

不同种植年限设施菜田土壤硝态氮的累积与空间分布特性

潘飞飞^{1,2}, 宋俊杰¹, 李庆飞^{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)

摘要: 为了解新乡市牧野区冬春茬蔬菜拉秧后,即夏季敞棚休闲期,硝态氮在各土层中的残留、空间分布状况及淋失风险,试验以农田为对照,采集了不同种植年限(2年、3年、16年和21年)设施菜田土壤样品进行测定分析。结果表明,设施菜田各土层硝态氮含量和累积量均高于农田,且二者均随种植年限的增加而增大,与种植年限间有极显著的线性正相关。各种种植年限设施菜田中,随土层加深,硝态氮含量及累积量呈先降后增的趋势。其中,表层较高,40~60 cm 最低,至80~100 cm 达最大。虽然种植年限对表层土壤硝态氮的富集作用大于下层土壤,但这种由肥料表施而造成的硝态氮富集现象,会因降雨或灌水,形成在下层土体的空间分布重构。综上,随种植年限增加,设施菜田硝态氮淋失风险加剧,应控制氮肥投入量和灌水量。

关键词: 设施菜田; 种植年限; 硝态氮; 空间分布

中图分类号: S606

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)01-070-06

Accumulation and spatial distribution characteristics of nitrate nitrogen in vegetable fields with different planting years

PAN Feifei^{1,2}, SONG Junjie¹, LI Qingfei^{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)

Abstract: In order to know more about the residual amount, spatial distribution and leaching risk of nitrate nitrogen in different soil layers during the summer fallow period of greenhouse field, our experiment was carried out with farmland as the control, and with soils collected as samples of different treatments from vegetable fields with different planting years (2, 3, 16 and 21 years). The results showed that both of the soil nitrate nitrogen content and its accumulation in different soil layers were higher than that of the farmland, and both of them increased with the increase of the vegetable planting years. Moreover, there was a very significant linear positive correlation between soil nitrate nitrogen and the planting years. In the vegetable field, the nitrate nitrogen content and accumulation tended to decrease first and then increase with the deepening of soil layer, among which the surface layer was higher, the lowest one was 40-60 cm, and the highest one was 80-100 cm. Although the role of vegetable planting years played on the enrichment of nitrate nitrogen was bigger in the surface soil than in the subsoil, nitrate nitrogen in the upper soil layers would reconstruct and generate new spatial distribution due to the rainfall or irrigation. In conclusion, risks of nitrate leaching increased with the increasing planting years of greenhouse vegetable, which could be controlled by reduced N fertilization and irrigation.

Key words: Greenhouse soil; Planting years; Nitrate nitrogen; Spatial distribution

近年来,随着我国社会经济的不断发展和人民生活水平的日益提高,人们对各式蔬菜,尤其是对反季蔬菜的需求逐渐增加,使得设施蔬菜的发展越来越快,数量和种类增加、种植规模扩大^[1]。设施蔬菜不仅具有很好的节能效果,而且使蔬菜的周年种

植和供应都得到了很好的实现^[2-3]。其中,塑料大棚因其使用的年限比较长,对土地有很高的利用率,且在冬季有很好的保温蓄热效果,当前在豫北地区的应用最为普遍。

但在当前设施蔬菜生产体系中,氮肥的过量施

收稿日期: 2020-10-10; 修回日期: 2020-11-11

基金项目: 河南省重点研发与推广专项(202102110065); 河南科技学院自然科学基金基础研究计划项目(207010618002)

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

用和大水漫灌导致土壤中硝态氮残留量多且淋失严重^[4-5],造成了不同程度的资源浪费和环境污染。据调查,中国北方许多地区土壤剖面中硝酸盐的大量累积已对水体环境构成了严重威胁^[6]。此外,土壤中高量硝酸盐的存在还会造成土壤次生盐渍化、土体结构破坏、养分供应失衡等一系列问题^[7-8],阻碍设施菜田的可持续利用。因此,土壤硝酸盐富集俨然已成为设施蔬菜栽培中一项不可忽视的重大问题。

