

设施种植年限对土壤铵态氮、硝态氮及硝化强度的影响

潘飞飞^{1,2}, 张伟豪¹, 孙 壮¹, 唐 蛟³, 陈碧华^{1,2}

(1. 河南科技学院园艺园林学院 河南新乡 453003; 2. 河南省园艺植物资源利用与种质创新工程研究中心 河南新乡 453003; 3. 河南科技学院资源与环境学院 河南新乡 453003)

摘要: 为了解设施蔬菜种植年限对土壤矿质氮含量及硝化强度的影响及各指标间的相关关系, 以露地菜田土壤(0年)为对照, 以不同种植年限设施菜田土壤(5、10、15、20年)为供试土壤, 分别测定其铵态氮含量、硝态氮含量及硝化强度, 以明确设施蔬菜种植年限对土壤自身速效养分供应能力的影响, 为不同年限设施菜田定点施肥管理措施的制定提供依据。结果表明, 无论是露地栽培还是设施栽培, 0~20 cm 土层的土壤铵态氮含量、硝态氮含量和硝化强度均高于相同种植年限 20~40 cm 土层, 且设施种植年限越长, 矿质氮的表聚特征越明显。与露地菜田相比, 相同土层各设施菜田土壤的矿质氮含量均显著提高, 随种植年限的增加, 呈先升后降的趋势, 0~20 cm 土层矿质氮含量(w , 后同)于 15 年时达最大值 $513.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 20~40 cm 土层矿质氮含量于 10 年时达最大值 $353.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。硝化强度与铵态氮含量呈显著正相关, 除种植年限为 15 年的设施菜田外, 其余设施菜田土壤的硝化强度均高于相同土层露地菜田土壤, 以 10 年设施菜田最大。应减少设施菜田氮肥投入, 并控制其硝化强度, 避免蔬菜产品及地下水的硝酸盐污染。

关键词: 设施菜田; 种植年限; 铵态氮; 硝态氮; 硝化强度

中图分类号: S606¹.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)05-109-06

Effects of planting years on soil ammonium nitrogen, nitrate nitrogen and nitrification intensity in protected vegetable fields

PAN Feifei^{1,2}, ZHANG Weihao¹, SUN Zhuang¹, TANG Jiao³, CHEN Bihua^{1,2}

(1. School of Horticulture and Landscape Architecture, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan, China; 2. Henan Province Engineering Research Center of Horticultural Plant Resource Utilization and Germplasm Enhancement, Xinxiang 453003, Henan, China; 3. School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan, China)

Abstract: To understand the effect of protected vegetable planting years on soil mineral nitrogen content, nitrification intensity as well as the correlativity between them, soil samples from different years of protected vegetable planting (0, 5, 10, 15 and 20 years) were collected for the determination of soil ammonium nitrogen content, nitrate nitrogen content and nitrification intensity. The object of this experiment was to clarify the influence of protected vegetable planting years on soil N supply capacity, providing basis for the establishment of site-specific fertilization management measures in protected vegetable fields with different planting years. The results showed that the contents of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen as well as the nitrification intensity in 0-20 cm soil layer were higher than those in 20-40 cm soil layer, with the surface accumulation of mineral nitrogen more obvious in protected vegetable fields with longer planting years. Compared with open field, soil mineral nitrogen content in protected vegetable fields was significantly higher, showing a trend of first increase and then decrease with the increasing years of protected vegetable cultivation. The contents of mineral nitrogen in 0-20 cm and 20-40 cm soil layers reached the maximum ($513.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $353.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in soil with 15 years and 10 years of protected cultivation, respectively. The nitrification intensity was significantly higher than that in the open field (except for the facility field with 15 years of planting) in the above two soil layers, with the maximum occurred in soil with 10-year protected cultivation. A significant positive correlation between nitrification intensity and ammonium nitrogen content was observed. In summary, nitrogen fertilization should be reduced and nitrification intensity should be controlled in protected vegetable fields to avoid the nitrate pollution of vegetable products and groundwater.

