

杨 红, 徐唱唱, 曹丽花, 等. 米林县不同种植年限蔬菜大棚土壤 pH 和无机氮变化特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(12): 2397-2404.

YANG Hong, XU Chang-chang, CAO Li-hua, et al. Research on the variation characteristics of pH and mineral nitrogen concentrations in different planting time polytunnel soils of Milin County in Tibet [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(12): 2397-2404.

米林县不同种植年限蔬菜大棚土壤 pH 和无机氮变化特征研究

杨 红, 徐唱唱, 曹丽花, 石玉龙, 赛 曼, 刘合满 *

(西藏大学农牧学院 西藏高原气候变化与土壤圈物质循环研究中心, 西藏 林芝 860000)

摘 要:为阐明露地与不同种植年限大棚土壤 pH 值及无机氮含量变化特征, 给保护性耕作土壤的可持续利用提供科学依据, 以米林县不同种植年限蔬菜大棚(1 a、4 a 和 6 a)和相邻露地为研究对象, 研究了露地和不同种植年限蔬菜大棚(0~20 cm 表层)和(0~70 cm 剖面)土壤无机氮浓度及 pH 值分布特征。结果表明: 土壤硝态氮浓度表现为, 1 a 大棚>4 a 大棚>6 a 大棚>露地; 铵态氮浓度表现为, 6 a 大棚>4 a 大棚>露地>1 a 大棚; pH 值分布为, 1 a 大棚>露地>4 a 大棚>6 a 大棚。随着剖面土壤层次的加深, 大棚土壤硝态氮及矿化氮浓度呈降低趋势, 露地土壤硝态氮浓度呈先增加后降低的趋势, 露地土壤铵态氮及矿化氮浓度呈先降低后增加的趋势; 与露地相比, 大棚土壤铵态氮、硝态氮浓度及 pH 值具有更大的垂直空间变异性。土壤 pH 值随土壤深度的增加, 露地表现为逐渐增加的趋势, 而蔬菜大棚呈先降低后增大的趋势。大棚土壤 pH 值与硝态氮和铵态氮含量之间存在负相关, 露地土壤 pH 值与硝态氮和铵态氮含量之间存在正相关关系。在林芝区域大棚生产过程中, 表层土壤酸化现象加重, 且增加了土壤无机氮的积累, 故在生产管理中宜适当减少氮肥的供应。

关键词: 土壤 pH 值; 硝态氮; 铵态氮; 露地; 大棚

中图分类号: S158 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2016)12-2397-08 **doi:** 10.11654/jaes.2016-0782

Research on the variation characteristics of pH and mineral nitrogen concentrations in different planting time polytunnel soils of Milin County in Tibet

YANG Hong, XU Chang-chang, CAO Li-hua, SHI Yu-long, SAI Man, LIU He-man*

(Research Center of Climate Change and Material Cycle of Pedosphere of Tibet Plateau, College of Agricultural and Animal Husbandry, Tibet University, Linzhi 860000, China)

Abstract: In order to elucidate variation characteristics of soil pH and mineral nitrogen (N_{min}) concentrations between open fields and different planting time polytunnel fields, then provide scientific support for the sustainable utilization of soil in Tibet area. Different planting time polytunnel (1 a, 4 a and 6 a) and there adjacent open fields in Milin County were investigated, surface soil (0~20 cm depth) and profile soil (0~70 cm depth) were collected, and the soil nitrate nitrogen (NN) and ammonium nitrogen (AN) concentrations and pH were determined. The results showed that, Soil NN concentrations had the decrease sequences as 1 a polytunnel > 4 a polytunnel > 6 a polytunnel > open field; soil AN concentrations were 6 a polytunnel > 4 a polytunnel > open field > 1 a polytunnel; and soil pH were 1 a polytunnel > open field > 4 a polytunnel > 6 a polytunnel; Compared to the open field soil, the soil NN and N_{min} concentrations in polytunnel soils in-

收稿日期: 2016-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161052, 41461052); 西藏大学农牧学院研究生创新项目计划(Yjs2016-7, YJS2015-09)

作者简介: 杨 红(1991—), 男, 硕士研究生, 专业方向为高原(高山)生态系统生态。E-mail: hyang2016@163.com

* 通信作者: 刘合满 E-mail: liuh-m@163.com

creased in 0~20 cm arable layer, and they were all decreased with the increase of soil depth; Compared to open field soil, pH decreased for 0~20 cm polytunnel soil, and then increased with the increase of soil depth; Regression analysis showed a negative correlation between soil pH to NN and AN concentrations for polytunnel soils; but for the open field soil, they were negatively correlated. These results indicated that polytunnel management resulted in soil acidification of arable layer, and increase of soil Nmin; so the application of nitrogen fertilizer need be reduced for polytunnel soil.

