

## VIP+n 技术在轻度酸性镉污染农田的应用

李威, 刘艳\*, 李慧, 卢海威, 黄磊 (湖南现代环境科技股份有限公司, 湖南长沙 410004)

**摘要** [目的]研究 VIP+n 技术对攸县轻度酸性镉污染农田早晚两季的修复效果。[方法]对攸县约 33.33 hm<sup>2</sup> 示范项目进行布点采样、结果分析与实施监管。[结果]采用 VIP+n 技术能明显提高酸性土壤 pH, 缓解土壤酸化, 降低土壤中有效态镉含量(降低幅度为 44.50%~81.33%), 且对土壤有机质含量不产生明显影响; 同时降低镉米镉含量, 使种植示范区水稻稻米中的镉含量均达到我国《食物中污染物限量》, 不减少水稻产量。[结论]VIP+n 技术成本相对较低, 降镉效果明显, 具有复制和推广的意义。

**关键词** 酸性镉污染农田; VIP+n 技术; 有效态镉; 土壤调理剂

中图分类号 X53 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)19-0099-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.19.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application of VIP+n Technology in Farmland with Mild Acid Cadmium Pollution

LI Wei, LIU Yan, LI Hui et al (Modern Environmental Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan 410004)

**Abstract** [Objective] To study the remediation effect of VIP+n technology on the acidic farmland soil slightly polluted by cadmium in Youxian. [Method] Spot sampling, result analysis and implementation supervision for the Youxian demonstration project with 33.33 hm<sup>2</sup> were carried out. [Result] The application of VIP+n technology could significantly improve the pH value of acidic soil, alleviate soil acidification, and reduce the content of available cadmium in soil (the reduction range was 44.5%~81.33%), and had no significant effect on the content of soil organic matter. At the same time, the cadmium content of rice in the planting demonstration area reached the limit of pollutants in food in China, and the yield of rice was not reduced. [Conclusion] VIP+n technology has relatively low cost, obvious effect of reducing cadmium, and has the significance of replication and promotion.

**Key words** Acid cadmium pollution of farmland; VIP+n technology; Available cadmium; Soil conditioner

耕地是人类赖以生存的最基本资源, 具有不可替代的生产和生态功能, 是食物安全的基础和保障, 对地表水、食物链、生物多样性和大气层的保护起到至关重要的作用<sup>[1-3]</sup>。然而目前, 我国耕地面临土地污染加重、优质耕地减少、土壤退化日益突出等问题, 严重制约着耕地质量<sup>[4-6]</sup>。2014年4月, 我国土壤污染调查公报中指出, 现阶段全国土壤污染状况不容乐观, 总超标率达 16.1%, 以镉污染最为严重的无机污染类型为主, 占无机污染点位的 7%, 而耕地污染约占耕地总面积的 1/5, 涉及 11 个省 25 个地区, 其污染面积为 1.3×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup><sup>[7]</sup>。在长株潭地区, 重金属镉、砷、铅、锌等主要以三废排放的外源污染形式进入土壤, 其中镉污染最为严重<sup>[8]</sup>。

目前镉污染农田修复途径: 一是把土壤中镉含量降低至国家限量标准以下, 但这种技术成本很高, 尚无可以大面积实施的技术措施; 二是采用降低土壤中镉有效态含量及水稻镉转运能力, 可以较大幅度降低稻米镉含量, 这种技术成本较低, 可复制可推广。镉污染农田的修复技术有单项修复技术, 如种植镉低累积品种、撒施土壤调理剂、水分调控、喷施叶面阻控剂、撒石灰等。组合技术包括这几种单项措施的优化组合, 其中在湖南较广泛使用的组合技术为 VIP+n (V 为种植镉低累积品种, I 为淹水灌溉, P 为调 pH, n 为喷施叶面阻控剂、撒施土壤调理剂等) 技术<sup>[9]</sup>。不管是哪种修复技术, 降低稻米中镉的途径主要是减少镉从土壤向植株的输送; 阻断镉从植株根部向稻米的转运<sup>[10-11]</sup>。笔者针对湖南省攸县水稻种植区的土壤性质及污染特点、种植模式, 将多种调控措施进行优化组合和集成, 以稻米镉达标为目标, 因地制宜