Key words: Protected vegetable field; Planting years; Ammonium nitrogen; Nitrate nitrogen; Nitrification intensity

收稿日期: 2022-08-24; 修回日期: 2023-02-16

基金项目: 河南科技学院博士科研启动费(207010618002); 河南省重大科技专项(创新示范专项)(201111110600)

作者简介: 潘飞飞, 女, 讲师, 主要从事土壤肥力与养分循环研究。E-mail: panfeifei89@163.com

土壤中的氮主要以有机和无机两种形态存在,而无机氮作为作物根系吸收氮素的主要形式,在土壤中主要以铵态氮和硝态氮的形态存在,二者含量的高低能够反映土壤的氮素供应状况^[1]。硝化作用是氨或铵盐通过硝化细菌的作用被氧化为硝酸盐和亚硝酸盐的过程,虽然能够消耗土壤中存在的铵态氮,减少氮的挥发损失,但形成的硝态氮极易遭受淋洗损失并污染水体,在灌水过多或局部厌氧的条件下,又容易发生反硝化作用产生氮氧化物,以气体的形式从土体损失并污染大气^[2-3]。可见,不论是铵态氮、硝态氮,还是硝化作用,在土壤氮素转化、作物供应及环境损失方面都占据重要位置并发挥重要作用。

已有研究表明,土壤矿质氮含量(铵态氮+硝态氮)受施肥、管理措施的影响较大^[4-5]。设施蔬菜由于施肥量大,有机肥、无机肥配合施用,且经常大水漫灌,土壤理化性质与露地菜田相比有很大差异。尽管前人对包括矿质氮在内的土壤各种理化性状随设施种植年限的变化规律开展了大量研究^[6-8],但极少研究土壤硝化作用的强弱随种植年限的变化规律,或将其与土壤铵态氮含量和硝态氮含量联系在一起。杨艳菊等^[9]研究了设施西瓜土壤净硝化速率随种植年限的变化规律,结果显示,土壤净硝化速率随设施种植年限的延长呈极显著提高的趋势。赵辉等^[10]研究指出,设施蔬菜种植年限对参与硝化作用的微生物菌群有显著影响,其中土壤pH值、铵态氮含量及硝态氮含量是这些微生物丰度和活性变化的主要影响因素。因此,有必要进一步探究土壤硝化作用的强弱随设施蔬菜种植年限的变化趋势及其与土壤铵态氮含量、硝态氮含量的相关关系,并分析其可能的影响机制。

笔者选取新乡周边5个不同种植年限设施菜田土壤(0、5、10、15、20年),分别测定其铵态氮含量、硝态氮含量以及硝化强度,分析各指标间的相关性及随设施种植年限的变化规律,以明确设施蔬菜种植年限对土壤自身速效养分供应能力的影响,为不同年限设施菜田定点施肥管理方案的制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于新乡市牧野区朱庄屯村,地处新乡市区中北部。该区属暖温带大陆性季风气候,四季分明、冬寒夏热。年平均气温14℃,其中每年7月

最热,平均最高气温为27.3℃,1月最冷,平均最低气温为0.2℃。年平均降雨量573.4mm,主要集中在夏季,可占全年总降水量的72%左右。年平均湿度68%,无霜期220d。该区大棚以单栋拱圆形竹木结构塑料大棚为主,南北延长,实行早春茬黄瓜-秋冬茬番茄周年轮作制度,单畦双行栽培。

1.2 土壤样品采集和测定

在该区选取一块露地菜田(种植绿叶菜)作为设施种植年限为0年的对照,另外,临近选取4个不同种植年限的塑料大棚(均由露地绿叶菜种植改为设施栽培,早春茬黄瓜-秋冬茬番茄周年轮作),截止到2021年7月早春茬黄瓜(油亮抗病16-1,由北京中农绿亨种子科技有限公司提供)拉秧,设施种植年限分别达到5、10、15、20年。鉴于不同种植年限塑料大棚彼此间相距较近,不存在土壤类型的差异,因而不会影响试验结果。

