团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》（征求意见稿）编制说明

一、项目来源

根据广西标准化协会《关于下达2022年第十四批团体标准制定项目计划的通知》（桂标协〔2022〕39号）文件精神，由桂林理工大学提出，桂林理工大学、广西师范大学、中山大学、中国科学院南京土壤研究所、广东省农业科学院农业质量标准与监测技术研究所、航天凯天环保科技股份有限公司共同起草的团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》获批立项（项目编号：2022-1402）。

二、项目背景及目的意义

《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》指出生态环境质量总体改善，主要污染物排放总量大幅减少，环境风险得到有效管控，生态环境保护水平同全面建成小康社会目标相适应。受污染耕地安全利用率达到90％左右，污染地块安全利用率达到90％以上。《广西生态环境保护“十四五”规划》（桂政办发〔2021〕145号）文件提出，深入打好土壤污染防治攻坚战，坚持源头防控、分类管理、严格准入、管控修复、协同治理，确保土壤和地下水环境安全；持续开展农村人居环境整治，打造美丽乡村，留住鸟语花香、田园风光。

镉是土壤中最普遍的污染物之一。全国土壤污染状况调查公报显示，我国土壤镉的点位超标率达7%，是所有无机污染物中最高的。因为镉与其他重金属相比，具有较高的移动性和生物有效性，易通过食物链威胁人体健康，所以该元素也被认为是土壤中危害性最大的污染物之一。摄入过量的镉会损伤肾脏和神经系统，并导致骨质疏松和免疫力下降，因此，土壤镉污染的治理已成为关系公众健康的重要环境问题。广西矿产资源丰富，有色金属矿产开采、选矿和冶炼加剧了土壤重金属污染。同时，喀斯特地貌发育普遍，地表径流扩大了重金属污染土壤的范围。广西作为全国14个重金属污染防治重点省区之一，农田土壤重金属污染问题突出。据广西环境科学研究院统计，全区镉超标土壤面积高达30%以上，远远高于全国平均水平，依据以上信息保守评估，广西镉污染农田面积高达3289万亩。因此，在科技部、环保部、农业部和财政部等多部门支持下，广西已在多地区开展了镉污染农田土壤修复示范工程。在这些工程实践中，基于超积累植物伴矿景天的植物修复技术已成功地应用于镉污染耕地修复领域，并取得了较好的修复效果。但是，单纯种植伴矿景天无法为当地人民带来可持续性的农耕经济收益且关于该植物修复技术的规范化和标准化仍十分缺乏。

以超积累植物为主体的植物提取技术，因其原位彻底、绿色无二次污染、不破坏土壤结构等优点，在国内外得到了迅速发展。该技术在大面积重金属污染耕地修复上具有广泛的应用潜力。近年来，国内外就超积累植物的筛选与鉴定、重金属超积累生理机制、以及修复技术的应用和修复效率调控等方面已有诸多报道。目前，我国在超积累植物资源筛选、修复技术应用等方面取得了长足发展，一定程度上引领了世界的发展。应用于镉污染田间修复的典型镉超积累植物主要集中在景天科植物东南景天和伴矿景天，它们都具有生物量较大、适应性较强和能多次收割的优点，经研究估算，如要实现土壤镉含量低于0.3 mg/kg的安全限值，对于严重镉污染土壤（总镉含量大于10 mg/kg），可能需要几十到上百年的景天种植修复时间；对于重度镉污染土壤（总镉含量约为2-4 mg/kg），可能也需要十到二十年的景天种植修复时间；但对于中轻度镉污染土壤（总镉含量约为0.3-1mg/kg），则仅需要2-3年的景天种植修复时间，因此，想要通过短期种植镉超积累植物伴矿景天达到理想的镉污染土壤修复效果并不容易，每种技术都有它的适用范围，针对性选取中轻度镉污染程度的耕地土壤开展植物提取技术标准化工程应用非常必要。

目前植物提取技术是其中最具发展潜力的一项技术：主要通过种植超积累植物将农田土壤中的重金属高效吸收、转运和储存至植株地上部，再经过刈割方式收获地上部植株，安全焚烧后回收/处置重金属灰渣，从而降低土壤中重金属的总量，达到根治土壤重金属污染的目的。该技术具有原位净化土壤重金属的能力，因此在重金属污染农田土壤修复领域备受青睐。然而，大面积种植无农耕经济收益的超积累植物不仅降低当地农民对农业生产的积极性，还可能引发其他负面情绪，导致修复工程进展缓慢、效果不佳等问题。因此，如何利用超积累植物修复耕地，同时恢复污染荒地的农业生产活动是该技术在工程实践中应用推广的关键。在广西境内探索并构建实现“高效修复与安全生产”的植物修复技术双赢模式至关重要。