以往对不同种植年限的土壤硝态氮的累积、分布及淋失风险的研究多集中在降雨丰富或高灌水量的地区^[9-10],而对年降雨量平均 550 mm 的中国北方地区土体中硝态氮淋洗的注意不足,认为该地区较少的降雨量并不足以引起淋溶损失或损失量较少。事实上,该地区虽然降雨少,但却主要集中在 6—9 月,正值冬春茬与秋冬茬作物之间的歇棚休闲期,期间并没有人为灌水,仅高强度降雨便会使得土表因施肥而富集的硝态氮下渗淋溶到相当深度,甚至进入地下水层。豫北地区设施蔬菜种植以黄瓜-番茄轮作为主,其特定的施肥管理措施也造就了该区域特定的土壤硝态氮累积与分布状况。因此,有必要深入了解该区不同设施蔬菜种植年限对土壤硝态氮的影响,并结合当地的降雨特性对夏季休闲期残留不同土层中的硝态氮的淋失风险进行简要评估。

试验以新乡市不同种植年限塑料大棚为研究对象,旨在了解土壤硝态氮的累积和分布特征随设施蔬菜种植年限的变化趋势,以期为控制和降低设施菜田土壤硝酸盐的累积和淋失、减少地下水污染提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验地位于新乡市牧野区朱庄屯(35°18'N, 113°54'E)。该区属暖温带大陆性气候,全年平均气温 14℃。其中,最热为 7 月,最冷为 1 月。年平均降雨量为 573.4 mm,无霜期 220 d,全年日照时长 2400 h。

该区塑料大棚为番茄-黄瓜轮作,秋冬季主栽番茄,冬春季主栽黄瓜。2018 年 7 月本试验取样前的一个轮作周期,番茄栽培品种为金棚 218(由西安金鹏种苗有限公司提供),黄瓜栽培品种为油亮抗病 16-1(由北京中农绿亨种子科技有限公司提供)。其中,番茄行距为 66 cm,株距 40 cm,黄瓜行距 60 cm,

株距 35 cm,二者均采用单畦双行栽培。

塑料大棚为单栋拱圆形竹木塑料大棚,南北延长,大棚的规格是 64 m×17 m。每个棚内划分 3 个小区,随机排列,小区面积 20 m×17 m,相邻小区之间有间隔 2 m 的保护行。

选用 4 个不同种植年限的菜棚,截止到 2018 年 7 月,种植年限分别为 2 年、3 年、16 年和 21 年。由于 4 个种植年限菜棚彼此间相距不超过 100 m,土壤类型相同,不存在土壤间的差异。因此,对试验处理的效果不产生任何影响。另外,因当地菜农施肥习惯普遍存在成区成片现象,所以不同种植年限大棚间肥料的施用量、种类及时间基本相同。

1.2 样品采集与处理

于 2018 年 7 月 25 日(此时各棚黄瓜都已拉秧,棚内不再浇水施肥且不进行任何土地作业),在棚内各个小区依“S”形路线多点混合采集 0~100 cm(每 20 cm 一层)的土壤样品,每个菜棚每个土层最终得到 3 个混合土样,即 3 个重复。以大棚周边的农田土壤(周年轮作小麦-玉米)为对照(CK),于 2018 年 6 月 8 日,即小麦收获后采集 0~100 cm 的土壤样品。混匀的鲜土装入聚乙烯自封袋中,编号,带回实验室,放于 0~4℃冰箱中暂存,用于测定土壤硝态氮。

在棚内挖掘梯形土壤剖面,剖面深度为 100 cm。每 20 cm 一层,取中间位置将环刀从剖面侧边压入土中,直到环刀筒中充满土壤样品为止。将环刀带回实验室,用于测定各土层的土壤容重。