于2021年7月7日早春茬黄瓜拉秧后,将各种种植年限菜地随机分为3个小区,随机排列,小区面积340m²(20m×17m),每个小区内依“S”形路线多点混合采集0~20cm和20~40cm土层的土壤样品,每个样地各得到6个混合土样,装入带编号的自封袋内,带回实验室。将不同设施种植年限的新鲜土样,一部分置于铝盒内,采用烘干法^[11]测定土壤含水量;另一部分过2mm筛,测定土壤铵态氮含量、硝态氮含量和硝化强度。其中,采用靛酚蓝比色法^[12]测定土壤铵态氮含量;采用紫外分光光度法^[13]测定硝态氮含量;采用重氮化偶合分光光度法^[14]测定硝化强度。

1.3 数据处理与分析

采用Excel 2017进行数据处理和计算,采用SPSS 19.0软件进行单因素方差分析(Duncan新复极差法),柱状图中的数据均为3次重复的平均值。

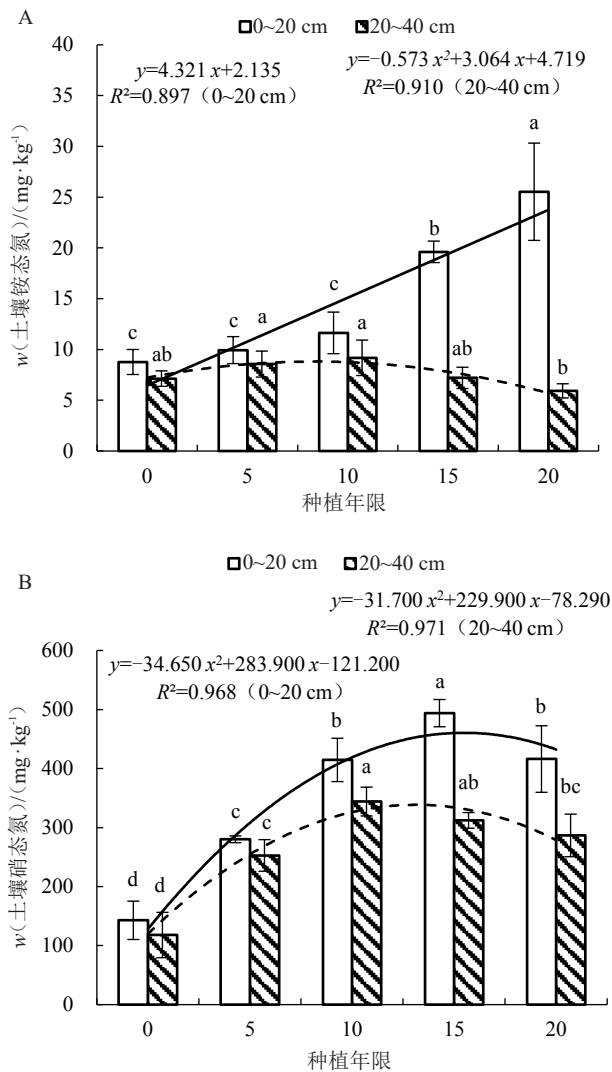
2 结果与分析

2.1 设施种植年限对土壤矿质氮含量的影响

由图1可知,相同土壤年限,0~20cm土层的土壤铵态氮和硝态氮含量均高于20~40cm土层,且在0~15年种植年限范围内,随设施种植年限的增加,两土层之间的含量差随之增加。其中,露地菜田土壤0~20cm土层的铵态氮和硝态氮含量分别为20~40cm土层的1.23倍和1.21倍,至种植年限为20年时,分别增加了4.31倍和1.45倍。各设施菜田土壤0~20cm的铵态氮和硝态氮含量均普遍高于露地菜田土壤,其中,15年和20年设施菜田土

