

# 《水稻镉稳定低积累品种筛选和 鉴定技术规范》

## 编制说明

编制组

二零二五年十月

# 目 录

1. 目的和意义 .....	1
1.1 背景现状 .....	1
1.2 标准制定的必要性 .....	1
2. 任务来源 .....	2
3. 编制过程 .....	2
3.1 资料收集阶段（2023 年 1 月至 2 月） .....	2
3.2 项目申报阶段（2023 年 3 月至 4 月） .....	3
3.3 标准立项阶段（2023 年 5 月至 8 月） .....	3
3.4 标准编制阶段（2023 年 9 月至 2024 年 8 月） .....	4
3.5 意见征求阶段（2024 年 9 月至 11 月） .....	4
3.6 初审评定阶段（2025 年 7 月至 10 月） .....	4
4. 主要内容及技术指标确定依据 .....	5
4.1 技术内容和指标 .....	5
4.2 技术指标的确立 .....	6
4.2.1 术语和定义 .....	6
4.2.2 工作流程 .....	6
4.2.3 镉低积累水稻品种的筛选 .....	9
4.2.4 镉稳定低积累性状鉴定 .....	14
5. 与相关法律法规和标准的关系 .....	21
6. 采用国际标准或国外先进标准情况 .....	22

7. 重大分歧意见的处理过程和依据 .....	22
8. 贯彻标准的要求和推广实施建议 .....	23
9. 起草单位及起草人员分工 .....	23
9.1 起草单位 .....	23
9.2 起草人员信息及分工 .....	23

## 1. 目的和意义

### 1.1 背景现状

不同水稻品种对镉的积累能力差异可达 20 倍以上。筛选和培育水稻镉低积累品种，已经成为中、轻度污染耕地安全利用经济、可行的手段之一。然而，由于土壤性质、水分管理、种植方式及气候因素等多种环境因子影响，同一品种在不同地点的籽粒镉含量差异很大。因此，筛选稳定的镉低积累的水稻品种，需进行多年、多点重复筛选及田间验证。当前缺乏对品种“稳定性”特征的系统筛选与鉴定技术，导致筛选准确性不足，严重制约了低镉水稻品种的推广应用。因此，亟需建立一套涵盖品种筛选、田间验证、分子辅助鉴定的标准化技术路径，系统识别和鉴定镉低积累能力强、遗传稳定性高的水稻品种。

### 1.2 标准制定的必要性

当前，江苏省尚未建立针对镉低积累水稻品种筛选与鉴定的地方标准体系，现有地方标准《受污染耕地安全利用与治理修复技术指南（DB32/T 4231-2022）》，虽涉及受污染耕地安全利用技术，但在低积累品种筛选条件、积累特性及稳定性方面缺乏系统性技术支撑，不能满足实际筛选与应用的需要。

国家层面出台的《受污染耕地治理与修复导则（NY/T 3499-2019）》、《轻中度污染耕地安全利用与治理修复推荐技术目录（2019 年版）》（农办科[2019]14 号）等指导性文件，多聚焦于技术措施组合和适用范围，尚未建立对镉低积累水稻品种的科学内涵界定与

量化评价体系，特别是在品种镉含量阈值、分子标记筛选、稳定性验证等方面仍存在空白。

因此，制定《水稻镉稳定低积累品种筛选和鉴定技术规范》具有现实紧迫性和广泛应用价值。本标准以规范化、标准化和高效化为目标，构建集试验布设、样品采集、镉含量测定、基因型识别和低积累品种鉴定于一体的技术体系，为我省镉低积累水稻品种的科学筛选、推广应用及受污染耕地分类管理提供重要技术支撑，填补地方标准空白。

## **2. 任务来源**

本标准依据《省市场监管局关于下达 2023 年度江苏省地方标准项目计划的通知》（苏市监标[2023]173 号）第 120 项立项，项目名称为《水稻镉稳定低积累品种筛选和鉴定技术规范》，由南京农业大学、江苏省耕地质量与农业环境保护站、中国科学院南京土壤研究所、江苏省生态环境监测监控有限公司、久田环境科技南京有限公司共同编制。本标准由江苏省农业农村厅提出，归口江苏省农作物标准委员会。

## **3. 编制过程**

### **3.1 资料收集阶段（2023 年 1 月至 2 月）**

项目组系统梳理并收集了与本标准相关的国家标准、行业标准和地方标准共 14 项，主要包括：《标准化工作导则（GB/T 1.1）》、《食品安全国家标准食品中污染物限量（GB 2762）》、《食品安全国家标准食品中镉的测定（GB5009.15）》、《水稻生产的土壤镉、铅、铬、汞、

砷安全阈值（GB/T 36869）》、《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）（GB 15618）》、《农田灌溉水质标准（GB 5084）》、《主要农作物品种真实性和纯度 SSR 分子标记检测 稻（GB/T 39917）》、《核酸提取纯化方法评价通则（GB/T 37874）》、《土壤和沉积物 19 种金属元素总量的测定 电感耦合等离子体质谱法（HJ 1315）》、《农作物品种试验与信息化技术规程 水稻（NY/T 1300）》、《水稻品种田间试验记载规范（DB32/T 1124）》、《受污染耕地安全利用与治理修复技术指南（DB32/T 4231）》、《水稻品种田间试验记载规范（DB 32/T 1124）》和《农作物品种试验技术规范 水稻（DB 32/T 2853）》。同时，项目组还收集了国家和地方相关法律法规文件，如《中华人民共和国标准化法》、《标准化法实施条例》、《轻中度污染耕地安全利用与治理修复推荐技术目录（2019 年版）》（农办科[2019]14 号）等，并查阅了大量相关科研论文，专利文献和田间试验资料，为标准技术内容的设计和指标制定提供支撑。

