

中国工程院重大咨询项目

中国农业资源环境若干战略问题研究

农产品产地污染防治卷

中国主要农产品 产地污染防治战略研究

席北斗 黄彩红 李 瑞 主编

RESEARCH ON STRATEGIES OF POLLUTION
PREVENTION AND CONTROL OF CHINA'S MAJOR
AGRICULTURAL LAND

 中国农业出版社

中国工程院重大咨询项目
中国农业资源环境若干战略问题研究

农产品产地污染防治卷

中国主要农产品产地污染防治战略研究

席北斗 黄彩红 李 瑞 主编

中国农业出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

中国工程院重大咨询项目·中国农业资源环境若干战略问题研究. 农产品产地污染防治卷: 中国主要农产品产地污染防治战略研究/席北斗, 黄彩红, 李瑞主编.
—北京: 中国农业出版社, 2019. 8
ISBN 978-7-109-24608-9

I. ①中… II. ①席… ②黄… ③李… III. ①农业资源—研究报告—中国 ②农业环境—研究报告—中国 ③农产品—产地—污染防治—研究—中国 IV. ①F323.2
②X322.2 ③X71

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第212531号

农产品产地污染防治卷: 中国主要农产品产地污染防治战略研究
**NONGCHANPIN CHANDI WURAN FANGZHI JUAN: ZHONGGUO ZHUYAO
NONGCHANPIN CHANDI WURAN FANGZHI ZHANLÜE YANJIU**

中国农业出版社

地址: 北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编: 100125

责任编辑: 孙鸣凤 姚 红

版式设计: 北京八度出版服务机构

责任校对: 沙凯霖

印刷: 北京通州皇家印刷厂

版次: 2019 年 8 月第 1 版

印次: 2019 年 8 月北京第 1 次印刷

发行: 新华书店北京发行所

开本: 889mm×1194mm 1/16

印张: 13.75

字数: 240 千字

定价: 120.00 元

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书, 如有印装质量问题, 我社负责调换。

服务电话: 010—59195115 010—59194918

本书编委会

顾 问：刘鸿亮 任阵海 魏复盛 侯立安

主 编：席北斗 黄彩红 李 瑞

编 委（按姓氏笔画排序）：

师荣光	许 铮	李 瑞	李鸣晓
吴代赦	何小松	杨天学	郑博福
姜 玉	高绍博	席北斗	唐朱睿
黄彩红	崔东宇		

课题组成员名单

- 组 长：**席北斗 中国环境科学研究院研究员
黄彩红 中国环境科学研究院副研究员
李 瑞 中国环境科学研究院助理研究员
- 顾 问：**刘鸿亮 中国工程院院士，中国环境科学研究院研究员
任阵海 中国工程院院士，中国环境科学研究院研究员
魏复盛 中国工程院院士，中国环境监测总站研究员
侯立安 中国工程院院士，中国人民解放军火箭军工程大学教授

主要成员：

中国南方农产品产地污染综合防治战略研究课题组

- 黄彩红 中国环境科学研究院副研究员
唐朱睿 中国环境科学研究院博士研究生
许其功 中国环境科学研究院研究员
张列宇 中国环境科学研究院研究员
何小松 中国环境科学研究院研究员
杨天学 中国环境科学研究院副研究员
吴代赦 南昌大学教授
郑博福 南昌大学教授

中国北方农产品产地污染综合防治战略研究课题组

- 席北斗 中国环境科学研究院研究员
李 瑞 中国环境科学研究院助理研究员
李鸣晓 中国环境科学研究院研究员
姜 玉 中国环境科学研究院博士研究生
师荣光 农业农村部环境保护科研监测所研究员
崔东宇 中国环境科学研究院工程师
许 铮 中国环境科学研究院硕士研究生
高绍博 中国环境科学研究院硕士研究生



前言

P R E F A C E

党中央、国务院高度重视我国农产品产地环境质量安全，相关系列政策、法规相继出台。然而，随着我国工业化、城市化、农业现代化进程的不断加快，大量污染物进入农产品产地环境并逐渐超过其容量限制，污染总体上呈不断加重趋势，引发了农产品产地诸多环境问题，特别是土壤重金属污染问题突出，“镉大米”“砷大米”事件频发。本书结合大气、水、土壤等环境要素，系统阐述了我国主要农产品产地的环境现状，深入剖析主要问题及成因，提出环境安全综合治理策略，对提升我国农产品产地环境污染治理的科学性，保障农业可持续发展、农产品质量安全、生态环境安全和人民群众健康安全都具有重要意义。