通过制定团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》与实施，利用超积累植物修复耕地，同时恢复污染荒地的农业生产活动。将对农产品安全、农业可持续发展和农民增收都会产生重要的影响，具有良好的环境效益和社会效益，对全区乃至全国的农村环境保护工作都具有重要意义。

三、项目编制过程

**（一）成立标准编制工作组**

团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》项目任务下达后，桂林理工大学成立了标准编制工作组，制定了标准编写方案，明确任务职责，确定工作技术路线，开展标准研制工作，具体标准编制工作由中山大学、中国科学院南京土壤研究所、广东省农业科学院农业质量标准与监测技术研究所、航天凯天环保科技股份有限公司等单位相关人员配合。

**（二）收集整理文献资料**

标准编制工作组收集了国内有关有关土壤修复、百香果种植的相关技术文献资料。主要有：

GB 15618-2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》

HG/T 5553-2019《土壤修复用过氧化氢》

HJ25.4-2014《污染场地土壤修复技术导则 》

DB13/T 2206-2020《农用地土壤重金属污染修复技术规程》

DB45/T 2094—2019《黄金百香果栽培技术规程》

DB45/T 2098-2019《百香果标准果园建设规范》

DB45/T 2145-2020《农田土壤重金属污染修复技术规范》

DB45/T 2306-2021《百香果无病毒健康种苗栽培技术规程》

**（三）研讨确定标准主体内容**

标准编制工作组在对收集的资料进行整理研究后，标准编制工作组召开了标准编制会议，对标准的整体框架进行了研究，并对标准的关键性问题进行了初步探讨。经过研究，标准的主体内容包括术语和定义、土壤调查、土壤调查、百香果种植管理、伴矿景天种植管理、植株检测及处理等。

**（四）形成文本草案、征求意见稿**

2022年4月，标准起草工作小组进行了广泛实地调研工作，查阅了大量的国内外文献资料，对镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术进行系统总结。经编制组反复讨论，形成了标准的基本构架，对主要内容进行了讨论并对项目的工作进行了部署和安排。在前期工作的基础之上，通过理清逻辑脉络，整合已有的参考资料中有关镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术，并结合实际要求的基础上，按照简化、统一等原则编制完成团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》（草案）。

2022年5月，向区内涉及领域的部门及相关专家征求团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》（草案）意见。

2022年6月，标准组深入广西各地区有代表性的镉污染耕地伴矿景天和百香果套作生产基地实地调研，并实地征求团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》（草案）意见。通过收集反馈了大量意见，标准编制工作组多次召开会议，对标准草案进行了反复修改和研究讨论。最终形成了团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》（征求意见稿）和（征求意见稿）编制说明。

四、标准制定原则

**（一）实用性原则**

本文件中有关镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术内容及要求的规定，是在充分收集相关资料和文献，分析镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术现状，调研镉污染耕地伴矿景天和百香果套作情况的基础上，进行制定。符合当前镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术发展水平，具有较强的实用性和可操作性。 **（二）协调性原则**

本在标准编写过程中注意了与镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术相关法律法规、标准的协调问题，在内容上与现行法律法规、标准协调一致。

**（三）规范性原则**

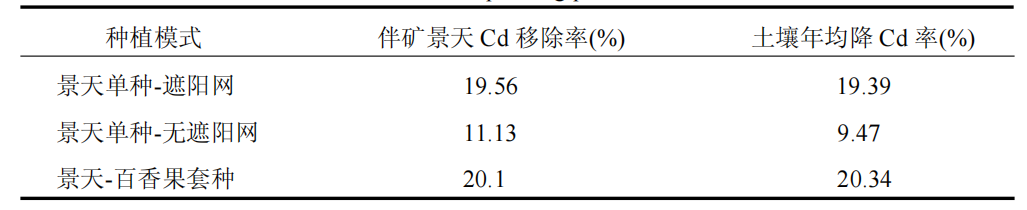
本文件严格按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求和规定编写本文件的内容，保证标准的编写质量。