### 3.2 项目申报阶段（2023 年 3 月至 4 月）

项目组编制并提交了《江苏省地方标准项目建议书》，起草初步标准草案，经江苏省农业农村厅审核报送省市场监督管理局立项申请。

### 3.3 标准立项阶段（2023 年 5 月至 8 月）

江苏省市场监督管理局正式批准该项目立项，并列入 2023 年度江苏省地方标准项目计划。项目自此启动进入正式编制阶段。

### 3.4 标准编制阶段（2023 年 9 月至 2024 年 8 月）

项目组按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分 标准的结构和编写》的标准编写格式与规范要求，结合农产品质量安全监管和受污染耕地治理实践中具体需求，起草了标准文本初稿，并多次组织专家研讨与技术论证，逐步完善各项技术条款和操作要求。

### 3.5 意见征求阶段（2024 年 9 月至 11 月）

通过行业主管部门、农业科研机构、高校、企业、行业协会等渠道向社会广泛征求意见，并通过省级标准化管理部门和主要编制单位的门户网站公开征求意见不少于 30 日。共收到来自 14 家单位的反馈意见 43 条，其中：采纳 32 条，部分采纳 1 条，未采纳 10 条，并对未采纳意见附加明确说明。最终完成标准送审稿。

### 3.6 评定阶段（2025 年 7 月至 10 月）

2025 年 7 月，江苏省市场监督管理局在南京组织召开了《水稻镉稳定低积累品种筛选和鉴定技术规范》地方标准初次评审会。专家组听取了起草组关于标准制定的说明，审阅了标准送审材料，逐条审查了标准内容，形成以下初审稿的修改意见：

- （1）提出部分分子标记相关技术内容可能涉及已公开专利的质询；
- （2）建议增加工作流程图；
- （3）建议修订标准文本格式，完善口语化表述等细节内容。

2025 年 7 月至 10 月期间，编制组针对专家审查意见组织了专题研讨，进一步细化责任分工，完成对标准文本及编制说明的系统性修订。其中，重点对第 10.3 节“水稻品种的基因型测定”、附录 B “水稻籽粒镉积累相关分子标记信息”及附录 C “分子标记鉴定高镉与低镉积累水稻品种的基因型”等相关内容进行了全面核查与技术完善，删除了涉及已公开专利的引用部分。经最终确认，修订后标准中所列分子标记引物序列（*qGCd2*、*LCd-38*）均来源于已公开的科学文献，不涉及任何现有专利。现行标准文本全部技术内容均属公有领域知识范畴，不存在侵犯他人专利权的情形，符合 GB/T 1.1-2020 对标准专利合规性的要求。

2025 年 10 月 18 日，江苏省市场监督管理局在南京组织召开了《水稻镉稳定低积累品种筛选和鉴定技术规范》地方标准评审会。专家组听取了起草组关于标准制定的说明，审阅了标准送审材料，逐条审查了标准内容，最终形成标准报批稿。

## 4. 主要内容及技术指标确定依据

### 4.1 技术内容和指标

本标准规定了水稻镉稳定低积累品种筛选与鉴定的工作流程，包括试验设置、试验品种确定、试验田选择与准备、田间试验设计与管理等、糙米镉含量和品种基因型检测、镉稳定低积累品种鉴定等等内容。本文件适用于水稻镉稳定低积累品种的筛选与鉴定。主要技术指标涵盖：术语和定义、工作流程、试验设置、试验品种确定、试验田选择



与准备、田间试验设计与栽培管理、籽粒镉含量和品种基因型检测、镉稳定低积累品种鉴定等。

## 4.2 技术指标的确立

试验设置、试验品种、试验田选择、田间设计、栽培管理等指标主要参考《农作物品种区域试验技术规范 水稻（NY/T1300）》以及《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618)》。水稻镉低积累品种的糙米镉含量标准主要依据《食品安全国家标准 食品中污染物限量（GB 2762）》。镉低积累品种稳定性指标依据在不同土壤类型、不同污染程度（中、低度）的田块进行测试，并结合水稻品种与镉积累相关基因型特征进行综合评价。

### 4.2.1 术语和定义

本标准对试验品种、对照品种、品种试验、镉低积累对照品种、镉高积累对照品种、稳定性等术语进行了定义。

### 4.2.2 工作流程

水稻镉稳定低积累品种筛选和鉴定工作按以下步骤（图 1）开展：

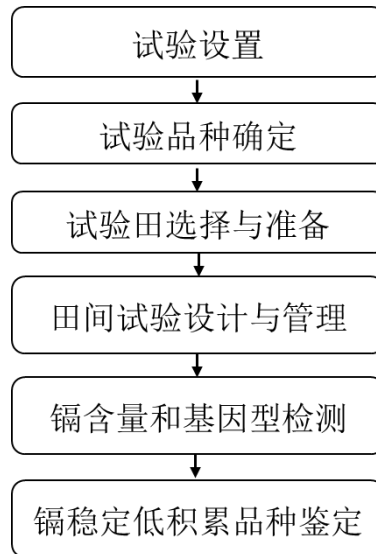


图1 工作流程图

#### 4.2.2.1 确定待筛选水稻品种

根据农业生产实际，初步选定一批需要进行镉积累特性评价的水稻品种作为候选对象。

#### 4.2.2.2 选择对照品种

对照品种通常包括三类：

常规对照品种：当地大面积种植的主栽品种，用于待评价品种的常规农艺性状比较；

镉低积累对照品种：宜选用经验证具有稳定镉低积累特征的水稻品种，推荐使用文献报道或前期大规模筛选鉴定确认的镉低积累品种日本晴、中花 11，或其他具有相同特性的品种，用于验证试验体系的可靠性；

镉高积累对照品种：宜选用经验证具有镉高积累特征的水稻品种，推荐使用文献报道或前期大规模筛选鉴定确认的镉高积累品种扬稻 6 号，或其他具有相同特性的品种，用于确认试验条件足以产生区分度。

