



我国农田土壤污染的现状与对策

赵方杰

南京农业大学资环学院



土壤与农产品重金属污染问题引起广泛关注

[illegible]

新世纪周刊
Century Weekly

2011年 第10期 / 总第1400期 / 定价4.2元 / 零售每份 0.5元

楼继伟：经济未来15年 P.36
王传福：危机在哪 P.64
中国风电抢滩美国 P.68
IT富豪重开闸 P.38

镉米杀机
抽样调查发现多地市场约10%大米镉超标，中国在重金属污染大米前几不设防

财新传媒
Cefin Media

6 977022 311119

BBC

NewsSportWeather

NEWS

18 April 2014 Last updated at 23:43

Home

World

Asia

India

China

UK

Business

Health

Science/Environment

18 April 2014 Last updated at 10:06

ShareFacebookTwitterPrint

Report: One fifth of China's soil contaminated



REUTERS

Rapid industrialisation has benefited many - but has had a huge impact on the environment



索引号: 000014672/2014-00351

分类: 环境政务管理信息\新闻发布

发布机关: 环境保护部

生成日期: 2014年04月17日

名称: 环境保护部和国土资源部发布全国土壤污染状况调查公报

文号:

主题词:

环境保护部和国土资源部发布全国土壤污染状况调查公报

环境保护部有关负责人今日向媒体通报, 环境保护部和国土资源部发布了全国土壤污染状况调查公报。

这位负责人说, 根据国务院决定, 2005年4月至2013年12月, 环境保护部会同国土资源部开展了首次全国土壤污染状况调查。调查的范围是除香港、澳门特别行政区和台湾省以外的陆地国土, 调查点位覆盖全部耕地, 部分林地、草地、未利用地和建设用地, 实际调查面积约630万平方公里。调查采用统一的方法、标准, 基本掌握了全国土壤环境总体状况。

调查结果显示, 全国土壤环境状况总体不容乐观, 部分地区土壤污染较重, 耕地土壤环境质量堪忧, 工矿业废弃地土壤环境问题突出。全国土壤总的点位超标率为16.1%, 其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为11.2%、2.3%、1.5%和1.1%。从土地利用类型看, 耕地、林地、草地土壤点位超标率分别为19.4%、10.0%、10.4%。从污染类型看, 以无机型为主, 有机型次之, 复合型污染比重较小, 无机污染物超标点位数占全部超标点位的82.8%。从污染物超标情况看, 镉、

表 1 无机污染物超标情况

污染物类型	点位超标率 (%)	不同程度污染点位比例 (%)			
		轻微	轻度	中度	重度
镉	7.0	5.2	0.8	0.5	0.5
汞	1.6	1.2	0.2	0.1	0.1
砷	2.7	2.0	0.4	0.2	0.1
铜	2.1	1.6	0.3	0.15	0.05
铅	1.5	1.1	0.2	0.1	0.1
铬	1.1	0.9	0.15	0.04	0.01
锌	0.9	0.75	0.08	0.05	0.02
镍	4.8	3.9	0.5	0.3	0.1

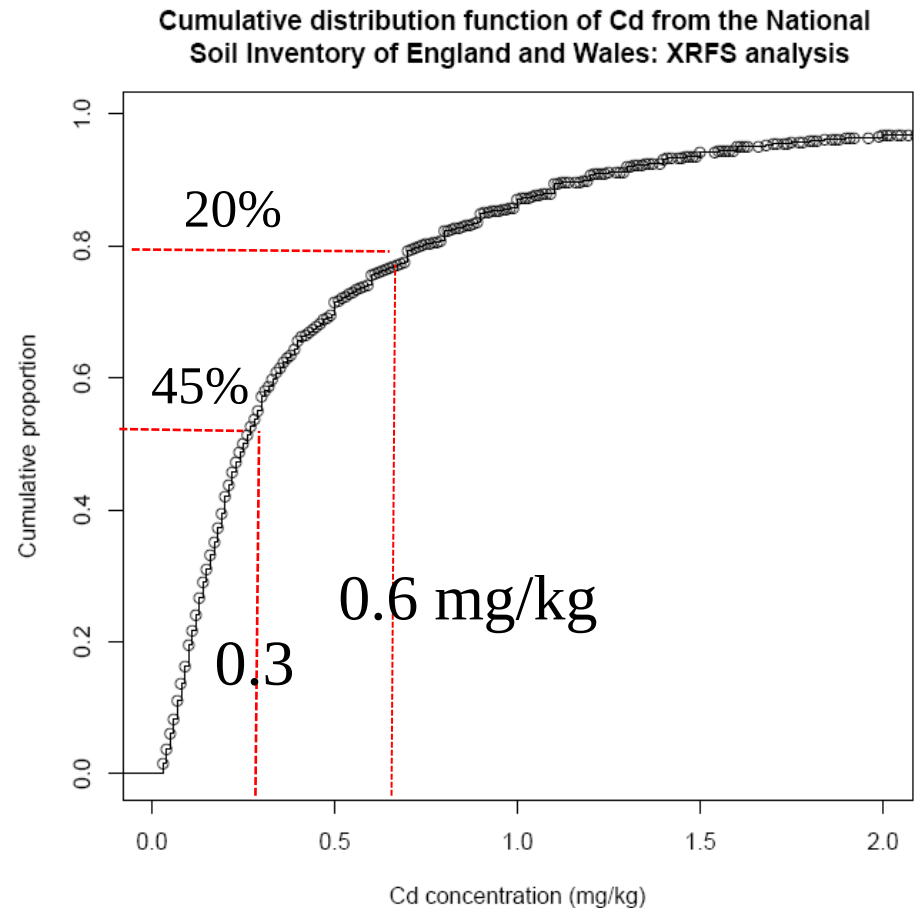
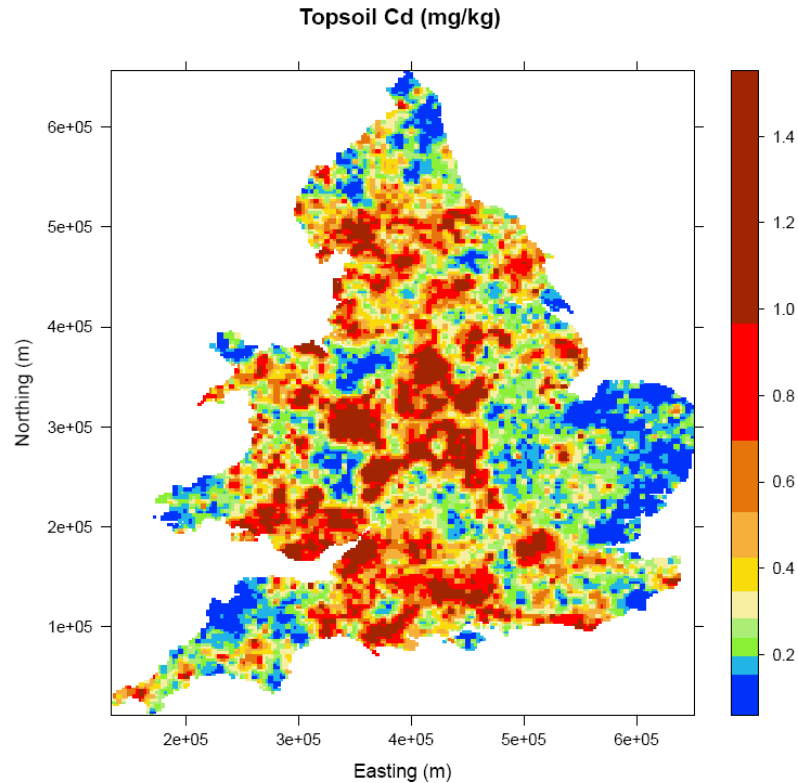
中国土壤环境质量标准（1995）

Metal or metalloid	Class I (natural background)	Class II		
		pH < 6.5	pH 6.5 ~ 7.5	pH > 7.5
Cd	0.2	0.3	0.3	0.6
As: Paddy	15	30	25	20
Upland	15	40	30	25
Hg	0.15	0.3	0.5	1.0
Cu: farmland	35	50	100	100
Orchard	-	150	200	200
Pb	35	250	300	350
Cr: Paddy	90	250	300	350
Upland	90	150	200	250
Zn	100	200	250	300
Ni	40	40	50	60

其它国家土壤镉标准

- USA-EPA, agricultural application of biosolid, Cd limit 39 mg/kg soil
- EU, use of sewage sludge on agricultural land: Cd limit 1 – 3 mg/kg soil
- US-EPA screening value (ECOSSL): 0.4–0.8 mg/kg
- EU Cd risk assessment PNEC: 0.6–2.3 mg/kg