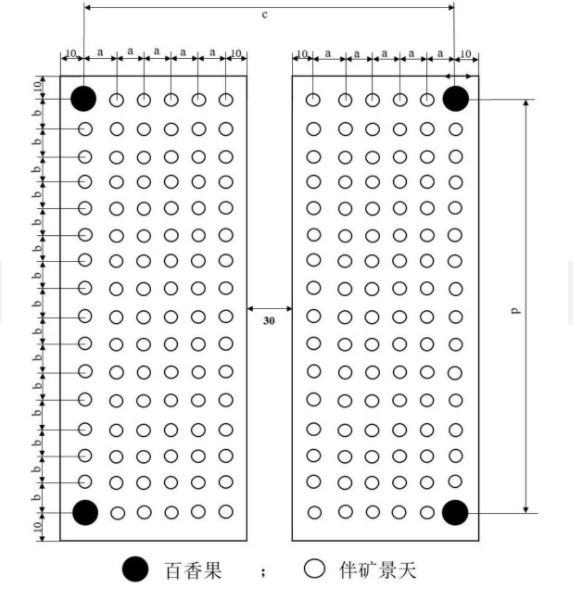
**（四）前瞻性原则**

本文件在兼顾当前我国镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术的现实情况的同时，还考虑到了其土壤修复行业快速发展的趋势和需要，在标准中体现了个别特色性、前瞻性和先进性条款，作为对镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术发展的引导。

五、标准主要章节内容及确定依据

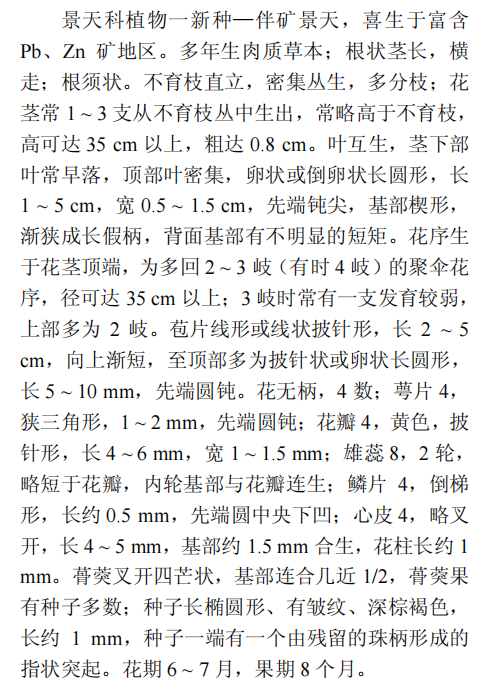
团体标准《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》主要内容包括术语和定义、土壤调查、百香果种植管理、伴矿景天种植管理、植株检测及处理。**伴矿景天+百香果套种下，伴矿景天的生物量均高于其他两种单独种植模式（图1），说明百香果和伴矿景天的套种有利于植物的生长。采用百香果+伴矿景天套作技术，可使土壤镉年去除率达到25%左右，百香果达标生产，年产量达到800～1000kg/亩，年收益达到1.5～2万元/亩。实现中轻度污染农田“边生产边修复”。**



图1不同种植模式植物年均Cd移除率及土壤降Cd率

1. **术语和定义**
2. **伴矿景天**

主要依据《吴龙华，周守标，毕德，等.中国景天科植物一新种-伴矿景天[J].土壤，2006(5):632-633.》对于“伴矿景天”的定义进行研讨确定。

图 2吴龙华，周守标，毕德，等.中国景天科植物一新种-伴矿景天[J].土壤，2006(5):632-633

1. **镉污染耕地**

主要依据DB32/T 4231—2022《受污染耕地安全利用与治理修复技术指南》中国科技产业化促进会发布的T/CSPSTC 34—2019《南方镉污染稻田调理剂技术规程》的定义进行研讨确定。

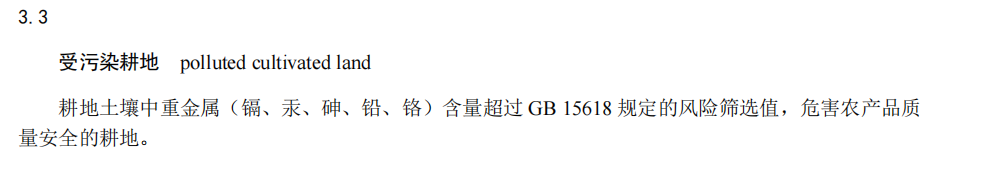
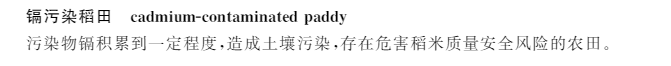