#### 4.2.2.3 试验田选择与准备

选择具有土壤代表性、肥力均匀、排灌系统完备、形状规整的稻田。试验田土壤总镉含量介于 GB 15618 中风险筛选值与污染风险管控值之间。对田块进行平整、划分，并取基础土样，检测其本底镉含量、pH 值、有机质等理化性质，确保环境一致性和数据可比性。

#### 4.2.2.4 田间试验设计与管理

采用科学的田间设计（如随机区组设计），设置重复，以消除土壤微域差异带来的误差。对所有参试品种进行统一的、标准化的田间管理。

#### 4.2.2.5 栽培管理与样品采集；

在整个生育期进行统一的水肥、病虫害管理，避免农艺措施引入干扰。水稻成熟后，按标准采样法（如五点采样法）进行稻谷和叶片组织样品采集。

#### 4.2.2.6 糙米镉含量检测；

将稻谷脱壳制成糙米，使用原子吸收光谱或电感耦合等离子体质谱等精密仪器，准确检测每个样品中的镉含量，获取核心的表型数据。

#### 4.2.2.7 分子标记基因型检测；

提取各品种的 DNA，利用已知的与镉低积累相关的分子标记进行检测，从遗传层面辅助验证其镉低积累特性。

#### 4.2.2.8 数据分析与标准比对；

比较各品种与对照品种的糙米镉含量差异；评估品种在不同重复和地点间的稳定性；将糙米镉含量与国家标准限量进行比较；结合基因型数据，筛选出镉低积累表型稳定、且具有镉低积累基因型的品种。

#### 4.2.2.9 镉稳定低积累品种鉴定

综合所有数据，形成正式的鉴定报告。明确列出哪些品种被鉴定为“镉稳定低积累品种”，并附上关键数据和结论。

### 4.2.3 镉低积累水稻品种的筛选

#### 4.2.3.1 对照品种

在水稻镉低积累品种筛选过程中，科学设置对照品种是确保试验科学性和结果可比性的关键环节。对照品种作为性能已知的基准材料，不仅有助于衡量供试品种的相对表现，还能在多点多季试验中起到稳定对照、校准数据的作用。

通过合理选取代表性对照品种，可提高试验设计的规范性与随机化程度，显著降低环境变异对结果的干扰，增强试验结果的可重复性与统计效力。同时，对照品种数据可用于标准化各试验点检测结果，便于开展不同条件下的交叉比较和分级判定。

在本标准制定过程中，研究团队基于多年多点的田间试验结果，系统评估了多个品种的镉积累表现，最终明确每个区组试验宜设置常规对照品种、镉低积累对照品种和镉高积累对照品种，选定以下代表性对照材料：

- 日本晴/中花 11：表现出稳定的低镉积累特征，作为镉低积累对

照品种；

- 中嘉早 17：镉积累水平居中，适合作为镉中等积累对照品种；
- 扬稻 6：具有显著的高镉积累特性，作为镉高积累对照品种。

上述三个品种在不同地区、不同土壤镉水平和不同年度条件下均表现出较为一致的籽粒镉积累特征，具备良好的稳定性和代表性，可作为筛选试验中高、中、低镉积累等级判定的重要参照标尺，是本标准文件 6.2 中对照品种选择的主要依据。

**表 1. 试验点各对照水稻品种籽粒镉富集系数（BCF）**

试验点	参照品种	籽粒 Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	土壤 Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	CaCl <sub>2</sub> -Cd <sup>a</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	BCF- 总 Cd	BCF-CaCl <sub>2</sub> -Cd
试验点一	日本晴	0.15			0.60	3.75
	中嘉早 17	0.31	0.25	0.04	1.24	7.75
	扬稻 6	0.46			1.84	11.5
试验点二	日本晴	0.17			0.49	3.40
	中嘉早 17	0.21	0.35	0.05	0.60	4.20
	扬稻 6	0.32			0.91	6.40
试验点三	日本晴	0.16			0.28	1.78
	中嘉早 17	0.36	0.57	0.09	0.63	4.00
	扬稻 6	0.82			1.44	9.11

<sup>a</sup>: 0.01 mol L<sup>-1</sup>CaCl<sub>2</sub> 提取态镉。(数据来源于江苏省耕地安全利用推进区(常熟示范基地)试验点)。

#### 4.2.3.2 试验田选择

##### (1) 试验田基本条件

试验田宜选择具有土壤代表性、肥力均匀、排灌系统完备、形状

规整的稻田。试验田土壤总镉含量介于 GB 15618 中风险筛选值（第 4 条）与污染风险管控值（第 5 条）之间。各试验点宜覆盖风险筛选值的 1 倍~2 倍、2 倍~3 倍、3 倍~4 倍和 4 倍~5 倍等污染梯级，其中土壤 pH  $\leq$  6.0 的点位比例不少于 50%。该试验田条件提供了一个最佳的“筛选压力”。在这个压力下，镉高积累品种会表现出较高的镉含量，而镉低积累品种则能凭借其遗传优势，将镉含量控制在相对较低的水平，从而使品种间的差异显现出来。

## （2）土壤本底镉含量调查

在秧苗移栽前 30d，各试验点按照梅花形布点法，在田块的 5 个位置分别采集等量的表层（0 cm~20 cm）土壤混合为 1 个样品，混合样品总量不少于 1.5 kg，按 HJ 1315 规定的方法测定土壤总镉含量。

## （3）灌溉水监测

在品种试验期间，宜完成对试验田灌溉水样品的采集、检测和评价。在水稻孕穗期，从试验田进水口采集灌溉水样，单样体积为 2500 mL。依据 GB 5084 中农田灌溉水质控制项目分析方法，检测灌溉水中镉含量，测定结果应符合该标准中农田灌溉水质基本控制项目限值。

