

团 体 标 准

T/ACEF ×××—××××

污染农用地低累积作物与修复植物轮作 技术指南

Technical guidelines for rotation of low-accumulation crops and remediation plants
in contaminated farmlands

(征求意见稿)

××××-×-×发布

××××-×-×实施



目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
4 总体原则与要求.....	2
5 资料收集与目标确定.....	3
6 技术选择与组合.....	4
7 技术实施与过程管理.....	5
8 安全利用与修复效果评估.....	5
9 修复植物后处置.....	6
附 录 A(资料性)低累积作物品种清单.....	7
附 录 B(资料性)修复植物清单.....	9
附 录 C(资料性)主要的低累积作物与修复植物轮作技术模式.....	13
附 录 D(资料性)典型土壤调理剂组成清单.....	14

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院南京土壤研究所提出。

本文件由中华环保联合会归口。



污染农用地低累积作物与修复植物轮作技术指南

1 范围

本文件规定了污染农用地低累积作物与修复植物轮作技术的总体原则与要求、工作程序、技术选择与组合、技术实施过程管理、安全利用与修复效果评估和修复植物后处置。

本文件适用于安全利用类污染农用地低累积作物与修复植物轮作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 2762 食品安全国家标准 食品中污染物限量
- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB 13078 饲料卫生标准
- GB 15618 土壤环境质量标准 农用地土壤污染风险管控标准
- GB 38400 肥料中有毒有害物质的限量要求
- NY/T 395 农田土壤环境质量监测技术规范
- NY/T 1868 肥料合理使用准则 有机肥料
- NY/T 2103 蔬菜抽样技术规范
- NY/T 2149 农产品产地安全质量适宜性评价技术规范
- NY/T 3343 耕地污染治理效果评价准则
- NY/T 3499 受污染耕地治理与修复导则
- NY/T 5344.2 无公害食品 产品抽样规范 第2部分：粮油

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

低累积作物 low-accumulation crops

可食部位吸收累积污染物含量明显低于食品安全标准或饲料卫生标准的作物品种。

3.2

修复植物 remediation plants

能够通过吸收、转移、挥发、转化、降解等方式去除土壤中重金属或有机污染物的植物。

3.3

轮作 crop rotation

在同一地块上有顺序地在季节间和年度间轮换种植不同作物或复种组合的种植方式，本文件主要利用低累积作物和修复植物进行轮作。

3.4

安全利用 safe utilization

针对污染农用地，通过源头控制、农艺调控、土壤改良、植物修复等措施，确保农产品污染物含量不高于 GB 2762 所规定的限值。

3.5

植物修复 phytoremediation

利用植物对土壤中重金属或有机污染物的吸收、转移、挥发、转化、降解等特性来修复污染土壤的技术，包含超富集植物或富集植物吸取重金属和植物根际降解有机污染物。

4 总体原则与要求

4.1 总体原则与基本原则

4.1.1 利用为主兼顾修复原则

针对污染农用地，在保证农业正常生产且农产品达标的同时，进行土壤修复，实现生产和修复的双目标。

4.1.2 生态适宜与适用性原则

4.1.2.1 轮作技术选择时，须考虑土壤类型、灌溉条件、气候条件以及专业技术水平、种植习惯、种植成本等因素；

4.1.2.2 选择适合目标地块种植的低累积作物和修复植物品种；

4.1.2.3 同时须保证修复植物不影响低累积作物正常生长，不造成生物入侵。

4.1.3 时序与空间优化原则

在轮作技术组合时，要考虑时间上（植物生育期、季节性）和空间上（地块分区与分类、垂直配置）都达到了最大化利用，提高土地利用与土壤修复效率。

4.1.4 安全与可持续性原则

4.1.4.1 轮作技术实施过程中，系统考虑各环节不产生二次污染；

4.1.4.2 根据 NY/T 2149 标准，综合评估农产品的安全性，对不达标农产品和修复植物进行安全处置；

4.1.4.3 轮作实施过程还须防止土壤质量退化，保持土壤生产功能，维护土壤健康，确保土壤资源可持续利用。

4.2 总体要求与基本要求

- 4.2.1 收集数据资料，明确污染特征，确定技术方案的整体目标；
- 4.2.2 技术初选及技术组合设计，明确技术方案；
- 4.2.3 按照技术方案进行技术实施与过程管理；
- 4.2.4 评估收获后农产品安全生产以及作物秸秆与修复植物资源化利用达标情况；
- 4.2.5 同时对土壤进行评估，判断其是否达到修复目标；
- 4.2.6 对评估后作物和修复植物进行相应的后续处理，并根据评估结果确定次年的种植方案。
- 4.3 工作程序