图 3DB32/T 4231—2022《受污染耕地安全利用与治理修复技术指南》

图 4T/CSPSTC 34—2019《南方镉污染稻田调理剂技术规程》

1. **土壤调查**

给出了农用地土壤污染风险筛选值和土壤污染风险管制值，主要依据GB 15618《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》规定农用地土壤污染风险筛选值和管制值进行确定。

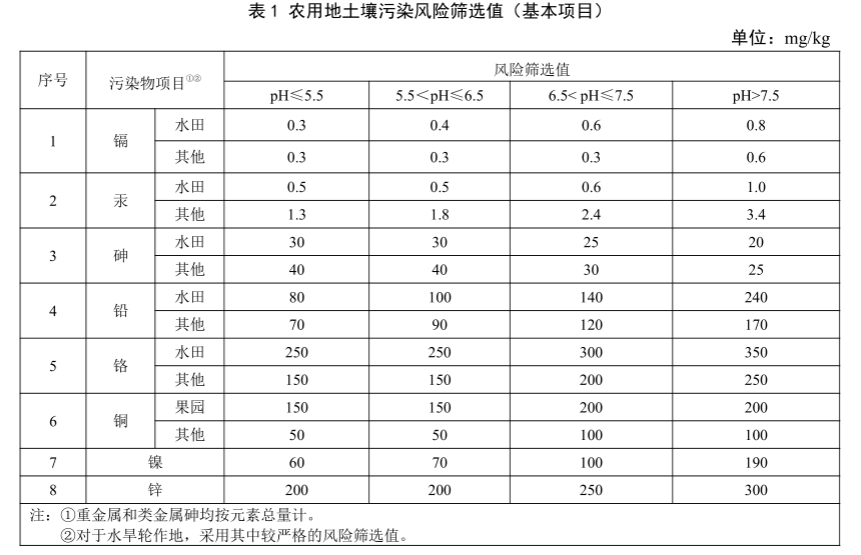


图 5GB 15618《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》风险筛选值



图 6GB 15618《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》管制值

1. **百香果种植管理**
2. **品种选择、苗木要求**

主要依据DB45/T 2306—2021《百香果无病毒健康种苗栽培技术规程》的要求进行确定。

1. **种植密度**

与DB45/T 2306—2021《百香果无病毒健康种苗栽培技术规程》“株距1.5m～2.0m，行距3m，每667m2种植110株或150株”和DB45/T 1811—2018《富硒百香果生产技术规程》“株行距2 m×3 m，每 667 m2栽植110株为宜。”不同，制定本标准目的是为了进行土壤修复，去除镉污染，所以在尽量密植伴矿景天的前提下确定百香果种植密度。

1. **种植时间、整地、种植方法、田间管理、整形修建、花果管理、病虫害防治**

主要依据DB45/T 2306—2021《百香果无病毒健康种苗栽培技术规程》的要求进行确定。

1. **伴矿景天种植管理**

主要依据DB45/T 1823—2018《景天科多肉植物叶片扦插技术规程》和T/GXAS 219—2021《强化伴矿景天修复镉污染耕地技术规程》的要求进行确定。

**1、种植密度**

的设置主要依据试验验证进行确定，共设伴矿景天-百香果套种（景天种植密度30×30cm）、伴矿景天-百香果套种（景天种植密度25×25cm）、伴矿景天-百香果套种（景天种植密度15×15cm）。

**（1）套种密度对伴矿景天Cd移除量的影响**

经计算，在密度设置为30×30cm、25×25cm和15×15cm时，伴矿景天的年均Cd移除量分别为14.98、20.18、44.7 mg/kg，见图6。由图可以看出，伴矿景天的Cd年均移除量均随着密度的增大呈现上升趋势。在密度设置为15×15cm时，Cd的年均移除量均达到最大值44.7 mg/kg。相比于密度30×30cm和25×25cm 条件下，Cd 的年均移除量分别提高了198.4%、121.5%和 266.5%、110.6%，其移除量与之相比差异显著。

