

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2024.0646

内蒙古地区设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统研发与应用

王盛男, 荣迪, 乌仁图雅, 李雯雯, 高智慧, 于欢欢, 曲颖超,
邓宇, 娜日娜, 李小茹, 赵剑平, 索力墨, 王岩, 陈琪

(赤峰市农牧科学院资源与环境研究所 内蒙古赤峰 024031)

摘要: 通过对内蒙古地区设施蔬菜主产区产品质量、产地环境健康的危害因子定时、定点长期监测与分析, 明确不同产地环境条件下设施蔬菜土壤理化性状和危害风险, 根据设施环境的变化来完善设施蔬菜的产地健康及危害因子监测预警系统, 旨在应对日益严重的设施土壤和产品质量问题。介绍了监测预警系统的总体设计方案、主要功能、基于监测预警系统的实践案例和系统的升级优化策略, 以监测预警系统中的设施蔬菜产地健康监测数据为例进行分析并根据监测结果给出相应的建议。

关键词: 设施蔬菜; 监测; 预警; 应用

中图分类号: S626

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)06-239-10

Development and application of monitoring and early warning system for health and hazard factors of protected vegetable areas in Inner Mongolia

WANG Shengnan, RONG Di, WU Rentuya, LI Wenwen, GAO Zhihui, YU Huanhuan, QU Yingchao, DENG Yu, NA Rina, LI Xiaoru, ZHAO Jianping, SUO Limo, WANG Yan, CHEN Qi

(Department of Resources and Environment, Chifeng Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Chifeng 024031, Inner Mongolia, China)

Abstract: This article conducts regular, fixed point, and long-term monitoring and analysis of the hazard factors of product quality and environmental health in the main production areas of facility vegetable in Inner Mongolia to clarify the physicochemical properties and hazard risks of facility vegetable soil under different environmental conditions, and improve the monitoring and early warning system for the health and hazard factors of facility vegetable based on changes in the facility environment. The aim is to address the increasingly serious problems of facility soil and production quality. This article introduces the overall design, main functions, practical cases based on the monitoring and early warning system, and the upgrading and optimization. Taking the health monitoring data of facility vegetable production areas in the monitoring and early warning system as an example, it analyzes and provides corresponding recommendations based on the monitoring results.

Key words: Protected vegetable; Monitoring; Warning; Application

蔬菜产业一直是百姓生活普遍关注的重点,也是农民增收的亮点。设施蔬菜产业作为“菜篮子”工程的有效补充,具有举足轻重的地位,规模化设施农业生产已成为大部分地区农业增效、农民增收和农村稳定的支柱产业^[1],《中国农业展望报告(2020—2029)》指出,未来10a(年)蔬菜消费

总量将继续保持稳中有增态势,预计年均增长1.6%。党的“二十大”报告明确提出“树立大食物观,发展设施农业,构建多元化食物供给体系”,对设施农业寄予了厚望。内蒙古自治区作为我国重要的蔬菜生产基地,2023年全区蔬菜总面积28.75万hm²,产量1643.75万t,设施播种面积达

收稿日期: 2024-10-16; 修回日期: 2025-04-15

基金项目: “科技兴蒙”行动重点专项(231)

作者简介: 王盛男,女,副研究员,研究方向为农业资源与环境。E-mail: 435209298@qq.com

通信作者: 王岩,女,副研究员,研究方向为农业资源与环境。E-mail: 309788934@qq.com

到 6.75 万 hm^2 , 产量达到 647.68 万 $\text{t}^{[2]}$ 。

设施栽培是一个高投入高产出产业,投入大,尤其为了高产,在生产中农家肥及化肥的投入数量大于设施蔬菜的需求^[3-4],造成硝酸铵、硫化物、硫酸盐、有机盐和无机盐等物质含量增加。同时设施内土壤不受自然降雨的影响,盐分得不到雨水的冲刷和淋洗而残留在土壤耕层内,随着设施蔬菜土壤种植年限的延长,普遍出现了养分失衡(氮、磷盈余)、土壤酸化、土壤次生盐渍化、土传病害严重等问题,作物生长环境恶化,产量品质下降,经济效益降低,设施土壤连作障碍已成为设施蔬菜产业发展的技术瓶颈,随之带来的环境风险问题也日益突出^[5-7]。

设施蔬菜产地土壤环境作为设施蔬菜的载体直接影响其品质和食用安全。通过对设施蔬菜主产区产品质量、产地环境健康的危害因子的定时、定点长期监测,明确不同产地环境条件下设施蔬菜土壤理化性状和危害风险,根据设施环境的变化来完善设施蔬菜的产地健康及危害因子监测预警体系,是一个急需解决的问题^[8-10]。中国许多城市已建立了较完善的农业标准体系和农产品质量检测网络,但是还未见将设施蔬菜产地环境及危害因子综合监测分析的相关报道^[11-15]。设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统通过研究各监测点土壤、植株和果实的污染演化规律,分析设施蔬菜污染的潜在发展趋势,提出相应的解决办法和治理措施,具有重要的现实意义和推广意义。本研究以蔬菜产地健康及危害因子监测数据为理论基础,以物联网为技术支撑,构建适当的监测预警系统,实现农户、科研院所及政府职能部门对设施蔬菜产地健康及危害因子等信息互联、互通、互助。