Keywords: soil pH; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; open field; polytunnel

大棚作为蔬菜种植的重要设施,具有常年高温、高湿、无降水淋洗及高施肥、高产出、超强度利用等特点^[1-2],导致了土壤残留无机氮增加和土壤酸化^[3]等问题,并加重植物病害,严重阻碍和制约了土地及大棚设施的可持续利用,故大棚土壤主要性质的分布与变化特征成为广大学者关注的一个焦点。

氮是植物生长发育所必需的大量元素,但不合理的施用使其成为农业面源污染的一个重要来源。目前大棚氮肥施用水平极高^[4],使氮素的利用率较低,造成了严重的经济和资源浪费,同时导致土壤酸化^[5-6]和地下水污染^[7]等环境问题。郭文龙等^[8]对不同种植年限蔬菜大棚土壤性质演变及施肥状况做了相关研究,结果表明:土壤酸化程度随着种植年限的延长而加重,且土壤 pH 值的下降主要在表层^[9]。一般认为,土壤的酸化主要与过量施用氮肥有关^[10],南镇武等^[11]研究表明施用有机肥和化肥均可导致硝态氮和铵态氮在土壤中积累,且使土壤酸化,从而引起土壤质量退化。

西藏气候具有年均温低、昼夜温差大、年温差小和干、湿季分明等特点^[12],不适宜露地蔬菜栽培,故大棚成了当地蔬菜生产的主要方式。但西藏土壤发育不成熟,对水、肥的储蓄性能极差,在这种土壤条件下大棚的生产管理对土壤无机氮及土壤 pH 值的影响效应更值得关注。科学阐明不同利用年限大棚土壤 pH 值及无机氮的分布特征,有助于对地方土壤的合理利用与管理。本研究以西藏林芝地区米林县不同种植年限蔬菜大棚为研究对象,研究不同种植年限蔬菜大棚土壤无机态氮浓度及土壤 pH 值分布特征,旨在阐明蔬菜大棚对土壤无机氮及土壤 pH 值的影响,为当地蔬菜大棚的可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

供试土样采于林芝地区米林县蔬菜大棚以及相邻露地,位于西藏自治区东南部,林芝地区西南部,雅鲁藏布江中下游,念青唐古拉山脉与喜马拉雅山脉之间(94.19°~94.24° E, 29.19°~29.23° N),平均海拔

2973 m,全年日照充足,年均温 8.2 °C,为高原温带半湿润性季风气候,常年分为明显的干季和雨季(雨季一般为 5—9 月,干季一般为 10—4 月)。降水主要来源于沿雅鲁藏布江河谷深入内陆的印度洋暖湿气流,年均降水量 640~650 mm。河谷内发育着温带及亚热带湿润型山地土壤如黄棕壤、棕壤、暗棕壤、灰化土等,土壤质地偏砂性^[13],种植模式为一年一熟制。

1.2 土壤样品的采集与测定

2015 年 9 月 23 日,选择米林县不同种植年限蔬菜大棚及相邻露地农田,露地作物以青稞和小麦为主,蔬菜大棚是由露地改建而成,改建前主要作物为青稞和小麦,改建后蔬菜大棚主要种植青椒、西红柿和茄子。大棚初建时主要施用有机肥,之后以化肥为主,主要以尿素、过磷酸钙及氯化钾作底肥施用。分别选择 1 a、4 a 和 6 a 的蔬菜大棚及其相邻露地为样地,每个样地设置 3 个样点,作为 3 个重复,并采集表层 0~5 cm、5~10 cm 和 10~20 cm 三个层次的土壤样品。为阐明不同土地利用条件下对土壤 pH 值及无机氮影响的层次效应,在每个样地各采集 1 个剖面土壤(0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~50 cm、50~60 cm 和 60~70 cm),共采集土壤样品 68 个,装入自封袋带回实验室。去除可见的石块、植物残体等非土壤部分后,一部分土壤储存在 4 °C 冰箱供测定土壤硝态氮和铵态氮(储存时间不超过 24 h),另一部分室内自然风干,磨碎。土壤 pH 值采用 5:1 水土比,pH 计测定,即准确称取过 1 mm 筛的风干土壤样品 5.0 g,加入去 CO₂ 水 25 mL,搅拌 1 min,静置 30 min,用 pH 计(Model IQ150)测土壤 pH 值。硝态氮和铵态氮采用 2 mol·L⁻¹ KCl 溶液按照 5:1 液土比,振荡 30 min 后过滤^[14],用连续流动分析仪(A3HR 型,德国 Seal 公司)测定。

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 进行数据处理,无机氮含量及 pH 值方差分析、回归分析采用 SPSS 17.0,采用 Origin9.0 进行做图分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植年限蔬菜大棚与露地土壤 pH 变化

2.1.1 表层土壤 pH 值

由表 1 可知, 露地与 1 a 蔬菜大棚土壤 pH 值在 6.5~7.5 之间, 为中性土壤。随着大棚利用年限的增加, 表层土壤 pH 值呈降低趋势, 即表现为表层土壤的酸化。其中 4 a 与 6 a 蔬菜大棚 pH 值小于 5.0, 为强酸性土壤^[15]; 1 a 土壤 pH 较露地高, 可能主要与大棚初建时, 大量施用有机肥有关。肖辉等^[16]研究表明, 施用天然有机肥可以明显提高土壤 pH, 减缓土壤酸化速率。在 0~5 cm 层次, 6 a 大棚 pH 值较 1 a 降低了 31.58%, 较露地降低了 25.32%; 在 5~10 cm 层次, 6 a 较 1 a 降低了 33.99%, 较露地降低了 28.58%; 在 10~20 cm 层次, 6 a 较 1 a 降低了 30.63%, 较露地降低了 29.98%。露地及不同利用年限大棚在 0~5 cm, 5~10 cm 和 10~20 cm 三个层次土壤 pH 值之间的差异均未达显著水平。在不同利用年限上, 1 a 大棚与露地之间的各土壤层次差异均未达显著水平($P>0.05$), 4 a 大棚与露地在 0~5 cm 和 5~10 cm 差异达极显著水平($P<0.01$), 6 a 大棚与露地在 10~20 cm 差异达极显著水平($P<0.01$)。

