

不同种植年限蔬菜大棚土壤中硝态氮时空变异研究

刘庆芳¹, 吕家珑¹, 李松龄², 盛海彦², 李 宁², 王艳萍², 王晋民², 朱春来²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 青海大学, 青海 西宁 810016)

摘 要: 本研究旨在通过对青海乐都地区不同种植年限蔬菜大棚土壤情况的调查, 了解该地设施蔬菜生产中土壤硝态氮时空变异。2~27 a 设施蔬菜 0~100 cm 土壤中硝态氮含量为 99.09~609.065 mg/kg; 0~20 cm 土壤中硝态氮含量为 37.51~545.545 mg/kg, 总盐含量为 0.137%~0.671%, pH 变化为 8.1~7.7; 随土壤硝态氮含量的增加, 土壤总盐呈增加趋势, 土壤 pH 值则逐渐下降; 土壤硝态氮含量随种植年限的增加呈现递增趋势, 22 a 棚龄的大棚土壤硝态氮含量最高, 达 609.065 mg/kg; 各棚龄土壤硝态氮均表现出明显的表土累积现象。不同种植年限蔬菜大棚土壤中硝态氮时空变异显著。

关键词: 大棚土壤; 硝态氮; 次生盐渍化

中图分类号: S606⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)02-0159-05

青海地处高原, 纬度低, 海拔高, 冬季长、夏季短促, 气候凉爽, 空气清新, 水质优良, 光照充足, 昼夜温差大, 适宜喜凉凉和根茎类蔬菜的生产, 在具备一定的设施条件下可实现周年生产。青海省夏季产菜高峰期正值内地三夏蔬菜淡季, 时间差是该省蔬菜发展的优势。同时, 该省主要蔬菜产区分布于 109 国道和青藏铁路沿线, 交通运输方便, 发展蔬菜生产, 可迅速将产品运往集散地, 实现产、供、销的高速运转体系。青海省的设施蔬菜自 1995 年开始, 经过十多年的不懈努力, 为解决人民群众的吃菜难的问题作出了巨大的贡献, 尤其让城市居民告别了在冬季只有“老三样(洋芋、萝卜、大白菜)”的时代。

青海省的设施蔬菜有三个主要的区域——西宁郊区、格尔木和乐都。截止 2008 年底, 全省共建成日光节能温室 11.23 万栋, 温棚栽培净面积 0.416 万 hm^2 , 设施面积达到 1.04 万 hm^2 。全省蔬菜总产已达到 105 万 t, 设施农业占蔬菜总产量的 28.57%。设施农业已经成为青海各地积极培育的重要产业, 成为促进农业增效、农民增收的主渠道。

青海设施农业效益, 是大田作物效益的几倍甚至十几倍。同时, 设施农业充分利用了农村劳动力资源, 提高了农民的科技素质, 加快了科技成果的转化, 是农民增加收入的一条好门路。2008 年全省设施农业收入达到 4.5 亿元, 占种植业收入的 10%。大通县新庄镇的温棚种植两茬黄瓜, 两茬油白菜, 纯收入都在 7 000~8 000 元, 最高收入超过万元; 乐都县仅蔬菜生产一项产值已占全县农业总产值的

68.2%; 湟中县多巴镇韦家庄村户均蔬菜收入达到 5 000 元以上。农民从设施农业中实实在在地得到了实惠。民和县马场垣乡香水村仅冬春茬种植人参果, 每棚(0.04 hm^2 钢架温棚)纯收入达到 1.8 万元。

然而, 近年来菜农为了追求高产, 盲目过度施用化肥和农药, 致使很多农产品中农药残留超标和硝酸盐严重积累, 影响了蔬菜的品质与质量安全, 严重的威胁到人民群众的健康。土壤剖面累积的硝态氮如不及时被作物吸收利用, 在较湿润气候和大量灌溉的条件下, 将向下移动逐渐移出作物根区(1 m), 使生物有效性降低^[1], 且造成土壤深层 NO_3^- -N 累积量增加或直接进入浅层地下水^[2], 造成地下水硝酸盐含量超标。硝酸盐本身毒性很小, 对人畜无直接危害, 但其还原产物亚硝酸盐是致癌物质, 美国的 White^[3]指出, 人体摄入的硝酸盐有 81.2% 来自蔬菜。