地选择 VIP+n 修复模式进行示范, 加强过程监测监管, 实施到位组织管理, 实现对农田污染的修复和农田资源可持续循环利用。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验地位于株洲市攸县, 示范面积为 33.33 hm<sup>2</sup>, 属于产粮大县。该地区位于湘江上游, 地下矿产资源丰富, 植物物种资源丰富, 雨水充沛, 属于亚热带季风湿润气候常绿阔叶林带, 无霜期平均 285 d, 年均气温 16~18℃, 土壤类型为酸性潮泥田。经调查, 示范区土壤全镉为 0.3~0.6 mg/kg, 稻米镉为 0.2~0.4 mg/kg, pH 为 5.0~6.0, 属于轻度污染区域(图 1)。

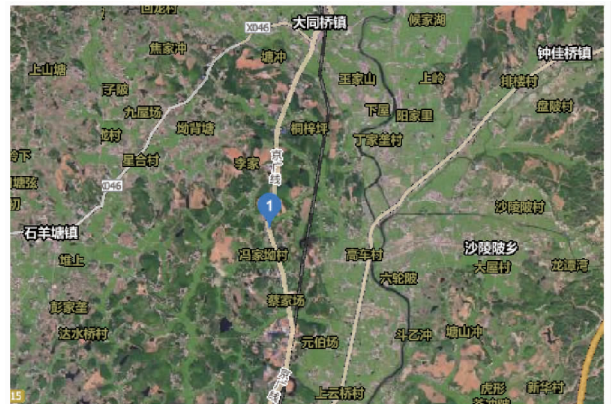


图 1 示范地地理位置

Fig. 1 Location of the demonstration project

**1.2 试验材料** 供试土壤: 株洲市攸县 0~20 cm 的耕层土壤。其土壤理化性质: pH 5.8, CEC 12.59 cmol/kg, 速效钾 138.26 mg/kg, 碱解氮 219.45 mg/kg, 有效磷 20.84 mg/kg, 有机质 48.12 g/kg, 总镉 0.38 mg/kg, 有效镉 0.09 mg/kg。

**作者简介** 李威(1983—), 男, 湖南平江人, 工程师, 从事环境污染治理研究。\* 通信作者, 工程师, 硕士, 从事环境污染治理研究。  
**收稿日期** 2019-04-18; **修回日期** 2019-05-09

供试土壤调理剂:采用 ME 土壤调理剂,该土壤调理剂参加了湖南省农业资源与环境管理站重金属污染耕地修复治理新产品新技术集中展示,并入围了推荐产品名录,基本理化性质:CaO 30.24%,MgO 33.49%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.21%,SiO<sub>2</sub> 5.87%,Fe 3.65%,Na 0.86 mg/kg,K 0.37 mg/kg,pH 10.59,水分 5.85%,粒厚(≤5.00 mm)≥90,Pb<10.00 mg/kg,Cd 3.40 mg/kg,Cr 38.00 mg/kg,Hg<5.00 mg/kg,As<10.00 mg/kg。汞、镉、铬、砷、铅含量低于《水溶肥汞、砷、镉、铅、铬的限量要求》(NY1110)。

供试水稻品种:早稻品种为株两优 189,晚稻品种为隆香优 130。

供试生石灰:采用湖南恒旺碳酸钙有限公司的生石灰,生石灰质量要求为氧化钙(CaO)含量大于 70%,细度为 80%通过 10 目标筛,汞含量小于或等于 2 mg/kg,砷含量小于或等于 10 mg/kg,镉含量小于或等于 3 mg/kg,铅含量小于或等于 50 mg/kg,铬含量小于或等于 50 mg/kg。