壤 0~20 cm 土层的铵态氮含量显著高于露地菜田,各设施菜田土壤的硝态氮含量均显著高于相同土层的露地菜田。

在 0~20 cm 土层,随设施种植年限的增加,土壤铵态氮含量呈逐渐增加趋势,至种植年限为 20 年时达最大值;土壤硝态氮含量则呈先升高后稍有降低趋势,于种植年限为 15 年时达到最大,回归方程的决定系数均达显著水平。在 20~40 cm 土层,土壤铵态氮含量、硝态氮含量均呈现随设施种植年限的增加先升高后降低的趋势,均于种植年限为 10 年时达到最大。



注:图中 0 年为露地菜田土壤,5、10、15、20 年分别为不同设施种植年限的菜田土壤。同一土层不同小写字母表示不同种植年限间在 0.05 水平差异显著。黑色实线和虚线分别表示 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤铵态氮或硝态氮含量的变化趋势,图上方注有其回归方程和决定系数(R^2)。后同。

图 1 不同种植年限设施菜田土壤铵态氮(A)和硝态氮(B)含量的变化

各种种植年限菜田土壤的硝态氮含量远高于其铵态氮含量,前者变化在 117.90~493.83 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,后者变化在 7.13~25.54 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。总的来说,随设施种植年限的增加,0~20 cm 和 20~40 cm 土层的土壤矿质氮含量(铵态氮+硝态氮)均呈先升高后降低的趋势(图 2),并分别于 15 年和 10 年达最大值。各设施菜田土壤的矿质氮含量均显著高于露地菜田土壤。

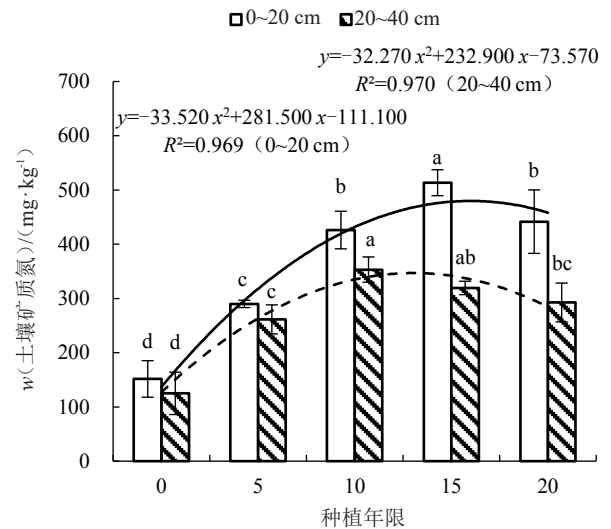


图 2 不同种植年限设施菜田土壤矿质氮含量的变化

2.2 设施种植年限对土壤硝化强度的影响

由图 3 可知,各种种植年限设施菜田土壤的硝化强度在 0~20 cm 土层范围内都高于相同年限 20~40 cm 土层。在相同土层中,除种植年限为 15 年的设施菜田外,其余设施菜田土壤的硝化强度均高于露地菜田土壤,其中以 10 年设施菜田土壤硝化强度最大,分别为 1.20、1.11 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在相同土层

