

# 不同施氮量对太湖地区新增设施菜地土壤硝态氮累积的影响<sup>①</sup>

陆扣萍<sup>1,2</sup>, 谢寅峰<sup>1</sup>, 闵炬<sup>2</sup>, 施卫明<sup>2\*</sup>

(1 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037; 2 中国科学院南京土壤研究所面源污染治理技术研发中心, 南京 210008)

**摘要:** 采用田间小区试验, 研究了太湖地区大棚蔬菜不同施 N 量对土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积及其土壤电导率、pH 和蔬菜产量品质的影响。结果表明: 土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积与施 N 量呈正比, 种植两季蔬菜后, 农民习惯施 N 下的土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 从 35 mg/kg 上升到 221.35 mg/kg; 土壤电导率、pH 与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量显著相关, 其中电导率与 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的关系更为密切, 相关系数达到 0.832。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积导致蔬菜的产量与品质下降, 与茼蒿、芹菜施 N 量分别为 312、384 kg/hm<sup>2</sup> 的处理相比, 农民习惯施 N 处理下的茼蒿和芹菜产量分别下降了 11.8% 和 33.9%, Vc 含量下降了 17% 和 36.6%, 而硝酸盐含量增加了 22.3% 和 32%, 农民习惯施 N 处理下的两季蔬菜硝酸盐含量均达到三级污染, 可危害人体健康。

**关键词:** 太湖地区; 设施土壤; 氮肥; 硝态氮累积

**中图分类号:** S158.3

随着我国农业结构的调整, 设施栽培特别是大棚蔬菜栽培面积不断扩大, 大棚蔬菜生产已成为我国农业生产的重要组成部分之一。2008 年全国设施蔬菜栽培面积 334.7 万 hm<sup>2</sup>, 比 2000 年增长 78%, 其中大中棚 141.3 万 hm<sup>2</sup>, 小棚 122.7 万 hm<sup>2</sup>, 节能日光温室 56.9 万 hm<sup>2</sup>。设施蔬菜总产量 1.68 亿 t, 占整个蔬菜产量的 25%, 比 2000 年上升了 8 个百分点<sup>[1]</sup>。人们通常认为, 蔬菜为喜肥作物尤其喜 N 肥, 大量施 N 肥有利于极大地提高蔬菜的产量。在经济利益的驱动下, 农民盲目大量施用化肥, 过量施肥 (特别是 N 肥过量)、养分比例失调等现象相当普遍。大量的 N 素不为作物吸收而残留在土壤中, 不仅是土壤盐分的主要来源, 而且还会导致蔬菜产量和品质下降<sup>[2-3]</sup>, 肥料利用率低<sup>[4]</sup>, 造成养分在土壤中过量累积, 产生次生盐渍化问题<sup>[5-6]</sup>, 甚至会污染到地下水<sup>[7-8]</sup>, 严重影响日光温室的持续发展。前人对北方日光温室条件下不同施 N 水平下蔬菜生长期间土壤养分积累情况研究较多<sup>[9-12]</sup>, 但对于太湖地区而言, 设施土壤多由水稻田改种而来, 种植年限不长, 土壤基本特征也显著不同于长期种植蔬菜的北方日光温室土壤背景。在这类设施土壤条件下, 肥料施入后 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 积累以及与土壤电导率、pH 的关系及其对蔬菜产量品质的影响, 以往都研究较少。鉴于此, 我们以太湖地区设施大棚为对象, 研究了不同施 N 量

对该地区主要设施作物茼蒿和芹菜轮作过程中土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量的影响, 探讨了土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量与土壤电导率、pH 的关系及其对蔬菜产量与品质的影响, 以期对提高 N 肥利用率、减少设施土壤恶化、减轻 N 素对地下水的污染等提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地及供试材料

本试验于 2009 年 8 月至 2010 年 3 月在位于太湖地区的江苏省无锡市胡埭镇龙延村进行。试验选用 1 个钢管塑料大棚, 该大棚由种植了 20 年以上的水稻田改种为大棚蔬菜。大棚使用面积为 7 m × 90 m, 棚龄为 2 年, 进行试验前揭棚闲置两个月 (2009 年 6 月至 8 月) 后进行试验。

试验地耕层土壤 (0 ~ 20 cm) 质地为黏土, 土壤基本理化性状为 pH 6.09, 电导率 0.19 mS/cm, 有机质 27.9 g/kg, 全 N 1.06 g/kg, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 35.0 mg/kg, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 1.07 mg/kg, 速效 P 199.8 mg/kg 和速效 K 148.4 mg/kg。