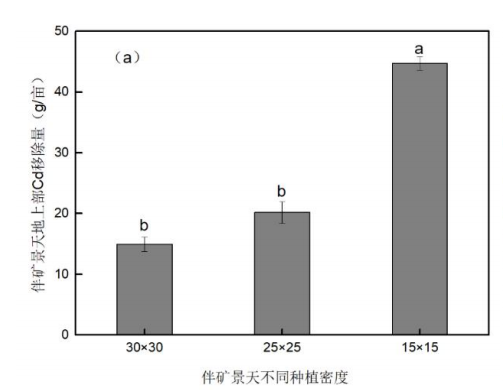


图7套种密度对伴矿景天Cd移除量的影响

**（2）套种密度对土壤 Cd含量及修复效果的影响**

由图7可以看到，土壤中的Cd含量经伴矿景天2茬修复后均呈现下降趋势。在景天种植密度为30×30cm、25×25cm、15×15cm 的条件下，土壤中的Cd含量分别由种植前的1.05 mg/kg 下降到种植后的 0.96、0.92、0.77 mg/kg。在 30×30 和 25×25 的密度设置下，土壤中Cd下降量分别为0.09、0.13 mg/kg。在密度为 15×15cm 的设置 下，土壤中的Cd含量最低，较种植前降低了0.28。与前两 个密度设置相比，其土壤中的 Cd下降量分别提高了211%、115.4%。

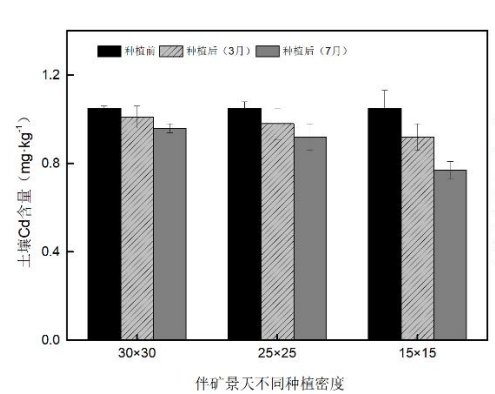


图8不同套种密度下修复前后土壤Cd含量变化

**（3）套种密度对百香果可食部分Cd含量的影响**

由图8可以看出，百香果可食部分中的Cd含量随着植物修复时间的延长不断降低。在密度设置分别为30×30cm、25×25cm、15×15cm时，Cd含量分别从11月（第一批）的 0.046 、0.045、0.043 mg/kg 下降到次年3月（第二批）的 0.038、 0.035、0.031 mg/kg，分别降低了 0.008、0.01、0.012 mg/kg。在密度为15×15cm 的条件下，百香果的可食部分重金属含量下降最明显。更有利于水果的生长，降低重金属进入作物体内的风险。

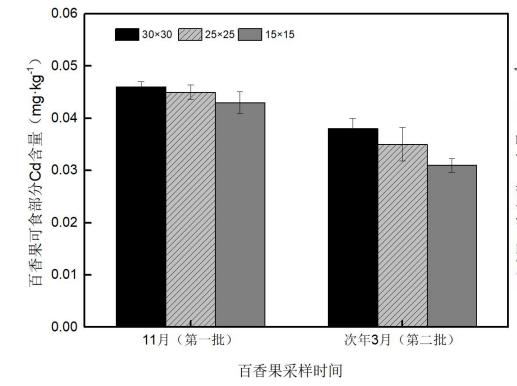


图9不同套种密度下土壤 Cd、Zn 含量下降率

结论：利用伴矿景天与百香果套种并增大了伴矿景天的修复效果，同时，增大伴矿景天的种植密度，能够更有效地确保百香果的达标生产，使其果实中的重金属低于国家食品安全限定标准。在密度设置15×15cm时，伴矿景天的修复效率达到最高，百香果可食部分中的Cd含量达到最低，分别为0.031 mg/kg。因此，在超积累植物与农作物套种体系下，适当的提高种植密度，是修复重金属污染农田实际应用的一项有效措施。可以更好的强化套种效率，缩短修复所需年限。

**2、施肥管理**

桂林理工大学研究利用不同强化剂强化植物修复镉污染耕地土壤中的安全高效性、经济可行性和土壤酸碱性选择通过穴施或喷施的可生物降解有机酸（柠檬酸、苹果酸）、离子型肥料（硫酸亚铁、硫酸锌）于伴矿景天根际土壤或地上部，通过穴施硫肥、微生物菌粉（巨大芽孢杆菌、胶质芽孢杆菌）于伴矿景天根际土壤。根据研究结果（表1）确定强化剂使用方法。