表 1 表层(0~20 cm)土壤 pH 分布特征
Table 1 Distribution characteristics of soil pH in surface soil

层次/cm	露地	大棚		
		1 a	4 a	6 a
0~5	6.52±0.40aA	7.11±0.22aA	4.93±1.27aB**	4.87±0.90aBC*
5~10	6.53±0.34aA	7.06±0.28aA	4.83±1.14aB**	4.66±0.63aBC*
10~20	6.57±0.29aA	6.63±0.56aA	4.80±1.11aB*	4.60±0.42aBC**

注: ±后的数字为标准差(Standard deviation, SD); 同列不同层次间进行比较用小写字母表示, 同行不同年限间相比用大写字母, 不同字母表示差异显著($P<0.05$); 同行中不同年限蔬菜大棚与露地比较, **表示差异极显著($P<0.01$), *表示差异显著($P<0.05$)。下同。

2.1.2 剖面层次土壤 pH 值

由图 1A 可知, 随着土壤层次的加深, 土壤 pH 值呈先减小后增大的趋势。1 a 和 4 a 蔬菜大棚土壤 pH 值在 0~20 cm 范围内均呈减小的趋势, 在 20~70 cm 范围内土壤 pH 值均随土壤层次的加深呈增加的趋势; 露地土壤 pH 值在 0~10 cm 范围内呈减小的趋势, 在 10~70 cm 范围内呈增加的趋势。随蔬菜大棚种植年限的延长, pH 值呈减小的趋势, 即 1 a>4 a。随土壤层次的加深, 蔬菜大棚 pH 值的变化程度较露地明

显, 1 a、4 a 蔬菜大棚变异系数分别为 7.60%、3.74%, 露地变异系数分别为 2.16%和 3.56%。

2.2 不同种植年限蔬菜大棚与露地土壤硝态氮变化

2.2.1 表层土壤硝态氮

由表 2 可知, 在蔬菜大棚表层土壤中, 硝态氮浓度表现为 0~5 cm>5~10 cm>10~20 cm, 表明蔬菜大棚土壤硝态氮存在表聚现象, 大棚的施肥方式、施肥深度及较高的施肥量是造成表层土壤硝态氮含量较高的原因。随着大棚种植年限的延长, 土壤硝态氮浓度逐渐降低, 即 1 a>4 a>6 a, 即蔬菜大棚土壤的供氮能力随着种植年限的延长而降低。而露地硝态氮浓度表现为 0~5 cm<5~10 cm<10~20 cm, 降水淋溶作用及较深的耕层是导致露地 10~20 cm 的硝态氮浓度高于 0~5 cm 的主要原因之一。1 a 大棚硝态氮浓度范围为 16.80±8.71~18.61±9.38 mg·kg⁻¹(±SD), 变异系数为 8.18%, 4 a 大棚为 5.45±0.95~9.39±4.46 mg·kg⁻¹, 变异系数为 26.60%, 6 a 大棚为 5.76±4.96~7.95±6.82 mg·kg⁻¹, 变异系数为 17.31%。1 a 大棚土壤硝态氮浓度较其他样地土壤浓度高, 与大棚初建时大量施肥及土壤外部环境的较大扰动有关。在 0~20 cm 层次, 6 a 大棚土壤硝态氮浓度较 1 a 大棚降低了 60.91%, 较 4 a 降低了 10.21%, 4 a 大棚土壤 NO₃-N 浓度较 1 a 大棚降低了 56.46%。1 a 大棚与露地在各土壤层次之间差异均达显著性水平($P<0.05$), 且在 0~5 cm 之间差异达极显著水平($P<0.01$), 说明硝态氮浓度的降低主要集中在大棚初建时期, 可能与初建时期大量施肥、灌溉、过度生产以及硝态氮易溶于水有关。

表 2 表层(0~20 cm)土壤硝态氮分布特征
Table 2 Distribution characteristics of soil NN in surface soil

层次/cm	露地/mg·kg ⁻¹	大棚/mg·kg ⁻¹		
		1 a	4 a	6 a
0~5	5.64±2.92aB	18.61±9.38aA**	9.39±4.46aAB	7.95±6.82aB
5~10	6.29±1.92aB	16.34±10.44aA*	7.38±4.71aAB	6.24±4.92aB
10~20	6.38±1.76aB	16.08±8.71aA*	5.45±0.95aB	5.76±4.96aB

2.2.2 剖面土壤硝态氮

由图 1B 可知, 随土壤层次加深, 蔬菜大棚土壤硝态氮浓度逐渐降低, 露地呈先增加后降低的趋势。表现为蔬菜大棚硝态氮浓度在 0~20 cm 范围内呈逐渐降低趋势, 且空间变异性较大, 变异系数为 29.30%; 露地 1 和露地 2 的硝态氮浓度在 0~20 cm 范围内逐渐升高, 在 20 cm 处达到最大值, 分别为 8.60 mg·kg⁻¹和 6.27 mg·kg⁻¹。在 20~70 cm 范围内随着土

