup>[19]</sup>。而4年大棚正处于芦笋生长的旺盛期,硝酸盐含量的盈亏变化最为剧烈,与土壤电导率之间形成更为直接的协同变化(见图4)。在高强度施肥条件下,4年大棚的硝酸盐含量水平已和10年大棚相当,这和李文庆等对山东省蔬菜大棚土壤调查中发现的在高强度施肥作用下短棚龄大棚土壤硝酸盐含量反比高棚龄大棚高的现象较为相似<sup>[3]</sup>。1年大棚土壤硝酸盐与电导率之间不存在相关关系,这主要是因为1年大棚棚龄较短,土壤理化性质、作物适应性、根际微生物群落等都还未趋于稳定,大棚中特殊的水热条件可能是导致盐渍化的主要原因。

## 4 结 论

棚龄为10年、4年和1年的芦笋大棚0~40 cm土壤硝酸盐含量平均值的变化范围为248.3~651.0  $\text{mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、18.4~928.4  $\text{mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和52.4~556.2  $\text{mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,大棚土壤均存在硝酸盐的累积现象。由于大量追肥以及芦笋氮素吸收能力的降低,夏笋生长末期大棚土壤硝酸盐不仅在土壤表层大量积累,10~25 cm柱样中部的硝酸盐含量依然处于较高水平,存在向下淋失的趋势。3个大棚均出现了严重的土壤次生盐渍化现象,10年和4年大棚还出现了严重的土壤酸化现象,硝酸盐累积是造成土壤次生盐渍化的重要因素。

## [参 考 文 献]

- [1] 柏延芳,张海,张立新. 氮肥对黄土高原大棚蔬菜及土壤硝酸盐累积的影响[J]. 中国生态农业学报,2008,16(3): 555-559.
- [2] 张乃明,李刚,苏友波,等. 滇池流域大棚土壤硝酸盐累积特征及其对环境的影响[J]. 农业工程学报,2006,22(6): 215-217.
- [3] 李文庆,张民,李海峰,等. 大棚土壤硝酸盐状况研究[J]. 土壤学报,2002,39(2): 283-287.
- [4] OENEMA O, BPERS P C M, VAN EERDT M M, et al. Leaching of nitrate from agriculture to groundwater: the effect of policies and measures in the Netherlands[J]. Environmental Pollution, 1998, 102(S1): 471-478.
- [5] 秦玉芝,陈学文,刘明月,等. 芹菜硝酸盐积累量变化的研究[J]. 湖南农业大学学报,2000,26(2): 100-101.
- [6] VILLAR-MIR J M, VILLAR-MIR P, STOCKLE C O, et al. On-farm monitoring of soil nitrate-nitrogen in irrigated cornfields in the Ebro Valley (Northeast Spain)[J]. Agronomy Journal, 2002, 18: 373-380.
- [7] 姚春霞,陈振楼,陆利民,等. 上海市蔬菜地土壤硝态氮状况研究[J]. 生态环境,2005,14(2): 220-223.
- [8] 范庆峰,张玉龙,陈重. 保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及 pH 值的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(1): 103-106.
- [9] 熊汉琴,王朝辉,罗贵斌. 不同种植年限蔬菜大棚土壤次生盐渍化发生机理的研究[J]. 陕西林业科技,2006(3): 22-26.
- [10] 房云波,孟春玲. 保护地内土壤次生盐渍化对土壤性状的影响及对策[J]. 辽宁农业科学,2006(6): 40-41.
- [11] 范亚宁,李世清,李生秀. 半湿润地区农田夏玉米氮肥利用率及土壤硝态氮动态变化[J]. 应用生态学报,2008,19(4): 799-806.
- [12] 刘光崧. 土壤理化分析和剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1997.
- [13] 赵风艳,吴凤芝,刘德. 大棚菜地土壤理化特性的研究[J]. 土壤肥料,2000(2): 11-13.
- [14] 杨丽娟,张玉龙. 保护地菜田土壤硝酸盐积累及其调控措施的研究进展[J]. 土壤通报,2001,32(2): 66-69.
- [15] 吴永成,周顺利,王志敏,等. 华北地区夏玉米土壤硝态氮的时空动态与残留[J]. 生态学报,2005(7): 1620-1625.
- [16] 吴云,杨剑虹,魏朝富. 重庆茶园土壤酸化及肥力特征的研究[J]. 土壤通报,2004,35(6): 715-719.
- [17] 王鑫,刘建新,雷蕊霞,等. 不同种植年限苜蓿土壤熟化过程中腐殖质性质的研究[J]. 水土保持通报,2008,28(2): 98-102.
- [18] 国家林业局. LY-T 1251-1999 森林土壤水溶性盐分分析[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [19] 于寒青,徐明岗,吕家珑,等. 长期施肥下红壤地区土壤熟化肥力评价[J]. 应用生态学报,2010,21(7): 1772-1778.