供试茼蒿品种为大青叶茼蒿, 无锡市北塘种子有限公司生产, 适宜秋延后大棚种植, 于 2009 年 8 月 20 日播种育苗, 9 月 12 日移栽定植, 11 月 11 日收获完毕。供试芹菜为四季西芹, 天津市宏丰蔬菜研究公司研制, 于 2009 年 10 月 3 日播种育苗, 11 月 24 日移

①基金项目: 国家科技重大专项“水体污染控制与治理”湖泊主题太湖项目 (2008ZX07101-005) 资助。

\* 通讯作者 (wmshi@issas.ac.cn)

作者简介: 陆扣萍 (1985—), 女, 江苏扬州人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜氮素营养生理与环境效应的研究。E-mail: kkp111@163.com

栽定植, 2010 年 3 月 30 日收获完毕。

## 1.2 试验处理及田间管理

试验设 6 个处理: ①N0: 对照处理, 不施肥; ②N1: 不施化肥 N; ③N2: 茼蒿、芹菜施 N 量分别为 208、256 kg/hm<sup>2</sup>; ④N3: 茼蒿、芹菜施 N 量分别为 312、384 kg/hm<sup>2</sup>; ⑤N4: 茼蒿、芹菜施 N 量分别为 390、480 kg/hm<sup>2</sup>; ⑥N5: 习惯施 N 处理, 根据试验所在地农户的平均施 N 水平确定, 茼蒿、芹菜施 N 量分别为 520、640 kg/hm<sup>2</sup>。N 肥施用普通尿素, 采用 1 次基肥 2 次追肥, 按 50%、30% 和 20% 的比例施用。各处理 P、K 肥和有机肥用量相同, P 和有机肥用量作底肥一次施入, K 肥采用 1 次基肥 1 次追肥, 按 50% 和 50% 的比例施用。移栽前各小区施钙镁磷肥, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 150 kg/hm<sup>2</sup>, 发酵的鸡粪肥(俗称水鸡粪)(含 N 20 g/kg) 350 kg/hm<sup>2</sup>。小区面积为 18.75 m<sup>2</sup> (2.5 m × 7.5 m), 重复 3 次, 随机区组排列。田间水分管理采用当地农民传统的浇灌方法, 通常在移栽当天及随后的 3~4 天浇水, 或视土壤干湿状况而定。追肥时尿素撒施后浇水。

## 1.3 样品采集及项目测定

1.3.1 植物样品采集 茼蒿和芹菜以每小区全部称重计产。取可食部分鲜样测定 Vc 和硝酸盐含量, 3 次重复。收获时, 各小区选取 3 株, 取整株地上部, 用于测定植株吸 N 量。

1.3.2 果实品质及养分的测定 Vc 的测定采用 2,6-二氯酚测定法<sup>[13]</sup>; 硝酸盐的测定按 GB/T5009.33 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定方法。植物样品干物重测定采用 105℃ 下烘 30 min, 继续在 70℃ 下烘 72 h 称重。全 N 用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮<sup>[14]</sup>, 自动定氮仪 (BÜCHI 399) 测定。

1.3.3 土壤理化性质的测定 有机质采用外加热重铬酸钾氧化-容量法测定<sup>[14]</sup>。全 N 用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮<sup>[14]</sup>, 自动定氮仪 (BÜCHI 399) 测定。速效 N 采用 1 mol/L KCl 溶液浸提, 浸提液用紫外分光光度计进行测定<sup>[14]</sup>。速效 P 测定采用 0.5 mol/L 的 NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法<sup>[14]</sup>。速效 K 测定采用 1.0 mol/L 的 NH<sub>4</sub>OAc 浸提-火焰分光光度法<sup>[14]</sup>。pH 值测定水土比为 2.5:1, 用 pH 计 (pH 211 型) 测定<sup>[14]</sup>。电导率 (EC) 测定水土比为 5:1, 采用 DDS-320 型电导仪测定<sup>[14]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 不同施氮水平对茼蒿和芹菜土壤硝态氮累积的影响