英国土壤镉含量(5681 soils)



Cd (mg/kg)

Range: 0.01 – 19.2

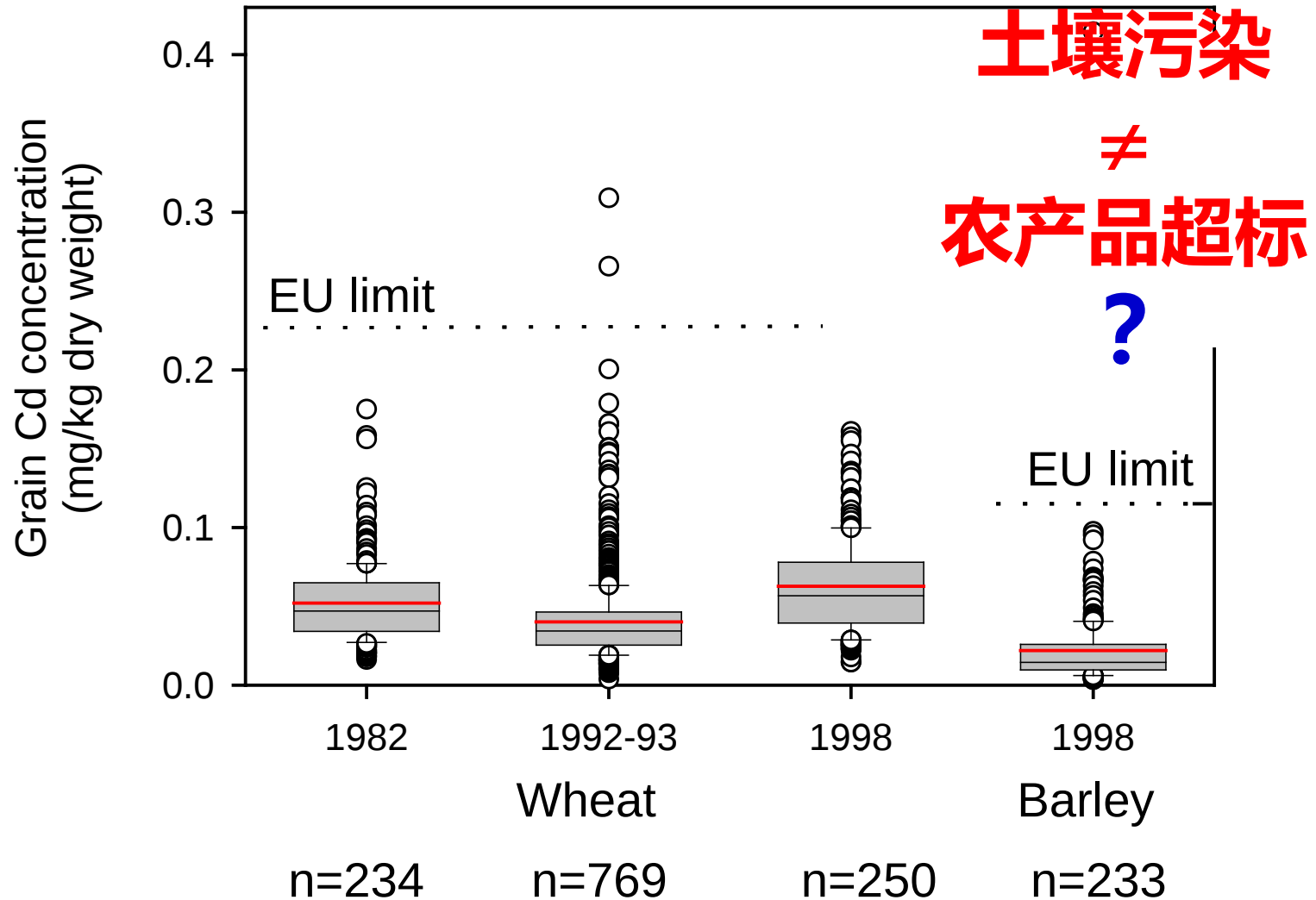
Mean: 0.51 (中国 0.22)

Median: 0.25

网页: nora.nerc.ac.uk/18016/

如果以中国国标0.3 mg/kg为标准，英国土壤45%超标；以0.6 mg/kg为标准，也有20%超标

我们分析了1486个英国小麦、大麦籽粒重金属Cd含量，发现仅有个别样品超标（0.2%）



(Chaudri *et al.* 1995; Adams *et al.* 2004)

Transfer of heavy metals to the food chain

从土壤到餐桌

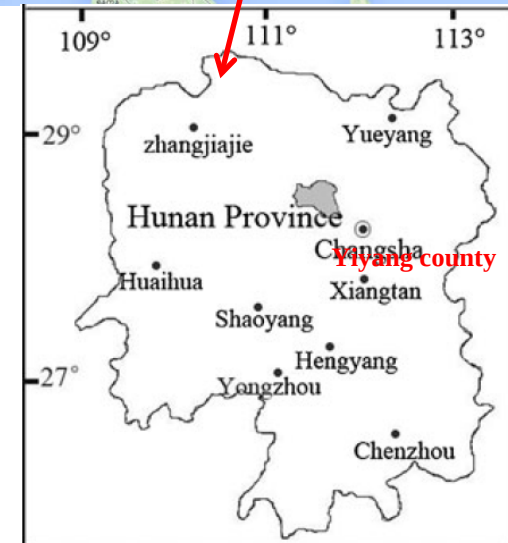
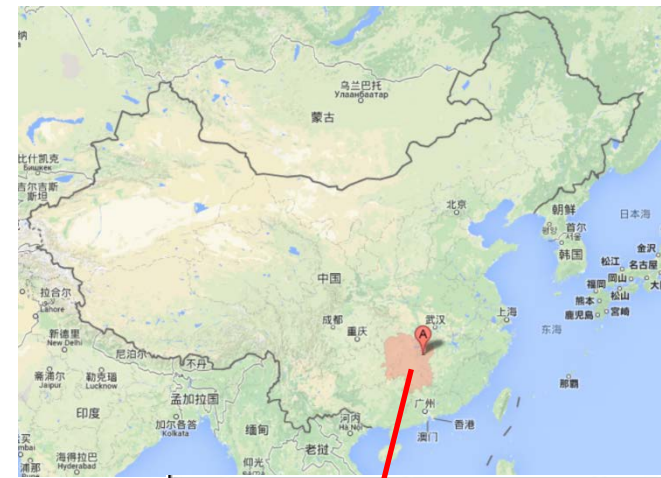


土壤-稻米调查：湖南益阳

(Du *et al.* 2013. Environ. Monit. Assess.)

n = 146

- 土壤 Cd: **0.13 – 6.0 mg/kg**
 - **58% > 0.3 mg/kg** (Chinese limit)
- 稻米 Cd: **0.01 – 2.77 mg/kg**
 - **60% > 0.2 mg/kg** (Chinese limit)
 - **11% > 1 mg/kg**



我国南方镉米问题突出的主要原因分析及对策

• 原因

- 土壤或灌溉水污染
- 土壤酸化
- 稻田水分管理方式
- 水稻品种

• 对策

- 阻控
- 修复

ENVIRONMENTAL
Science & Technology

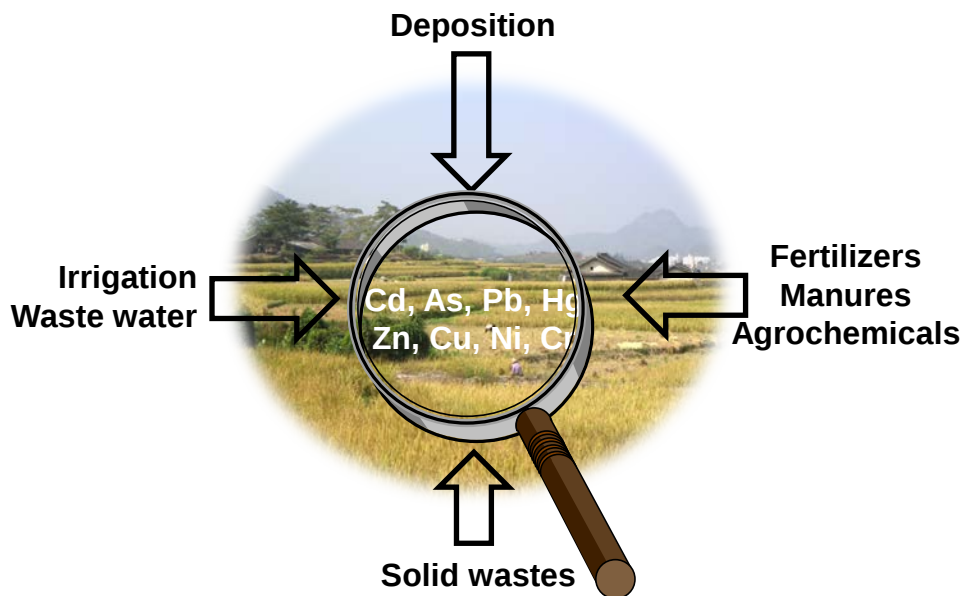
DOI: 10.1021/es5047099
Environ. Sci. Technol. 2015, 49, 750–759