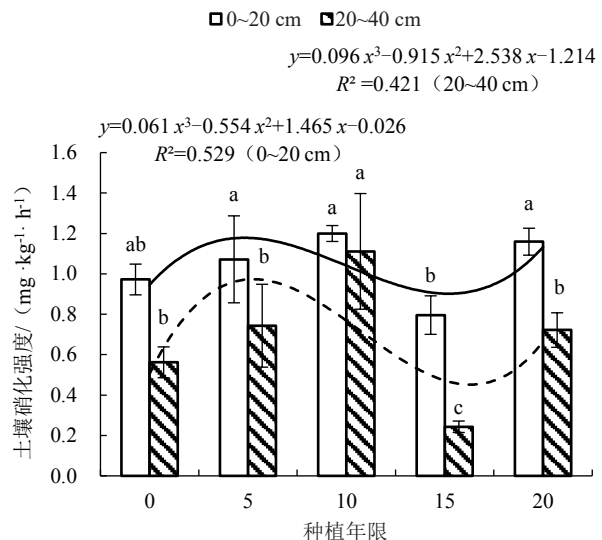


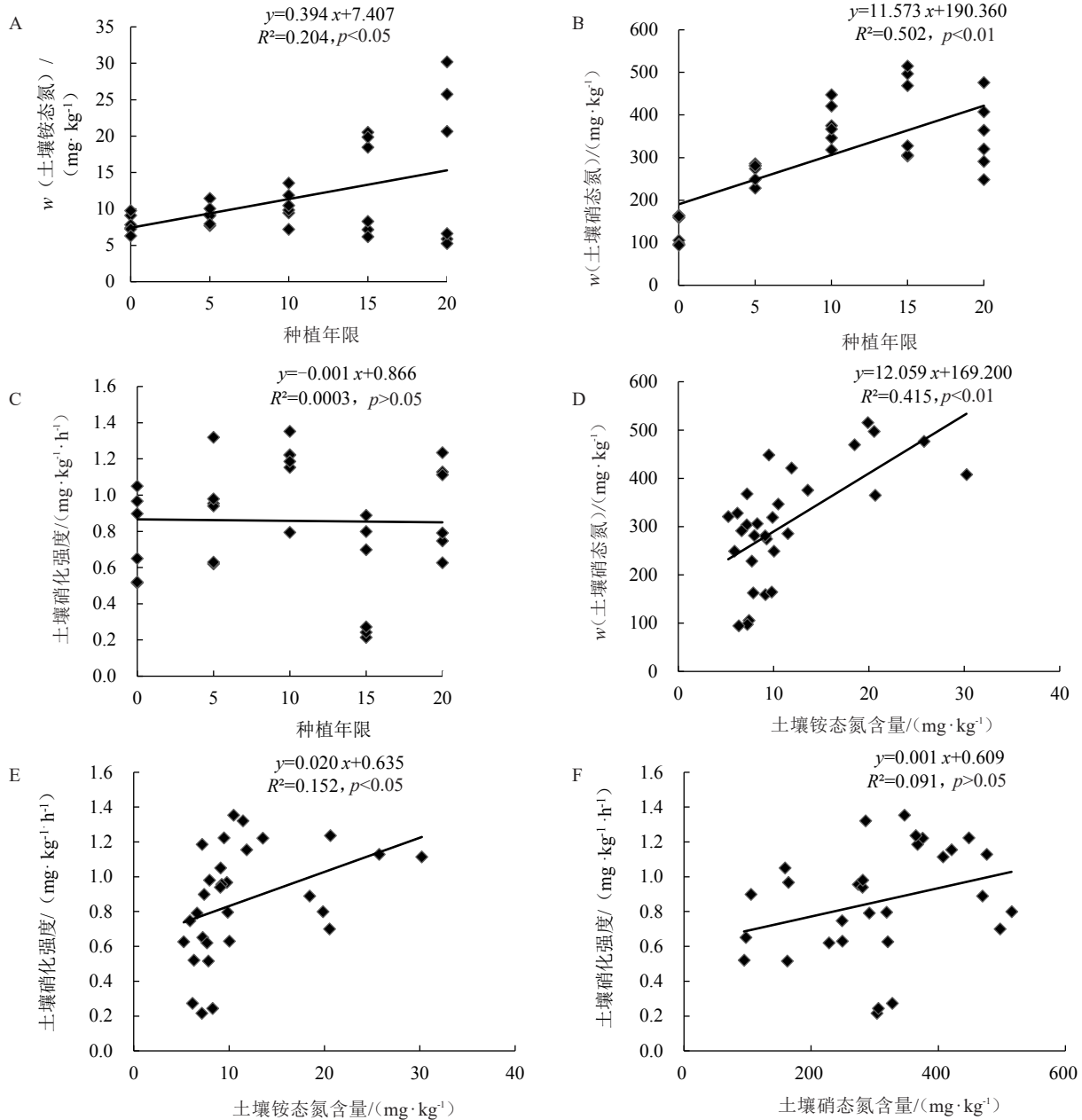
图 3 不同种植年限设施菜田土壤硝化强度的变化

中,而15年设施菜田土壤的硝化强度则低于露地菜田土壤,且显著低于其他设施种植年限菜田土壤。

2.3 设施种植年限与土壤矿质氮含量及硝化强度的相关分析

由图4可知,土壤铵态氮含量、硝态氮含量与

设施土壤种植年限间呈显著或极显著正相关,即随设施种植年限的增加,土壤铵态氮和硝态氮含量呈增加趋势。土壤铵态氮含量与硝态氮含量呈极显著正相关,与土壤硝化强度呈显著正相关。土壤硝化强度与设施种植年限呈负相关,但差异并不显著,与硝态氮含量亦无显著相关性。



注:图中 R^2 表示决定系数, $p<0.05$ 和 $p<0.01$ 分别表示两因素间的相关性达到显著或极显著水平。

图4 相关分析结果

3 讨论与结论

作为作物氮素吸收的主要形式,土壤矿质氮含量的高低直接决定了作物氮素供应的丰缺状况。笔者的研究表明,各菜田土壤的硝态氮含量远

高于其铵态氮含量,是土壤矿质氮存在的主要形式。随着设施种植年限的增加,土壤硝态氮和矿质氮含量呈先升高后稍有降低的趋势,其中0~20 cm 土层土壤硝态氮和矿质氮含量于设施种植年限为15年时达最大值,20~40 cm 土层中于种植年限为

10年时达最大值。这与前人研究结果基本一致,于淼等^[7]、杨园媛等^[12]、张敬智等^[6]研究认为,设施蔬菜土壤养分随种植年限的增加不会持续累积,而是呈先升高后降低的趋势,且随设施种植年限的增加,土壤养分变异特征亦趋于稳定。