全书包括综合报告和课题报告两部分。综合报告概述了我国主要农产品产地环境污染问题，从全局角度提出我国农产品产地环境污染防治战略。课题报告为中国南方主要农产品产地污染综合防治战略研究、中国北方主要农产品产地污染综合防治战略研究，前者以四川盆地、长江中下游地区和广西蔗糖产区为主要调查对象进行论述，后者主要针对东北平原、黄淮海平原展开相关论述，提出了环境污染防治的基本对策、分区对策及代表性重点工程。全书主要以2015年为基准年进行数据分析，部分为2008—2012年数据，数据来源于实测、文献调研、公报、环境保护部及农业部相关单位。

本书是课题组集体智慧和辛勤工作的成果。全书具体分工如下：综合报告由席北斗、黄彩红、李瑞撰写；中国南方主要农产品产地污染综合防治战略研究报告由黄彩红

主笔，唐朱睿、许其功、张列宇、何小松、杨天学、吴代赦、郑博福等共同撰写；中国北方主要农产品产地污染综合防治战略研究报告由李瑞主笔，姜玉、李鸣晓、师荣光、崔东宇、许铮、高绍博等共同撰写。

在本研究开展与本书写作过程中，石玉林院士、唐华俊院士、高中琪局长、刘鸿亮院士、任阵海院士、魏复盛院士、侯立安院士、张红旗研究员等多位专家给予了指导和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书可供从事环境保护、农业农村环保研究的科研与管理人员阅读，还可供环境专业大专院校师生参考。书中可能存在不完善之处和不少错误，恳请有关专家和广大读者批评指正。

本书编委会

2018年3月



目 录

C O N T E N T S

前言

综合报告

一、主要农产品产地面临的问题 // 2

- (一) 土壤污染叠加趋势明显 // 2
- (二) 重金属污染问题突出 // 2
- (三) 污染源类型多样 // 4

二、总体思路 and 对策 // 6

- (一) 发展理念 // 6
- (二) 总体思路 // 6
- (三) 主要对策 // 7

三、分区防治对策 // 10

- (一) 东北平原 // 10
- (二) 黄淮海平原 // 11

(三) 四川盆地 // 11

(四) 长江中下游地区 // 11

(五) 广西蔗糖产区 // 12

四、京津冀地区农产品产地污染防治 // 12

(一) 环境污染概况 // 12

(二) 防治措施 // 13

课题报告

课题报告一 中国南方主要农产品产地污染综合防治战略研究

一、绪论 // 17

(一) 研究背景 // 17

(二) 区域特征 // 18

(三) 环境概况 // 19

(四) 主要内容 // 19

二、南方主要农产品产地大气环境质量 // 20

(一) 评价方法 // 20

(二) 大气污染总体情况 // 21

(三) 四川盆地大气环境质量 // 21

(四) 长江中下游地区大气环境质量 // 26

(五) 广西蔗糖产区大气环境质量 // 34

三、南方主要农产品产地水环境质量 // 35

(一) 评价方法 // 35

(二) 水环境质量概况 // 35

(三) 长江流域水环境质量 // 36



(四) 珠江流域水环境质量	//	40
(五) 淮河流域水环境质量	//	42
(六) 浙闽片河流水环境质量	//	44
(七) 湖泊(水库)水环境质量	//	46
四、南方主要农产品产地土壤环境质量	//	47
(一) 评价方法	//	47
(二) 土壤环境质量概况	//	48
(三) 四川盆地土壤环境质量	//	49
(四) 长江中下游地区土壤环境质量	//	55
(五) 广西蔗糖产区土壤环境质量	//	62
五、南方主要农产品产地环境污染源解析	//	65
(一) 自然因素影响	//	65
(二) 人类活动影响	//	66
六、南方主要农产品产地污染防治战略	//	87
(一) 农业环境面临的挑战	//	87
(二) 思路与对策	//	88
(三) 重点工程	//	91
七、典型案例研究	//	95
(一) 环境概述	//	96
(二) 农业布局	//	101
(三) 土壤重金属污染分析	//	103
(四) 农田重金属污染现状	//	110
(五) 环鄱阳湖区表层土壤污染特征元素分布	//	113
(六) 重金属综合污染评价	//	124
(七) 污染源状况	//	126
(八) 鄱阳湖平原环境质量问题及建议	//	131
编制依据	//	136