Policy Analysis

pubs.acs.org

Soil Contamination in China: Current Status and Mitigation Strategies

Fang-Jie Zhao,^{*,†,‡} Yibing Ma,[§] Yong-Guan Zhu,^{||} Zhong Tang,[†] and Steve P. McGrath[‡]



我国南方镉米问题突出的原因 (1) : 土壤、灌溉水污染

以湖南湘江流域为例，
采矿、冶炼排入重金属：

铅：**609吨**

镉：**148吨**

砷：**82吨**

汞：**4吨**

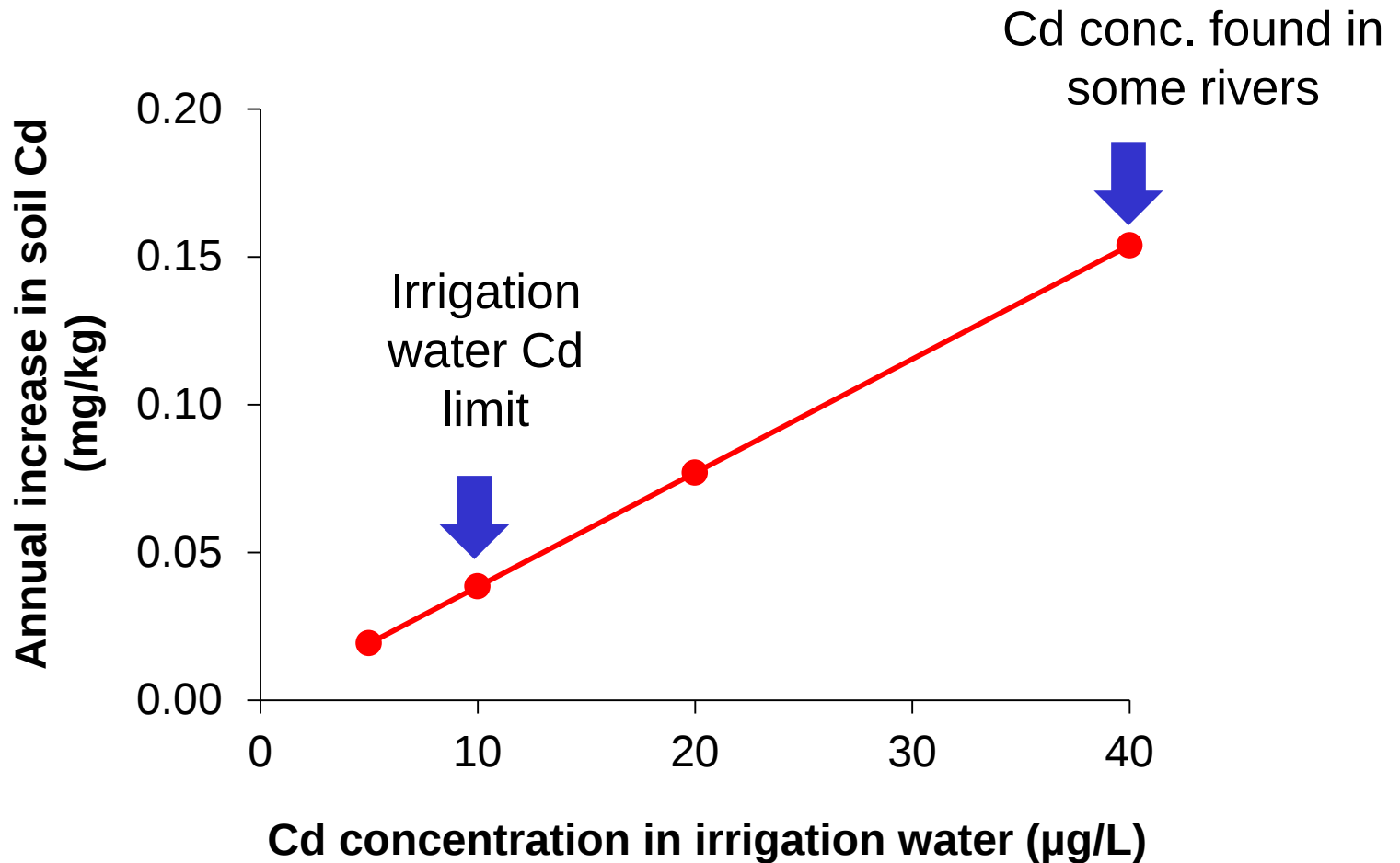
《中国环境年鉴》



Cd inputs from irrigation water

Two rice crops per year in Hunan

Paddy rice: 1 m irrigation water/year



Phosphate fertilizers as a Cd source

Source of phosphate rock	Cd (mg/kg P)	Increase in soil Cd (mg/kg) after 100 applications at 30 kg P/ha
Russia (Kola)	1	0.001
South Africa	23	0.027
China (Yunan)	35	0.040
Jordan	27	0.031
Australia (Duchess)	50	0.058
Mexico	57	0.066
Egypt (Quseir)	61	0.070
Peru (Sechura)	84	0.097
Israel (Arad)	85	0.098
Tunisia (Gafsa)	108	0.125
Israel (Zin)	228	0.263
Morocco (Boucraa)	240	0.277
Christmas Island	275	0.317
USA (North Carolina)	311	0.359
Bababa (Ocean Island)	563	0.650
Nauru	641	0.740