因此, 本研究意图在青海省乐都县设施蔬菜基地, 分别选择种植 1~3、4~6、7~9、10 a 以上的大棚, 采取土壤样品(0~100 cm 分层采集), 测定土壤中 NO_3^- 的累积状况, 研究硝态氮在土壤剖面中含量的变化, 为该区合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

研究地点位于青海省乐都县设施蔬菜基地, 分别采集 2、5、10、15、22、27 a 的大棚土壤, 每个大棚面积约为 500 m^2 , 主要种植辣椒、番茄、黄瓜等。2008

收稿日期: 2010-07-10

基金项目: 青海省自然科学基金重点项目“设施蔬菜品质控制的土壤质量因子研究”(2008-N-132)

作者简介: 刘庆芳(1985-), 女, 河北邯郸人, 在读硕士, 主要从事土壤化学方向的研究。E-mail: liuqingfang403@163.com。

通讯作者: 吕家珑(1962-), 男, 甘肃人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤化学与环境化学、土壤培肥及肥力方面的教学和研究。E-mail: jll@nwsuaf.edu.cn。

年 11 月采集土壤样品,依“S”形路线,采用随机选 5 个点依次采集 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 深度的土壤样品混合土样。混匀的鲜土用四分法留取 1 kg 左右,装入聚乙烯塑料袋,标记密封,带回实验室。部分土样放入冰箱在 0℃~4℃ 下保存用于测定土壤 NO₃⁻-N,其余土壤风干后研磨过筛保存,用于测定土壤总盐、pH、有机质等。

1.2 测定方法

土壤基本性质(有机质、碱解氮、全氮、速效磷)

常规方法^[4]。

土壤硝态氮用酚二磺酸比色法;pH 采用电位法;土壤总盐用重量法;有机质用重铬酸钾容量法。

本研究数据采用 Excel 和 DPS 软件处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤基本情况

2.1.1 当年的土地施肥情况 土地施肥情况如表 1 所示。

表 1 土样背景资料

Table 1 The background information of the soil

| 编号 No. | 年限 Years (a) | 背景资料 Background information | | | |
|-----------|--------------------|----------------------------------|--|---|---|
| | | 种植类型 Plant type | 施肥 Fertilization | 备注 Notes | 存在问题 Problems |
| 乐 7 | 2 | 西红柿 Tomato | 基肥:鸡粪 1 车/棚;二铵 25 公斤/棚。 Basal fertilizer: chicken manure, diammonium. | | |
| 乐 4 | 5 | 黄瓜 Cucumber | 基肥:鸡粪 1 车/棚;二铵 50 公斤/棚。 Basal fertilizer: chicken manure, diammonium. | 井水,育苗。 Irrigation with well water, seedling raising. | 地上白色不明显。早疫病;白粉虱。 Early blight; whitefly. |
| 乐 17 | 10 | 豇豆,辣椒 Cowpea, pepper | 基肥:猪粪 2 方/棚,追肥:尿素,磷酸二氢钾,钾宝冲施。坐果后施肥半个月后再施一次。 Basal fertilizer: pig manure; Top dressing: urea, potassium dihydrogen phosphate. | 浇水用河水,7 月 30 日后用井水(甜水),豇豆辣椒套种。 Irrigation with river water before July 30, and well water afterwards; Interplanting of cowpea and pepper | |
| 乐 23 | 15 | 豇豆,辣椒 Cowpea, pepper | 基肥:鸡粪 2 方/棚;二铵,50 公斤/棚。化肥:尿素 100 公斤/棚;碳铵 50 公斤/棚。 Basal fertilizer: chicken manure, diammonium, urea, ammonium bicarbonate. | 今年白粉病少 Less powdery mildew in the current year. | 砂质土壤 Sandy soil |
| 乐 14 | 22 | 油菜,豇豆,辣椒 Rape, cowpea, pepper | 基肥:猪粪 2 方/棚,追肥:尿素,磷酸二氢钾,钾宝冲施。坐果后施肥半个月后再施一次。 Basal fertilizer: pig manure; Top dressing: urea, potassium dihydrogen phosphate. | 油菜-辣椒套豇豆 Interplanting of rape, pepper and cowpea. | 表面有积盐 Salt accumulating on surface |
| 乐 20 | 27 | 豇豆,辣椒 Cowpea, pepper | 农家肥、有机肥少,长期用化肥;恩泽。 Long-term chemical fertilizer, with a little manure. | | 土壤板结厉害,进入大棚看见致密的片状结构。 Severe soil hardening. |