1 监测预警系统总体设计

1.1 研发环境

预警系统从操作系统、数据库系统、开发工具、技术框架等方面进行描述,力求软件研发环境及应用软件的结构满足系统应用的需求。

1.1.1 操作系统 本预警系统采用 Windows 11 操作系统,适配性广,应用方便。

1.1.2 数据库系统 本预警系统使用了 MySQL 8.0 数据库。MySQL 8.0 读/写工作负载、IO 密集型工作负载,以及高竞争工作负载等方面带来了更好的性能,且运行速度比 MySQL 5.7 快 2 倍。

1.1.3 软件开发工具 考虑到系统的应用及数据承载能力,使用前端 Visual Studio Code,后端 Intel-

liJ IDEA 2020.3.4 x64 作为软件开发工具。

1.1.4 技术框架 技术框架对于软件开发来说,意义重大,不仅可以简化开发流程,更利于后期维护,本系统采用前端 vue 2.0 axios elementui,后端 springboot 2.0 maven 技术框架。

1.1.5 运行性能指标 响应时间:200 ms 以内。数据处理速度:1024 $\text{kb} \cdot \text{s}^{-1}$ 。存储容量扩展性:16 G 内存,8 核 CPU,500 G 磁盘。

1.1.6 研发起止时间 2020 年 12 月至 2024 年 6 月,根据在赤峰市设施蔬菜种植规模较大区域的 30 个监测点使用监测系统的情况随时进行升级优化。

1.2 系统目标

建立设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统,通过软件直观展示土壤理化指标、重金属含量、农药残留、抗生素残留超标情况及治理趋势,建立准确的数据库,通过数据入库与数据的整理、存储、查询,实现设施蔬菜产地健康及危害因子的监测预警,提升农户对设施蔬菜产地健康及危害因子的重视程度,实现农户、科研院所及政府职能部门对设施蔬菜产地健康及危害因子等信息互联互通。

1.3 系统总体设计

设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统采用前端静态化、后端数据化、平台无关化的前后端分离技术实现应用层,采用关系型数据库构建存储层模型,将各个区域监测站点的监测数据集中,形成产地健康及危害因子监测数据库,并对这些理化指标、环境要素进行科学的分析,评估某一因素或几种因素对土壤质量、蔬菜产品质量的影响。

2 系统模块设计及功能

该系统主要由数据统计模块、各数据超标情况及治理趋势三大模块组成。可通过 Windows 11 操作系统访问 MySQL 8.0 数据库实现数据录入、存储及分类功能,包括但不限于土壤危险因子、果实危险因子、植株危险因子、土壤理化指标的历年监测点数据统计和各数据超标情况及治理趋势,还可以根据实施项目的情况添加项目介绍和团队介绍等(图 1)。

2.1 数据统计模块

2.1.1 土壤危险因子数据统计模块 将监测点土壤样品的重金属、农药残留、抗生素残留等指标进行监测,再将历年数据录入本模块,以明确不同产地环境条件下设施蔬菜土壤的危害风险。

采样方法:采用蛇形法取样,采样点个数依据



图1 设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统主界面

Fig. 1 Main interface of the health and hazard factors monitoring and early warning system for protected vegetable production areas

土地面积决定。按照随机、等量和多点混合的原则进行采样。采集土壤样品前,先对各监测点的设施温室或设施冷棚进行现场勘查,将采样范围划分为若干个采样单元,每个采样单元的土壤尽可能均匀一致,每个样品要有多个取样点采土混匀。按照设施栽培年限 1~5 a、6~10 a、11~15 a、>16 a,在监测区域分布较为集中的大棚中采集耕层 0~20 cm 耕作层土壤,采样器应垂直于地面,入土至 20 cm。一个混合土样以取 1 kg 左右为宜,多余土壤用四分法弃去。将采集好的样品放入样品袋,做好标签,注明采样地点、日期、采样深度、土壤名称、编号及采样人等信息。

检测依据:土壤样品重金属全量铅、铬、镉,参照《土壤和沉积物 12 种金属元素的测定 王水提取-电感耦合等离子体质谱法》(HJ 803—2016),土壤全量汞、砷参照《土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法》(HJ 680—2013),土壤样品的六六六总量、滴滴涕总量参照《土壤中六六六和滴滴涕测定的气相色谱法》(GB/T 14550—2003),有机磷类农药参照《水、土中有机磷农药测定的气相色谱法》(GB/T 14552—2003),有机氯类农药参照《食品中有机氯农药多组分残留量的测定》(GB/T 5009.19—2008),土霉素、金霉素、四环素参照《土壤中土霉素、四环素、金霉素残留量的测定 高效液相色谱法》(DB15/T 2112—2021)。

土壤重金属污染是指重金属元素或其化合物通过人类活动进入环境,导致环境中重金属含量高

于背景值,造成环境恶化的现象^[16]。有机磷农药是目前我国使用量最大的农药之一,严重污染环境和生态系统,并通过食物链在生物体内富集,进而危害人类健康^[17]。所以连续监测土壤重金属、农药残留、抗生素残留,能够明确不同产地环境条件下设施土壤的危害风险及危害因子残留污染动态,及时预警和监督进而加强设施蔬菜产地健康的环境建设,对改善生态环境,实现设施蔬菜的绿色、健康可持续发展具有重要意义。

2.1.2 果实危险因子数据统计和植株危险因子数据统计模块 监测点果实上市前对重金属、农药残留、抗生素残留等指标进行监测,将监测数据录入本模块,明确设施蔬菜的危害因子残留污染动态。