1.3 测定方法与数据分析

1.3.1 土壤容重 将装有土壤样品的环刀称质量,然后从环刀筒中取约 10 g 土,称质量,把取出的土样放入烘箱中烘 6~7 h,直至土样完全烘干,取出称质量,计算土壤含水量。

土壤容重: $RS = g \times 100 / V \times (100 + w)$ 。

式中:RS—土壤容重($g \cdot cm^{-3}$);g—环刀内湿样质量(g);V—环刀容积(cm^3);w—土壤含水量(%)。

表 1 不同种植年限设施菜田各土层的土壤容重

种植年限	土壤容重 ($g \cdot cm^{-3}$)				
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	80~100 cm
CK	1.27	1.51	1.74	1.62	1.60
2 年	1.50	1.46	1.66	1.60	1.76
3 年	2.03	2.08	2.00	2.15	2.04
16 年	1.70	1.94	1.80	1.97	2.01
21 年	1.72	1.86	1.70	1.88	1.74

1.3.2 土壤硝态氮含量 取 30 g 新鲜土样,加入

100 mL 2 mol·L⁻¹的 KCl 溶液,以 220 r·min⁻¹进行振荡浸提 1 h,过滤,滤液经 AA3 连续流动分析仪测定。待测定完毕,导出测定结果。

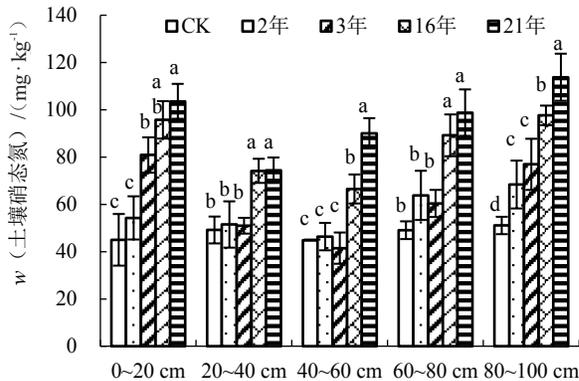
土壤硝态氮积累量(kg·hm⁻²)=土层厚度(cm)×土壤容重(g·cm⁻³)×土壤硝态氮含量(mg·kg⁻¹)/10。

1.3.3 数据分析 试验数据采用 Excel 2010 进行数据处理、相关分析和绘图,采用 IBM SPSS Statistics 19.0 中文版软件进行单因素 ANOVA 方差分析,Duncan 新复极差法多重比较。文中所有图和表中的数据均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 种植年限对土壤硝态氮含量的影响

由图 1 可知,设施菜田各土层的土壤硝态氮含量普遍高于对照农田,设施菜田土壤硝态氮含量(w,后同)变化在 41.48~113.77 mg·kg⁻¹,而农田土壤则变化在 44.91~51.07 mg·kg⁻¹之间,前者各土层土壤平均硝态氮含量为后者的 1.28~1.86 倍。随着菜棚种植年限的增加,各土层土壤硝态氮含量总体呈增加的趋势,且均于种植年限为 21 年时达最大值,显著高于对照农田及种植年限为 2 年、3 年的菜棚。



注:图中不同小写字母表示同一土层、不同种植年限间处理在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 各土层土壤硝态氮含量随种植年限的变化

在 0~20 cm 土层,农田土壤中硝态氮含量仅有 44.91 mg·kg⁻¹,经 2~3 年菜棚种植模式后,土壤硝态氮含量已有 50~80 mg·kg⁻¹,当种植年限达到 21 年时,土壤硝态氮含量可高达 100 mg·kg⁻¹。而在 20~40 cm 土层,与 0~20 cm 土层相比,其硝态氮含量随种植年限的增加而增加的强度稍有减弱,种植年限为 16 年和 21 年菜棚的土壤硝态氮含量仅为 2 年菜棚的 1.4 倍和 1.5 倍,小于 0~20 cm 土层对应的 1.7 倍和 1.9 倍,说明种植年限对表层土壤硝态氮的增加作用要大于下层土壤。