而张艳霞等^[13]、王学霞等^[14]研究指出,随设施蔬菜种植年限的增加,土壤氮素养分呈累积的趋势,尤其是速效氮含量。这一研究结果的差异可能一方面是由于作为研究对象的设施菜田的最长种植年限不同,前者一般多于20年,而后者则一般低于12年,显然,较长尺度的研究对象更能反映真实情况;另一方面,这可能与不同设施菜田的施肥管理措施有关,其中,有机肥施用种类及施用量将极大程度影响土壤矿质氮含量^[15-18]。

此外,笔者的研究结果显示,同一年限0~20 cm土层的土壤铵态氮含量和硝态氮含量均高于20~40 cm土层,且随设施种植年限的增加,两土层之间的矿质氮含量差亦随之增大。说明施肥对表层土壤矿质氮含量的影响要大于下层土壤,且随着设施种植年限的增加,土壤矿质氮含量呈现出表层累积的现象,这一结论和土壤铵态氮、硝态氮含量与种植年限呈显著或极显著正相关的结果相一致。这一方面是由于设施蔬菜生产中有机、无机氮肥的过量施用,且以表施为主;另一方面,则是由于设施蔬菜长期处于相对密闭的状态,环境中温度偏高,水分蒸散作用较强,同时早春茬黄瓜拉秧后设施内不再大量灌水,土壤溶液中的氮素易随水分向土表迁移,从而发生养分表层累积的现象^[8,19],设施种植年限越长,表层累积特征越明显。尽管这一水分上移过程会造成设施土壤退化,如次生盐渍化、酸化、养分失衡等^[20],但也有助于将由大量灌水、施肥所导致的淋溶至下层土体的养分重新带回到作物主要根系吸收区。因此,作物拉秧后,可通过温度和水分调控来运作下层土体养分的上行运动,增加后茬作物对土壤残留养分的利用效率,减少氮素养分投入,缓解设施中因有机、无机氮肥过量施用所造成的农产品质量安全与环境污染等问题^[21]。