#### 2.1.1 不同施 N 水平对土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量的影响

茼蒿移栽后 15 天和 30 天进行追肥, 由图 1 可知, 第一次追肥后, 各处理的土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量均呈现上升趋势, 且土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量随施 N 量的增加而增大。第二次追肥后, N0、N1 处理土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量显著下降, 但 N0、N1 处理之间差异不显著; N2、N3、N4、N5 处理的土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量均显著高于 N1 处理, 表明施过 N 肥后土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 可大量积累, 其中 N4、N5 处理的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 积累尤为显著, 茼蒿采收后土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积量可高达 169.47 和 217.4 mg/kg, 分别比茼蒿种植前增加了 160.7% 和 202.3%。

芹菜整个生长期 N0、N1 处理的土壤硝 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量均无显著变化。施肥后 N2、N3、N4、N5 处理土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量不断提高, 分别从 36.88、67.26、71.33 和 84.34 mg/kg 增加到 189.57、252.15、258.15 和 238.84 mg/kg, 这与施入的尿素在土壤中转化为无机 N 的过程有关。在芹菜移栽后 60 天虽追过一次肥, 但由于期间灌溉频繁, 硝酸盐不易被土壤吸附, 流动性强, 淋洗后土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量有下降的趋势。从芹菜生长季也可以看出, 在试验供 N 水平内, 施 N 量与土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量呈正比。采收后, N2、N3、N4、N5 处理的土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积量在 109.41~224.75 mg/kg 范围内。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的大量累积和高迁移能力对环境所造成的潜在威胁不容忽视。

2.1.2 不同施 N 水平对土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量累积率的影响 表 1 表明, 在茼蒿生长季, N2~N5 施 N 处理之间, 施 N 量从 208 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 520 kg/hm<sup>2</sup>, 相应地 0~20 cm 土层土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积率由 84.18% 增加到 202.32%, 芹菜季也存在同样的递增规律。说明土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积随施 N 量的增加而增加。茼蒿和芹菜生长季均以 N5 处理下的土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积率达到最高, 过量施 N 引起土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 大量累积。芹菜采收后 N1~N5 处理下的土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积率分别比茼蒿采收后有不同程度的增加, 增幅在 12.76%~76.55% 范围内, 平均为 40.9%。说明随着种植作物茬数的增加, 土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 累积也相应增加。土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的高量累积不仅造成 N 肥的浪费和土壤 N 素肥力的降低, 而且也为地下水的污染提供了源头。

### 2.2 硝态氮累积对茼蒿和芹菜土壤电导率和 pH 的影响

2.2.1 不同施 N 水平对土壤电导率的影响 土壤的电导率反映了土壤盐分的累积情况。对 0~20 cm 土壤测定电导率, 结果如表 2 所示, 茼蒿采收后土壤

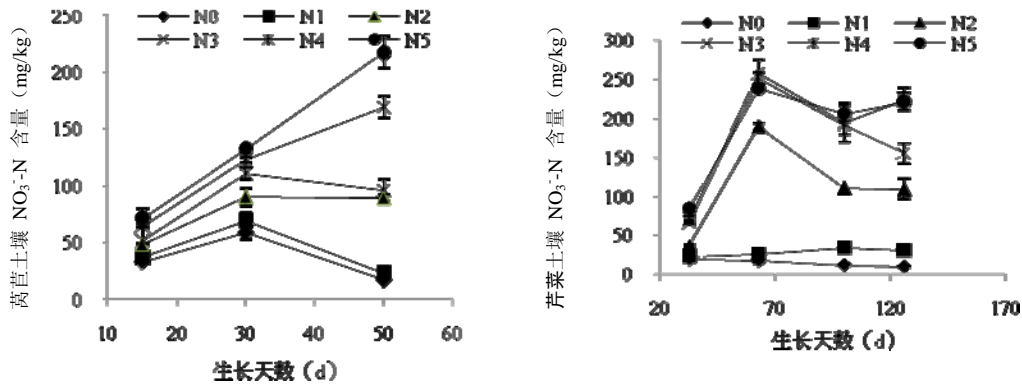


图 1 莴苣/芹菜生长季土壤 NO<sub>3</sub>-N 动态变化  
Fig.1 Nitrate contents in soils in different treatments

表 1 不同 N 水平下土壤 NO<sub>3</sub>-N 含量积累率

Table 1 Accumulation rates of soil nitrate contents in different treatments

| 处理 | NO <sub>3</sub> -N 含量积累率 (%) |        |
|----|------------------------------|--------|
|    | 莴苣季                          | 芹菜季    |
| N0 | 0                            | 0      |
| N1 | 0                            | 32.19  |
| N2 | 84.18                        | 131.20 |
| N3 | 85.89                        | 162.44 |
| N4 | 160.74                       | 196.70 |
| N5 | 202.32                       | 215.08 |