采样方法:果实采样按照产地面积和地形不同,采用随机法进行多点采样,每个单元内采集一个代表性样品,且不应采集有病、过小的样品。采集除去果梗后的整个果实,样品量为 6~12 个,不少于 3 kg。植株采样要与果实同株同果,依据农业标准《农药残留分析样品的采样方法》(NY/T 789—2004)。检测依据:番茄果实及植株中的铅、铬、镉、汞、砷参照《食品中铅的测定》(GB 5009.12—2017)、《食品中铬的测定》(GB 5009.123—2014)、《食品中镉的测定》(GB 5009.15—2023)、《食品中总汞及有机汞的测定》(GB 5009.17—2023)、《食品中总砷及无机砷的测定》(GB 5009.11—2014);氧乐果、克百威、氯氟氰菊酯和高效氯氟氰菊酯、毒死蜱、敌敌畏、溴氰菊酯、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、氯氰菊酯

和高效氯氰菊酯、苯醚甲环唑、灭线磷参照《水果和蔬菜中 500 种农药及相关化学品残留量的测定》(GB/T 23200.8—2016)、《水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定》(GB/T 20769—2008)、《蔬菜中 334 种农药多残留的测定》(NY/T 1379—2007);土霉素、金霉素、四环素参照《动物源性食品中四环素类兽药残留量检测方法》(GB/T 21317—2007)测定。在监测点果实上市前对重金属、农药残留、抗生素残留等指标进行监测,超出检测限值的果实禁止上市,不仅可以提高上市果实优质率,而且对减少果实的农药残留、污染防治有重要作用,并可以根据监测数据持续推进化肥农药减量增效,聚焦设施蔬菜绿色生产,打造蔬菜绿色高效生产技术示范点。

2.1.3 土壤理化指标数据统计模块 在设施大棚整地定植前采集土壤,采样方法同 2.1.1 土壤危险因子数据统计模块,进行土壤理化指标的监测,以明确不同产地环境条件下设施蔬菜的土壤理化性状。检测依据:土壤样品理化指标 pH、电导率、碱解氮、速效磷、速效钾、有机质、水溶性总盐、全氮、全磷、全钾,测定方法参照《土壤分析技术规程》测定。

监测设施蔬菜土壤理化指标,对设施蔬菜土壤有效养分状况进行分析。农户施肥时根据监测结果充分考虑土壤养分累积情况,并根据不同蔬菜的需肥规律按照比例进行增减量施肥,缓解设施蔬菜土壤连作障碍突出、土壤养分失衡、农产品品质下降等突出问题。

2.2 监测点数据超标预警模块

当以上监测数据录入系统后,以《设施蔬菜土壤质量标准》(DB 37/T 2050—2012)、《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)、《温室蔬菜产地环境质量评价标准》(HJ 333—2006)、《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022)、《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》(GB 2763—2021)中规定的限值为依据,正常监测数据显示蓝色,超标监测数据自动显示橙色,引起预警。该模块为本预警系统的核心模块。指定要分析的监测区域、监测内容和年限,预警系统就会显示指定数据,并结合历史数据显示一段时间以内的监测变化规律和趋势,超标数据自动预警,为主管部门提供参考决策。当监测数据录入后,该模块能实时监测预警整个监测区域的设施蔬菜产地健康及危害因子污染情况。如监测区域土壤重金属含量正常时样本显示蓝色,超标时

自动显示橙色(图 2)。



图 2 重金属超标预警界面

Fig. 2 Heavy metal exceedance early warning interface

2.3 治理趋势模块

当监测点数据超标预警模块预警时,监测人员根据监测数据超标预警情况,判断其污染程度,分析污染等级,结合监测点具体情况提出治理方案,监测点根据治理方案进行整改后继续监测、录入数据,在此模块以折线形式显示近 5 a 治理趋势(图 3)。当出现多个危害因子同时超标时,系统将同时



图 3 治理趋势界面

Fig. 3 Governance trend interface diagram

预警,确定治理优先级的原则为优先处理可能引发急性中毒的危害因子,次优先处理慢性危害的因子;危害因子的健康影响阈值参考污染土壤的健康风险评估的限值,超标倍数越大的因子优先级越高。

2.4 监测点区域显示模块

在数据统计界面可以任意切换监测区域、监测对象、指标及年份,快速查看监测数据及历年变化趋势。以赤峰市松山区为例,选定松山区显示区域地图(图4),点击白色下拉菜单,显示赤峰市松山区整体监测点信息(图5)。在此模块可快速查找到任意监测点的监测信息。