2.1.2 不同种植年限大棚土壤耕层的基本性质

表 2 土壤基本性质

Table 2 The fundamental property of the soil

| 种植年限(a) | 有机质(%) | 碱解氮 (N mg/kg) | 全氮 (%) | 速效磷 (mg/kg) |
|----------------------|----------------|------------------|-----------|----------------|
| Years of cultivation | Organic matter | Available N | Total N | Available P |
| 2 | 2.11 | 115.43 | 0.12 | 12.2 |
| 5 | 3.11 | 135.46 | 0.18 | 6.0 |
| 10 | 1.70 | 108.47 | 0.16 | 11.6 |
| 15 | 2.2 | 110.25 | 0.14 | 9.2 |
| 22 | 2.79 | 200.22 | 0.24 | 32.4 |
| 27 | 2.12 | 100.66 | 0.14 | 12.9 |

2.2 不同种植年限大棚土壤硝态氮含量

2.2.1 大棚土壤硝态氮含量随种植年限的变化
不同种植年限大棚土壤 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 剖面上硝态氮含量如表 3 所示。由表 3 得出,随着种植年限的增加,大棚土壤硝态氮含量呈现逐年增加的趋势。种植年限低于 10 a 的低棚龄土壤硝态氮含量介于 99.09~525.865 mg/kg,平均含量为 357.135 mg/kg;种植年限 10 a 以上的高棚龄土壤硝态氮含量介于 361.168~609.065 mg/kg,平均含量为 496.798 mg/kg,高于低棚龄 139.663 mg/kg。22 a 大棚的土壤硝态氮含量最高,15 a 大棚土壤硝态氮含量低于 10 a,27 a 大棚土壤

硝态氮含量也有所下降,主要因为客土改良和施肥量的减少。另外,叶灵等^[5]研究发现,硝态氮在0~100 cm的作物根系活动层有较高的累积,同时200 cm以下层次也有大量的累积。27 a 大棚土壤硝态氮很可能淋溶到1 m 土体更深处。

造成大棚土壤硝态氮含量随种植年限增加而呈增加趋势的原因主要是偏施N肥,导致大棚土壤中的硝酸盐大量累积;高灌溉量使硝酸盐不断向下淋溶,种植年限较长的土壤中硝态氮含量逐渐增加。

2.2.2 不同土壤剖面硝态氮含量变化 大棚土壤硝态氮含量在0~10 cm层时最高,随着土壤层次的加深,含量逐渐下降,硝态氮呈现明显的表聚现象。22 a 土壤硝态氮含量在0~10 cm达到最大值

453.64 mg/kg。大棚土壤硝态氮含量在10~20 cm大幅度下降。硝态氮在土壤表层大量累积以后,经淋溶作用向下层迁移,导致底层土壤硝态氮含量不断增高。杨治平等^[6]对土壤剖面硝态氮含量做了专项的研究,进一步指出土壤硝酸盐的积累是全剖面性的,不但表层土壤积聚有很高的硝态氮,而且土壤剖面中硝态氮迁移也很严重。叶优良^[7]等研究发现,随灌水次数的增加,土壤剖面浅层硝态氮含量占整个剖面的比例下降,其在深层的比例增加。从0~100 cm 土体中硝态氮分布看,整个土体中都聚积有很高的硝态氮,到80~100 cm 土层时仍然有4.48~88.95 mg/kg 硝态氮聚积,硝态氮含量略高于60~80 cm 土层。

表3 不同种植年限大棚土壤硝态氮含量(mg/kg)