课题报告二 中国北方主要农产品产地污染综合防治战略研究

一、北方主要农产品产地环境质量 // 139

- (一) 北方主要农产品产地区划 // 139
- (二) 北方主要农产品产地土壤重金属环境质量 // 140
- (三) 流域水质、空气质量与土壤环境质量的相关性分析 // 155

二、北方主要农产品产地土壤污染风险等级区划 // 158

- (一) 土壤污染风险等级区划方法 // 158
- (二) 土壤重金属污染风险空间分布特征 // 159
- (三) 土壤污染风险预测方法与案例分析 // 161

三、北方主要农产品产地土壤环境面临的问题与挑战 // 170

- (一) 污染成因复杂，源头监管不足 // 170
- (二) 污染危害加剧，风险管控困难 // 173
- (三) 工程科技发展进程跟不上实际环境问题的需求 // 175
- (四) 污染边界与范围不清，环境详查迫在眉睫 // 177

四、北方主要农产品产地污染综合防治战略 // 178

- (一) 总体思路 // 178
- (二) 分区防治对策 // 178
- (三) 政策建议 // 183
- (四) 重大工程 // 190

五、北方主要农产品产地环境污染防治工程案例 // 193

- (一) 天津农产品产地某非正规垃圾填埋场污染综合治理案例 // 193
- (二) 天津农产品产地某纳污坑塘环境污染调查与风险评价 // 198

六、结语 // 202

参考文献 // 204



综合报告

一、主要农产品产地面临的问题

（一）土壤污染叠加趋势明显

2014年，我国耕地土壤点位超标率为19.4%，其中，轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为13.7%、2.8%、1.8%和1.1%。污染类型以无机型为主，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%。镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍8种无机污染物点位超标率分别为7.0%、1.6%、2.7%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、4.8%，六六六、滴滴涕、多环芳烃3类有机污染物点位超标率分别为0.5%、1.9%、1.4%。长江三角洲、珠江三角洲、辽河平原、海河平原等部分区域土壤污染问题较为突出，西南地区、中南地区土壤重金属超标范围较大；镉、汞、砷、铅4种无机污染物含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南逐渐升高的态势。

污染物种类呈现增加的趋势，多氯联苯、抗生素等新型污染物时有检出。污染来源多样，工矿企业生产排放、农业投入品不合理使用、农业生产模式与产业结构不合理、畜禽粪便和垃圾等农村固体废弃物资源化利用程度低是南方农产品产地环境污染的主要成因。此外，南方农产品产地处于我国酸雨污染区，农户散煤、秸秆焚烧等农村生活和农业生产方式对大气酸沉降影响显著；南方地区水网发达，流域内水体富营养化对灌溉水影响较大，长江中游地区湖泊和湿地生态退化严重，沿江化工行业环境风险隐患突出；农村畜禽养殖业对水体污染贡献大，面源流失评估困难，农产品产地环境胁迫明显。

2015年，酸雨区面积约72.9万km²，占国土面积的7.6%，比2010年下降5.1个百分点；其中，较重酸雨区和重酸雨区面积占国土面积的比例分别为1.2%和0.1%。酸雨污染主要分布在长江以南—云贵高原以东地区，包括江西大部、湖南中东部、重庆南部等，大幅提升了南方土壤重金属污染风险。

（二）重金属污染问题突出

以环境保护部、农业部相关数据为基础测算^①，四川盆地、长江中下游地区、广西

^① 单项重金属点位超标率采取单因子评价法，综合点位超标率采用内梅罗指数法计算。



蔗糖产区土壤重金属污染相对严重，综合点位超标率分别为34.3%、10.92%、79.49%。四川盆地主要污染物为Cd、Ni和Cu，长江中下游地区与广西蔗糖产区主要污染物为Cd和Ni，其中洞庭湖平原Cd点位超标率高达65.03%。三江平原、松嫩平原、淮北平原土壤重金属点位超标率相对较低，分别为1.35%、0.81%、0.62%；海河平原、辽河平原、黄泛平原点位超标率相对较高，分别为4.28%、3.70%、2.10%。三江平原、淮北平原土壤主要超标重金属为Cd、Hg、Ni，松嫩平原为As、Cd、Cr、Ni、Zn，海河平原As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 8种重金属均有不同程度超标，辽河平原、黄泛平原除Pb外其他7种重金属全部超标。