图4 松山区监测区域界面

Fig. 4 Songshan district monitoring area interface map

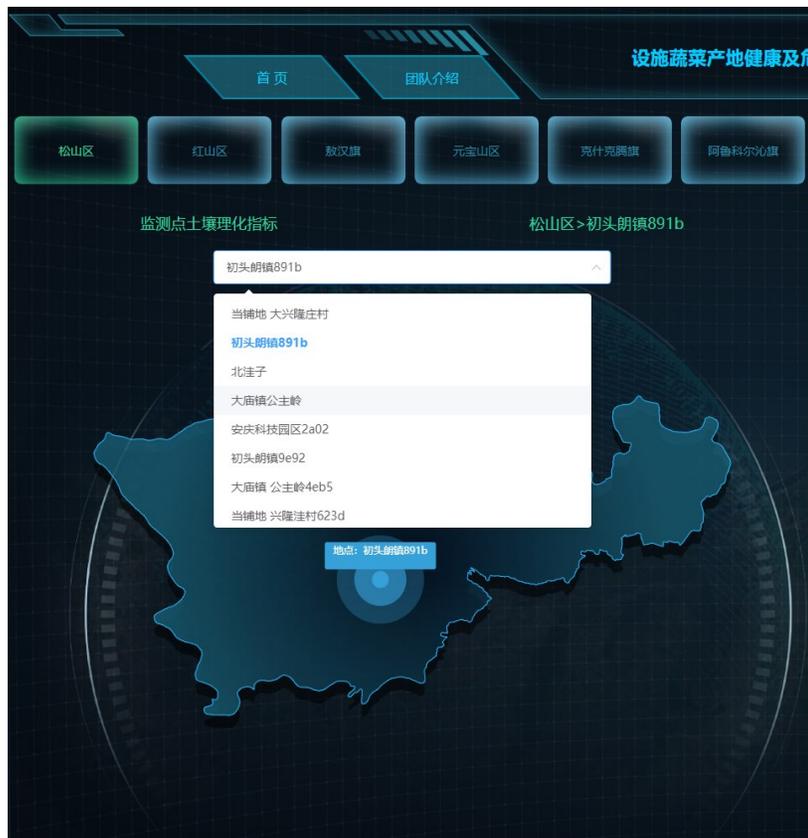


图5 松山区监测点信息

Fig. 5 Songshan district monitoring point information

2.5 数据质控

对每批次取样的监测数据进行质控,保证不同监测点数据的准确性和一致性,具体方法如下:

2.5.1 仪器校准 定期对检测仪器进行校准,依据《检测和校准实验室能力的通用要求》(ISO/IEC 17025—2017)制定校准周期,确保仪器精度,确保检测数据可溯源。

2.5.2 内外部质量控制 实验室内部每批次检测样品插入空白样(检测污染)和重复样(计算相对偏差,评估精密度);向样品中添加已知浓度的标准物质,验证回收率(在80%~110%之间)。实验室间进行试验比对或能力验证,确保数据的准确性。

2.6 系统的升级和优化

除以上系统现有模块外,在未来技术发展趋势下,系统将进行持续的更新、升级和优化,以适应新的监测需求和技术变化。

2.6.1 系统的兼容性 系统目前为单机版,根据用户的不同需求可增加联网版,并设计接入不同类型的传感器和监测设备,可满足智能灌溉、设施温室自动化控制系统、农业气象灾害监测预警系统等,系统升级后以确保能够兼容不同的硬件和软件平台,高效整合和利用各种资源,为设施蔬菜的健康生产提供有力的技术保障。

2.6.2 数据存储 随着监测系统的使用,会积累大量的监测数据,未来会根据数据存储情况从架构设计、技术选型、数据治理等多方面进行规划。比如构建数据分层存储、智能索引、混合计算等,通过数据生命周期降低存储成本,利用时序数据库和分布式计算引擎提升查询效率,同时结合流批一体处理实现实时预警与深度分析,实现数据存得住、查得快、用得准。

2.6.3 配套技术指导 系统优化后进一步扩充设施蔬菜产地健康及危害因子监测数据库,并增加技术指导模块,此模块根据不同地区的使用情况加入设施蔬菜栽培技术、设施蔬菜有机肥施用技术等实用技术培训视频,并在此模块预留相关专家的联系方式,单机版系统用户可以观看技术培训视频,也可以针对生产中遇到的具体问题电话咨询相关专家;联网版用户可直接在配套技术指导模块与专家连线,专家可通过视频查看设施温室存在的问题,并对其进行指导。

2.6.4 系统的使用对象 目前监测预警系统的使用者主要为农业部门、企业、科研单位等管理机构,这些机构需要掌握设施蔬菜产地健康生产状况,根

据系统收集的数据进行研究分析。下一步监测预警系统可提供给农户、合作社等从事设施蔬菜生产的单位和个人使用,让他们通过监测预警系统实时监测设施蔬菜生长环境,及时获得预警信息。同时根据不同地区不同使用者的需求增减系统各功能模块,并提供单机版和联网版供用户选择,以保障各使用者能够顺利应用和持续使用。

2.6.5 新兴污染物 除了重金属、农药残留、抗生素残留等污染物,微塑料、新烟碱类农药、农药代谢产物、病原微生物等新兴污染物目前被更多关注。这些新兴污染物通常具有低浓度、不易降解的特性,还可以不断富集于水体或土壤中,成为环境中的一种“虚拟持久性化学物质”,进而威胁到人类的生存环境^[18-19]。随着设施蔬菜产业的发展,新兴污染物需要从源头控制污染输入,优化生产管理,随着监测预警系统的使用和推广,需要将新兴污染物纳入监测预警体系,推动政策与科技协同,助力实现绿色安全的蔬菜生产体系。

3 监测预警系统应用

赤峰市是我国北方重要蔬菜生产基地,是京津沪地区反季节蔬菜重要供应基地和全区首个粤港澳大湾区“菜篮子”生产基地,设施农业面积12.7万hm²,产量达510万t,面积和产量稳居内蒙古首位。截至2024年,设施农业现代化提升面积3866.66hm²,具有温、水、肥精准控制智慧化园区面积4000.00hm²。以赤峰市设施蔬菜监测情况为例,介绍监测预警系统的应用实例,综合评价设施蔬菜土壤质量及产品质量。