Table 3 The amount of nitric nitrogen in protected vegetable soils in different years of cultivation

| 种植年限(a) Years of cultivation | 深度 Depth(cm) | | | | | |
|---------------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| | 0~10 | 10~20 | 20~40 | 40~60 | 60~80 | 80~100 |
| 2 | 18.92 | 18.60 | 15.09 | 12.23 | 9.17 | 25.10 |
| 5 | 136.37 | 55.26 | 36.43 | 52.31 | 77.15 | 88.95 |
| 10 | 228.82 | 193.88 | 21.62 | 22.38 | 22.32 | 36.86 |
| 15 | 226.23 | 27.16 | 94.34 | 6.63 | 2.33 | 4.48 |
| 22 | 453.64 | 91.91 | 21.90 | 14.42 | 11.35 | 15.87 |
| 27 | 247.05 | 62.16 | 42.80 | 55.95 | 62.84 | 49.37 |

2.3 土壤硝态氮含量与土壤基本性质的关系

如表4所示,在0~20 cm土壤剖面上,土壤硝态氮含量与土壤pH和总盐含量呈显著相关,与全氮、碱解氮和速效磷含量相关性稍弱,与有机质近似不相关。

2.3.1 硝态氮含量与土壤有机质、碱解氮、速效磷、全氮含量的关系 土壤硝态氮含量与土壤有机质含量近似不相关($r=0.03$),与土壤碱解氮、速效磷、全

氮含量有一定的相关性,但相关性不显著。

王辉^[8]等认为随种植年限的增加土壤有机质含量逐渐上升。一般地,有机质含量高的土壤,土壤缓冲能力强,硝酸盐的含量也高^[9]。本次研究中不同种植年限的表层土壤有机质没有规律性变化,其含量与土壤硝态氮含量没有相关性,主要是因为大量施用化肥使得硝态氮含量急剧增加。

表4 土壤硝态氮含量与土壤基本性质的相关关系

Table 4 Correlation coefficients between nitric nitrogen and fundamental property of soil

| 指标 Index | 硝态氮 Nitric N | 碱解氮 Availabe N | 有机质 Organic matter | 速效磷 Available P | 全氮 Total N | pH | 总盐 Total salt |
|--------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|--------------------|---------------|-------|------------------|
| 硝态氮 Nitric N | 1.00 | | | | | | |
| 碱解氮 Availabe N | 0.56 | 1.00 | | | | | |
| 有机质 Organic matter | 0.03 | 0.65 | 1.00 | | | | |
| 速效磷 Available P | 0.70 | 0.84* | 0.21 | 1.00 | | | |
| 全氮 Total N | 0.72 | 0.94** | 0.64 | 0.75 | 1.00 | | |
| pH | -0.86* | -0.50 | -0.36 | -0.45 | -0.75 | 1.00 | |
| 总盐 Total salt | 0.76* | 0.84* | 0.39 | 0.78* | 0.82* | -0.62 | 1.00 |

注: *表示在0.05水平上相关性显著($n=6$); **表示在0.01水平上相关性显著($n=6$)。

Note: * means correlation is significant at the 0.05 level($n=6$); ** means correlation is significant at the 0.01 level($n=6$).

2.3.2 硝态氮含量与土壤pH的关系 研究发现,随着种植年限的增加,大棚土壤硝态氮含量呈现逐

年增加的趋势, pH 值总体呈现逐渐下降的趋势, 表现出“酸化”现象。

本研究数据表明(如图 1 所示), 土壤 pH(y) 值与土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量(x)呈线性负相关关系($y = -0.0007x + 8.0467$, $r = 0.86$), 经统计检验相关性达极显著水平。土壤 pH 值的下降是由于化肥(尤其是氮肥)和有机肥的大量施用(表 1)。由表 1 可知, 研究区农民每年在大棚土壤中施入大量的有机肥(主要是鸡粪和猪粪)和氮肥(主要是二铵和尿素), 有机肥中含氮物质(蛋白质)通过降解和氨化作用产生大量的铵离子(NH_4^+)以及本身无机氮肥所含的大量铵离子(NH_4^+)进入土壤中后, 除了被土壤胶体吸附和植物吸收外, 绝大多数在土壤中通过硝化细菌的作用而转化为硝态氮(NO_3^-), 这个过程中有氢离子(H^+)释放, 因此会导致土壤酸化, pH 值降低。