表1。强化伴矿景天修复镉污染耕地技术

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验地点 | 强化剂 | | | | 伴矿景天（地上部） | | | | 土壤 | | |
| 种类 | 浓度(g/L) | 施加量(mL) | 施加方式 | Cd含量(mg/kg) | 干重(kg/亩) | Cd提取量(g/亩) | Cd提取率（%) | Cd含量(mg/kg) | Cd削减量(g/亩) | Cd削减率(%) |
| 阳朔基地(修复前土壤Cd含量为0.65mg/kg，土壤pH值为6.94) | 无 | 无 | 无 | 无 | 47.02 | 227 | 10.7 | 14 | 0.55 | 12.0 | 15 |
| 硫酸亚铁 | 1.5 | 200 | 淋施 | 81.8 | 185 | 15.1 | 19 | 0.49 | 19.2 | 25 |
| 3 | 75.97 | 286 | 21.7 | 28 | 0.39 | 31.2 | 40 |
| 6 | 109 | 319 | 34.8 | 45 | 0.21 | 52.8 | 68 |
| 1.5 | 100 | 喷施 | 56.35 | 303 | 17.1 | 22 | 0.43 | 26.4 | 34 |
| 3 | 101.33 | 271 | 27.5 | 35 | 0.26 | 46.8 | 60 |
| 6 | 54.31 | 255 | 13.9 | 18 | 0.44 | 25.2 | 32 |
| 硫酸锌 | 1.5 | 100 | 喷施 | 66.87 | 290 | 19.4 | 25 | 0.33 | 38.4 | 49 |
| 3 | 93.68 | 296 | 27.7 | 36 | 0.23 | 50.4 | 65 |
| 6 | 54.87 | 270 | 14.8 | 19 | 0.44 | 25.2 | 32 |
| 韶关基地(修复前土壤Cd含量为0.92mg/kg，土壤pH值为5.28) | 无 | 无 | 无 | 无 | 76.92 | 230 | 17.7 | 16 | 0.62 | 36.0 | 33 |
| 硫酸亚铁 | 1.5 | 200 | 淋施 | 126.5 | 242 | 30.6 | 28 | 0.41 | 61.2 | 55 |
| 1.5 | 100 | 喷施 | 93.72 | 257 | 24.0 | 22 | 0.56 | 43.2 | 39 |
| 硫酸锌 | 0.75 | 100 | 喷施 | 98.12 | 274 | 26.9 | 24 | 0.51 | 49.2 | 45 |
| 1.5 | 100 | 喷施 | 132 | 270 | 35.6 | 32 | 0.43 | 58.8 | 53 |
| 苹果酸 | 0.625 | 200 | 淋施 | 87.93 | 269 | 23.6 | 21 | 0.58 | 40.8 | 37 |
| 2.5 | 102.8 | 252 | 25.9 | 23 | 0.50 | 50.4 | 46 |
| 0.625 | 100 | 喷施 | 113.64 | 237 | 27.0 | 24 | 0.52 | 48.0 | 43 |
| 2.5 | 93.3 | 257 | 23.9 | 22 | 0.56 | 43.2 | 39 |
| 柠檬酸 | 0.9 | 200 | 淋施 | 94.07 | 263 | 24.7 | 22 | 0.44 | 57.6 | 52 |
| 3.6 | 77.33 | 265 | 20.5 | 19 | 0.51 | 49.2 | 45 |
| 0.9 | 100 | 喷施 | 98.83 | 307 | 30.3 | 27 | 0.45 | 56.4 | 51 |
| 3.6 | 82.06 | 247 | 21.8 | 20 | 0.55 | 44.4 | 40 |
| 巨大芽孢杆菌 | 0.15g | 200 | 淋施 | 108.2 | 272 | 29.5 | 27 | 0.52 | 48.0 | 43 |
| 0.3g | 88.26 | 294 | 25.9 | 23 | 0.49 | 51.6 | 47 |
| 0.6g | 86.74 | 276 | 23.9 | 22 | 0.58 | 40.8 | 37 |
| 胶质芽孢杆菌 | 0.375g | 200 | 淋施 | 74.44 | 285 | 21.2 | 19 | 0.51 | 49.2 | 45 |
| 0.75g | 110.2 | 256 | 28.2 | 26 | 0.46 | 55.2 | 50 |
| 1.5g | 95.15 | 311 | 29.6 | 27 | 0.39 | 63.6 | 58 |