供试叶面阻控剂:采用降镉灵,该产品参加了湖南省农业资源与环境管理站重金属污染耕地修复治理新产品新技术集中展示,并入围了推荐产品名录。

周边灌溉水:镉含量在 0.01~0.25 μg/L,低于现行灌溉水标准(表 1)。

表 1 周边灌溉水镉含量

Table 1 Cadmium content in peripheral irrigation water

灌溉水水样 Irrigation water sample	采样时间 Sampling time	pH	Cd//μg/L	标准值 Standard values//mg/L
W-1#	4.21	7.05	0.02	0.01
W-2#	4.21	6.78	0.01	0.01
W-3#	4.21	6.38	0.07	0.01
W-4#	4.21	9.07	0.25	0.01
W-5#	4.21	7.07	0.17	0.01

1.3 试验设计 攸县案例地试验地面积:CK 0.33 hm<sup>2</sup>,VIP+n 33.33 hm<sup>2</sup>。

#### 1.4 管控措施

1.4.1 种植镉低积累水稻品种。水稻品种从湖南省《应急性镉低积累水稻品种知道目录》中选择,早稻采用株两优 189,晚稻采用隆香优 130 杂交水稻。项目实施依托乡镇、农技站组成三级机构协调各村、组、农户的关系,组织育秧团队进行育秧,统一运送到项目地,统一插秧,确保镉低积累品种及时育秧,插秧,不误农时,保证项目的顺利实施。

1.4.2 淹水灌溉。农田水分调控可以改变土壤中镉(Cd)等重金属元素的有效性,影响植物对重金属元素的吸收积累。早晚两季实行全生育期淹水灌溉,按照《镉污染稻田安全利用田间水分管理技术规程》统一实施,全生育期保持田间有水层,直到收割前 7 d 左右自然落干,尤其是在抽穗前 20 d 至抽穗后 20 d 内必须保证田间有 3 cm 水层,杜绝土壤干湿交替。在淹水灌溉期,安排专人负责,明确其工作职责,确保优化水分管理落实到位,同时建立灌溉水管理联席工作机制,确保源头不断水。

1.4.3 施用生石灰。双季稻施用生石灰一次性基施,施用时间为双季早稻移栽前 20 d,按照《镉污染稻田安全利用石灰施用技术规程》统一撒施,撒施量为 2 250 kg/hm<sup>2</sup>。

1.4.4 施用土壤调理剂。早晚两季均采用 ME 土壤调理剂,根据示范农田污染程度,施加量为 3 000 kg/hm<sup>2</sup>。实施人员在撒施时将该产品均匀撒在农田里,然后翻耕混合,放置 3~5 d,使产品与土壤充分反应。在撒施过程中实施人员均佩戴口罩、手套,防止粉尘的吸入。

1.4.5 喷施叶面阻控剂。早晚稻采用降镉灵叶面阻控剂,选用人工喷雾,实施人员选择晴天进行喷施,每次用量为 3 750 mL/hm<sup>2</sup>,对水 1 500 L 进行喷施。喷施过程均匀喷施,将叶面阻控剂均匀喷施于叶面的正面和背面,喷施过程先上后下,中速均匀,以水稻叶面湿润、不滴液为宜。

#### 1.5 样品采集与分析

1.5.1 样品采集。按照随机布点法进行布点采样,在犁田前采集土壤样品,测定其理化性质;水稻原始期(采用 VIP+n 技术前)、分蘖期、成熟期采集土壤和植物样品。示范项目按照约每 0.67 hm<sup>2</sup> 采集一个混合样品,空白对照采集一个混合样品。土样取 0~20 cm 耕作层混合样,稻谷样品与土样均采用 5 点法“一对一”进行采集。将采集的土壤自然风干后分别过 100 目和 20 目筛备用。稻谷样品于 105 ℃ 下杀青 30 min,然后在 70 ℃ 下烘干,研磨过 40 目筛备用。土壤检测指标为 pH、土壤有效态镉、土壤有机质含量;稻米检测指标为全镉。