在农田土壤中,不同土层土壤硝态氮含量间的差异不大,而在设施菜田中,土壤硝态氮含量随土层深度的增加均呈现先降后增的趋势,且除 21 年菜棚外,其他种植年限菜棚的土壤硝态氮含量均在 40~60 cm 土层深度达最低,而在 80~100 cm 土层深度达最高。21 年菜棚是在 20~40 cm 土层深度达硝态氮含量最低值。对于所有种植年限的设施菜棚,0~20 cm 土层的硝态氮含量均高于 20~40 cm 土层,且硝态氮含量均在 80~100 cm 土层深度达最大,变化在 68.39~113.77 mg·kg⁻¹之间。

2.2 种植年限对土壤硝态氮累积的影响

图 2 显示,不同种植年限设施菜棚中,各土层土壤的硝态氮累积量均高于对照农田。在 0~20 cm 土层,农田土壤的硝态氮累积量仅为 114.29 kg·hm⁻²,而在种植年限为 21 年的设施菜棚中,硝酸盐累积量已高达 356.32 kg·hm⁻²。

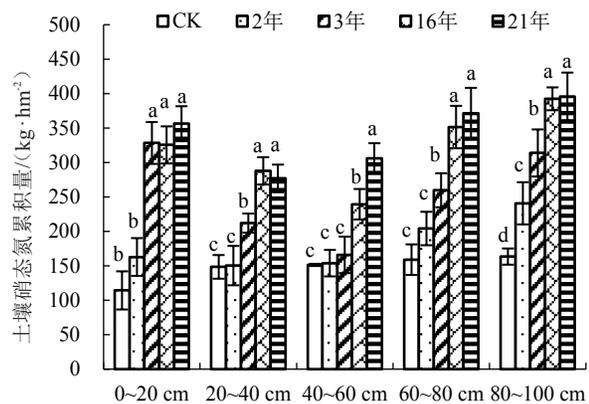


图 2 各土层土壤硝态氮累积量随种植年限的变化

对于设施菜田,随种植年限增加,各土层土壤的硝态氮累积量呈逐渐增加的趋势。其中,种植年限为 16 年和 21 年设施菜棚各层土壤的硝态氮累积量均显著高于种植年限 2 年的菜棚。而随着土壤硝酸盐累积量的增多,其淋失风险也将随之加大。0~100 cm 土层土壤硝态氮总累积量表现为设施菜棚>对照农田(图 3),差异显著。而对于设施菜田,随种植年限的增加,0~100 cm 土层硝态氮总累积量表现为 21 年菜棚>16 年菜棚>3 年菜棚>2 年菜棚,除种植 16 年与 21 年的菜棚差异不显著外,其余各种种植年限间的差异均达显著水平。

对于农田土壤,各土层土壤硝态氮累积量表现为 0~20 cm<20~40 cm<40~60 cm<60~80 cm<80~100 cm,即表层土壤的硝态氮累积量最低,但不同土层间并无显著差异(图 2)。而菜田土壤各土层则表现出不同的趋势:随土层深度的增加,呈现出先