南方农产品产地主要分布于长江沿岸，产地环境涉及水、土、气等多因素、多介质交互作用，污染类型以重金属无机污染为主，从单一污染向复合污染转变，总体情况不容乐观，部分地区污染严重。土壤重金属Cd仍为主要环境问题，污染范围大，生态风险高，超标点位主要分布在四川盆地、洞庭湖平原、广西蔗糖产区。珠江三角洲与广西蔗糖产区重金属As污染问题突出，多环芳烃、邻苯二甲酸酯、石油烃等有机污染并存，复合污染严重。

北方主要农产品产地土壤重金属超标问题较为突出的区域主要位于辽河平原东部、南部以及海河平原京津冀交汇区。Cd超标点位集中分布在辽河平原的沈阳市和锦州市，海河平原的天津市，黄泛平原的济源市、新乡市、安阳市；Hg超标点位集中分布在海河平原的天津市、北京市；Cu超标点位集中分布在辽河平原的沈阳市、抚顺市，海河平原的赵县；As超标点位集中分布在海河平原的天津市。Cd尚清洁点位连片分布在辽河平原的沈阳市和锦州市、海河平原的天津市和北京市周边；Ni尚清洁点位分布在辽河平原的沈阳市、辽阳市、海城市、营口市，海河平原的涿州市、保定市、石家庄市、沙河市，淮北平原的洛阳市、舞阳县、信阳市，呈带状分布。海河平原天津市以南、赵县以东区域为土壤环境质量清洁区；黄泛平原北部和西南部为土壤环境质量清洁区；松嫩平原西南部为土壤环境质量清洁区；三江平原除富锦市、宝清县，其他区域均为土壤环境质量清洁区。

根据Hakanson潜在生态风险指数法测算，东北地区及黄淮海平原土壤重金属Hg和Cd污染风险问题突出，556个市县中，Hg高等污染风险的市县共计55个，其中黄泛平原19个、海河平原10个、辽河平原9个、松嫩平原9个、淮北平原7个、三江平原1个；Cd高等污染风险的市县共计14个，其中黄泛平原8个、海河平原2个、辽河平原

2个、松嫩平原的1个、淮北平原1个。Hg中等污染风险的市县共计163个，Cd中等污染风险的市县共计123个；Hg低等污染风险的市县共计338个，Cd低等污染风险的市县共计419个。黄淮海平原土壤重金属污染风险及点位超标率高于东北地区。南方农产品产地土壤重金属Cd污染风险问题相对集中，182个县市（区）中，高等污染风险的县市（区）共计29个，其中四川盆地15个、长江中下游地区8个、广西蔗糖产区6个；中等污染风险的县市（区）共计46个，其中四川盆地26个、长江中下游地区16个、广西蔗糖产区4个（表0-1）。

表0-1 农产品产地主产区Hg、Cd污染风险等级区划一览

单位：个，%

地区	黄泛平原	海河平原	辽河平原	松嫩平原	淮北平原	三江平原	四川盆地	长江中下游地区	广西蔗糖产区
	小麦	玉米和小麦	玉米	玉米	小麦和水稻	水稻和玉米	水稻	水稻	水稻和蔗糖
Hg	高风险县市（区）	19	10	9	9	7	1	—	—
	中风险县市（区）	50	57	17	25	26	8	—	—
	低风险县市（区）	58	43	4	11	5	12	—	—
	超标率	0.210	0.230	0.150	0	0.070	0.004	—	—
Cd	高风险县市（区）	8	2	2	1	1	0	15	8
	中风险县市（区）	53	16	6	19	27	2	26	16
	低风险县市（区）	66	92	22	25	10	19	24	65
	超标率	2.920	0.710	1.190	0.09	0.240	0.090	29.270	17.080
								67.020	

（三）污染源类型多样

我国农产品产地污染来源以工矿型（工矿点源污染）为主，城市型（生活源污染）、农村型（农业面源污染）为辅。各地区均存在多种污染源类型，工矿型主要分布在长江流域，江西赣江，广西刁江、环江，湖南湘江等支流，及湖南湘西、湖北大冶、江西德兴等周边地区，涉及黄淮海平原、东北平原、洞庭湖平原、鄱阳湖平原和广西蔗糖产区；城市型主要分布于人口密集、城镇化、集约化程度较高地区；而农村型污染源在各



地区均有体现，东北平原相对贡献率较高。从污染源迁移转化途径看，流域或区域内水体（含地下水）对农产品产地土壤污染贡献较大，大气沉降次之。各支流的污染直接导致流域内土壤污染，淮河、辽河、海河、湘江流域较为突出。