注：积累率=(采收后土壤NO<sub>3</sub>-N含量 - 定植前土壤NO<sub>3</sub>-N含量)/ 定植前土壤NO<sub>3</sub>-N含量×100

在 0.17 ~ 0.42 mS/cm 范围内,且各施肥处理之间表现为 N5>N4>N3=N2>N1=N0, 与莴苣定植前相比, 施肥处理(N2 ~ N5)的土壤电导率分别增长 42.11%、63.16%、89.47% 和 121.05%, 土壤盐分的积累与施

N量呈正相关。芹菜施肥移栽后, N2、N3、N4、N5 处理下土壤电导率也显著增加, 且以 N5 处理对土壤盐分的累积效果尤为突出, 达到 0.70 mS/cm, 显著高于其他处理 (p<0.05)。虽然芹菜采收后各处理之间以 N3 处理下的土壤电导率增加率最高, 达到 77.42%, 但N3处理下的土壤电导率仍显著低于 N5 处理。刘哈丽等<sup>[15]</sup>提出, 菜地土壤电导率在 0.4~0.8 mS/cm 范围之内除少数极不耐盐作物对大多数作物安全; 0.81~1.20 mS/cm 排水良好的温室土壤安全; 1.21~1.60 mS/cm 盐渍土, 温室土壤超过要求; 1.61~3.20 mS/cm 强盐渍土。按照这一指标衡量, 一年中两季作物种植后, 各处理电导率均仍在 0.8 mS/cm 以下, 基本不危害作物正常生长。但是, 仅仅经过两季蔬菜种植, 在农户施肥水平下, 土壤盐分就已经达到了0.70 mS/cm, 其积累速率仍然是非常快的, 后续风险不容忽视。

表 2 不同处理对莴苣和芹菜栽培土壤电导率的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil EC of lettuce and celery

| 处理 | 莴苣季 EC |        |         | 芹菜季 EC |        |         |
|----|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
|    | 定植前    | 采收后    | 增加率 (%) | 定植前    | 采收后    | 增加率 (%) |
| N0 | 0.19   | 0.17 d | -       | 0.17 d | 0.18 d | -       |
| N1 | 0.19   | 0.21 d | 10.53   | 0.21 d | 0.31 c | 47.62   |
| N2 | 0.19   | 0.27 c | 42.11   | 0.27 c | 0.39 c | 44.44   |
| N3 | 0.19   | 0.31 c | 63.16   | 0.31 c | 0.55 b | 77.42   |
| N4 | 0.19   | 0.36 b | 89.47   | 0.36 b | 0.61 b | 69.44   |
| N5 | 0.19   | 0.42 a | 121.05  | 0.42 a | 0.70 a | 66.67   |

2.2.2 不同施 N 水平对土壤 pH 的影响 由表 3 可知, 莴苣采收后的土壤 pH 值与定植前相比, 低 N 处理 (N2 ~ N3) 的土壤 pH 有一定程度的增加, 土壤未

出现酸化现象。而高 N 处理 (N4 ~ N5) 的土壤 pH 则出现下降趋势, 且下降幅度与施 N 量呈正比, 分别下降了 0.03 和 0.12 个单位。与莴苣生长季相似, 芹

菜采收后, 各处理之间的土壤 pH 表现为  $N5 < N4 < N3 < N2$ , 且以 N5 处理下的土壤 pH 下降效果尤为突出, 达到 5.63, 与不施 N 对照 (N1) 相比, 下降了 0.9 个单位。两季作物后, 与定植前相比, 农民习惯

施 N 量 (N5) 下的土壤 pH 值下降了 0.46 个单位。从茼蒿和芹菜整个生长期来看, 过量施用 N 肥使得土壤 pH 值呈下降趋势, 施肥量越大, 土壤酸化趋势越明显。