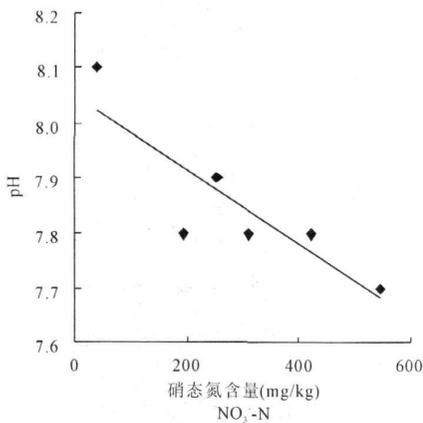


图 1 土壤硝态氮含量与 pH 的关系

Fig. 1 The relations between $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and pH

2.3.3 硝态氮含量与土壤总盐的关系 设施栽培条件下土壤次生盐渍化的主要特点之一是硝态氮积累, 在设施土壤盐分组成中, 阳离子以 Ca^{2+} 为主, 阴离子则以 NO_3^- 居多, 约占阴离子总量的 56%~76%, 盐分高的土壤一般硝态氮也高^[10]。

由图 2 知, 随着硝态氮含量的增加, 大棚土壤总盐的含量逐渐增大, 土壤总盐含量在 0.179%~0.671%之间, 大棚土壤总盐(y)与土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量(x)具有密切的相关性($y = 0.0008x + 0.0779$, $r = 0.76$), 说明硝态氮含量太高对总盐分含量高的主要贡献者之一, 土壤硝态氮含量的变化可以间接反映土壤盐分的富积程度。土壤盐渍化程度与土壤类型、质地、种植年限以及使用肥料总量和种类有一定的相关性。但不合理的肥料投入将导致短龄大棚硝态氮累积量急剧增加而超过长龄大棚土壤, 使短龄

大棚土壤总盐含量也大幅度上升, 在本试验中调查发现, 部分 2 a 的大棚土壤总盐含量及硝态氮累积量超过长龄大棚土壤, 总盐含量达到 0.448 mg/kg, 仅次于 22 a 大棚土壤; 硝态氮含量达到 799.59 mg/kg, 超过 22 a 大棚土壤, 主要是由于过量施用化肥尤其是 N 肥, 致使土壤硝态氮含量急剧增加, 土壤总盐含量也大量增加。说明化肥投入量过高是加速设施蔬菜地土壤盐渍化进程的主导因素。同时, 不合理的施用氮肥会造成:

1) 氮肥损失, 利用率不高。土壤氮素损失的主要途径之一是土壤硝态氮的淋失。无机氮肥的利用率一般只有 30%~35%, 造成氮肥的大量损失。

2) 容易导致蔬菜中累积, 危害人身健康。过量施用氮肥易引起蔬菜中硝酸盐累积, 人体摄入的硝酸盐来自蔬菜的高达 80%以上^[11], 硝酸盐可以在人体内形成有毒的亚硝酸和强力致癌物亚硝胺, 从而造成对食用它的人和动物的危害^[12, 13]。

3) 在频繁灌溉下易进入水体, 使之富营养化。土壤剖面累积的硝态氮在大量灌溉下会向下迁移进入地下水层, 造成水体污染。张维理^[14]对我国北方 14 个县市 69 个地点的调查发现, 半数以上调查地点的地下水、饮用水硝酸盐含量超标。Mc Lay^[15]研究指出, 较严重的地下水硝态氮污染主要与化肥施用量较高的蔬菜种植有关。

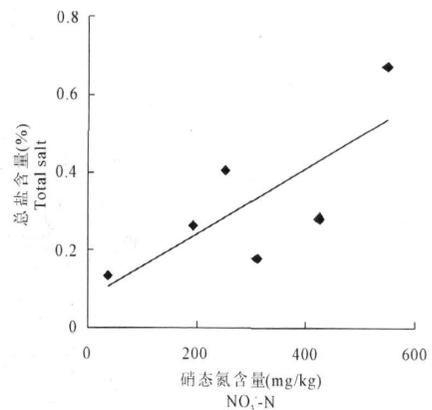


图 2 土壤硝态氮含量与总盐含量关系

Fig. 2 The relations between $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and salt

3 结 论

大棚土壤硝态氮含量随种植年限的增加而呈增加趋势, 长龄大棚土壤硝态氮含量明显高于短龄大棚土壤硝态氮含量; 大棚土壤硝态氮含量表聚现象明显, 并且在土壤中迁移现象比较严重, 在 80~100 cm 层仍有大量硝态氮累积; 土壤 pH 与硝态氮