### 4.2.3.3 田间设计

品种筛选试验采用随机区组设计，每个区组试验设置不少于 3 次重复。每个品种小区面积不小于 20 m<sup>2</sup>，同一试验点小区面积应一致，一组试验宜布设在同一田块进行。小区内水稻栽插行距 30 cm、株距 20 cm，小区四周空出 100 cm 种植常规对照品种作保护行。各区组间

及区组与保护行间还应设置宽度 40 cm 的操作通道。田间区组及品种排列的具体布局如图 2 所示。

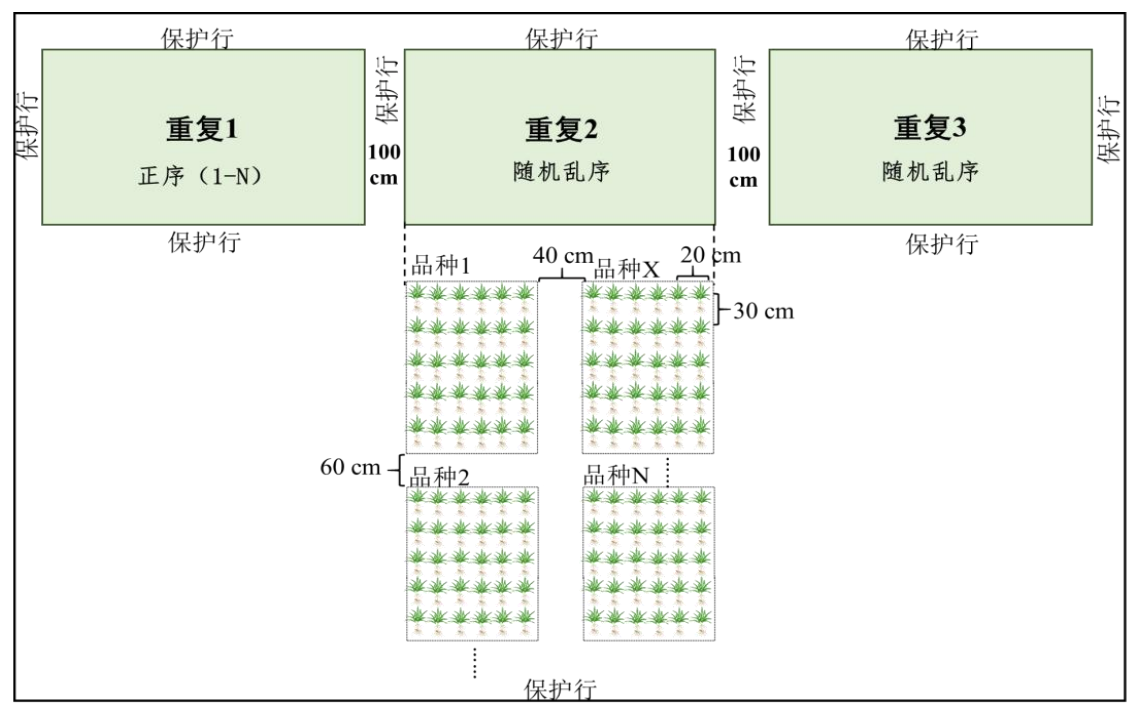


图 2 品种筛选试验田间区组设计及品种排列示意图

#### 4.2.3.4 栽培管理

##### (1) 试验田准备

秧田及本田翻耕后至少平整田块 3 次,确保田面高差不超过 3 cm、土层均匀、试验小区间土壤镉含量差异较小。前茬稻桩充分腐解后翻耕 1 次或 2 次,再反复耙平。试验田应具备良好的灌排条件,便于统一管理和操作。

##### (2) 肥水管理

肥水管理按照当地常规大田栽培水平进行,不宜施用会干扰试验结果的材料,包括钙镁磷肥、过磷酸钙、石灰等。

#### 4.2.3.5 取样

孕穗期，每个品种的试验小区按 5 点混样法，采集 5 个以上水稻主茎的叶片作为样品，4 °C 保存备用。成熟期，每个品种的试验小区按 5 点混样法，选取 10 穴水稻，每穴采集 2 个分蘖穗，人工脱粒后作为一个籽粒样品。

#### 4.2.3.6 水稻品种基因型测定

##### (1) DNA 提取

DNA 提取及纯化按 GB/T 37874 的规定执行。

##### (2) PCR 扩增

以品种基因组 DNA 为模板，使用 *qGCd2* 和 *LCd-38* 分子标记引物进行 PCR 扩增，引物信息见附录 B。反应体系与程序按照 GB/T 39917 中的规定执行。

##### (3) 酶切处理

将 *LCd-38* 的 PCR 扩增产物进行限制性内切酶处理，酶切体系及条件按试剂说明书操作。

##### (4) 电泳检测

将 *LCd-38* 酶切产物和 *qGCd2* 扩增产物采用 4% 琼脂糖凝胶进行电泳检测，操作按 GB/T 39917 执行。

##### (5) 水稻品种基因型分型

基于前期研究成果和相关文献资料，研究团队共筛选出 12 个与水稻籽粒镉积累密切相关的候选分子标记。通过在江苏省主栽的 167



份水稻品种中开展关联分析和实验验证，最终确定其中 2 个分子标记与籽粒镉含量表现出显著的相关性，分别为 *qGCd2* 和 *LCd-38*，是本标准 11.2 中水稻品种基因型鉴定的依据。

- *qGCd2* 位于水稻第 2 号染色体，为 Indel 多态性位点，前期研究表明该位点与稻米籽粒中镉的低积累性状密切相关。
- *LCd-38* 位于水稻第 10 号染色体，为 SNP 多态性位点，前期研究显示该位点同样与籽粒 Cd 含量显著相关。