对赤峰市设施蔬菜种植规模较大区域的30个监测点,分别按照每个监测点设施蔬菜种植时间不同,在拔秧整地前采集土壤样品、产品上市时采集果实和植株样品;监测调研点土壤理化指标、土壤重金属含量及农药、抗生素残留量;监测设施蔬菜植株和果实重金属含量、农药及抗生素残留量,连续监测2a。设施土壤理化性状监测:对棚龄、温室面积、肥料施用情况进行调查。将各个区域监测点的监测数据集中,录入设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统,对设施蔬菜产地及产品质量进行评估。

以设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统中产地健康部分监测数据为例,在赤峰市各旗县区设施蔬菜种植规模较大的区域,连续采集两年冬季茬口整地定植前的土壤样品,共60份。

采用 Excel 2010 处理监测数据,采用 SPSS 22.0 以赤峰市松山区初头朗镇监测数据为例进行相关性分析和差异显著性分析,采用 OriginPro 2024 对赤峰市 30 个监测点理化指标变化趋势绘图。根据山东省地方标准《设施蔬菜土壤质量标准》(DB 37/T 2050—2012),设施蔬菜生产土壤主要化学性状指标应符合表 1 要求,主要肥力指标应符合表 2 要求。监测预警系统中超过指标要求的数据会自动变橙色,进行预警。

表 1 设施菜地土壤质量化学性状指标要求

Table 1 Technical requirements for soil chemical property indicators in protected vegetable fields

指标名称 Index name	指标要求 Index requirement
酸碱度 pH	6.0~8.0
电导率 EC/(mS·cm ⁻¹)	≤0.6
w(全盐) Total salinity content/(g·kg ⁻¹)	≤2.5

表 2 设施菜地土壤质量肥力指标

Table 2 Soil quality and fertility index of vegetable plots

指标名称 Index name	指标要求 Index requirement
w(有机质) Organic matter content/(g·kg ⁻¹)	>15
w(碱解氮) Alkali-hydrolyzed nitrogen content/(mg·kg ⁻¹)	75~200
w(硝态氮) Nitrate nitrogen content/(mg·kg ⁻¹)	50~100
w(速效磷) Available phosphorus content/(mg·kg ⁻¹)	50~150
w(速效钾) Available potassium content/(mg·kg ⁻¹)	150~450

3.1 监测点主要理化指标变化趋势及其与产量的关系

3.1.1 不同棚龄土壤 pH 值变化 pH 值是评价土壤酸碱度的重要指标,pH 值变化将直接影响土壤理化性质的改变,进而影响土壤养分存在形态及植物的生长。有研究表明,多数蔬菜适宜在微酸性及中性(pH 6.0~6.8)土壤中生长。赤峰地区土壤整体呈中性或碱性,参照分级标准,赤峰市设施蔬菜土壤 pH 值整体处于二级(7.5~8.5)、三级(6.5~7.5)。监测结果表明,种植年限为 1~10 a 时土壤 pH 值呈弱碱性,种植年限为 11~15 a、16 a 以上时呈中性居多,呈下降趋势(图 6-A)。设施土壤酸碱度目前不会对蔬菜造成影响,但依然需要注意土壤酸碱度的变化。

3.1.2 不同棚龄土壤中水溶性盐总含量变化 土壤水溶性盐是盐碱土的一个重要属性,是限制作物生长的障碍因素。监测区域设施土壤水溶性盐总含量(w,后同)超过临界值 2.5 g·kg⁻¹ 的土样占 46.67%(图 6-B),总体呈现弱盐渍化现象,呈上升趋

势。土壤水溶性盐过量会破坏土壤结构、降低土壤微生物活性等。

3.1.3 不同棚龄土壤中速效磷含量变化 土壤速效磷是土壤养分的重要指标,较容易被植物吸收利用。监测点设施土壤随着种植年限的增加,速效磷含量呈现上升趋势,且超过 150 mg·kg⁻¹ 的土样占 86.67%(图 6-C)。过量施肥、追肥导致土壤中速效磷累积,过量的速效磷会与土壤中的铁、锌、钙等微量元素结合,形成难溶性化合物,导致植物营养失衡,影响产量。另外,还会导致土壤板结和水体富营养化风险。

3.1.4 不同棚龄土壤中速效钾含量变化 速效钾含量是衡量土壤钾素供应状况的重要指标之一,可直接反映土壤供钾的能力。监测土壤速效钾含量及其变化规律,对指导钾肥的合理施用有重要意义。监测点速效钾含量无明显变化规律,超过 450 mg·kg⁻¹ 的土样占 76.67%(图 6-D)。

3.1.5 不同棚龄土壤中碱解氮含量变化 土壤碱解氮是作物氮素的主要来源,过量施肥会导致大量的氮元素残留在土壤表层,影响蔬菜产量及品质。随着种植年限增加,土壤碱解氮含量逐渐上升,种植 1~10 a 间,变化幅度较为平缓,棚龄 15 a 以上时,土壤碱解氮含量上升明显(图 6-E)。氮元素的过量施用,会加速微生物分解土壤有机质,导致团聚体破坏,加重次生盐渍化风险。