1.5.2 样品分析。土壤 pH 采用便携式 pH 计(Sevnt2GoS2pH/Mv)现场进行测定,土壤阳离子交换量、碱解氮、有机质含量、速效钾、有效磷等理化性质均采用《土壤农化分析与环境监测》中的方法进行分析<sup>[12]</sup>;土壤有效态镉采用盐酸(0.1 mol/L)提取法<sup>[10]</sup>进行提取后,采用石墨炉-原子吸收分光光度计(AS-500)测定;土壤总镉采用 HF-HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub> 消解后,用火焰-原子荧光光谱仪(AA-7003)测定。

稻米镉含量:水稻籽粒去壳后研磨,过 40 目筛,称取 0.5 g 样品,采用《食品中镉的测定》GB 5009.15—2014 预处理后采用石墨炉-原子吸收分光光度计(AS-500)测定。

水稻产量:采用人工称重法进行测定。

1.6 数据分析 数据处理、相关分析及图表由 Microsoft excel 2019 绘制。

#### 2 结果与分析

2.1 VIP+n 技术对农田土壤 pH 的影响 在采用 VIP+n 技术前(以下称原始期),土壤 pH 为 4.83~5.9。采用 VIP+n 技术后,早稻水稻分蘖期土壤 pH 为 5.49~7.96,与原始期比较,1~10 号取样点土壤 pH 明显增加(增加幅度为 1.45~3.13);水稻成熟期土壤 pH 为 5.67~7.20,与原始期比较,增加幅度为 0.98~2.31,但与分蘖期比较,1~10 号取样点土壤 pH 除 6 号取样点外均有所降低。晚稻水稻分蘖期土壤 pH 为 5.53~7.76,与原始期比较,1~10 号取样点土壤 pH 增加幅度为 1.74~2.61;水稻成熟期土壤 pH 为 5.47~7.91,1~10 号取样点土壤 pH 增加幅度为 1.87~2.93。然而,早晚稻空

白取样点不同时期的 pH 变化不大。此外,晚稻分蘖期和成熟期的土壤 pH 比早稻分蘖期和成熟期的土壤 pH 均高(图 2)。

这是由于该研究为酸性镉污染农田,VIP+n 技术中有撒施生石灰和土壤调理剂等措施,生石灰和土壤调理剂均呈碱性。早稻中,生石灰撒施量为 2 250 kg/hm<sup>2</sup>,土壤调理剂撒施量为 3 000 kg/hm<sup>2</sup>;晚稻中,继续施加土壤调理剂 3 000 kg/hm<sup>2</sup>,因此采用 VIP+n 技术后农田土壤中 pH 均明显提高,而且晚稻土壤 pH 大部分大于早稻 pH。该研究 pH 均为不同时期现场进行测定,因此更能准确地反映该技术对现场农田土壤 pH 的影响程度。