壤层次逐渐加深,露地与蔬菜大棚硝态氮浓度总体均呈降低的趋势,但在土壤深度为60~70 cm处仍然有较高的硝态氮浓度。

露地和蔬菜大棚60~70 cm深度土壤硝态氮浓度分别是0~20 cm的50.20%和18.99%。在0~30 cm范围内土壤硝态氮浓度均高于30~70 cm范围,在0~30 cm范围内露地1、露地2、大棚1 a和4 a的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度分别为 7.76 ± 1.37 、 5.00 ± 1.49 、 23.40 ± 3.94 、 $9.79 \pm 4.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较30~70 cm高出了12.73%、30.66%、56.49%和63.22%。这说明硝态氮在土壤中存在表聚现象,且蔬菜大棚较露地明显。随种植年限的延长,蔬菜大棚硝态氮浓度呈降低的趋势,即1 a>4 a,大棚高温高湿的环境容易使硝态氮分解,从而降低土壤中的硝态氮浓度。

2.3 不同种植年限蔬菜大棚与露地土壤铵态氮变化

2.3.1 表层土壤铵态氮

由表3可知,1 a、4 a、6 a和露地土壤铵态氮浓度表现为,随着表层土壤层次的加深,土壤铵态氮浓度呈逐渐降低的趋势,即10~20 cm<5~10 cm<0~5 cm。1 a、4 a、6 a和露地的10~20 cm层次较0~5 cm层次分

别降低了2.26%、4.60%、18.21%和8.54%。土壤铵态氮浓度在0~5 cm、5~10 cm和10~20 cm各层次之间差异均未达显著水平($P>0.05$),而对于不同种植年限大棚土壤来说,仅有1 a和4 a的大棚在10~20 cm差异达显著性水平($P<0.05$)。

表3 表层(0~20 cm)土壤铵态氮

Table 3 Distribution characteristics of soil AN contents in surface soil

层次/ cm	露地/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	大棚/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		
		1 a	4 a	6 a
0~5	$53.43 \pm 12.81 \text{aA}$	$46.41 \pm 2.50 \text{aA}$	$55.89 \pm 5.68 \text{aA}$	$63.28 \pm 22.82 \text{aA}$
5~10	$51.62 \pm 8.17 \text{aA}$	$47.01 \pm 2.95 \text{aA}$	$55.05 \pm 1.90 \text{aA}$	$61.14 \pm 23.53 \text{aA}$
10~20	$48.87 \pm 3.51 \text{aAB}$	$45.36 \pm 1.51 \text{aA}$	$53.32 \pm 3.56 \text{aB}$	$51.76 \pm 8.77 \text{aAB}$

2.3.2 剖面层次土壤铵态氮浓度分析

由图2A可知,在供试土壤中,1 a蔬菜大棚土壤铵态氮浓度范围为43.81~50.70 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为42.18 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为5.51%;4 a蔬菜大棚土壤铵态氮浓度范围为49.17~59.62 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为47.42 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数为7.42%;露地1、露地2土壤铵态氮浓度范围分别为44.94~50.82、48.46~53.77 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值分别为42.71、45.56 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,变异系数分别为4.90%、3.50%。由此可知,露地与蔬菜大棚土壤铵态氮浓度变化范围都较小,即具有较小的垂直空间变异性。但蔬菜大棚的变异系数大于露地的变异系数,则主要是因为露地是一个开放的生态系统,其淋溶作用远强于大棚,另外由于大棚高温环境,其蒸发量较大, NH_4^+ 离子随水分向上迁移,导致大棚的垂直变异性较露地大。

随着土壤层次加深铵态氮浓度呈先降低后增加的趋势。露地1、露地2在40 cm处达到最小值,分别为41.130、48.581 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,蔬菜大棚在20 cm处达到最小值,1 a、4 a分别为44.526、49.169 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。铵态氮容易在硝化细菌的作用下转化为硝态氮,由于蔬菜大棚特殊的环境条件,使得硝化作用、植物吸收利用及水分蒸发量均大于露地,另外露地是一个开放的生态系统,淋溶作用较强,因此,露地最小值出现在40 cm处而大棚最小值出现在20 cm。

2.4 土壤矿化氮

由图2B可知,土壤矿化氮^[17]浓度随大棚种植年限的延长呈降低的趋势,即1 a>4 a。1 a与4 a矿化氮浓度范围分别为51.02~77.63 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和51.30~64.11 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其土壤矿化氮浓度垂直空间变异性相对较