为验证其在品种分类中的识别能力，采用 4% 琼脂糖凝胶电泳对上述两个分子标记进行条带多态性检测，结果如图 3 所示，条带分辨明显，区分效果良好：

- 在 *qGCd2* 标记中：判定为高镉基因型的品种 69 个，低镉基因型品种 47 个，表现为多条带类型的品种 51 个；
- 在 *LCd-38* 标记中：高镉品种 61 个，低镉品种 103 个，多条带品种 3 个。

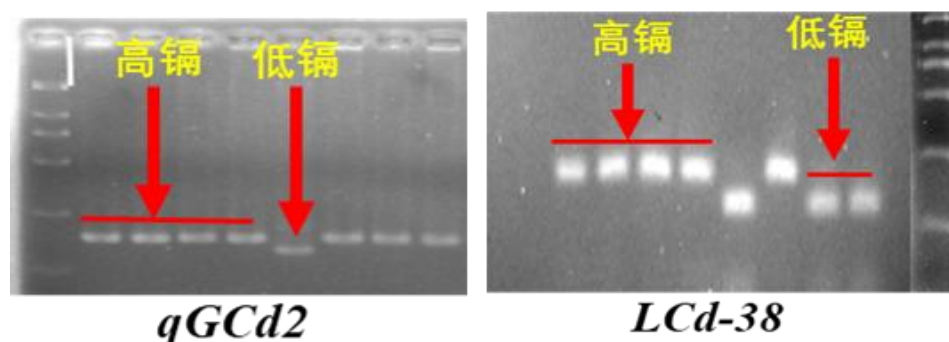


图 3 两个分子标记鉴定镉高低积累品种基因型差异（*qGCd2* 和 *LCd-38*）

#### 4.2.4 镉稳定低积累性状鉴定

根据不同试验点水稻籽粒镉含量的平均值和基因型鉴定结果,结合镉低积累对照品种的数值参考,开展对试验品种的镉稳定低积累性状鉴定。

#### 4.2.4.1 籽粒镉含量

试验品种的籽粒镉含量应低于镉低积累对照品种的含量值。试验品种及对照品种的籽粒镉含量均应符合 GB 2762 的要求。

针对江苏省农田土壤镉污染现状及水稻籽粒镉超标问题,研究团队于 2021-2022 年开展了大规模田间比选试验,系统评估主栽品种对镉的积累特性。筛选试验覆盖江苏省苏南和苏北两个典型地区,涉及来自江苏省及周边省份的 175 个水稻主栽品种,试验点位覆盖轻度、中度和重度污染梯度,具有代表性与广泛性。

##### (1) 镉低积累品种及参照品种的初筛试验

2021 年,在苏南基地设置的镉轻度污染试验点中,175 个水稻主栽品种的糙米镉(Cd)浓度范围为 0.07-1.49 mg kg<sup>-1</sup>,品种间最大差异达 21 倍;在中度污染试验点,糙米 Cd 浓度范围为 0.05-0.80 mg kg<sup>-1</sup>,差异达 16 倍;在重度污染试验点,糙米 Cd 浓度范围为 0.07-1.54 mg kg<sup>-1</sup>,差异达 22 倍(图 4)。上述结果表明,不同品种在相同环境条件下对镉的积累能力差异显著。

在苏南三个污染梯度试验点中,共有 61 个品种的糙米 Cd 浓度低于国家食品安全限量值(GB2762),其中有 42 个品种在三个试验点下均稳定低于限值,表现出良好的稳定低积累特性。

相比之下，2021 年在苏北试验点开展的比选结果显示，糙米 Cd 浓度范围为 0.34-3.73 mg kg<sup>-1</sup>，品种间最大差异为 11 倍。所有比选品种在该高污染土壤环境下均出现糙米 Cd 超标，反映出在高污染区现有主栽品种普遍面临安全风险（图 4）。