我国南方镉米问题突出的原因(2)：

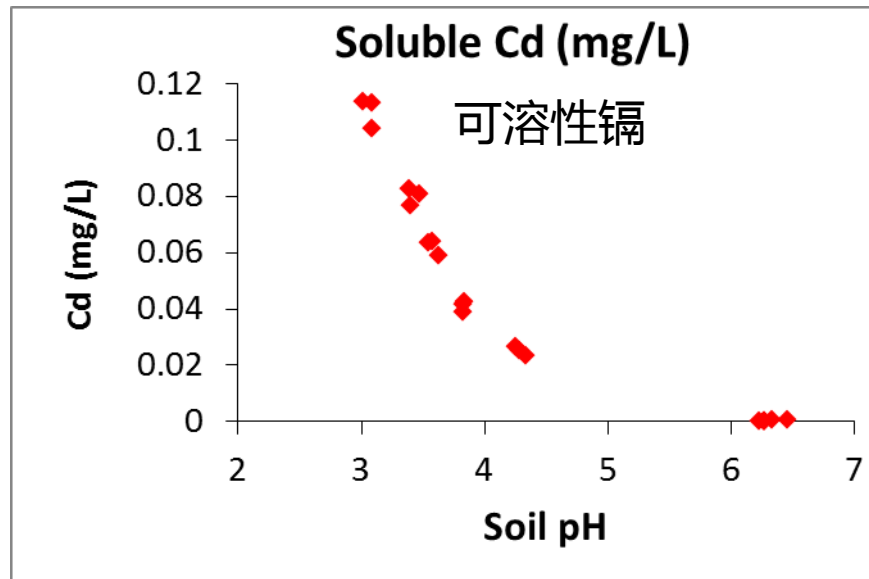
土壤酸化

- 南方土壤偏酸性，长期施用氮肥进一步加剧土壤酸化
 - 以湖南为例：40%稻田土壤 $\text{pH} < 5.5$

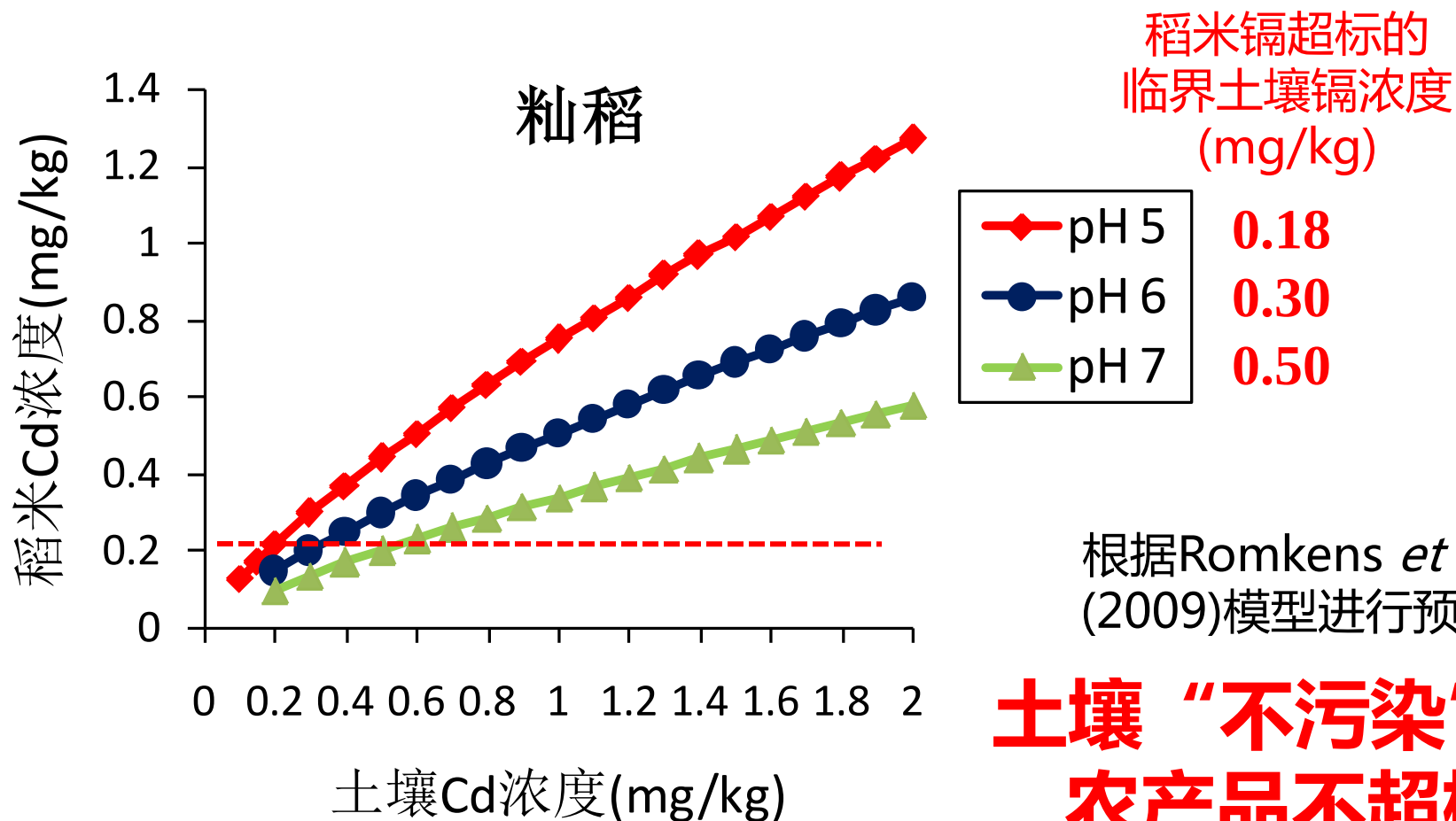


Significant Acidification in Major Chinese Croplands
J. H. Guo, *et al.*
Science **327**, 1008 (2010);
DOI: 10.1126/science.1182570

- 土壤酸化导致镉有效性提高



酸性条件下($\text{pH} < 6.0$), 即使不污染的土壤($\text{Cd} < 0.3 \text{ mg/kg}$)种植籼稻, 稻米镉仍然可能超标

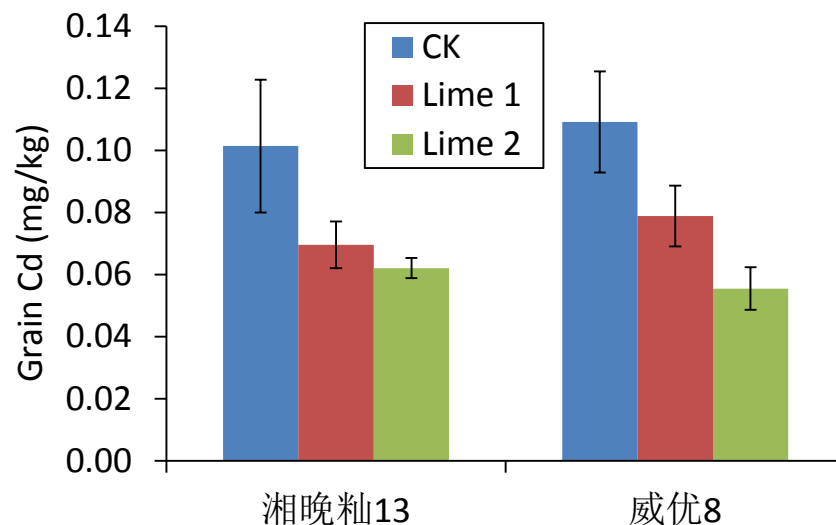
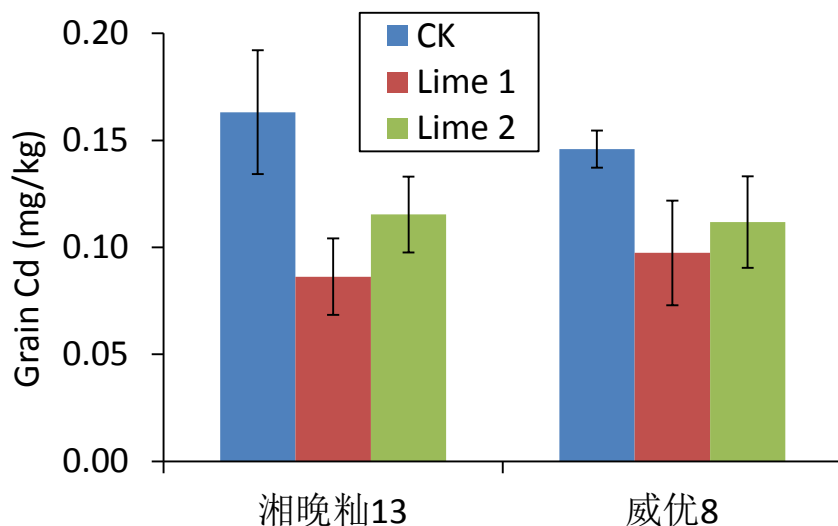
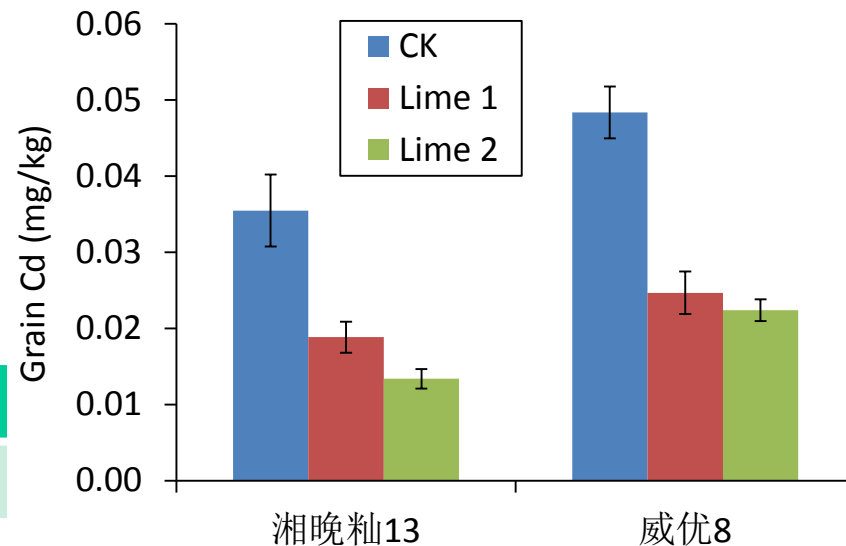


根据Romkens *et al.*
(2009)模型进行预测

土壤“不污染” ≠
农产品不超标
生物有效性

施用石灰降低 水稻籽粒镉含量 (湖南, 2014, 2015)