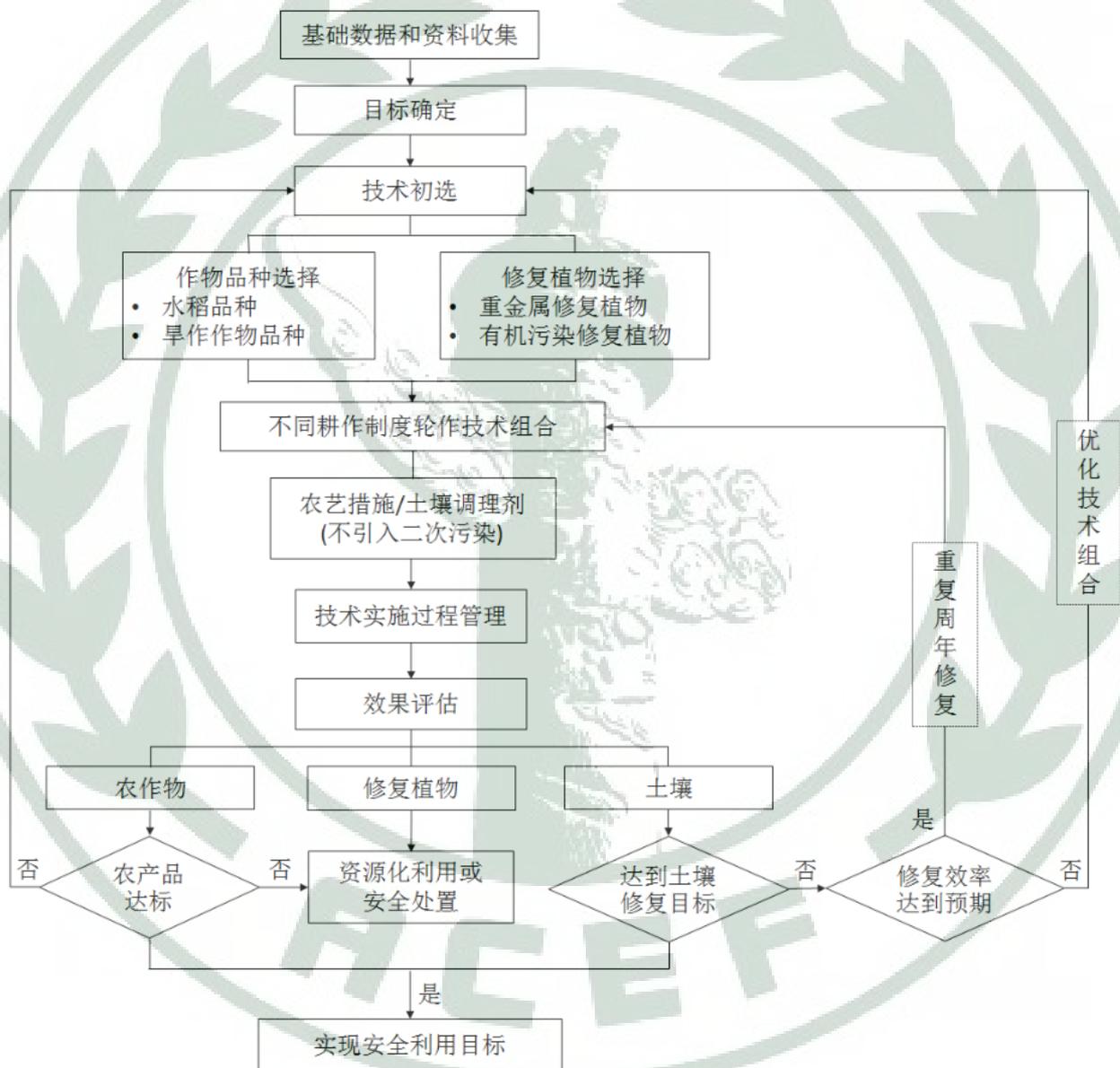


图1 低累积作物与修复植物轮作工作程序

5 资料收集与目标确定

5.1 资料收集与污染特征确认

5.1.1 收集目标地块的自然环境状况、土壤类型图、土地利用现状、农作物种植分布图等资料，明确目标地块适合种植的作物和修复植物类型；

5.1.2 收集目标地块的土壤污染物活性和形态分布特征，以及农产品污染状况调查数据等，明确目标地块的污染程度；

5.1.3 若收集的数据不足以判断目标地块土壤污染程度和农产品超标程度时，需按照 NY/T 395 进行调查采样分析。

5.2 目标确定

5.2.1 总体目标是轮作技术实施与过程管理不引人二次污染，在保证农业正常生产且农产品达标的同时，进行土壤修复，实现生产和修复的双目标。

5.2.2 轮作技术实施最终目标为农产品达到国家食品安全标准（GB 2762）；

5.2.3 同时土壤修复后达到农用地优先保护类要求（GB 15618）。

6 技术选择与组合

6.1 基本要求

6.1.1 按照 NY/T 3499 要求，基于污染物周年减量移除的修复理念，保留原有耕作制度下的一季农作物，将另一季农作物替换为修复植物，通过低累积作物和修复植物轮作，实现边生产边修复；