硝化作用是由硝化微生物驱动逐步将氨或铵盐转化为硝酸盐的过程,其中氨氧化细菌参与硝化过程的第一步,将氨氧化为亚硝酸盐,是硝化作用的限制性步骤^[22]。已有研究结果显示,土壤氨氧化细菌丰度受土壤铵态氮含量的影响^[23],设施菜田由于施肥量大,土壤铵态氮含量高,且随种植年限的增加呈表层累积特征,硝化作用的底物较丰富^[24],故

硝化作用强度一般较露地菜田要高。这和笔者研究中土壤硝化强度与铵态氮含量呈显著正相关的结果相一致。同时,在笔者的研究中,在同一种植年限,各菜田土壤0~20 cm土层的硝化强度均高于20~40 cm土层,这与铵态氮在两个土层中的分布多少相一致,也同样说明了铵态氮作为底物对硝化作用的正向诱导作用。陈秋会^[25]进一步对比了露地和设施菜田土壤的硝化特征及相关微生物,结果显示,设施菜田土壤的硝化势和氨氧化细菌数量明显高于露地菜田,且土壤硝化势与氨氧化细菌数量、铵态氮含量均呈显著正相关,这与笔者的研究结果一致,在0~20 cm和20~40 cm土层,除种植年限为15年的设施菜田外,其余设施菜田土壤的硝化强度均高于相同土层露地菜田土壤,且均以10年设施菜田为最大。

鉴于设施菜田中矿质氮以硝态氮为主,且随种植年限的增加呈现出表层累积特征,易造成收获物中硝酸盐超标,影响蔬菜品质^[26]。在实际生产中,更应控制根区土壤的硝化强度,防止硝态氮库容的进一步增加,加剧蔬菜产品和地下水的硝酸盐污染风险。目前市面上已开发了种类繁多的硝化抑制剂,如2-氯-6-三甲基吡啶、3,4-二甲基吡啶磷酸盐、双氰胺等^[27-28],对硝化作用都有很好的抑制效果,还可减少硝态氮的淋溶损失^[29],可用于设施生产,尤其是种植年限较长的设施菜田。

综上所述,在相同种植年限,各菜田土壤0~20 cm土层的土壤铵态氮和硝态氮含量均高于20~40 cm土层,且截至15年,随着设施种植年限越长,两土层之间的矿质氮含量差越大,表层累积特征越明显。与露地菜田相比,各土层设施菜田土壤的矿质氮含量均显著提高,且随设施种植年限的增加,呈先升高后降低的趋势,0~20 cm和20~40 cm土层矿质氮含量分别于15年和10年时达最大值。

硝化强度与铵态氮含量呈显著正相关。0~20 cm土层的硝化强度亦均高于相同种植年限20~40 cm土层。除种植年限为15年的设施菜田外,其余设施菜田土壤的硝化强度均高于相同土层露地菜田土壤,其中以10年设施菜田土壤硝化强度最大。

参考文献

- [1] 刘晓宏,郝明德,田梅霞.土壤矿质氮和可矿化氮对当季作物的贡献[J].土壤与环境,2001,10(3):207-209.
- [2] 赵光昕,张晴雯,刘杏认,等.农田土壤硝化反硝化作用及其对生物炭添加响应的研究进展[J].中国农业气象,2018,39(7):442-452.
- [3] 刘秋丽,马娟娟,孙西欢,等.土壤的硝化-反硝化作用因素研