表 3 不同处理对茼蒿和芹菜栽培土壤 pH 的影响

Table 3 Effects of different treatments on soil pH of lettuce and celery

| 处理 | 茼蒿季  |         |       | 芹菜季     |         |       |
|----|------|---------|-------|---------|---------|-------|
|    | 定植前  | 采收后     | pH 降幅 | 定植前     | 采收后     | pH 降幅 |
| N0 | 6.09 | 6.38 a  | -     | 6.38 a  | 6.63 a  | -     |
| N1 | 6.09 | 6.30 ab | -     | 6.30 ab | 6.53 ab | -     |
| N2 | 6.09 | 6.17 bc | -     | 6.17 bc | 6.38 bc | -     |
| N3 | 6.09 | 6.11 cd | -     | 6.11 cd | 6.21 cd | -     |
| N4 | 6.09 | 6.06 cd | 0.03  | 6.06 cd | 6.04 d  | 0.02  |
| N5 | 6.09 | 5.97 d  | 0.12  | 5.97 d  | 5.63 e  | 0.34  |

### 2.2.3 土壤 $\text{NO}_3^-$ -N 含量与土壤 EC、pH 的关系

由图 2 可以看出, 土壤电导率、pH 与土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量之间的关系均达显著水平, 其中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量与电导率之间呈显著正相关, 相关系数达到 0.832。而土壤 pH 与  $\text{NO}_3^-$ -N 含量呈负相关 ( $R^2 =$

0.6835)。可见, 过量施肥所引起的土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 的累积是造成土壤盐分相应累积和酸化的主要因子。盐分的过量累积不仅会造成作物的生理性干旱, 而且会破坏土壤结构, 影响温室土壤的持续生产能力。

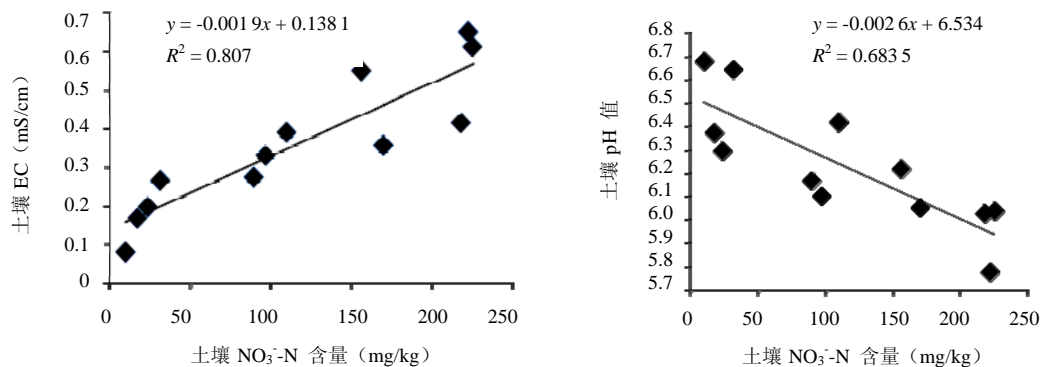


图 2 土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 与 EC、pH 的关系

Fig. 2 The relationships between soil contents of nitrate and soil EC, pH

### 2.3 不同施氮水平对茼蒿和芹菜产量、氮肥利用率的影响

从表 4 可以看出, 与不施肥对照 (N0) 相比, 仅仅施入合适的 P、K 肥处理 (N1) 并不能提高蔬菜产量, 说明 N 是主要的产量限制因子, 这在茼蒿和芹菜上都是一致的。与 N1 处理相比, N2 ~ N5 施 N 处理都显著增加了蔬菜产量, 但是增产量在茼蒿和芹菜之间有所不同。茼蒿增产 5.71 ~ 13.86 t/hm<sup>2</sup>, 芹菜增产 7.66 ~ 52.93 t/hm<sup>2</sup>, 后者明显高于前者, 说明芹菜对肥料的利用效率

高, 转化为经济产量的能力强。两季作物均以 N5 处理下增产幅度最小, 仅为 10.4% 和 9.5%。说明农民过量施用 N 肥造成土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积严重, 影响作物产量。

根据公式 N 肥表观利用率 (%) = (施 N 区吸 N 量 - 不施 N 区吸 N 量) / 施 N 量 × 100, 计算不同处理化肥 N 利用率。由表 4 表明, 两种蔬菜之间 N 肥利用率有一定差异。茼蒿 N 肥利用率在 13.11% ~ 38.14%, 平均为 22.8%; 芹菜 N 肥利用率在 18.56% ~ 33.45% 之间, 平均为 26.7%。N3 处理下两季作物的 N

肥利用率均显著高于其他处理。N2、N4 处理之间差异不显著，而 N5（农民习惯施 N）处理下 N 肥利用率最低，但芹菜（18.56%）的要高于莴苣（13.11%）。