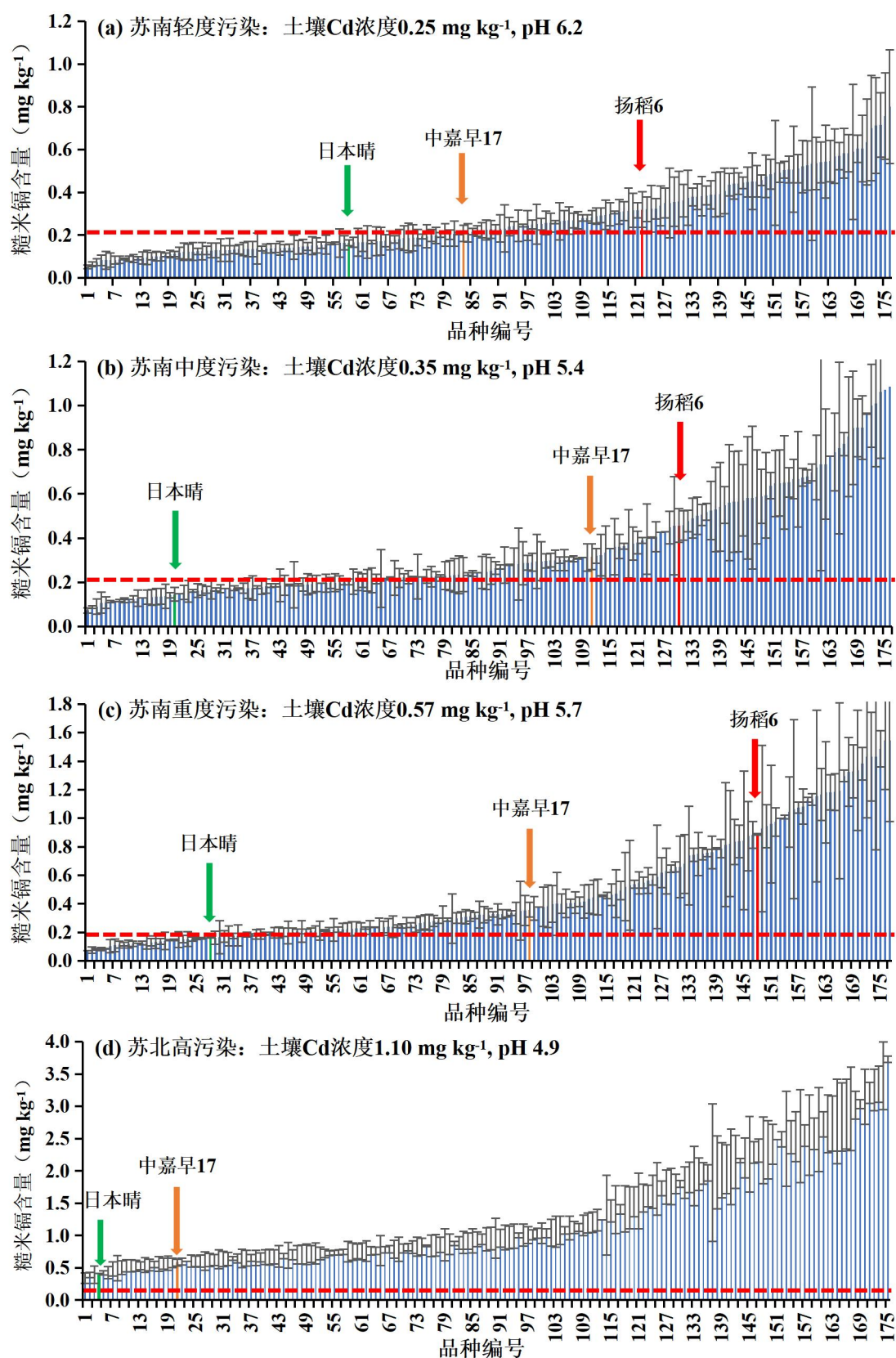


图 4 2021 年苏南与苏北不同污染等级试验点中参试水稻品种籽粒镉含量分布

## （2）镉低积累品种及参照品种的复筛验证

基于 2021 年在江苏苏南和苏北地区开展的 175 份水稻主栽品种筛选结果，研究团队选取其中籽粒 Cd 浓度低于参照品种日本晴的 20%（即日本晴籽粒 Cd 含量的 80%以下）的 35 份候选低积累品种，作为复筛对象，进一步验证其稳定性和环境适应性。

2022 年，在苏南典型安全利用类耕地示范基地核心区。分别设置轻度（土壤 Cd 浓度  $0.25 \text{ mg kg}^{-1}$ , pH 6.2）、中度（土壤 Cd 浓度  $0.35 \text{ mg kg}^{-1}$ , pH 5.4）和重度（土壤 Cd 浓度  $0.57 \text{ mg kg}^{-1}$ , pH 5.7）三类土壤污染等级的试验区，开展田间复筛试验。同时插入 3 个代表性参照品种，分别为低积累参照品种日本晴，中等积累品种中嘉早 17，以及高积累品种参照品种扬稻 6。

复筛结果显示，在轻度和中度污染区，有 25 份候选品种糙米 Cd 浓度均低于国家食品安全标准值（ $0.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ），表现出良好的低积累特性和环境适应性。

其中日本晴在所有污染梯度下籽粒 Cd 含量均低于限值，表现出稳定的低积累特征，验证其作为低 Cd 对照品种的可靠性。中嘉早 17 和扬稻 6 在轻和中度污染区的籽粒 Cd 浓度差异相对较小，但在重度污染区，二者 Cd 积累水平差异超过 50%，显示出明显的品种响应差异。上述结果进一步证明，日本晴、中嘉早 17 和扬稻 6 三者可作为高、中、低镉积累等级的典型参照材料，为后续开展不同 Cd 积累能力品种的量化评估与标准分级提供了稳定可靠的参照体系支撑。