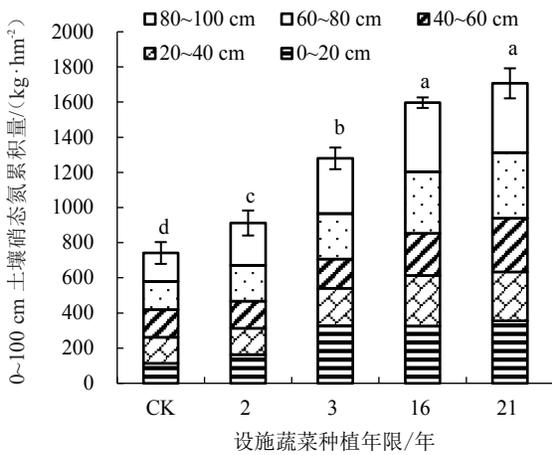


图3 0~100 cm 土壤硝态氮总累积量随种植年限的变化

减小后增大的趋势。其中,表层含量较高,在40~60 cm 达到最低,至80~100 cm 土壤硝态氮累积量达到最高,说明上层土壤的硝态氮可能部分淋溶至了下层土壤,甚至移出了0~100 cm 的土层范围。设施菜棚种植年限在16年以上,60~80 cm 土层土壤硝态氮累积量已与表层土壤相当,而80~100 cm 土层的累积量已明显高于表层土壤,这预示着与表层相比,60 cm 以下的底层土壤有着更大的硝态氮淋失风险。

2.3 种植年限与土壤硝态氮含量的相关性分析

相关分析结果显示,各土层的土壤硝态氮含量及硝态氮累积量与种植年限间均表现出线性正相关的关系,且相关系数均达到极显著水平(表2)。

这充分说明,设施菜棚种植年限的增加是造成土壤硝态氮含量升高及在各土层中大量累积的一个重要成因。

表2 种植年限与土壤硝态氮的相关系数

土层/cm	硝态氮含量	硝态氮累积量
0~20	0.861 8**	0.744 0**
20~40	0.899 3**	0.887 8**
40~60	0.929 8**	0.946 2**
60~80	0.927 4**	0.914 1**
80~100	0.917 8**	0.855 0**

注:表中**表示相关系数在0.01水平极显著相关。

2.4 种植年限与土壤硝态氮的空间分布

由表3可知,设施菜田与对照农田中的硝态氮在不同土层中的分布大有不同。在表层,即0~20 cm 土层,各种种植年限设施菜田的土壤硝态氮累积量占总累积量的百分比均高于对照农田,除2年菜田外,其余种植年限菜田与农田间的差异均达显著水平,而在20~40 cm 和40~60 cm 土层范围内,前者均低于后者,在60~80 cm 土层,两者间无任何显著性差异,至80~100 cm,前者又均高于后者。与对照农田相比,设施菜田20~80 cm 土层范围内硝态氮累积量占总累积量百分比的下降或并未升高,说明该土层范围硝态氮出现了一定程度的淋溶下移,而80~100 cm 土层范围内,设施菜田土壤硝态氮累积量占总累积量百分比又高于了农田,同时结合各土层土壤硝态氮累积量的变化(图2),也说明上层

表3 不同土层中硝态氮累积量占总累积量的百分比

土层/cm	CK	2年	3年	16年	21年
0~20	15.29±2.45 c	17.95±3.46 bc	25.63±1.46 a	20.37±1.37 b	20.92±1.89 b
20~40	20.00±0.79 a	16.40±1.93 b	16.59±1.36 b	18.02±0.99 ab	16.25±1.37 b
40~60	21.17±1.67 a	16.86±1.41 bc	12.93±1.63 d	15.01±1.61 cd	17.94±0.86 b
60~80	21.48±1.46 a	22.49±4.02 a	20.35±2.56 a	22.00±2.02 a	21.73±1.13 a
80~100	22.06±0.60 b	26.31±1.95 a	24.49±2.89 ab	24.59±1.36 ab	23.17±0.91 ab

注:同一行中不同小写字母表示不同种植年限间处理在0.05水平差异显著。

土壤的硝态氮发生了下渗及淋溶。

3 讨论

试验结果表明,在当前设施蔬菜生产中,有机肥或化学氮肥的过量施用是土壤硝态氮富集及地下水硝酸盐污染的主要原因^[11-13],且随种植年限的增加,土壤硝态氮富集量有逐年增多的趋势^[14-15]。本试验结果显示,与农田土壤相比,各种种植年限设施蔬菜土壤的硝态氮含量及累积量均较高,且随种植年限增加,设施菜田各土层中土壤硝态氮含量及累积量均呈增加的趋势,于种植年限为21年时达