	CK	Lime 1	Lime 2
Soil pH	5.1	6.0	6.5

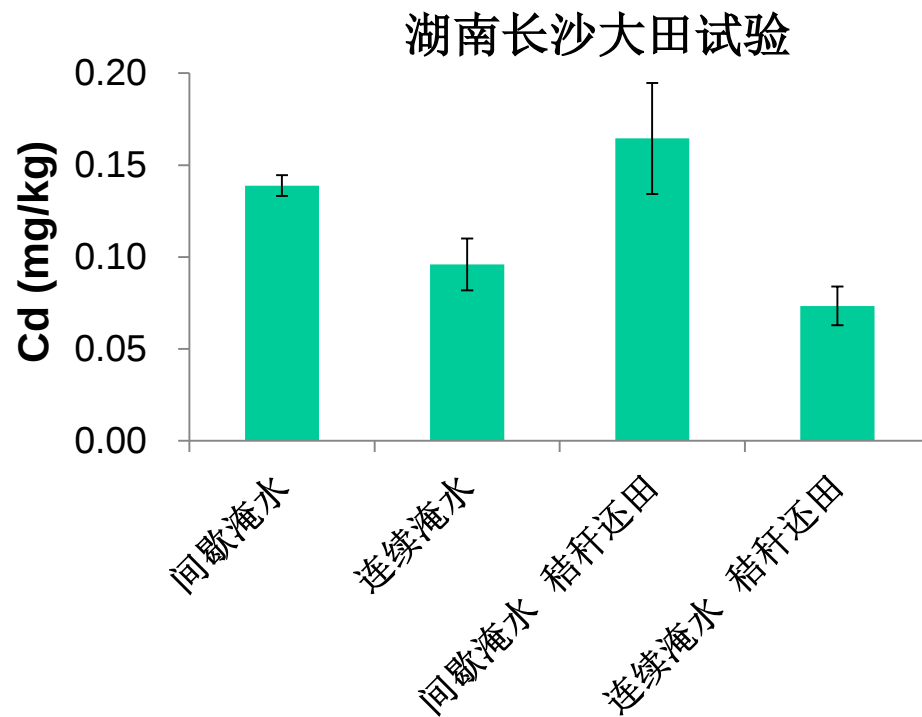
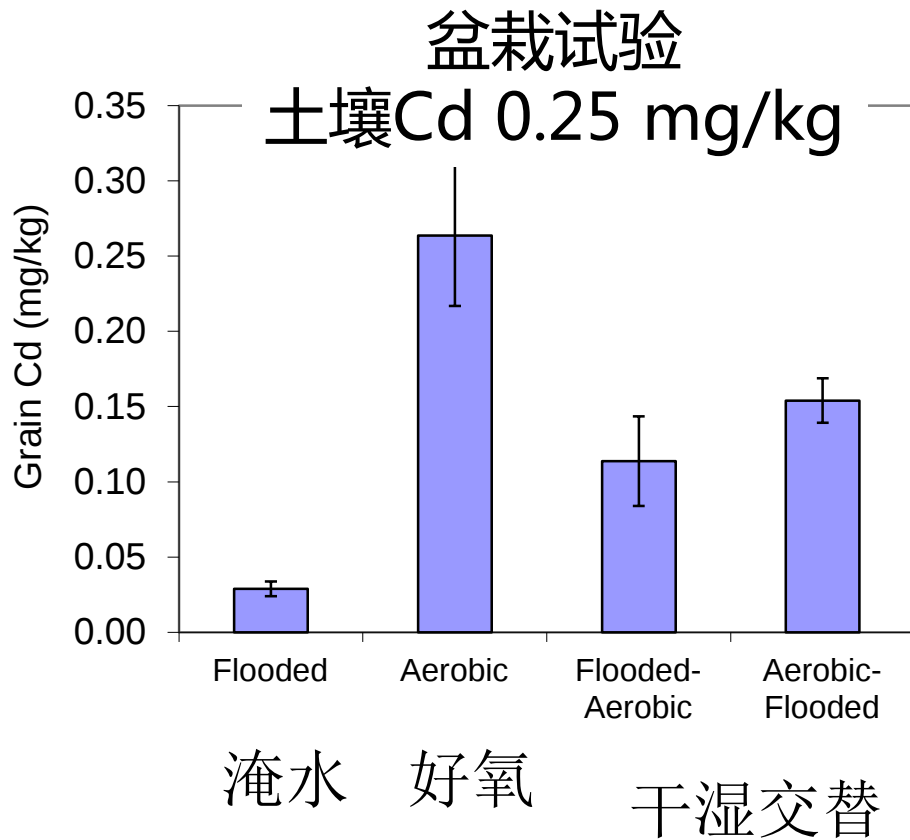


Liming, Hunan Style

Timing, Form, Rate?



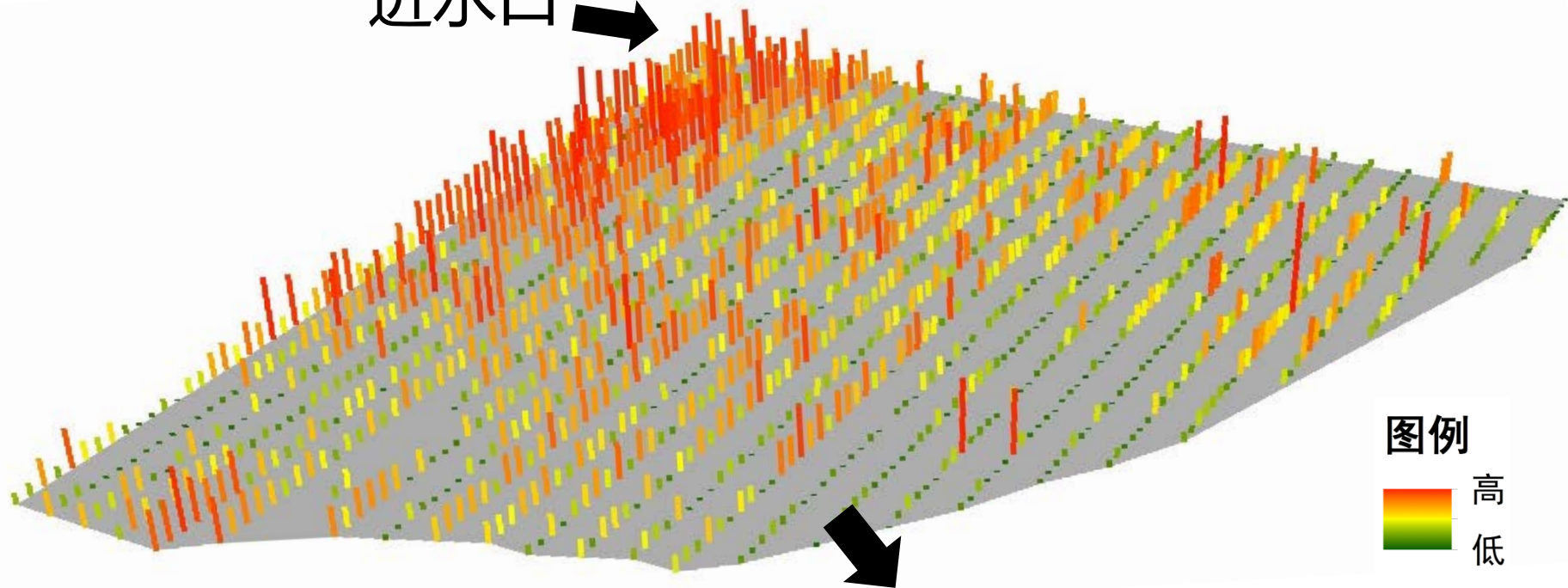
我国南方镉米问题突出的原因（3）： 水分管理方式



(Meharg & Zhao, 2013)