在不同酸碱性土壤穴/喷施强化剂，可有效提供伴矿景天修复效率。在偏中碱性土壤穴/喷施硫酸亚铁、硫酸锌可使土壤Cd削减率达25%～68%，平均较CK提高200%；植物Cd提取率达18%～45%，平均较CK提高93%。在偏酸性土壤穴/喷施加硫酸亚铁、硫酸锌、苹果酸、柠檬酸、巨大/胶质芽孢杆菌可使土壤Cd削减率达37%～58%，平均较CK提高39%；植物Cd提取率达19%～32%，平均较CK提高50%。

通过试验示范研究总结出强化剂施用方法：

| 土壤pH | 强化剂种类 | 施用浓度 | 用量 | 施用方法 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 5.5～6.5 | 柠檬酸 | 1g/L～4g/L | 1500L/667m2～2200L/667m2 | 淋施1次。 |
| 750L/667m2～1100L/667m2 | 喷施2次，每隔7d喷1次。 |
| 苹果酸 | 0.5g/L～3g/L | 1500L/667m2～2200L/667m2 | 淋施1次。 |
| 750L/667m2～1100L/667m2 | 喷施2次，每隔7d喷1次。 |
| 硫酸亚铁 | 1g/L～3g/L | 1500L/667m2～2200L/667m2 | 淋施1次。 |
| 750L/667m2～1100L/667m2 | 喷施2次，每隔7d喷1次。 |
| 硫酸锌 | 1g/L～3g/L | 750L/667m2～1100L/667m2 | 喷施2次，每隔7d喷1次。 |
| 巨大芽孢杆菌 | 100亿/g | 2kg/667m2～6kg/667m2 | 溶于1500L～2200L水中，淋施1次。 |
| 胶质芽孢杆菌 | 100亿/g | 5kg/667m2～15kg/667m2 | 溶于1500L～2200L水中，淋施1次。 |
| 6.5～8.5 | 硫酸亚铁 | 2g/L～6g/L | 1500L/667m2～2200L/667m2 | 淋施1次。 |
| 750L/667m2～1100L/667m2 | 喷施2次，每隔7d喷1次。 |
| 硫酸锌 | 2g/L～6g/L | 750L/667m2～1100L/667m2 | 喷施2次，每隔7d喷1次。 |

**3、植株检测及处理**

植株收获后按照NY/T 398的规定对油菜进行抽样，按照GB 5009.15的规定执行进行镉含量检测。百香果的镉含量应符合GB 2762的规定。对不符合规定的油菜，以及伴矿景天交有资质的单位做无害化处置。示范区百香果镉含量检查结果见表2。

表2.示范区农产品菜籽油及油饼镉含量检测结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检测项目 | 单位 | 标准要求 | 检出限 | 检测结果 | 结论 | 检测方法 |
| 菜籽油 | mg/kg | / | 0.001 mg/kg | N. D. | 合格 | GB5009.15-2014 |
| 饼粕 | mg/kg | ≤0.5 | 0.001 mg/kg | 0.06-0.16 | 合格 | GB5009.15-2014 |

注：N. D. =未检出（＜检出限）

六、国内外同类标准制修订情况及与法律法规、强制性标准关系

经查阅，与土壤修复、百香果种植相关的国标、行标以及地方标准有GB 15618-2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》、HG/T 5553-2019《土壤修复用过氧化氢》、HJ 25.4-2014《污染场地土壤修复技术导则 》、DB 13/T 2206-2020《农用地土壤重金属污染修复技术规程》、DB 45/T 2145-2020《农田土壤重金属污染修复技术规范》，DB45/T 2098-2019《百香果标准果园建设规范》，以上标准仅对土壤污染修复的总体要求进行指导和百香果果园建设要求，内容宽泛，针对性技术指导不强，且均未涉及伴矿景天和百香果套作修复与安全利用镉污染耕地种植技术的具体内容进行要求。广西未制定有《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本文件研制过程中无重大分歧意见。

八、自我声明

本标准内容与各项指标不低于国家强制性标准、推荐性国家标准和行业标准。

团体标准

《镉污染耕地伴矿景天和百香果套作技术规程》

标准编制工作组

2022年6月14日