最大值。同时,相关分析结果也显示,设施菜田各土层中土壤硝态氮含量及累积量与菜田种植年限间均呈线性正相关关系,且相关系数均达极显著水平,这与前人的研究结果一致^[16-17]。

与0~20 cm 土层相比,20~40 cm 土层的土壤硝态氮含量随种植年限的增加而增加的幅度稍有降低,说明种植年限对表层土壤硝态氮的富集作用要大于下层土壤。杨慧等^[18]的研究结果也显示,菜田土壤的硝态氮累积有明显的表聚现象。这主要是因为设施菜田的肥料施用多为表施,故施肥对土壤硝态氮的富集作用主要发生于表层,即0~20 cm 土

层。而下层土壤硝酸盐的累积则主要依赖于表层养分的下渗及淋溶。研究结果还显示,农田土壤各土层的土壤硝态氮含量及累积量间均无明显差异,而各种种植年限的设施菜田,则表现出随土层深度的增加,土壤硝态氮含量及累积量呈先减小后增大的趋势。其中,表层较高,在 40~60 cm 达到最低值,至 80~100 cm 达到最高值,这与王克安等^[19]的研究结果是一致的,也间接说明由肥料表施而造成的硝态氮富集现象,会因养分下渗或大量灌水而淋溶,形成硝态氮在下层土体的空间分布重构,峰值下移。在本试验中各土层中硝态氮累积量占 0~100 cm 土层总累积量百分比的数值,也说明 20~80 cm 土层范围内的硝态氮出现了一定程度的淋溶下移。在农业实际生产中,考虑到蔬菜作物的浅根系特性,认为 40 cm 以下土层富集的硝态氮并不能被作物很好地吸收利用,生物有效性差^[20]。巨晓棠和张福锁^[21]研究指出,水分供应是土壤硝态氮分布发生变化的最直接原因,供水过量造成硝态氮的峰值下移,土壤硝态氮的淋失量与灌水量呈显著正相关^[22]。这就要求,即使在种植年限不久的新设施菜田中,也应控制灌水量,避免过量灌溉所造成的硝态氮向下淋溶损失,脱离根系有效利用范围。根据前人研究结果,笔者猜测相当一部分硝态氮已淋溶至 100 cm 土层以下,但由于本试验测定深度的限制,并无直接的数据支撑。

新乡虽然年降水量不高,仅 500~600 mm,但降雨主要集中在 6—9 月,且降雨强度大,其间正值该地区冬春茬蔬菜收获而秋冬茬蔬菜尚未种植,菜棚处于休闲敞棚状态,土壤中富集的硝态氮易发生淋失。有研究者认为,当降雨强度达 40~70 mm·h⁻¹ 时,表层硝态氮就会淋溶到土壤剖面 110 cm 以下^[23],但下渗及淋溶深度还会受各土层的土壤容重、初始含水量等因素的影响^[24]。本研究结果显示,当设施菜棚种植年限达 16 年以上,60~80 cm 土层土壤硝态氮累积量已与表层土壤相当,而 80~100 cm 土层的累积量已明显高于表层土壤,这预示着与表层相比,60 cm 以下的底层土壤由于其较高的硝态氮贮量和较低的分层,有着更大的硝态氮淋失风险,且更易污染地下水。硝态氮淋失风险随设施菜田种植年限的增加而加大。

因此,在设施蔬菜生产中,在不影响蔬菜作物产量和品质的前提下,应避免过量施肥和大水漫灌,应根据作物的需求采用根层调控措施进行合理施肥^[25],从而降低土壤硝态氮的淋失风险及对地下