大米镉浓度

进水口



图例



高
低

出水口

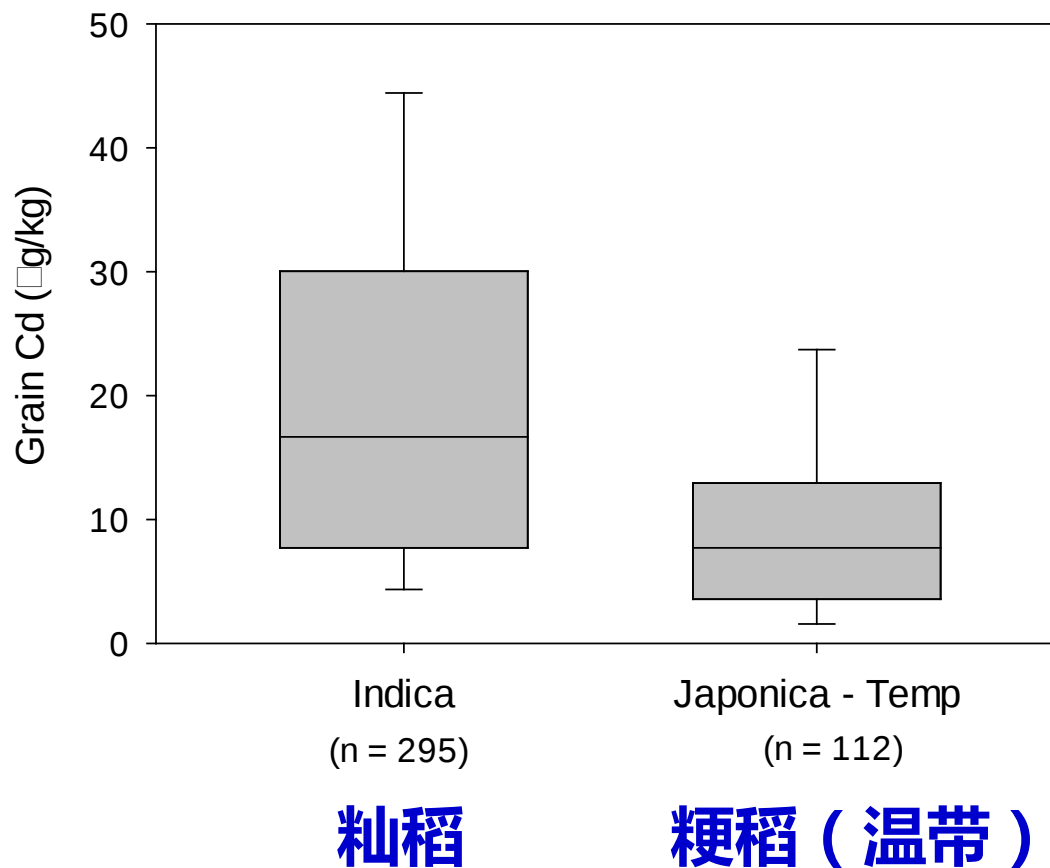
段桂兰等

稻田水分管理对稻米镉含量的影响

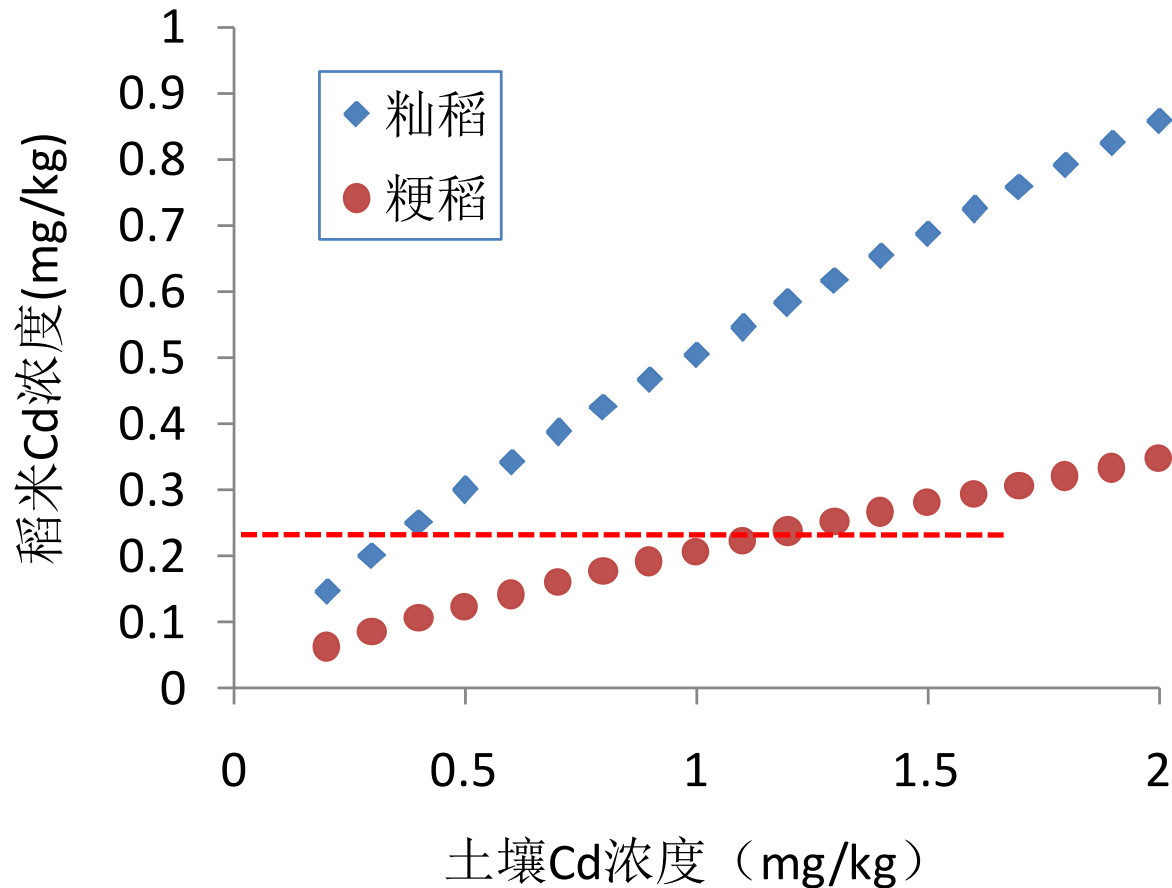
- 淹水、低 Eh 值条件下，CdS沉淀
- 淹水导致土壤pH上升至中性范围
- 淹水导致 Mn^{2+} 活化， Cd^{2+} 主要通过 Mn^{2+} 吸收途径（Nramp5）被水稻根系吸收， Mn^{2+} 对 Cd^{2+} 吸收产生竞争性抑制

我国南方镉米问题突出的原因 (4) :

镉积累能力：籼稻 > 粳稻

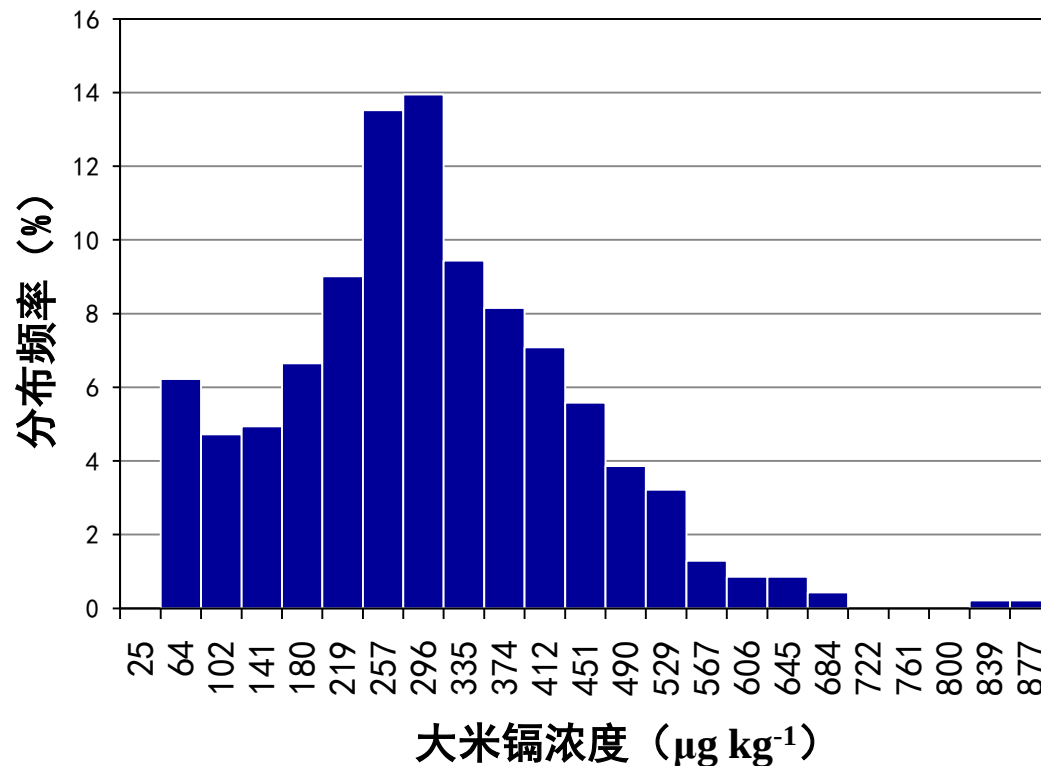


稻米镉超标风险：籼稻>粳稻



根据Romkens *et al.* (2009)对台湾稻米镉研究得到的结果进行模型预测，土壤pH设为6.0

564个南方主栽品种大米镉含量分布



湖南攸县
Soil Cd 0.45 mg/kg
pH 5.2

129个品种 $< 0.2 \text{ mg kg}^{-1}$
344个品种 $> 0.2 \text{ mg kg}^{-1}$
91个品种 $> 0.4 \text{ mg kg}^{-1}$