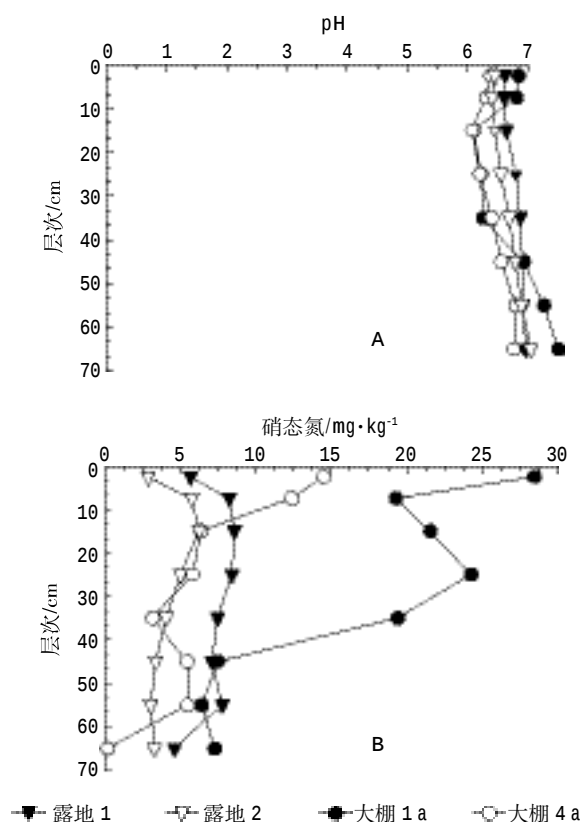


图1 土壤剖面 pH 值和硝态氮分布特征

Figure 1 Distribution characteristics of soil pH and NN contents with soil depth

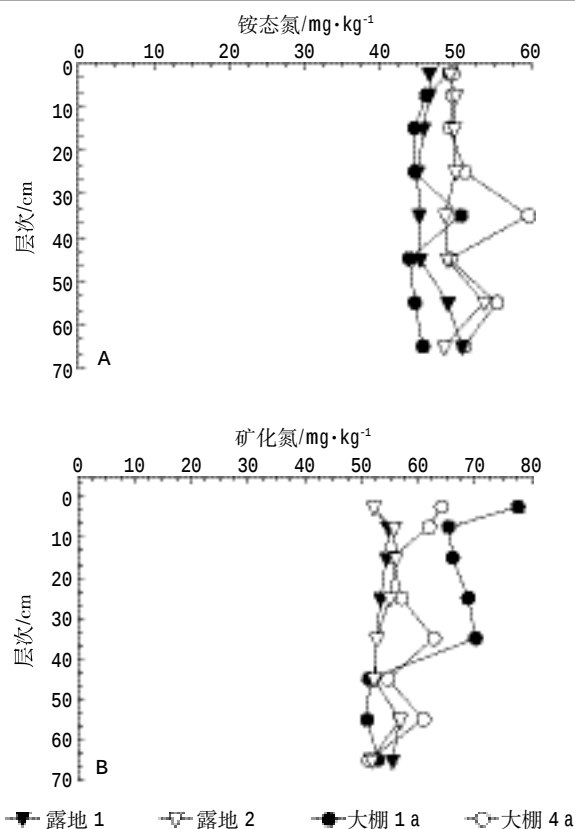


图 2 土壤剖面铵态氮和矿化氮浓度分布特征

Figure 2 Distribution characteristics of soil AN and Nmin contents with soil depth

大, 变异系数分别为 15.83% 和 7.78%。4 a 较 1 a 大棚的垂直空间变异性小。露地 1 和露地 2 土壤矿化氮浓度范围分别为 52.21~56.74、51.78~56.84 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变异系数分别为 3.01%、3.81%, 其土壤矿化氮浓度垂直空间变异性明显小于蔬菜大棚。

随着土壤层次的加深, 蔬菜大棚矿化氮浓度总体呈逐渐降低的趋势, 露地呈先增加后降低的趋势。其中 1 a 与 4 a 蔬菜大棚土壤矿化氮浓度在 0~40 cm 范围内表现为 1 a>4 a, 在这个范围内, 1 a、4 a 大棚土壤矿化氮浓度平均值分别为 69.62、60.30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 1 a 较 4 a 高出 15.45%。这可能与大棚初建时期为了快速增加土壤肥力、追求蔬菜高产, 对土壤的肥料投入量极大, 导致供过于求, 使肥料在土壤中积累。在 40~70 cm 范围内表现为 4 a>1 a, 1 a、4 a 大棚土壤矿化氮浓度平均值分别为 51.77、55.66 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 4 a 较 1 a 高出了 7.49%, 说明矿化氮存在淋溶迁移现象。露地矿化氮浓度在 0~10 cm 范围呈增加的趋势, 在 10~70 cm 范围呈降低的趋势。

2.5 无机氮与土壤 pH 值相关性分析

经各拟合方程比较, 多项式方程的拟合程度最高, 由 pH 值与硝态氮及铵态氮浓度之间的回归方程可以看出(表 4), 大棚土壤 pH 与硝态氮及铵态氮浓度之间均呈负相关关系, 但相关性未达显著水平($P>0.05$), 拟合方程的相关系数分别为 0.76 和 0.15; 露地硝态氮及铵态氮浓度与土壤 pH 值之间的回归方程显示, 土壤硝态氮及铵态氮浓度与 pH 值之间存在正相关关系, 且铵态氮浓度与 pH 值之间相关性达极显著水平($R=0.8456$, $P<0.01$)。

表 4 土壤无机氮与 pH 值回归分析
Table 4 Regression analysis of soil Nmin and pH

无机氮	回归方程	n	R ²	P
大棚铵态氮	$y = -3.346x^2 + 43.99x - 95.13$	8	0.023	>0.05
大棚硝态氮	$y = -21.975x^2 + 281.29x - 884.85$	8	0.573	>0.05
露地铵态氮	$y = 0.649x^2 - 7.71x + 70.37$	8	0.715	<0.01
露地硝态氮	$y = 2.385x^2 - 36.27x + 141.69$	8	0.327	>0.05

注: P 表示显著性水平, y 为无机氮浓度, x 为土壤 pH 值。

3 讨论

3.1 不同种植年限土壤 pH 值分布特征

pH 值是土壤最重要的属性之一, 对土壤氮、磷等物质循环和植物正常生产发育产生重要影响。本研究中, 大棚生产导致表层土壤 pH 值明显下降, 即大棚表层土壤表现出酸化现象。这与其他研究者的结果一致^[18]。且这种影响主要表现在表层 0~10 cm, 可能是由于化肥主要集中施用于表层所致。李晓东等^[19]研究表明, 土壤 pH 值随土壤深度的增加而增加。杨恒山等^[20]研究表明, 在 0~40 cm 土层内, pH 值随土壤深度的增加而增加。本研究结果同样表明, 随着土壤层次加深, 土壤 pH 呈先降低后增加的趋势, 且大棚在 20 cm 处 pH 值达最小值, 露地在 10 cm 处达最小值。这可能与耕层深浅、植物根系分泌及残体分解释放有机酸有关。