水的污染。

4 结 论

(1) 与农田土壤相比,不同种植年限设施菜田各土层的硝态氮含量及累积量均较高,且随种植年限增加,二者均呈增加的趋势,与种植年限为线性正相关关系,相关系数达极显著水平。

(2) 在各种种植年限的设施菜田中,随土层深度的增加,土壤硝态氮含量及累积量呈先降后增的趋势,其中表层较高,在 40~60 cm 达到最低值,至 80~100 cm 达最高值。种植年限对表层土壤硝态氮的富集作用要大于下层土壤,但这种由肥料表施而造成的硝态氮富集现象,会因降雨或灌水形成硝态氮在下层土壤中的空间分布重构。与表层土壤相比,60 cm 以下的土层有着更大的硝态氮淋失风险。

参考文献

- [1] 董静,赵志伟,梁斌,等.我国设施蔬菜产业发展现状[J].中国园艺文摘,2017,33(1):75-77.
- [2] 王伟,王健君,肖雨.高效节能日光温室蔬菜栽培技术[J].现代园艺,2018(10):38.
- [3] 及华,黄泽.设施农业中常见的温室类型及性能介绍[J].现代农村科技,2018(9):103.
- [4] 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.
- [5] 胡晓东.灌溉方式和施氮量对土壤硝态氮分布及温室黄瓜产量的影响[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [6] 张丽娟,巨晓棠,刘辰琛,等.北方设施蔬菜种植区地下水硝酸盐来源分析:以山东省惠民县为例[J].中国农业科学,2010,43(21):4427-4436.
- [7] 钱晓雍.塑料大棚设施菜地土壤次生盐渍化特征[J].中国土壤与肥料,2017(5):73-79.
- [8] 史春余,张夫道,张俊清,等.长期施肥条件下设施蔬菜地土壤养分变化研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):437-441.
- [9] 袁丽金,巨晓棠,张丽娟,等.设施蔬菜土壤剖面氮磷钾积累及对地下水的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(1):14-19.
- [10] 范凤翠,李志宏,张立峰,等.日光温室番茄灌水量与根层硝态氮淋溶特征及渗漏关系研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(5):1161-1169.
- [11] 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.
- [12] 袁新民,同延安,杨学云,等.有机肥对土壤 NO₃-N 累积的影响[J].土壤与环境,2000,9(3):197-200.
- [13] LI J G, LIU H B, WANG H Y, et al. Managing irrigation and fertilization for the sustainable cultivation of greenhouse vegetables[J]. Agricultural Water Management, 2018, 210: 354-363.
- [14] 沈灵凤.设施栽培年限及施肥对土壤盐分和硝态氮累积的影响研究[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 徐运清, 秦红灵, 全智, 等. 长期蔬菜种植对菜地土壤剖面硝酸盐分布和地下水硝态氮含量的影响[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(6): 1080-1085.
- [18] 杨慧, 谷丰, 杜太生. 不同年限日光温室土壤硝态氮和盐分累积特性研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(2): 240-247.
- [19] 王克安, 杨宁, 李絮花, 等. 不同种植年限日光温室土壤养分变化规律研究[J]. 山东农业科学, 2010(9): 56-59.
- [20] BURGESS T M, WEBSTER R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging[J]. European Journal of Soil Science, 2019, 70(1): 11-19.
- [21] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24-28.
- [22] 胡玉婷, 廖千家骅, 王书伟, 等. 中国农田氮淋失相关因素分析及总氮淋失量估算[J]. 土壤, 2011, 43(1): 19-25.
- [23] 冯绍元, 张自军, 丁跃元, 等. 降雨与施肥对夏玉米土壤硝态氮分布影响的田间试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(5): 11-14.
- [24] 寇青青. 生物炭对紫色土水分下渗及再分布过程影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [25] 郝晓然, 彭亚静, 张丽娟, 等. 根层调控措施对甜玉米-黄瓜设施蔬菜轮作体系土壤硝态氮的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(12): 2390-2400.