从重金属污染贡献率来看，污染源种类对不同重金属类别影响各异。黑色冶炼、火力发电、硫酸、颜料、电镀、电子等工业排放多种类别重金属，油漆、陶瓷和纺织工业排放Cd较多，橡胶、塑料和氯碱等工业排放Hg较多；农业投入品方面，每年肥料和农药对农田重金属的贡献可达2.23万t，其中Cu、Cr和Cd的贡献分别为7 741t、3 429t和113t，Cd主要来源于磷肥，Pb主要来源于氮肥；每年大气沉降对农田重金属的贡献达13.54万t，其中Zn（78 973t）、Pb（24 658t）贡献较大，Cd的贡献为493t。据统计，因固体废弃物堆存而被占用和毁损的农田面积已达600万亩^①，造成周边地区的污染农田面积超过5 000万亩，广西南丹矿区每年向刁江排放含As尾矿1 770t，自建矿以来，约排放800万~1 000万t，尾矿砂大量堆积于河道，直接导致流域范围内耕地土壤As严重超标。此外，高背景值是广西蔗糖产区点位超标率较高的成因之一，其中Cd（0.267mg/kg）是全国平均值的3.8倍。

此外，污染物种类呈现增加的趋势，多氯联苯、抗生素等新型污染物时有检出。污染来源多样，工矿企业生产排放、农业投入品不合理使用、农业生产模式与产业结构不合理、畜禽粪便和垃圾等农村固体废弃物资源化程度低，是南方农产品产地污染的主要成因。南方农产品产地处于我国酸雨污染区，农户散煤、秸秆焚烧等农村生活和农业生产方式对大气酸沉降影响显著；南方地区水网发达，流域内水体富营养化对灌溉水影响较大，长江中游、湖泊和湿地生态退化严重，沿江化工行业环境风险隐患突出；农村畜禽养殖业对水体污染贡献大，面源流失评估困难，农产品产地环境胁迫明显。

化工行业是导致东北地区及黄淮海平原农产品产地土壤重金属污染的最主要潜在污染源。金属冶炼加工业是三江平原的重要潜在污染源，其相对贡献率占比为29%；畜禽养殖业是松嫩平原、辽河平原、黄泛平原的重要潜在污染源，其相对贡献率占比分别为17%、17%、16%；煤炭产业是海河平原的重要潜在污染源，其相对贡献率占比为20%；金属冶炼加工业、畜禽养殖业是淮北平原的重要潜在污染源，其相对贡献率占比均为16%。

^① 亩为非法定计量单位，1亩=1/15hm²。下同。——编者注

应该指出,当前对农产品产地污染源调查与污染源迁移转化研究缺乏系统性和实效性,难以为国家农业决策提供准确参考。

二、总体思路 and 对策

(一) 发展理念

农产品产地环境关系到农产品质量安全、国家粮食安全和人民群众健康,农业生产是传统产业,也是战略产业,保障农产品产地环境安全对实现农业可持续发展具有重要意义。中国农业现代化的进一步发展必须适应经济发展新常态和供给侧结构性改革要求,认真贯彻落实党中央、国务院战略决策和部署,高举中国特色社会主义伟大旗帜,以马克思列宁主义、毛泽东思想、邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观为指导,深入贯彻习近平总书记系列重要讲话精神,按照“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局,牢固树立“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念,以推进“一带一路”倡议、京津冀协同发展、长江经济带建设三大战略为引领,立足我国国情和农情,以保障农产品质量和人居环境安全为出发点,综合考虑农产品产地环境要素,突出农产品产地环境保护重点,统筹兼顾、因地制宜、分类指导,强化科技创新机制和市场化运作模式,促使国家重大需求与可持续发展相协调,努力构建环境友好、资源节约、质量安全的现代农业发展体系,实现农产品产地环境质量总体改善的发展目标,保障国家粮食安全,为实现“两个一百年”奋斗目标、实现中华民族伟大复兴中国梦构筑坚实的资源基础。

(二) 总体思路

以“预防为主、保护优先、风险管控”为导向,推进环境保护与粮食安全协同发展。以“坚守基准红线,强化风险管控”为准则,协同部署“天地一体化”农产品产地污染监控预警体系。以“依托科技创新,强化源头管理”为抓手,全面阻断污染源进入农产品产地。以“预防为主、综合治理”为前提,针对不同区域特征,实施“一区一策”污染防治策略。

将国家分区战略与农产品产地环境整合联动,以长江经济带生态脆弱区、京津冀一