说明在适宜的 N 肥用量下，随着施 N 量的增加，N 素利用率提高，但超过一定量后，N 肥利用率与施 N 量之间存在明显负相关。

表 4 不同 N 水平下莴苣和芹菜的产量

Table 4 Yield of lettuce and celery in different treatments

| 处理 | 产量 (t/hm <sup>2</sup> ) |          | 增产量 (t/hm <sup>2</sup> ) |       | 增产率 (%) |       | N 肥利用率 (%) |         |
|----|-------------------------|----------|--------------------------|-------|---------|-------|------------|---------|
|    | 莴苣                      | 芹菜       | 莴苣                       | 芹菜    | 莴苣      | 芹菜    | 莴苣         | 芹菜      |
| N0 | 52.92 d                 | 69.59 d  | -                        | -     | -       | -     | -          | -       |
| N1 | 55.13 d                 | 80.67 d  | -                        | -     | -       | -     | -          | -       |
| N2 | 61.55 c                 | 99.88 c  | 6.42                     | 19.21 | 11.6    | 23.81 | 17.77 b    | 28.43 b |
| N3 | 68.99 a                 | 133.60 a | 13.86                    | 52.93 | 25.1    | 65.61 | 38.14 a    | 33.45 a |
| N4 | 65.40 b                 | 111.75 b | 10.27                    | 31.08 | 18.6    | 38.52 | 22 b       | 26.56 b |
| N5 | 60.84 c                 | 88.33 cd | 5.71                     | 7.66  | 10.4    | 9.50  | 13.11 c    | 18.56 c |

注：增产量 = 施 N 区产量 - 不施 N 区产量；增产率 = (施 N 区产量 - 不施 N 区产量) / 不施 N 区产量。

## 2.4 不同施氮水平对莴苣和芹菜品质的影响

由表 5 可以看出，与 N1 处理相比，施 N 处理的两季作物硝酸盐含量分别增加了 0.16% ~ 52.4%（莴苣）和 266.7%~474.9%（芹菜），且 N2、N3、N4、N5 施肥处理之间存在极显著差异，表明在试验设计的施 N 量范围内，硝酸盐含量与施 N 量呈显著正相关，当施 N 量最大时（N5 处理），硝酸盐含量也最高，莴苣和芹菜茎的硝酸盐含量分别高达 1291.94、958.01 mg/kg。通过两种蔬菜之间的比较可以看出，施肥后芹菜（叶菜类）中硝酸盐含量的增加率比莴苣（根茎类）

要高出好几倍。

Vc 是蔬菜的一个重要品质指标，蔬菜中 Vc 含量高低与人们健康有密切关系。从表 5 可看出，施 N 处理的莴苣和芹菜茎中的 Vc 含量均显著高于不施 N 对照（N1），且各处理中都以 N3 处理下 Vc 含量最高，达到 35.93 mg/kg（莴苣）和 37.13 mg/kg（芹菜），与不施 N 对照（N1）相比，分别增加了 58.3%、159.3%。施 N 量超过 N3 水平后，莴苣茎中的 Vc 含量趋于下降。与 N3 相比，N5 处理下的两季作物的 Vc 含量分别下降了 17% 和 36.6%。

表 5 不同处理的莴苣和芹菜茎硝酸盐和 Vc 的含量

Table 5 Effects of different treatments on Vc and nitrate contents in stems of lettuce and celery

| 处理 | 莴苣          |            | 芹菜          |            |
|----|-------------|------------|-------------|------------|
|    | 硝酸盐 (mg/kg) | Vc (mg/kg) | 硝酸盐 (mg/kg) | Vc (mg/kg) |
| N0 | 783.46 e    | 18.4 c     | 128.16 d    | 11.05 e    |
| N1 | 847.94 d    | 22.7 bc    | 166.63 d    | 14.3 d     |
| N2 | 849.26 d    | 31.83 ab   | 611.04 c    | 21.3 c     |
| N3 | 1056.01 c   | 35.93 a    | 725.90 bc   | 37.13 a    |
| N4 | 1121.73 b   | 30.6 ab    | 849.75 ab   | 27.8 b     |
| N5 | 1291.94 a   | 29.83 ab   | 958.01 a    | 23.55 c    |

## 3 讨论与结论

已有的试验结果表明，土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量与施 N 量之间有一定的相关性，但由于土壤类型、种植年限、作物种类、气候条件等不同而存在一定的差异。闵炬