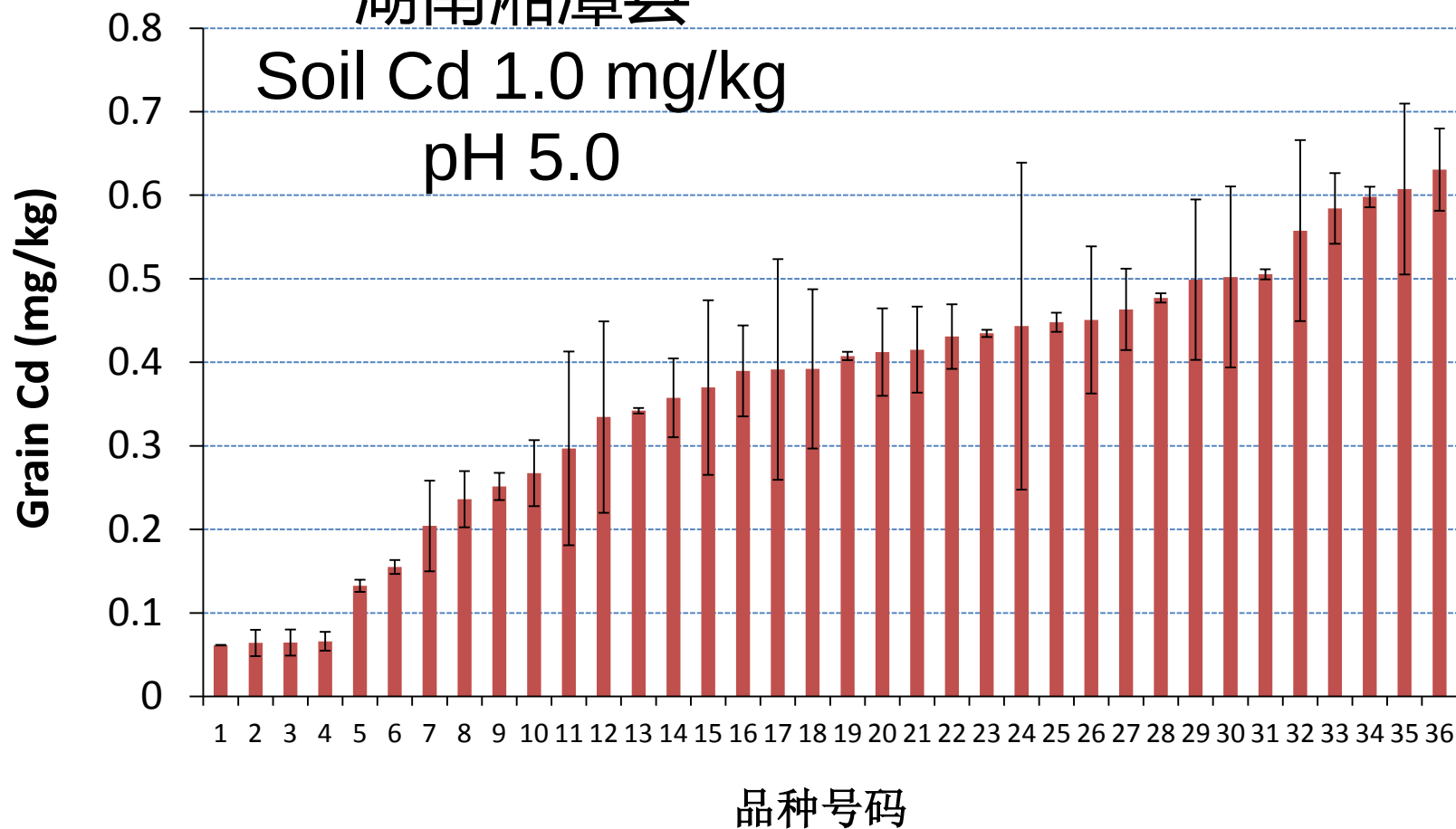
段桂兰等

36个南方主栽品种大米镉含量

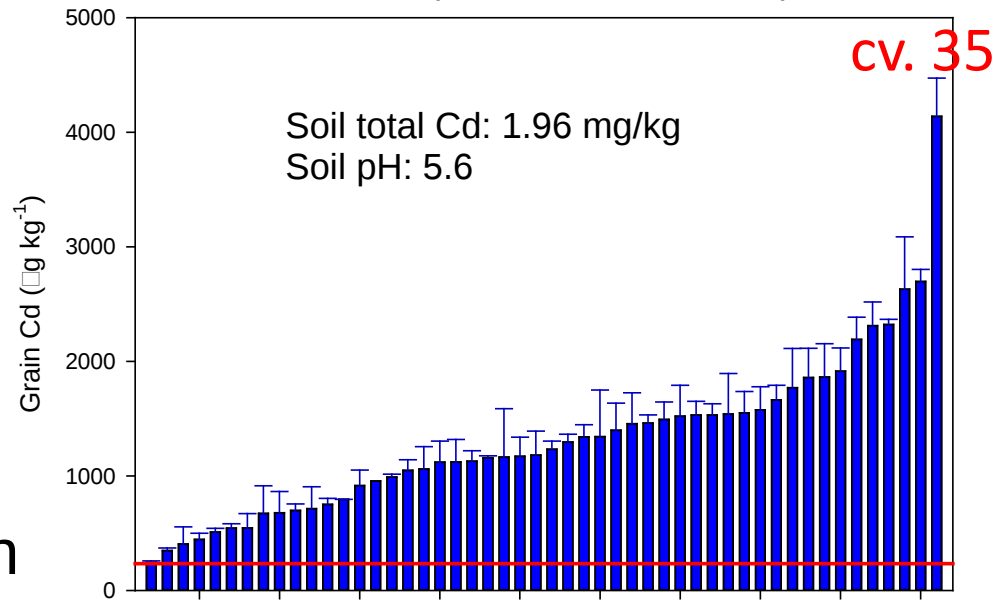
湖南湘潭县

Soil Cd 1.0 mg/kg

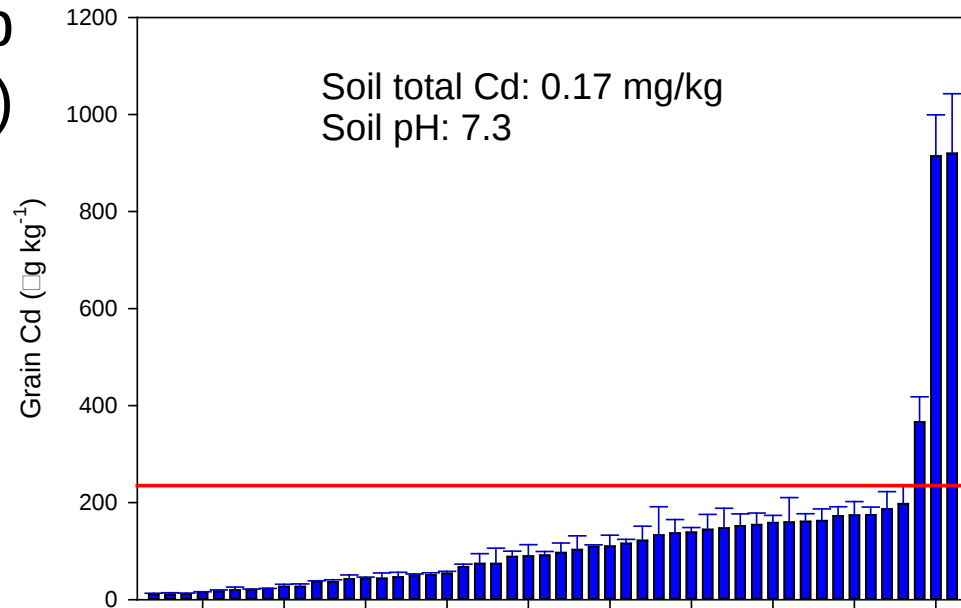
pH 5.0



Hunan (Cd contaminated site)



Jiangpu (uncontaminated site)