3.1.6 不同棚龄土壤中有机质含量变化 土壤有机质含量直接影响着土壤的保肥性、保水性、缓冲性、耕性和通气性等,有机质含量是衡量土壤肥力高低的主要指标。监测点不同种植年限 0~20 cm 土层的土壤有机质分析表明:有机质含量丰富,监测数值均≥15 g·kg⁻¹,且随种植年限的增加呈现出上升的趋势(图 6-F)。

3.1.7 不同棚龄土壤理化指标变化趋势和产量的关系 土壤理化指标与作物产量之间存在复杂的相互作用,以监测点设施番茄为例,有机质、pH 值、碱解氮、速效磷、速效钾、水溶性盐综合影响产量。碱解氮、速效磷和速效钾在适量时促进增产,但过量则无效甚至有害,有机质大体基本与产量正相关,pH 值和水溶性盐过高会导致减产。设施番茄产量与棚龄有关(图 7),但不是决定性因素,即使棚龄较长,只要采取科学施肥和合理的管理措施,仍可以保持甚至提高产量。

3.2 赤峰市松山区初头朗镇数据统计及分析

选取赤峰市松山区初头朗镇设施番茄土壤为

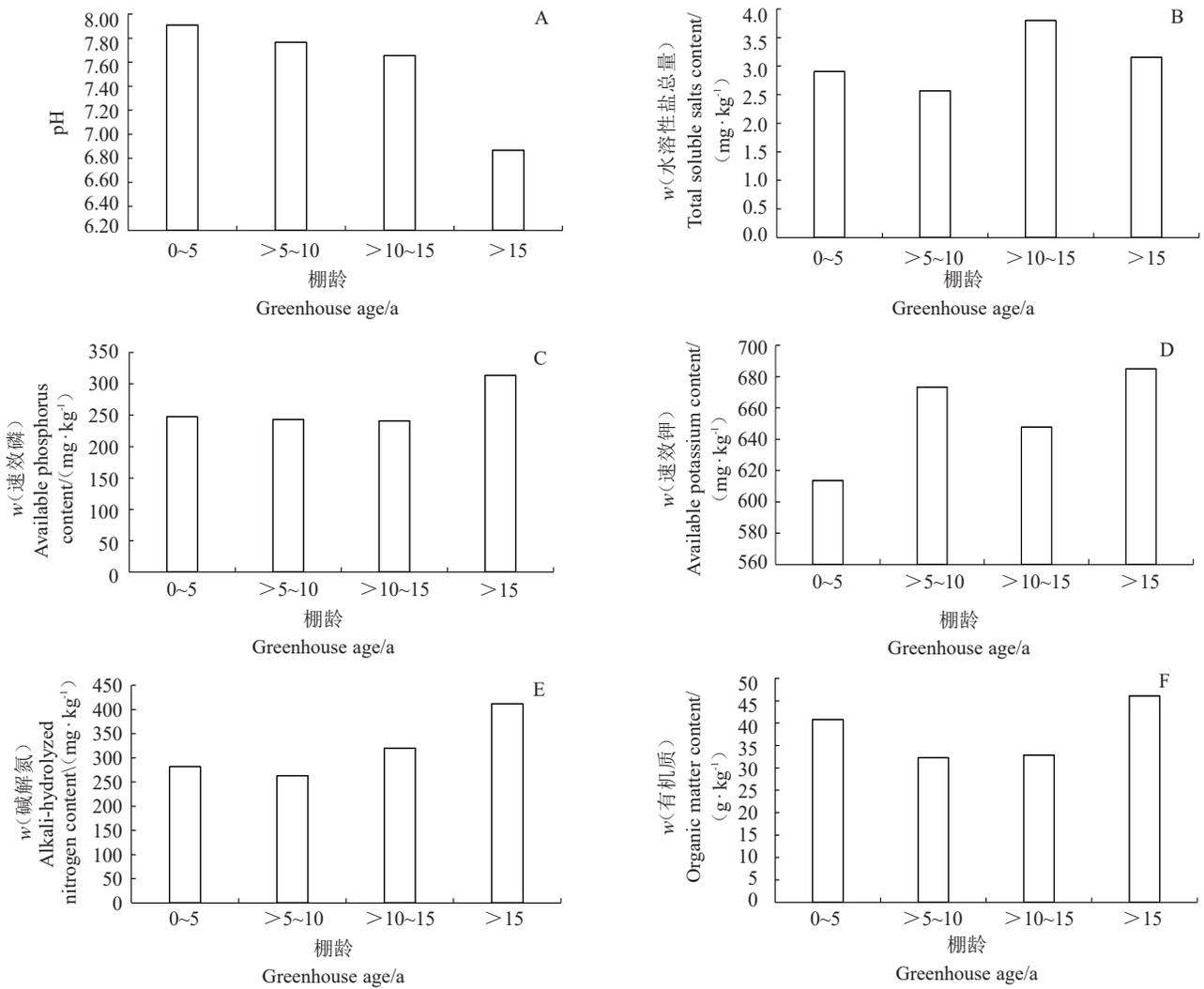


图6 不同棚龄土壤理化指标变化

Fig. 6 Changes in the content of soil physicochemical properties with different greenhouse ages