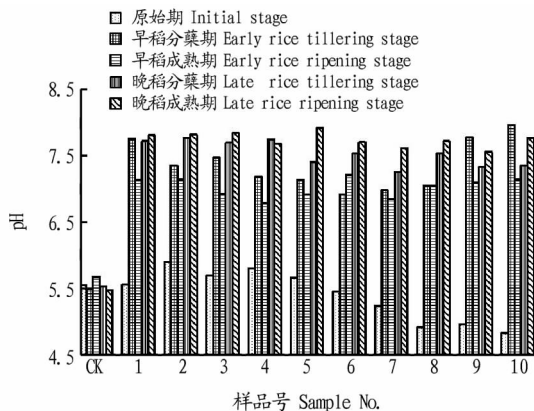


图 2 VIP+n 技术对农田土壤 pH 的影响

Fig. 2 Effect of VIP+n technology on pH of farmland soil

**2.2 VIP+n 技术对土壤有效态镉含量的影响** 土壤中有有效态镉含量较低,为轻度镉污染农田。采用 VIP+n 管控模式后,1~10 号取样点土壤有效态镉含量明显降低。与空白对照比较,早稻分蘖期土壤有效态镉降低幅度为 44.5%~75.05%,早稻成熟期土壤有效态镉降低幅度为 61.86%~81.33%;晚稻分蘖期土壤有效态镉降低幅度为 46.6%~68.67%,晚稻成熟期土壤有效态镉降低幅度为 61.86%~81.24%。早晚稻空白取样点不同时期的土壤有效态镉含量稍降低,但变化不大。这可能是由于撒施生石灰、土壤调理剂增加了农田土壤 pH,降低了土壤有效态镉含量,这与文献报道一致<sup>[13-15]</sup>(图 3)。

**2.3 VIP+n 技术对水稻稻米镉含量的影响** 采用 VIP+n 技术后水稻稻米中镉含量的变化见图 4。由图 4 可知,空白对照中早晚稻稻米中镉含量分别为 0.23、0.28 mg/kg,均超过了我国《食物中污染物限量》(GB 2762—2012)中所规定的大米镉限值 0.2 mg/kg,长期食用镉大米将会对人体产生一定的健康风险。采用 VIP+n 技术后,各采样点稻米镉含量均明显降低,全部达到《食物中污染物限量》(GB 2762—2012)中所规定的大米镉限值 0.2 mg/kg,其中早稻稻米镉的降幅为 63.8%~97.8%,晚稻稻米镉的降幅为 75%~92.9%。这可能是由于以下几方面的原因:①添加了生石灰和土壤调理剂降低了土壤有效态镉含量,从而减少了稻米对土壤有效态镉的吸收<sup>[14,16-18]</sup>;②淹水灌溉可以有效调控土壤 Cd 活性进而降低水稻对 Cd 的吸收<sup>[19-22]</sup>;③喷施了叶面阻控剂,降低了水稻

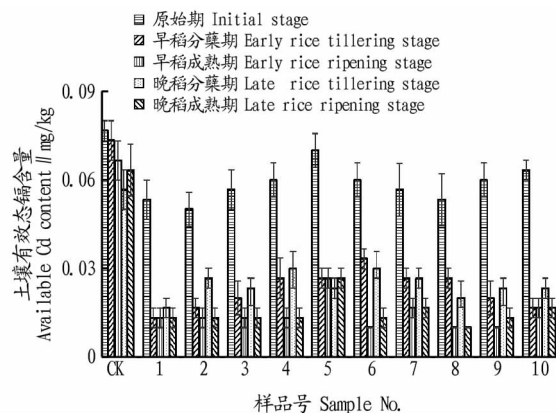


图 3 VIP+n 技术对土壤有效态镉含量的影响

Fig. 3 Effects of VIP+n technology on available Cd in soil

对镉的转运能力从而降低了稻米中镉含量<sup>[23-26]</sup>;④低累积水稻品种的“高耐性、低富集”特点也是降低稻米中镉的一个原因<sup>[27]</sup>。

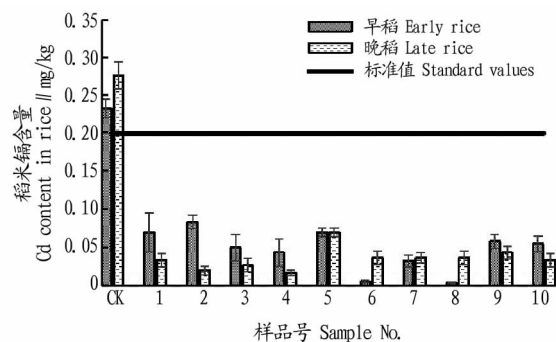


图 4 VIP+n 技术对稻米镉含量的影响

Fig. 4 Effects of VIP+n technology on Cd content in rice

**2.4 VIP+n 技术对土壤有机质含量的影响** 采用 VIP+n 技术后土壤有机质含量的变化见图 5。由图 5 可知,空白对照土壤中的有机质在不同时期基本保持一致,而采用 VIP+n 技术后的大部分取样点有机质含量在水稻分蘖期有所增加,在成熟期又有所减少,无明显变化规律。这可能是施加生石灰和土壤调理剂对农田土壤中的有机质会产生一定的影响,但影响不大<sup>[28-29]</sup>。不同时期有机质含量可能还与水稻的生长吸收有一定的关系。