含量呈线性负相关,总盐含量与硝态氮含量呈显著性正相关,随着种植年限的增加,土壤硝态氮含量逐渐增加,土壤总盐含量总体上升,土壤pH值下降,氮肥不合理投入加剧了土壤pH的降低;化肥的超量投入,导致短龄大棚内土壤硝态氮及总盐含量急剧上升而超过长龄大棚土壤,将加剧大棚土壤次生盐渍化程度。

参考文献:

- [1] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semivariogram and punctual kriging[J]. *Soil Science*, 1980, 31: 333-341.
- [2] 张乃明,李保国,胡克林. 污水灌区耕层土壤中铅、镉的空间变异特征[J]. *土壤报*, 2003, 40(1): 151-154.
- [3] White J W J. Relative significance of dietary source of nitrate and nitrite[J]. *Agric Food Chem*. 1975, 23(5): 886-891.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [5] 叶灵, 巨晓棠, 刘楠, 等. 华北平原不同农田类型土壤硝态氮累积及其对地下水的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(2): 165-168.
- [6] 杨治平, 张建杰, 张强, 等. 山西省保护地蔬菜长期施肥对土壤环境质量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(2): 667-671.
- [7] 叶优良, 李隆, 张福锁, 等. 灌溉对大麦/玉米带田土壤硝态氮累积和淋失的影响[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(5): 105-109.
- [8] 王辉, 董元华, 李德成, 等. 不同种植年限大棚蔬菜地土壤养分状况研究[J]. *土壤*, 2005, 37(4): 460-464.
- [9] 党菊香, 郭文龙, 郭俊炜, 等. 不同种植年限蔬菜大棚土壤盐分累积及硝态氮迁移规律[J]. *中国农学通报*, 2004, 20(6): 189-191.
- [10] 童有为, 陈淡飞. 温室土壤次生盐渍化的形成和治理途径[J]. *园艺学报*, 1991, 18(2): 159-162.
- [11] Amr A, Hadidi N. Effect of cultivar and harvest date on nitrate and nitrite content of selected vegetables grown under open field and greenhouse conditions in Jordan[J]. *J Food Compos Anal*, 2001, 14(1): 59-67.
- [12] Camargo J A, Alonso A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment[J]. *Env Int*, 2006, 32(6): 831-849.
- [13] Lundberg J O, Feelich M, Bjorne H, et al. Cardioprotective effects of vegetables: Is nitrate the answer[J]. *Nitric Oxide*, 2006, 15(4): 359-362.
- [14] 张维理, 田哲旭, 张宁, 等. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(2): 80-87.
- [15] Mclay C D A, Dragten R. Predicting groundwater nitrate nitrogen concentration in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches[J]. *Environmental Pollution*, 2001, 115(2): 191-204.

The spatio-temporal variation of nitric nitrogen in protected vegetable soils in different years of cultivation

LIU Qing-fang¹, LU Jia-long¹, LI Song-ling², SHENG Hai-yan², LI Ning²,
WANG Yan-ping², WANG Jin-min², ZHU Chun-lai²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China)

Abstract: This paper analyses the spatio-temporal variation of nitric nitrogen in the greenhouse soil in different years of cultivation in Qinghai, and determines that the content of nitric nitrogen in 0~100 cm layer and the fundamental property in 0~20 cm layer of protected vegetable soils varied obviously in different years of cultivation. Along with the years of cultivation from 2~27 a, the content of nitric nitrogen in greenhouse soils ranged from 99.09~609.065 mg/kg in 0~100 cm layer and 37.51~545.545 mg/kg in 0~20 cm layer. The pH value was dropped (8.1~7.7) by cultivated years while content of salt was increased (0.137%~0.671%). The content of nitric nitrogen in greenhouse soil tend to increase along with the years of cultivation, peaked at 22 a (609.065 mg/kg). The nitric nitrogen accumulation was obvious on top soil. The spatio-temporal variation of nitric nitrogen in protected vegetable soils in different years of cultivation is obvious.

Keywords: greenhouse soil; nitric nitrogen; salinization