- 究进展[J].农业工程,2011,1(4):79-83.
- [4] 程奇云,马娟娟,任荣,等.蓄水坑灌下施肥管理方式对土壤矿质氮分布及苹果产量的影响[J].节水灌溉,2020,301(9):75-78.
- [5] 潘飞飞,张伟豪,孙壮,等.添加外源氮对不同年限设施土壤矿质氮含量的影响[J].北方园艺,2022(3):79-86.
- [6] 张敬智,王青川,边明文,等.不同种植年限对设施蔬菜土壤养分演变规律及其变异特征的影响[J].农业工程技术,2022,42(1):77-82.
- [7] 祝海燕,李婷婷.设施果菜类蔬菜耕层土壤养分积累与棚龄的相关性[J].中国瓜菜,2019,32(5):45-49.
- [8] 张晓梅,程亮.种植年限对设施蔬菜土壤养分和环境的影响[J].中国瓜菜,2020,33(1):48-54.
- [9] 杨艳菊,赵宇航,柯帅,等.种植年限对设施西瓜土壤净硝化速率及 N_2O 排放的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2018,39(3):75-80.
- [10] 赵辉,王喜英,卢志宏,等.设施菜地种植年限对土壤氨氧化微生物丰度和群落结构的影响[J].中国蔬菜,2021(8):58-66.
- [11] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [12] 杨园媛,贾圣青,贺晓燕,等.日光温室土壤养分变化及次生盐渍化程度与种植年限的关系[J].中国土壤与肥料,2020(6):83-88.
- [13] 张艳霞,陈智坤,胡文友,等.陕西省设施农业土壤退化现状分析[J].土壤,2020,52(3):640-644.
- [14] 王学霞,陈延华,王甲辰,等.设施菜地种植年限对土壤理化性质和生物学特征的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(6):1619-1629.
- [15] 龚雪蛟,秦琳,刘飞,等.有机类肥料对土壤养分含量的影响[J].应用生态学报,2020,31(4):1403-1416.
- [16] 徐大兵,赵书军,袁家富,等.有机肥替代氮肥对叶菜产量品质和土壤氮淋失的影响[J].农业工程学报,2018,34(S1):13-18.
- [17] ZHANG W Z, CHEN X Q, WANG H Y, et al. Long-term straw return influenced ammonium ion retention at the soil aggregate scale in an anthrosol with rice-wheat rotations in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2022, 21(2): 521-531.
- [18] CAO Y S, ZHAO F L, ZHANG Z Y, et al. Biotic and abiotic nitrogen immobilization in soil incorporated with crop residue[J]. Soil and Tillage Research, 2020, 202: 104664.
- [19] 艾天成,武美燕,胡学玉.武汉市郊设施栽培土壤盐分累积特征[J].长江流域资源与环境,2010,19(10):1226-1230.
- [20] 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.
- [21] 邱伟.设施蔬菜土壤退化问题分析及改良利用技术探讨[J].农业工程技术,2021,41(4):70-72.
- [22] 陈雪丽,王玉峰,王爽,等.农田土壤中氨氧化细菌群落多样性研究进展[J].东北农业大学学报,2013,44(2):151-154.
- [23] 孔娜.硝化细菌及其固定化细胞对铵氮和 NH_3 的转化研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [24] STRAUSS E A. The effects of organic carbon and nitrogen availability on nitrification rates in stream sediments[D]. Indiana: University of Notre Dame, 2000.
- [25] 陈秋会.设施菜地土壤硝化作用的特征及其微生物学机制[D].杭州:浙江大学,2014.
- [26] 郎文培,赵善仓,高晓东,等.寿光地区设施蔬菜硝酸盐与亚硝酸盐风险评估[J].现代农业科技,2018(7):261-263.
- [27] 崔磊,李东坡,武志杰,等.不同硝化抑制剂对红壤氮素硝化作用及玉米产量和氮素利用率的影响[J].应用生态学报,2021,32(11):3953-3960.
- [28] 韩丽君,薛张逸,谢昊,等.干湿交替灌溉与硝化抑制剂对水稻产量及土壤性状的影响[J].作物杂志,2022(2):222-229.
- [29] 周丹,符明明,魏金明,等.设施菜田不同施氮处理对硝酸盐迁移和积累的影响[J].土壤通报,2011,42(2):407-411.