随大棚种植年限的延长, 土壤酸化程度有增强的趋势, 可能与超标施肥、矿质元素比例失衡、土壤有机质偏低以及土壤中无机氮含量随种植年限的延长逐渐升高密切相关。Malhi 等^[21]研究表明, 土壤酸化程度加强与硝态氮的累积有着显著的相关性, 并且认为土壤酸化程度随硝态氮的升高而加强。伊田等、曾希柏等^[22-23]研究表明, 随种植年限的增加, 设施栽培土壤 pH 呈下降趋势。

由于大棚长期大量施肥, 使得在同一采样区域,

蔬菜大棚 pH 值显著低于露地。熊汉琴等^[24]研究结果同样表明,大棚土壤 pH 值小于露地,设施菜地土壤矿化与硝化作用比露天有机菜地土壤强烈,使硝态氮在大棚土壤中的累积大于露地^[25],从而导致大棚土壤酸化程度大于露地。陈碧华等^[26-27]研究结果显示,蔬菜大棚土壤中 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 是造成土壤酸化的重要因子。本研究区主要以尿素、过磷酸钙及氯化钾作为底肥施用,其化学成分主要是 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 和 K^+ 等,而 NH_4^+ 又可以在硝化细菌的作用下被硝化成 NO_3^- ,可见施用含阴离子的化肥是导致该样区土壤酸化的主要原因。因此,在蔬菜大棚种植过程中,将有机肥与无机肥混合使用可能会减缓土壤的酸化速度^[28]。

3.2 土壤氮素分布特征及效应

本研究中,米林县蔬菜大棚经过长期的连续生产和大量施肥,其与露地相比,土壤硝态氮浓度较高,且有明显的表聚现象。这主要由于大棚硝化作用较农田明显和大棚采用漫灌的灌溉方式及土壤淋溶作用较露地弱,限制了大棚土壤硝态氮的纵向迁移;其次,大棚土壤水分蒸发强烈,使土壤表层的水分气化,带动地下水和表层水分不断上升,从而使得溶于水中的 NO_3^- 被带到土壤表层而聚积;另外,大棚较高的肥料投入,远远超过了作物的需求量,导致硝态氮在土壤根系层累积。刘庆芳等^[29]研究结果同样显示,各棚龄土壤硝态氮均表现出明显的表聚现象。

随着土壤层次加深,露地及蔬菜大棚硝态氮、铵态氮及矿化氮浓度均呈降低的趋势,且硝态氮和矿化氮浓度变化范围明显缩小,表明硝态氮和矿化氮的向下迁移能力较弱。朱红霞等^[30]研究结果表明,随着土壤层次的加深,硝态氮、铵态氮浓度呈降低的趋势。郑洁等^[31]对洱海流域露地土壤氮素矿化的相关研究亦得出同样的结论。

随着大棚种植年限的延长,土壤硝态氮和矿化氮浓度均呈降低的趋势,土壤铵态氮浓度呈增加的趋势。李若楠等^[32]、王亚男等^[33]、魏迎春等^[34]研究结果显示,随大棚种植年限的延长,土壤硝态氮浓度呈增加的趋势,但本研究结果与此相反。田霄鸿等^[35]研究表明:大多数蔬菜对氮素的吸收表现为喜硝性,则可能是本研究中土壤硝态氮浓度较铵态氮浓度低的原因之一;另外,还可能与大棚连续生产、耕作方式、作物种类、大量施用有机肥、尿素及植物残体矿化分解相关;同时该研究区土壤微生物的种类、数量及活性也会影响土壤氮素的动态及比例。另一方面,设施大棚

内 CO_2 浓度相对较高, O_2 浓度相对较低,一般地,低 pH 值、缺氧环境条件不利于铵态氮向硝态氮的转化,使铵态氮积累增加,硝态氮含量较低;铵态氮是还原态,易被土壤胶体吸附和固定,而硝态氮是氧化态,且水溶性高,易到达根系表面而被吸收。因此,导致大棚土壤铵态氮较硝态氮含量高。

4 结论

(1)蔬菜大棚土壤酸化程度明显高于露地,且随着大棚利用年限的增加,土壤酸化现象呈加重趋势。

(2)大棚的利用导致土壤酸化加重,这种影响主要表现在表层 0~20 cm。

(3)与露地相比,蔬菜大棚土壤铵态氮和硝态氮含量存在明显的“表聚现象”。

(4)随蔬菜大棚种植年限的延长,土壤 pH、硝态氮和矿化氮均呈降低的趋势,铵态氮呈增加的趋势。

参考文献:

- [1] 俞映红, 薛利红, 杨林章, 等. 生物炭添加对酸化土壤中小白菜氮素利用的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 759-767.
YU Ying-liang, XUE Li-hong, YANG Lin-zhang, et al. Effect of biochar application on pakchoi (*Brassica chinensis* L.) utilizing nitrogen in acid soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(4): 759-767.
- [2] 沈灵凤, 白玲玉, 曾希柏, 等. 施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1350-1356.
SHEN Ling-feng, BAI Ling-yu, ZENG Xi-bai, et al. Effects of fertilization on NO_3^- -N accumulation in greenhouse soils[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(7): 1350-1356.
- [3] 佟德利, 徐仁扣. 三种氮肥对红壤硝化作用及酸化过程影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 853-859.
TONG De-li, XU Ren-kou. Effects of urea, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ and NH_4HCO_3 on nitrification and acidification of a red soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(4): 853-859.
- [4] 许安民, 张英利, 李紫燕, 等. 西安地区日光温室土壤养分与盐分累积状况研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 6(25): 193-196.
XU An-min, ZHANG Ying-li, LI Zi-yan, et al. Nutrient accumulation in the soils under sunlight greenhouses of Xi'an area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 6(25): 193-196.
- [5] 曾路生, 高岩, 李俊良, 等. 寿光大棚菜地酸化与土壤养分关系研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 157-161.
ZENG Lu-sheng, GAO Yan, LI Jun-liang, et al. Changes of acidification and nutrient accumulation in greenhouse vegetable soils in Shouguang[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4): 157-161.
- [6] 陈春瑜, 和树庄, 胡斌, 等. 土地利用方式对滇池流域土壤养分时空分布的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 23(10): 77-84.
CHEN Chun-yu, HE Shu-zhuang, HU Bin, et al. Effects of land use type on spatiotemporal distribution of soil nutrients in Dianchi water-

- shed, Yunnan Province of Southwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 23(10):77-84.
- [7] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4):660-667.
- KOU Chang-lin, JU Xiao-tang, ZHANG Fu-suo. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of North China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(4):660-667.
- [8] 郭文龙, 党菊香, 吕家珑, 等. 不同年限蔬菜大棚土壤性质演变与施肥问题的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1):85-89.
- GUO Wen-long, DANG Ju-xiang, LÜ Jia-long, et al. Soil properties and fertilization in vegetable greenhouse at different ages[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(1):85-89.
- [9] 范庆锋, 张玉龙, 杨春璐, 等. 灌溉方法对蔬菜大棚土壤盐渍化及酸化的影响[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(12):115-118.
- FAN Qing-feng, ZHANG Yu-long, YANG Chun-lu. Effects of different irrigation patterns on soil salinity and acidification in vegetable greenhouse[J]. Guizhou Agricultural Science, 2013, 41(12):115-118.
- [10] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 32(7):1008-1009.
- [11] 南镇武, 刘树堂, 袁铭章, 等. 长期定位施肥土壤硝态氮和铵态氮积累特征及其与玉米产量的关系[J]. 华北农学报, 2016, 31(2):176-181.
- NAN Zhen-wu, LIU Shu-tang, YUAN Ming-zhang, et al. Characteristics of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen accumulation in soil and its relationship with maize yield on long-term located fertilization[J]. Acta Agricultural Boreali-sinica, 2016, 31(2):176-181.
- [12] 格桑曲珍, 普布次仁, 胡希远. 西藏气候变化及其对作物产量潜力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2):266-271.
- GE Sang-qu-zhen, PU Bu-ci-ren, HU Xi-yuan. Effect of climate change on yield potential of crops in Tibet[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 2(33):266-271.
- [13] 孙 曦, 刘合满, 周 通, 等. 林芝河谷地区典型农田土壤主要性质及重金属状况初探[J]. 土壤, 2016, 48(1):1-8.
- SUN Xi, LIU He-man, ZHOU Tong, et al. Preliminary study on soil fertility and heavy metal concentrations of croplands in Nyingchi valley of Tibet[J]. Soils, 2016, 48(1):1-8.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2013:49-56.
- BAO Shi-dan. Soil agro-chemical analysis[M]. 3rd Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2013:49-56.
- [15] 尚玉昌. 普通生态学[M]. 3版. 北京:北京大学出版社, 2010, 8:59-66.
- SHANG Yu-chang. General ecology[M]. 3rd Edition. Beijing: Peking University Press, 2010, 8:59-66.
- [16] 肖 辉, 潘 洁, 程文娟, 等. 不同有机肥对设施土壤全盐累积与pH值变化的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2):248-252.
- XIAO Hui, PAN Jie, CHENG Wen-juan, et al. Effect of organic fertilizer on soil salt accumulation and pH changes in greenhouse[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(2):248-252.
- [17] 赵满兴, Kalbitz Karsten, 周建斌. 黄土区几种土壤培养过程中可溶性有机氮的变化及其与土壤矿化氮的关系[J]. 水土保持学报, 2008, 4(22):122-127.
- ZHAO Man-xing, Kalbitz Karsten, ZHOU Jian-bin. Dynamics of soluble organic nitrogen and its relation to mineralization of soil organic nitrogen during incubation of several soils in loess region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 4(22):122-127.
- [18] 刘翠花, 张 澈. 西藏高原设施蔬菜土壤特性调查研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(4):827-829.
- LIU Cui-hua, ZHANG Che. Characteristics of protected vegetable soil in Tibet[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(4):827-829.
- [19] 李晓东, 魏 龙, 张永超, 等. 土地利用方式对陇中黄土高原土壤理化性状的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(4):103-110.
- LI Xiao-dong, WEI Long, ZHANG Yong-chao. Effects of land use regimes on soil physical and chemical properties in the Longzhong part of Loess plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(4):103-110.
- [20] 杨恒山, 张庆国, 邵继承, 等. 种植年限对紫花苜蓿地土壤pH值和磷酸酶活性的影响[J]. 中国草地学报, 2009, 31(1):32-44.
- YANG Heng-shan, ZHANG Qing-guo, TAI Ji-cheng, et al. Effects of growth years on soil pH and phosphatase activities in alfalfa fields[J]. Chinese Journal of Grassland, 2009, 31(1):32-44.
- [21] Malhi S J, Nyborg M, Harapiak J T. Effects of long term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay[J]. Soil and Tillage Research, 1998, 48(1/2):91-100.
- [22] 伊 田, 梁东丽, 王松山, 等. 不同种植年限对设施栽培土壤养分累积及其环境的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(7):111-117.
- YI Tian, LIANG Dong-li, WANG Song-shan, et al. Effect of different cultivation years on nutrients accumulation and environmental impacts of facilities cultivation soil[J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2010, 38(7):111-117.
- [23] 曾希柏, 白玲玉, 苏世鸣, 等. 山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化[J]. 生态学报, 2010, 30(7):1853-1859.
- ZENG Xi-bai, BAI Ling-yu, SU Shi-ming, et al. Acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating years from Shouguang City, Shandong[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(7):1853-1859.
- [24] 熊汉琴, 王朝辉, 宰松梅. 种植年限对蔬菜大棚土壤肥力的影响[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3):137-139.
- XIONG Han-qin, WANG Zhao-hui, ZAI Song-mei. Influence of cropping duration on soil fertility in vegetable greenhouse[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(3):137-139.
- [25] 过燕琴, 高志亮, 张 令, 等. 设施和露天栽培下有机菜地土壤氮素矿化和硝化作用的比较研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(12):2436-2442.
- GUO Yan-qin, GAO Zhi-liang, ZHANG Ling, et al. Nitrogen mineralization and nitrification in organic vegetable soils under greenhouse and open-air cultivation systems[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(12):2436-2442.
- [26] 毕晓庆, 山 楠, 杜连凤, 等. 氮肥用量对设施滴灌栽培番茄产量品质及土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(11):2246-2250.