等<sup>[11]</sup>对宜兴地区大棚菜地土壤养分的研究发现，土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的累积随着施 N 量的增加而增加；土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的积累导致土壤盐分累积。姚春霞等<sup>[16]</sup>对上海市郊不同管理方式下菜地 0 ~ 20 cm 土层土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 的调查

研究发现,土壤盐分与土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 呈显著正相关,而土壤 pH 与土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量呈线性负相关。龙卫国等<sup>[17]</sup>对长三角不同地区菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量分析与研究的结果表明,大棚菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量以宜兴地区达到最高,环太湖地区菜地土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 污染程度较大。本试验在南方稻田改种蔬菜的土壤类型条件下进行,土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N 的累积量与施 N 量的关系与上海、宜兴等地呈现出同样的累积规律。不同的是,这些地区 3 年以上的日光温室或 8 年以上的塑料大棚表层土壤的  $\text{NO}_3^-$ -N 累积达到 200 mg/kg 以上水平,并且随着大棚使用年限的增加逐年提高。而本试验地区大棚在种植两年后,农民施 N 量下的土壤表层  $\text{NO}_3^-$ -N 累积就高达 200 mg/kg,累积速度高于其他地区好几倍。这可能与本地区农民施肥量高于其他地区有关。

另一方面,本试验结果也表明,土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 的累积会导致蔬菜产量和品质下降。与 N3 处理相比,农民习惯施 N (N5) 处理下的茼蒿和芹菜产量分别下降了 11.8% 和 33.9%。N5 处理下的两季蔬菜的 N 肥利用率仅为 13.11% (茼蒿) 和 18.56% (芹菜)。芹菜的 N 肥利用率高于茼蒿,这可能与芹菜发达的根系有关。就蔬菜品质而言,与优化施肥 (N3) 处理相比, N5 处理下的两季作物的 Vc 含量分别下降了 17% 和 36.6%。而农民经验施肥 (N5) 下的两季蔬菜硝酸盐分别比不施 N (N1) 对照增加了 52.4% (茼蒿)、474.9% (芹菜),蔬菜硝酸盐累积严重。从本文的结果来看,该地区最适宜的施 N 量为 310 ~ 360 kg/hm<sup>2</sup> (茼蒿)、380 ~ 450 kg/hm<sup>2</sup> (芹菜)。比较施 N 量对芹菜和茼蒿这两种作物硝酸盐含量和 Vc 含量的影响,发现两种蔬菜之间 Vc 含量与施 N 量的关系没有明显的差异,但在硝酸盐累积效应上,尽管茼蒿 (根茎类) 的硝酸盐含量高于芹菜 (叶菜类),但从施 N 量与蔬菜硝酸盐之间的相关性分析,随着施 N 量的增加,芹菜的硝酸盐增加率明显高于茼蒿。这可能与茼蒿生长期较短有关。沈明珠等<sup>[18]</sup>根据可食部位硝酸盐的积累程度将蔬菜分为 4 级, N5 处理下的两季蔬菜的硝酸盐均已达到三级污染,对人类的健康有一定程度的威胁,当引起重视。

综上所述,对太湖地区一年两季主要设施蔬菜茼蒿和芹菜生长期土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量的累积效应研究表明,土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 含量随施 N 量的增加而增加,过量施 N 引起土壤中  $\text{NO}_3^-$ -N 的大量累积;土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 与电导率、pH 间的关系均达显著相关,其中  $\text{NO}_3^-$ -N

与电导率的关系更为密切。另一方面,土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 的累积会导致蔬菜产量和品质的下降,导致蔬菜体内硝酸盐大量累积,影响人类健康。N3 处理的结果也说明,只要确定合理的施 N 量,不仅可以提高肥料利用率,减少土壤  $\text{NO}_3^-$ -N 累积量,同时也可以减少 N 素流失,减轻对环境的负面影响。此外,  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤中的过量累积,势必会带来潜在的环境问题,如地下水  $\text{NO}_3^-$ -N 含量超标等。这些都有待进一步长期定位实验观测与研究。