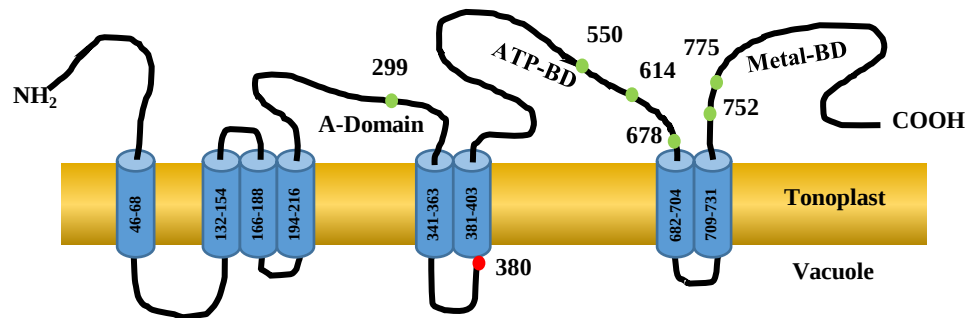
Variety

水稻镉积累
自然变异的
遗传基础？



OsHMA3 氨基酸多态性与镉积累的关系

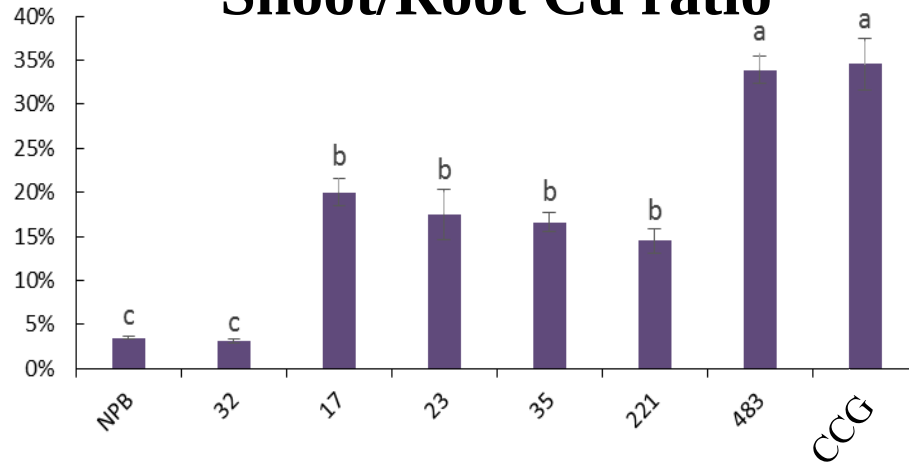
OsHMA3 haplotype	Amino Acid Position											Cd积累
	80	299	380	550	614	638	678	728	736	752	775	
I	R	F	S	V	S	A	C	T	G	V	E	高
II	R	F	R	V	S	A	C	T	G	V	E	
III	R	F	S	V	S	A	C	T	G	V	D	
IV	R	F	S	V	S	A	C	T	C	V	E	
V	R	L	S	I	G	A	R	T	G	A	E	高
VI	R	L	S	I	G	A	R	T	C	A	E	
VII	R	L	S	I	G	A	R	P	C	A	E	
VIII	H	L	S	V	D	V	R	T	G	A	E	



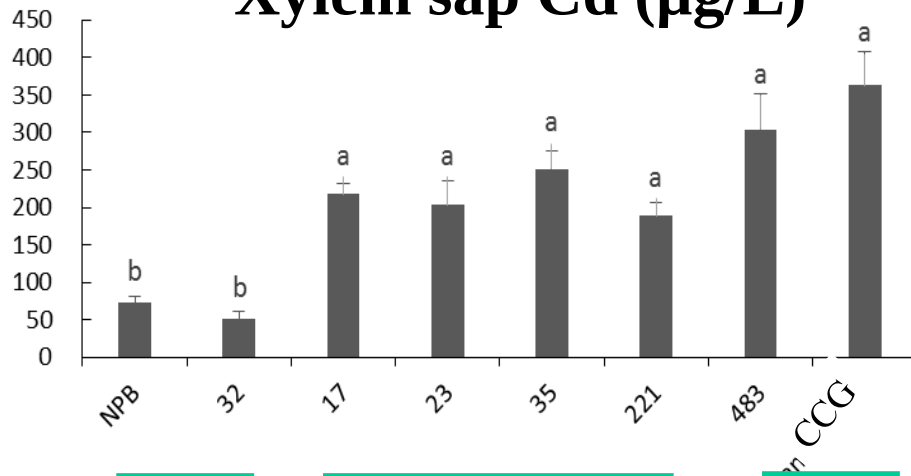
OsHMA3 : 液泡膜Cd转运体

OsHMA3 氨基酸多态性与镉转运的关系

Shoot/Root Cd ratio



Xylem sap Cd ($\mu\text{g/L}$)

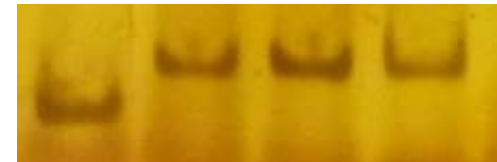


Type I

Type II
Japonica

Type VIII
Indica

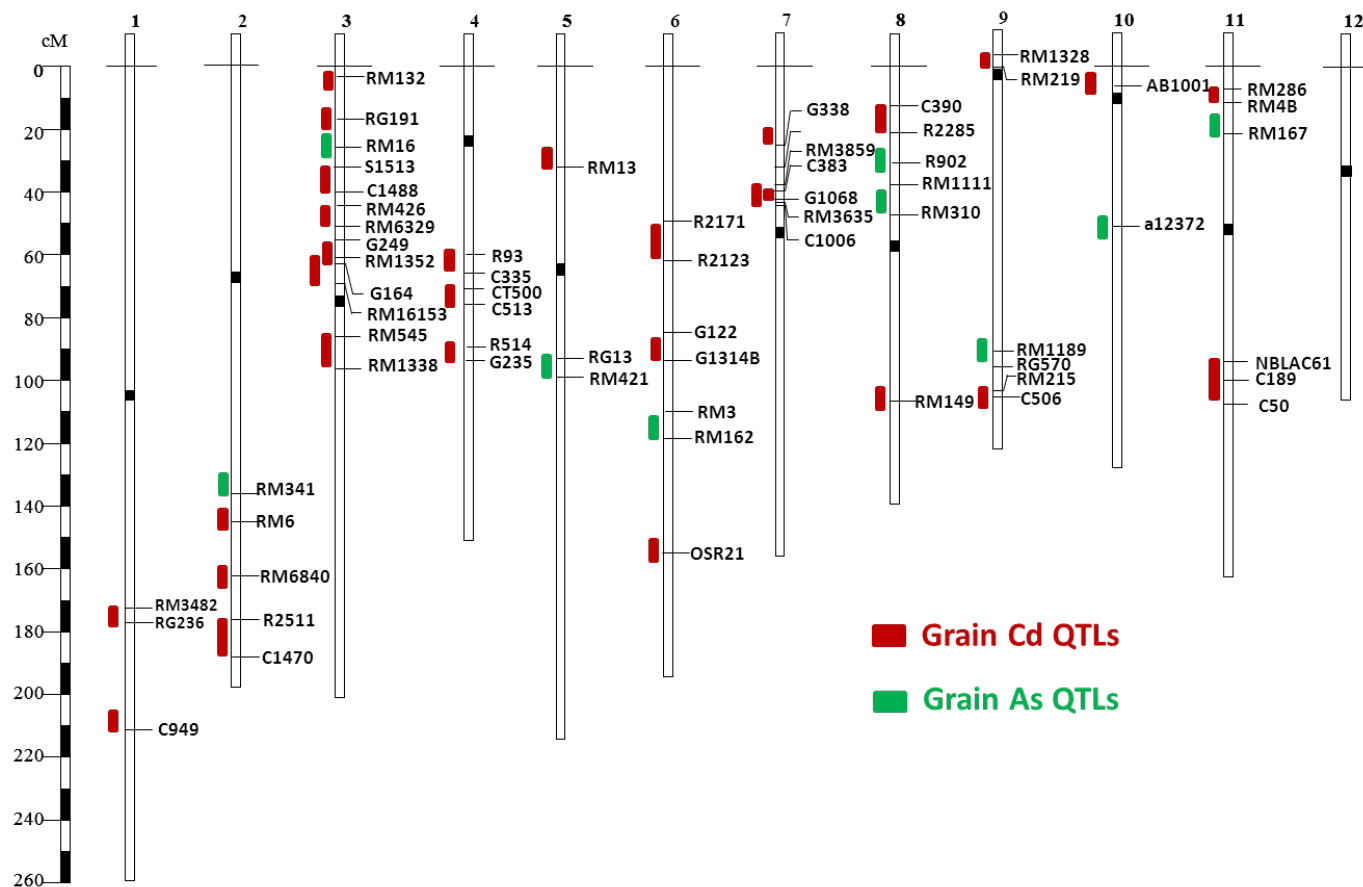
dCAPS分子标记



Type II
Type I

选育低积累品种

水稻镉、砷积累的QTLs



解决我国稻米重金属超标问题的对策

- 阻控：
 - 阻断污染源、停止污水灌溉
 - 解决土壤酸化问题：施用石灰，逐步将土壤pH调节到6.0以上（Cd）
 - 筛选、培育低积累水稻（粳稻）品种
 - 在高风险稻田禁种高积累高的品种
 - 稻田水分管理：对于稻米镉容易超标的稻田，灌浆期不宜过早排水（Cd）
 - 施肥：硅肥可降低水稻砷（镉）积累
 - 污染较重稻田，改种积累低或非食用作物
- 修复：研发高效、廉价植物修复方法

Thank You!

Funding:

农业部公益性行业科研专项 (20140015)

国家自然科学基金委 (31520103914)