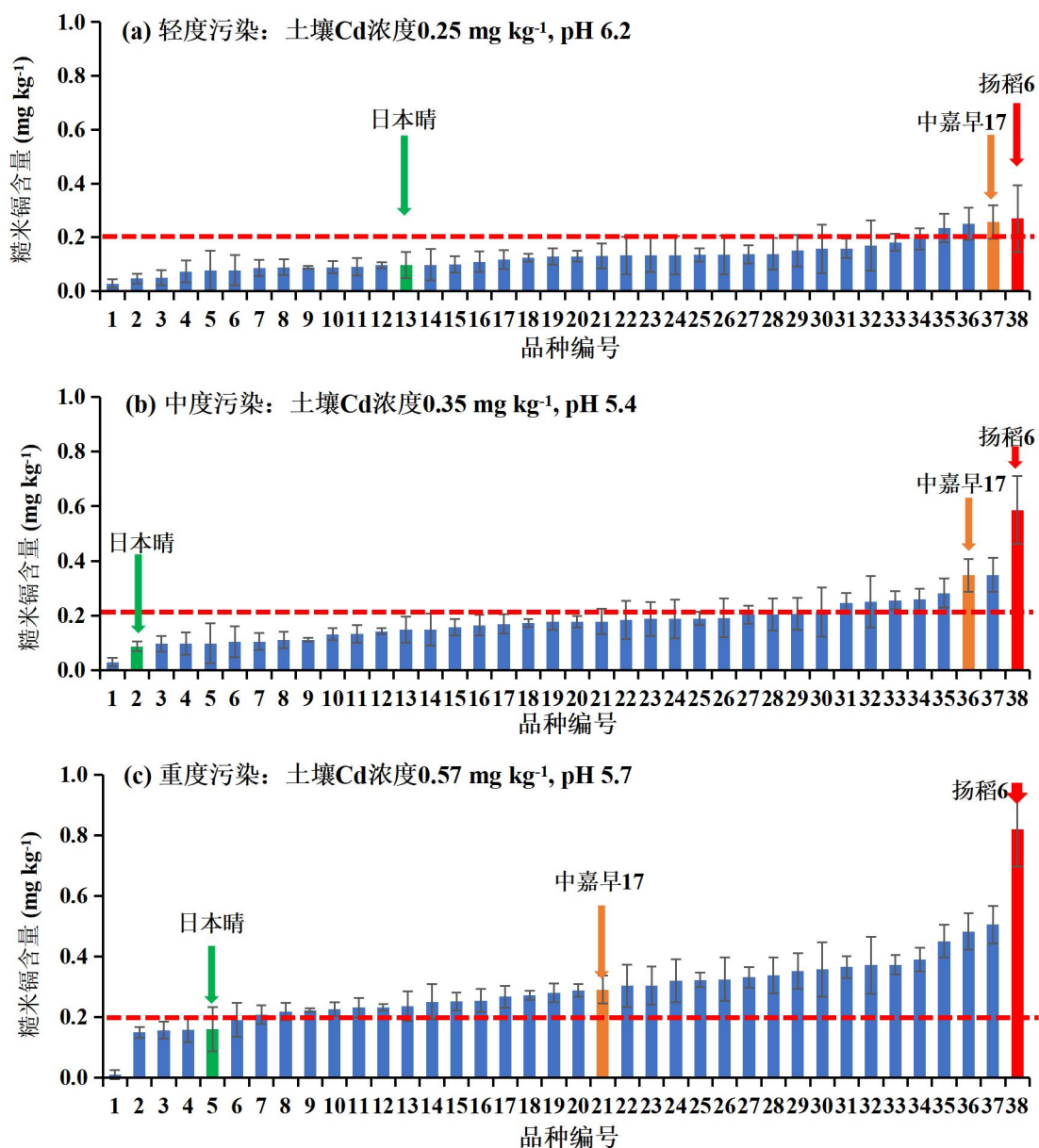


图 5 2022 年江苏苏南不同污染梯度试验点参试水稻品种籽粒镉含量分布

#### 4.2.4.2 品种基因型

籽粒镉含量受土壤 pH 值、镉污染程度、水分管理等环境因素显著影响。同一品种在不同试验点可能表现波动,导致筛选结果不稳定。分子标记可直接检测控制镉积累的关键基因型,不受环境干扰,确保鉴定结果的遗传稳定性。

## （1）数据比对分析

为减少土壤理化性质差异对籽粒镉含量测定结果的干扰，试验按区块采集耕层土壤样品，统一进行消解处理，并依据土壤中总镉含量对各参试品种的籽粒镉含量进行归一化校准，从而提高比较结果的可行性和可比性。在完成数据校准后，进一步将田间试验水稻籽粒镉含量与分子标记（*qGCd2* 和 *LCd-38*）所判定的基因型信息进行比对分析，以评估分子标记对品种镉积累能力的判定准确性和适用范围。以下为主要分子标记的条带图和结果展示：

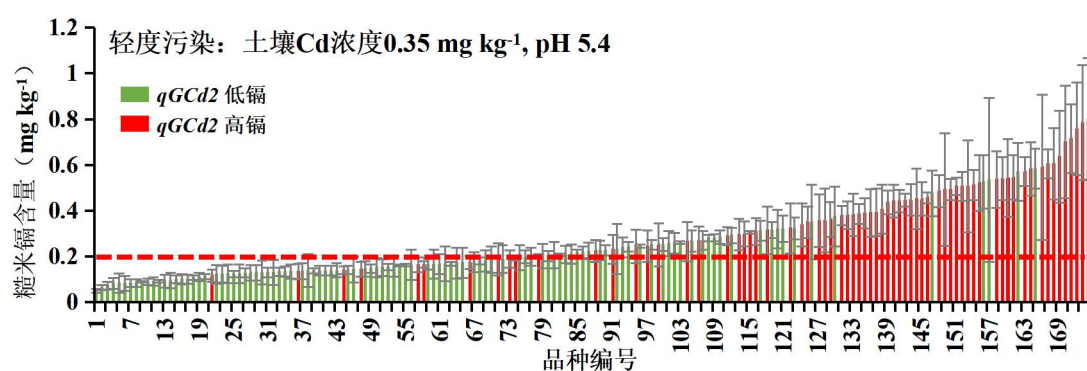


图6 *qGCd2* 分子标记判断结果（高镉或低镉积累品种）与田间试验水稻籽粒镉含量比较

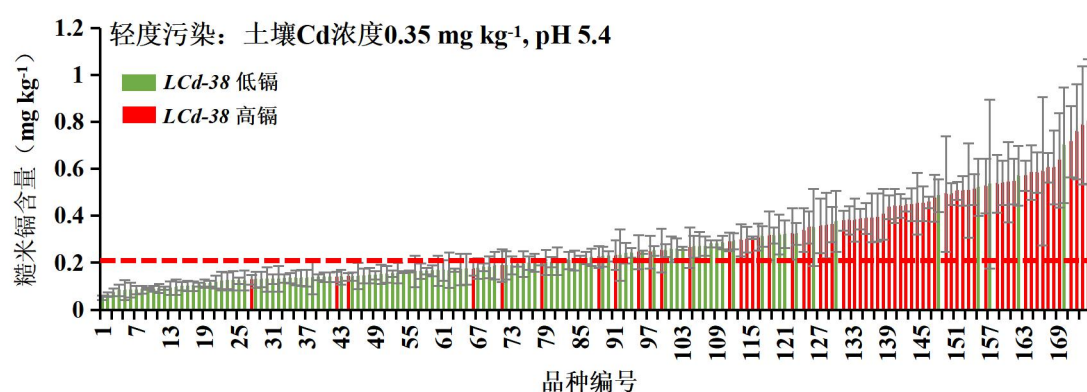


图7 *LCd-38* 分子标记判断结果（高镉或低镉积累品种）与田间试验水稻籽粒镉含量比较

## （2）鉴定准确率分析



综合两条分子标记 (*qGCd2* 和 *LCd-38*) 的基因型判定结果与 175 份主栽水稻品种的籽粒镉积累田间试验数据, 以糙米镉含量是否超过国家标准限值  $0.2 \text{ mg kg}^{-1}$  作为高、低镉积累的分类依据, 评估其分子标记判定的准确率。