#### 参考文献:

- [1] 农业部种植业管理司. 科学规划 规范推进 促进设施蔬菜持续健康发展. 长江蔬菜, 2009(15):1-4
- [2] 孙兴祥, 王健, 周毅, 沈其荣. 不同氮素水平对菠菜生长和品质的影响. 南京农业大学学报, 2005, 28(3): 126-128
- [3] 夏立忠, 杨林章. 大棚番茄优化施肥与土壤养分和盐分的变化特征. 中国蔬菜, 2003(2): 4-7
- [4] 李俊良, 陈新平, 李晓林, 张福锁. 大白菜氮肥施用的产量效应、品质效应和环境效应. 土壤学报, 2003, 40(2): 261-266
- [5] Li WQ, Zhang MS, Van Der Zee. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China. Pedosphere, 2001, 11(4): 359-367
- [6] 王辉, 董元华, 安琼, 孙红霞, 刘庆淮, 刘正柱. 高度集约化利用下蔬菜地土壤盐分累积状况——以南京市南郊为例. 土壤, 2006, 38(1): 61-65
- [7] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 张维理, 林葆. 北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究. 土壤学报, 2006, 43(3): 405-413
- [8] 毛金峰, 高鹏. 日光温室土壤盐害与防治. 长江蔬菜, 2000(3): 35-36
- [9] 李辉信, 胡锋, 蔡贵信, 范晓晖, 马建宏. 水田、旱坡地改种蔬菜后土壤养分含量的变化. 土壤, 2004, 36(3): 678-681
- [10] 于飞, 周健民, 王火焰, 陈小琴. 不同氮肥对油菜生长和养分吸收的影响. 土壤肥料, 2005(1): 20-22
- [11] 闵炬, 施卫明. 不同施氮水平对大棚蔬菜氮磷钾养分吸收及土壤养分含量的影响. 土壤, 2008, 40(2): 226-231
- [12] 葛晓光, 高慧, 张恩平, 王晓雪, 张昕. 长期施肥条件下菜田一蔬菜生态系统变化的研究(III). 蔬菜产量与养分吸收量的变化. 园艺学报, 2004, 31(4): 456-460
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [14] 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

- [15] 刘哈丽. 测土施肥技术与瓜果蔬菜施肥技术. 上海: 化工部上海化工研究院, 1987
- [16] 姚春霞, 陈振楼, 陆利民, 张菊, 许世远. 上海市蔬菜地土壤硝态氮状况研究. 生态环境, 2005, 14(2): 220-223
- [17] 龙卫国, 施毅超, 赵言文, 胡正义, 林天, 夏旭, 刘国群, 许世蛟. 长三角不同地区蔬菜种植土壤硝态氮含量分析. 贵州农业科学, 2009, 37(7): 65-67
- [18] 沈明珠, 翟宝杰, 东惠茹. 蔬菜硝酸盐的研究——I. 不同蔬菜硝酸盐和亚硝酸盐含量评价. 园艺学报, 1982, 9(4): 43-47

## Effects of Different N Rates on Soil Nitrate Nitrogen Accumulation in New Plastic Greenhouse of Taihu Lake Region

LU Kou-ping<sup>1,2</sup>, XIE Yin-feng<sup>1</sup>, MIN Ju<sup>2</sup>, SHI Wei-ming<sup>2</sup>

(1 College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2 Research Center of Non-point Source Pollution Control, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** The effects of different N rates on nitrate nitrogen accumulation of soil, soil conductivity, pH and the production and quality of vegetables were studied by the field plot experiment at different fertilizer levels in greenhouse of Taihu Lake region. The results showed that nitrate nitrogen accumulation of soil was proportional with the N rates, and the nitrate nitrogen content of soil reached to 221.35 mg/kg from 35 mg/kg after two seasons of vegetable cultivation under the farmer's habitual N usage. Soil conductivity and pH were significantly correlated with nitrate nitrogen content, and soil conductivity was more obvious (the correlation coefficient was 0.832). The results also showed that nitrate nitrogen accumulation caused the declines in production and quality of vegetables, for example, compared with N3 experiment (lettuce season: N 312 kg/hm<sup>2</sup>; celery season: N 384 kg/hm<sup>2</sup>), the productions of lettuce and celery were reduced by 11.8% and 33.9% respectively under farmer's habitual N usage, meanwhile vitamin C contents were reduced by 17% and 36.6% while nitrate contents increased 22.3% and 32%, respectively. Nitrate contents of vegetables increased to the 3<sup>rd</sup> pollution level under farmer's habitual N usage and it would be harmful to human health.

**Key words:** Taihu Lake region, Facilities soil, Nitrogenous fertilizer, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N accumulation