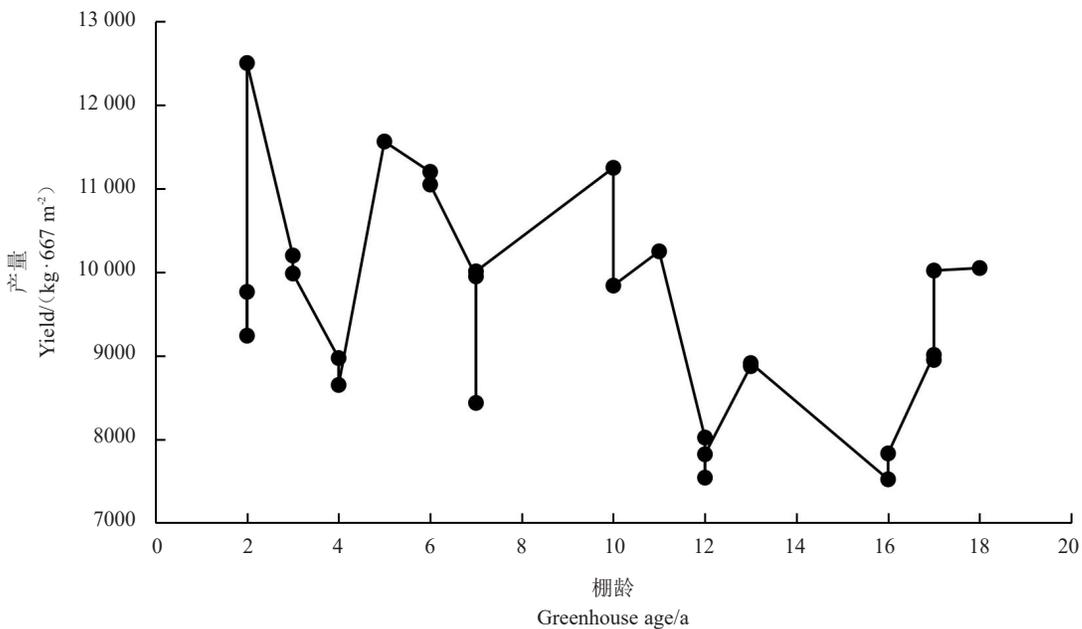


图7 不同棚龄番茄产量变化

Fig. 7 Changes of tomato yield with different greenhouse ages

研究对象,对3处不同棚龄的土壤养分含量和产量进行分析。其中监测点一棚龄为7 a,监测点二棚龄为2 a,监测点三棚龄为13 a。监测点一番茄暖棚测定的数据显示,速效磷含量、速效钾含量、有机质含量、pH值、EC值、水溶性盐总量均有显著差异。监测点二番茄冷棚除EC值无显著差异,其余均有显著差异。监测点三番茄暖棚除EC值无显著差异外,其余均有显著性差异。对以上3家土壤数据对比发现,对照区的测定数值远低于大棚内,其中监测点一番茄暖棚和监测点二番茄冷棚中速效钾的值高于土壤速效钾标准的正常值(50~150 mg·kg⁻¹),监测点一番茄暖棚中速效磷的值高于土壤速效磷

标准的正常值(150~450 mg·kg⁻¹)。由于棚龄较长,农户为了提高番茄的产量,施肥过多,导致速效钾和速效磷的含量过高。速效钾和速效磷的过量可能导致土壤养分失衡,影响土壤结构和肥力。速效磷含量过高会导致土壤中磷元素浓度过高,可能引发磷盐代谢失衡,进而影响植物生长和土壤健康状况(表3)。2022年秋季茬口番茄产量为监测点三>监测点一>监测点二,高有机质含量与适宜的碱解氮、速效磷、速效钾含量和pH值结合,可促进微生物活动,有助于增产。通过对赤峰市松山区初头朗镇监测数据进行统计分析后发现变化趋势与30个监测点监测数据基本一致。

表3 松山区初头朗地区土壤养分指标测定

Table 3 Soil nutrient index determination in Chutoulang area of Songshan district

样品名称 Sample name	w(速效磷) Available phosphorus content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Available potassium content/ (mg·kg ⁻¹)	w(有机质) Organic matter content/ (g·kg ⁻¹)	pH	EC/ (mS·cm ⁻¹)	w(水溶性盐总含量) Total soluble salts content/ (mg·kg ⁻¹)
监测点一番茄暖棚 1 Monitoring point 1 tomato greenhouse 1	186.95 a	651.45 a	35.25 a	7.74 a	0.360 a	2.04 a
监测点一番茄暖棚 2 Monitoring point 1 tomato greenhouse 2	187.05 a	649.45 a	35.75 a	7.79 a	0.350 a	2.06 a
监测点一番茄暖棚 3 Monitoring point 1 tomato greenhouse 3	186.35 a	649.25 a	35.20 a	7.77 a	0.350 a	2.05 a
对照区 Control plot	7.95 b	164.00 b	7.50 b	8.60 b	0.160 b	4.20 b
监测点二番茄冷棚 1 Monitoring point 2 tomato plastic tunnel 1	50.85 a	232.25 a	19.05 a	8.07 b	0.150 a	1.30 b
监测点二番茄冷棚 2 Monitoring point 2 tomato plastic tunnel 2	51.25 a	231.45 a	18.75 a	8.09 b	0.170 a	1.45 b
监测点二番茄冷棚 3 Monitoring point 2 tomato plastic tunnel 3	50.55 a	232.25 a	19.25 a	8.07 b	0.160 a	1.35 b
对照区 Control plot	7.95 b	164.00 b	7.50 b	8.60 a	0.160 a	4.20 a
监测点三番茄暖棚 1 Monitoring point 3 tomato greenhouse 1	245.35 a	575.35 a	34.05 a	7.83 b	0.145 a	1.40 b
监测点三番茄暖棚 2 Monitoring point 3 tomato greenhouse 2	244.85 a	574.85 a	33.15 a	7.82 b	0.160 a	1.50 b
监测点三番茄暖棚 3 Monitoring point 3 tomato greenhouse 3	245.55 a	574.8 a	33.55 a	7.81 b	0.150 a	1.40 b
对照区 Control plot	7.95 b	164.00 b	7.50 b	8.60 a	0.160 a	4.20 a

注:同一监测点同列数据后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

Note: Different lowercase letters of the same monitoring point in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level.