结果表明, 两条分子标记对高镉积累品种的鉴定准确率均超过 90%, 其中 *LCd-38* 的高镉鉴定准确率达到 98.4%; 对低镉积累品种的鉴定准确率在 57.1%~58.7% 左右 (见表 2)。其中, 2 条分子标记鉴定结果, 均显示低镉参照水稻品种日本晴和中花 11 均为低镉基因型的水稻品种。该结果也是本标准文件 10 鉴定的主要依据。

**表 2.** 两条分子标记鉴别高、低镉积累水稻品种的准确率 (%)

	<i>qGCd2</i>	<i>LCd-38</i>
低镉准确率 (%)	57.1	58.7
高镉准确率 (%)	91.3	98.4

因此, 基于以上水稻品种基因分型的判读, 两个分子标记 (*qGCd2* 和 *LCd-38*) 的检测结果均为低镉基因型。综上所述, *qGCd2* 和 *LCd-38* 两条分子标记在快速区分高低镉积累水稻品种方面提供了基因层面的参考标尺。上述分子标记为后续开展水稻低镉积累品种的快速筛选和分子育种提供了重要的基因层面参考和技术支撑。

## 5. 与相关法律法规和标准的关系

本标准的制定严格遵循《中华人民共和国标准化法》、《地方标准



管理办法》和《江苏省地方标准管理规定》等相关法律法规的要求，属于推荐性地方标准，符合现行法律法规和标准体系的规范性要求。

目前，国家尚未发布专门针对镉低积累水稻品种筛选与鉴定的统一技术标准。在江苏省现有的相关标准中，《受污染耕地安全利用与治理修复技术指南》（DB32/T 4231-2022）虽对适宜本省种植的低积累作物品种给予了初步推荐，但尚未明确规定水稻品种筛选的技术流程、积累特性判定、基因型稳定性验证等关键技术指标。本标准是在其基础上的延伸与细化，聚焦于镉低积累水稻品种的系统筛选与科学评价，旨在提升江苏省受污染耕地安全利用的技术水平。

同时，本标准在制定过程中充分参考并对接现行相关强制性标准与推荐性标准，如 GB 2762《食品中污染物限量》、GB 5009.15《食品中镉的测定》、GB 15618《土壤环境质量标准》等，确保内容的合法性、科学性和可操作性，为标准的实施应用提供了充分的政策与技术依据。

## **6. 采用国际标准或国外先进标准情况**

国际上未有同类或相似标准。本标准所规定的技术指标基于水稻镉稳定低积累品种的核心特性，注重科学性、实用性和可操作性，适合江苏省水稻镉稳定低积累品种筛选与鉴定工作的实际需求。

## **7. 重大分歧意见的处理过程和依据**

在本标准编制过程中，未产生重大分歧意见。

## 8. 贯彻标准的要求和推广实施建议

本标准适用于江苏省范围内镉稳定低积累水稻品种的筛选与鉴定工作。

标准发布后，将在江苏省受镉污染耕地安全利用工作中推广应用。通过组织专家培训、制作解读材料（如宣传图解）等多种形式开展宣贯活动，重点解读标准的核心内容、实施要点和操作要求。同时，适时组织标准实施情况的监督检查，动态评估执行效果，及时解决实施中的问题，提升相关单位和人员执行标准的规范性与主动性。通过建立和完善镉低积累水稻品种筛选技术体系，指导地方科学推广优良品种，有效提升受污染耕地安全利用水平，为江苏省相关工作提供技术支撑。

## 9. 起草单位及起草人员分工

### 9.1 起草单位

江苏省耕地质量与农业环境保护站、南京农业大学、中国科学院南京土壤研究所、江苏省生态环境监测监控有限公司、久田环境科技南京有限公司。

### 9.2 起草人员信息及分工

起草人员	职务/职称	专业	单 位	分工
汪 鹏	教 授	土壤学	南京农业大学	全面主持起草
唐 仲	副教授	植物营养学	南京农业大学	起草标准及资料收集

姜海波	农艺师	植物营养学	江苏省耕地质量与 农业环境保护站	起草标准及资料收集
董 歌	博士后	土壤学	南京农业大学	起草标准及资料收集
邱 丹	研究员	土壤学	江苏省耕地质量与 农业环境保护站	标准框架构建和讨论
骆永明	研究员	土壤学	中国科学院南京土 壤研究所	标准框架构建和讨论
赵方杰	教 授	土壤学	南京农业大学	标准框架构建和讨论
李 真	副教授	地球与行星科学	南京农业大学	资料收集
栗鹏辉	工程师	农 经	江苏省生态环境监 测监控有限公司	文本校审
范玉健	工程师	管理学	久田环境科技南京 有限公司	文本校审
张明超	农艺师	土壤学	江苏省耕地质量与 农业环境保护站	文本校审
彭毅	研究员	土壤学	南京农业大学	文本校审

汪鹏作为总负责人，全面主持起草标准事宜，具体负责统筹标准编制的规划与决策、协调跨单位资源，推进标准编制进程的组织管理工作；唐仲、姜海波、董歌负责标准草案的草稿编制、基础资料和专家反馈意见收集；邱丹、骆永明、赵方杰负责标准框架构建和讨论事宜，主导关键指标的编制及验证工作；李真协助数据收集与分析，支持标准中基础研究部分的文献整理工作；栗鹏辉、范玉健、张明超、彭毅负责前期调研基础资料的收集、协助汇总征求意见，确保标准内容与实际产业需求紧密衔接；并参与结合实际推广应用经验对标准文本的修改。