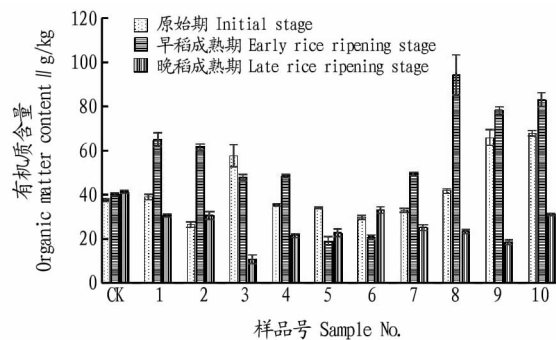


图 5 VIP+n 技术对土壤有机质含量的影响

Fig. 5 Effects of VIP+n technology on organic matter in soil

**2.5 VIP+n 技术对水稻产量的影响** 采用 VIP+n 技术后早晚稻产量见表 2。由表 2 可知,与空白对照比较,采用 VIP+n

技术后早稻增产3%,晚稻增产5.7%。采用VIP+n技术后对水稻产量未造成减产影响,且有一定的增产效果。这是由于ME土壤调理剂含有Si、Ca、Mg、Fe、K等,能改善土壤肥力,在合适的添加量范围内添加能促进水稻生长,增加水稻产量<sup>[30-31]</sup>。

表2 早晚稻采用VIP+n技术后水稻的产量

Table 2 Yield of early and late rice using VIP+n technology

稻作类型 Rice types	处理 Treatment	稻谷产量 Grain yield kg/hm <sup>2</sup>	增产率 Increased rate//%
早稻 Early rice	CK	5 355	—
	VIP+n	5 520	3.0
晚稻 Late rice	CK	5 925	—
	VIP+n	6 285	5.7

### 3 结论

该研究采用的VIP+n修复技术操作相对简便,不影响传统耕作模式,能降低镉污染酸性农田种植水稻镉含量,种植示范区水稻稻米中的镉含量均达到我国《食物中污染物限量》(GB 2762—2012)中所规定的大米镉限值0.2 mg/kg,同时水稻产量有所增加;施加生石灰和土壤调理剂能提高酸性农田土壤pH,缓解土壤酸化,同时降低土壤中有效态镉含量,且对土壤有机质含量不产生明显影响。从经济成本考虑,建议种植低镉品种和淹水灌溉措施由农户自行实施,土壤调理剂施加量根据土壤性质和污染程度进行实施,确保经济效益的最大化。

### 参考文献

- [1] 马剑宇,赵佐平,闵锁田.不同土壤重金属污染评价方法对比研究[J].现代农业科技,2016(13):223-225.
- [2] 唐为库.我国耕地资源可持续利用的战略意义[J].山西高等学校社会科学学报,2006,18(7):27-29.
- [3] 乔晓娜.耕地资源减少的原因及合理利用对策[J].现代农业科技,2013(21):348,351.
- [4] 任笑媛.强化我国耕地质量建设的对策研究[J].安徽农学通报,2012,18(22):5-6,67.
- [5] 宋才发,向叶生.我国耕地土壤污染防治的法律问题探讨[J].中央民族大学学报(哲学社会科学版),2014,41(6):28-32.
- [6] 周营.我国耕地保护面临的严峻形势和政策性建议[J].西部资源,2018(3):190-191.
- [7] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国土资源部.全国土壤