3.3 建议及措施

通过连续2 a的监测显示,监测区域设施蔬菜化肥投入量过高,尤其是钾肥和磷肥。根据《设施

蔬菜土壤质量标准》(DB 37/T 2050—2012),速效钾和速效磷超过最大限值的分别占76.67%和86.67%,设施蔬菜土壤有效养分状况差异较大且分

布不平衡。土壤总体呈中性或碱性,且均有不同程度盐渍化。监测区域设施土壤经过长期种植与过量施肥,导致土壤中残留养分均有着不同程度的积累,设施蔬菜土壤质量下降现象较为明显。

建议农户施肥时要充分考虑土壤养分累积情况,根据不同蔬菜的需肥规律和土壤理化指标进行减量施肥,提高肥料利用率,配施微生物菌肥,并控制农药使用量及频次,逐步改善土壤生态环境。

4 结 语

设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统能够明确不同产地环境条件下设施土壤的危害风险及危害因子残留污染动态,及时预警和监督,进而加强设施蔬菜产地健康的环境建设,确保蔬菜的标准化种植。

通过设施蔬菜产地健康及危害因子监测预警系统在内蒙古自治区首次研究和应用,综合评价了监测区域设施蔬菜的土壤质量及产品质量,提升了农业科学数据的观测、收集、整理、分析和应用水平,有效引导农业生产经营者合理规划生产、差异化发展,促进化肥、农药的减量投入,进而减轻高投入生产对土壤、空气、水源等造成的污染,为设施蔬菜生产关键技术的研究提供数据支撑。随着监测预警系统的升级优化和推广,逐步建立“政府主导、专家撑腰、农户参与、社会共谋”的设施土壤污染监控机制,促进设施农业的健康可持续发展。

参考文献

- [1] 雷喜红,王艳芳,牛曼丽,等.北京市设施农业应用现状及发展建议[J].中国蔬菜,2023(12): 20-25.
- [2] 张殿生,云利燕,赵玮.内蒙古自治区十三届政协农牧委工作手册(2024年度)[Z]//内蒙古自治区十三届政协2024年履职成果丛书之二十.呼和浩特:中国人民政治协商会议内蒙古自治区委员会,2024.
- [3] 李明,赵春江,杨信廷,等.温室蔬菜病害预警体系初探:以黄瓜霜霉病为例[J].中国农学通报,2010,26(6): 324-331.
- [4] 何松娥.试论测土配方施肥技术及其推广对策[J].农业科技与信息,2021(12): 62-63.
- [5] 陈硕.设施土壤改良与污染控制[M].北京:中国农业科学技术出版社,2021.
- [6] 肖莉,张焜毅,张国权,等.城市流通蔬菜污染监测预警系统的设计和开发[J].农业工程学报,2009,25(3): 168-173.
- [7] 黄绍文,唐继伟,李春花,等.我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6): 1480-1493.
- [8] 张彦才,李巧云,翟彩霞,等.河北省大棚蔬菜施肥状况分析与评价[J].河北农业科学,2005,9(3): 61-67.
- [9] 王牧野,李建平,李俊杰.中国设施蔬菜历史演变、规模分布与区域布局[J].中国瓜菜,2020,33(7): 86-89.
- [10] 张怀志,唐继伟,袁硕,等.津冀设施蔬菜施肥调查分析[J].中国土壤与肥料,2018(2): 54-60.
- [11] 胡江威.环境监测数据挖掘与环境预警模型构建技术探讨[J].清洗世界,2024,40(1): 96-98.
- [12] 吕雄杰,刘恒一,王翔宇,等.面向病害预警的设施蔬菜环境监测 Android 系统[J].江苏农业科学,2018,46(11): 197-200.
- [13] 陈启明,张斌.数据挖掘在环境监测中的应用[J].环境科学,2020,41(2): 159-166.
- [14] 李光华,蒋杨,王朝益.基于物联网的职业健康监测预警体系研究与应用[J].中国安全科学学报,2022,12(32): 118-122.
- [15] 于合龙,丁民权,黄浦,等.基于 ZigBee 网络的人参生长监测及病害预警[J].吉林农业大学学报,2017,39(1): 120-126.
- [16] 黄绍文,唐继伟,李春花.不同栽培方式菜田耕层土壤重金属状况[J].植物营养与肥料学报,2016,22(3): 708-719.
- [17] 冯武焕,吕爽,王虎,等.西安市菜田化肥农药施用现状调查与分析[J].中国农学通报,2016,32(31): 143-146.
- [18] 邓艳霞,熊小燕,邓安楠,等.国内外新兴(型)污染物研究的文献计量学分析[J].广东化工,2024,22(51): 103-105.
- [19] BARCELO D, PETROVIC M. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the environment[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry,2007,387(4): 1141-1142.