- BI Xiao-qing, SHAN Nan, DU Lian-feng, et al. Effects of nitrogen rates on tomato yield and quality and soil nitrate accumulation under drip irrigation in solar greenhouse[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(11):2246-2250.
- [27] 陈碧华, 杨和连, 李亚灵, 等. 不同种植年限大棚菜田土壤水溶性盐分的变化特征[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(1):241-245.
- CHEN Bi-hua, YANG He-lian, LI Ya-ling, et al. Variation characteristics of soil water-soluble salts of large plastic house vegetable field for different cultivating years[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(1):241-245.
- [28] 陈劲憬, 曹之富, 任华中, 等. 长期施用不同基肥对日光温室土壤环境的影响研究[J]. *中国生态农业学报*, 2007, 15(1):37-41.
- CHEN Jin-jing, CAO Zhi-fu, REN Hua-zhong, et al. Effects of a long-term utilization of different base-fertilizers on soil environment in solar greenhouse[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(1):37-41.
- [29] 刘庆芳, 吕家珑, 李松龄, 等. 不同种植年限蔬菜大棚土壤中硝态氮时空变异研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(2):159-163.
- LIU Qing-fang, LÜ Jia-long, LI Song-ling. The spatio-temporal variation of nitric nitrogen in protected vegetable soils in different years of cultivation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(2):159-163.
- [30] 朱红霞, 陈效民, 杜臻杰. 基于地统计学的土壤氮素与 pH 的空间变异性研究[J]. *土壤通报*, 2010, 41(5):1086-1090.
- ZHU Hong-xia, CHEN Xiao-min, DU Zhen-jie. Spatial variability of soil nitrogen and pH assessed by the method of geostatistics[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(5):1086-1090.
- [31] 郑洁, 张继宗, 翟丽梅, 等. 洱海流域露地土壤氮素的矿化及其影响因素[J]. *中国环境科学*, 2010, 30(1):35-40.
- ZHENG Jie, ZHANG Ji-zong, ZHAI Li-mei, et al. Nitrogen mineralization and its influence factors in the farmland soils of Erhai Lake Basin[J]. *China Environmental Science*, 2010, 30(1):35-40.
- [32] 李若楠, 武雪萍, 张彦才, 等. 滴灌氮肥用量对设施菜地硝态氮含量及环境质量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(6):1642-1651.
- LI Ruo-nan, WU Xue-ping, ZHANG Yan-cai, et al. Nitrate nitrogen contents and quality of greenhouse soil applied with different N rates under drip irrigation[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(6):1642-1651.
- [33] 王亚男, 曾希柏, 王玉忠, 等. 设施蔬菜种植年限对氮素循环微生物群落结构和丰度的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(4):1115-1124.
- WANG Ya-nan, ZENG Xi-bai, WANG Yu-zhong, et al. Effects of vegetable cultivation years on microbial biodiversity and abundance of nitrogen cycling in greenhouse soils[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(4):1115-1124.
- [34] 魏迎春, 李新平, 刘刚, 等. 杨凌地区大棚土壤硝态氮累积效应研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(2):174-190.
- WEI Ying-chun, LI Xin-ping, LIU Gang, et al. Effect of nitric nitrogen on different greenhouse soil in Yangling area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(2):174-190.
- [35] 田霄鸿, 李生秀. 几种蔬菜对硝态氮、铵态氮的相对吸收能力[J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(2):194-201.
- TIAN Xiao-hong, LI Sheng-xiu. Uptake capacity of several vegetable crops to nitrate and ammonium[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(2):194-201.