- 污染状况调查公报[R].2014.
- [8] 胡小娜,南忠仁,刘晓文,等.干旱区绿洲土壤镉-锌-铅复合污染物在芹菜中的富集迁移规律[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):163-166.
- [9] 叶文玲,郭贵凤,何志乐,等.降低稻米中镉富集的农作技术及生物技术研究进展[J].环境科学与技术,2017(S1):145-149.
- [10] 朱丹妹.几种钝化材料对稻田镉污染修复效果及其对土壤质量的影响[D].北京:中国农业科学院,2017.
- [11] 李剑睿.农艺措施联合钝化技术对水稻土壤镉污染修复效应研究[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [12] 杨剑虹,王成林,代享林.土壤农化分析与环境监测[M].北京:中国大地出版社,2008.
- [13] 刘昭兵,纪雄辉,田发祥,等.石灰氮对镉污染土壤中镉生物有效性的影响[J].生态环境学报,2011,20(10):1513-1517.
- [14] 刘铮翔,田发祥,纪雄辉,等.活化改性矿物基土壤调理剂的研发及产业化:(V)污染稻田修复过程中对土壤有效态镉的影响[J].中国高新科技,2018(12):10-14.
- [15] 李超,艾绍英,唐明灯,等.矿物调理剂对稻田土壤镉形态和水稻镉吸收的影响[J].中国农业科学,2018,51(11):2143-2154.
- [16] 张振兴,纪雄辉,谢运河,等.水稻不同生育期施用生石灰对稻米镉含量的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(10):1867-1872.
- [17] 钟楚彬,纪雄辉,谢运河,等.纳米矿物基土壤调理剂对水稻的降镉效果[J].湖南农业科学,2018(3):45-48.
- [18] 李心,林大松,刘岩,等.不同土壤调理剂对镉污染水稻田控镉效应研究[J].农业环境科学学报,2018,37(7):1511-1520.
- [19] 李鹏.水分管理对不同积累特性水稻镉吸收转运的影响研究[D].南京:南京农业大学,2011.
- [20] 史磊,郭朝晖,梁芳,等.水分管理和施用石灰对水稻镉吸收与运移的影响[J].农业工程学报,2017,33(24):111-117.
- [21] 吕银斐.不同水分管理方式对水稻镉积累的影响[D].贵阳:贵州大学,2015.
- [22] 陈江民,杨永杰,黄奇娜,等.持续淹水对水稻镉吸收的影响及其调控机理[J].中国农业科学,2017,50(17):3300-3310.
- [23] 沙乐乐.水稻镉污染防治钝化剂和叶面阻控剂的研究与应用[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [24] 李伯平.叶面阻控剂与土壤调理剂对稻米降镉效果研究[J].湖南农业科学,2016(9):30-32.
- [25] 邓述东,龚浩如,陶曙华,等.顺天降镉剂对降低稻米中镉含量的效果研究[J].湖南农业科学,2017(2):43-44,48.
- [26] 刘永贤,潘丽萍,黄雁飞,等.外源喷施硅与硅对水稻籽粒镉累积的影响[J].西南农业学报,2017,30(7):1588-1592.
- [27] 邵国胜.水稻镉耐性和积累的基因型差异与机理研究[D].杭州:浙江大学,2005.
- [28] 陈德西,何志全,郭云建,等.不同土壤调理剂对韭菜酸性土壤的改良效果[J].西南农业学报,2012,25(5):1751-1755.
- [29] 周红梅,孙蓓峰,段成鼎.5种土壤调理剂对大蒜田土壤理化性质和大蒜产量的影响[J].中国园艺文摘,2016(1):227.
- [30] 赖长鸿,陈泽恩,谢敏杰,等.土壤调理剂对土壤环境和作物产量的影响[J].磷肥与复肥,2018(1):23-25,46.
- [31] 王兴仁.科学使用土壤调理剂改善土壤肥力[J].果农之友,2011(7):35.