6.1.2 若为最大化保证土地生产，可将修复植物与相同种植期的低累积作物采用间套作方式进行种植，但间套作时须考虑种间竞争、植物类型、空间配置和合理种植密度等；

6.1.3 在选择低累积作物与修复植物时，须充分考虑农产品安全性、经济性和农民可接受性以及修复植物的后续安全处置。

6.2 技术初选

6.2.1 低累积作物选择

兼顾当地耕作制度、种植习惯、产量等因素，选用对重金属低累积且遗传性状稳定的作物品种。低累积作物品种可参考附录 A。

6.2.2 修复植物选择

6.2.2.1 充分考虑当地气候条件和修复植物生长条件，选用适用于目标地块的修复植物；

6.2.2.2 若同时存在两种污染物，应选用同时对两种污染物有修复效果的修复植物或采用两种修复植物进行间套作。修复植物选择可参考附录 B。

6.3 不同耕作制度下低累积作物和修复植物选择与组合

6.3.1 一年两熟制

6.3.1.1 旱旱轮作模式下，优先保留当地的主栽作物，在主栽作物收获后，种植修复植物；若主栽作物收获后温度过高，影响修复植物种植，可在作物收获前，将修复植物与作物进行套作。

6.3.1.2 水旱轮作模式下，优先保留水稻种植，在水稻收割后，选择修复植物进行轮作。

6.3.1.3 几种主要的低累积作物与修复植物轮作技术模式可参考附录 C。

6.3.2 一年三熟制

6.3.2.1 旱旱轮作模式下，一年种植三茬作物，保留其中两茬作物，在另一茬作物的生长期种植适宜的修复植物。

6.3.2.2 水旱轮作模式下，一年种植两茬水稻，在第二茬水稻收获后种植适合当地的修复植物。

6.3.4 两年三熟制

主要为旱地轮作模式，两年种植三茬作物，保留其中两茬作物，在另一茬作物的生长期种植适宜的修复植物。

7 技术实施与过程管理

7.1 旱旱轮作

7.1.1 种植作物前期，对 $\text{pH}<6.5$ 的农用地施加调理剂（调理剂选择可参考附录 D），将土壤调至 6.5 及以上；

7.1.2 在种植修复植物前，对 $\text{pH}>7.0$ 的农用地，翻耕土壤时配合施加土壤活化调理剂；

7.1.3 根据作物和修复植物需求施加底肥，肥料须符合 GB 38400 标准；

7.1.4 设置合理的种植密度，先进行土地整理，包括翻耕、开沟、设置合理的畦面宽度、行间距等，并选用合适的栽培技术进行种植。

7.1.5 生长过程中注意田间管理，包括水分管理、养分管理、除草及病虫害防控。

7.2 水旱轮作

7.2.1 对 $\text{pH}<6.5$ 的污染农用地，水稻种植前须施加土壤调理剂，将土壤 pH 调至 6.5 及以上，同时施加底肥、翻耕土壤。

7.2.2 对仅种植低累积作物不能安全利用的农用地，水稻种植前还须施加土壤钝化剂，降低污染物生物有效性。

7.2.3 水稻种植过程中注意水分管理，尤其在淹水灌溉期间，应加强灌溉水质监测，确保灌溉水中污染物含量达到农田灌溉水质标准 GB 5084 的要求。

7.2.4 水稻种植过程中，在日常巡查时应加强病虫害防控与除草。

7.2.5 水稻收获后，根据不同修复植物种植要求进行种植，具体实施与过程管理要求同 7.1 所述。

7.2.6 若选用两种以上同一生长期的修复植物种植，则应采用间套作方式进行，生长过程中注意田间管理。

8 安全利用与修复效果评估

8.1 农产品质量安全评估

8.1.1 每季作物收获后，农产品进行抽样调查，抽样方法参照 NY/T 2103 和 NY/T 5344.2；

8.1.2 对比 GB 2762 进行农产品质量安全评估，未超标即表示安全利用达标；

8.1.3 未达到安全利用标准的，在次年须重新选择低累积作物品种。

8.2 土壤修复效果评估

8.2.1 修复植物收割后，进行采样评估土壤修复效果，采样监测方法按照 NY/T 395 进行；

T/ACEF ×××—××××

8.2.2 评估标准参照 GB 15618 优先保护类农用地，也可根据 NY/T 2149 和 NY/T 3343 规定的评估方法进行系统评估；

8.2.3 未达到土壤修复目标的，若植物修复效率达到预期修复目标值，则次年按照原方案重复周年修复；

8.2.4 若植物修复效率未达到预期修复目标值，则次年须重新选择修复植物进行轮作。

9 修复植物后处置

9.1 经评估，超过食品安全标准的作物、作物秸秆和修复植物应优先综合利用；

9.2 若作为饲料使用的须符合 GB 13078 标准；

9.3 若作为绿肥还田，翻耕进入土壤须符合 NY/T 1868 标准；

9.4 作物秸秆和修复植物若超过上述标准，须进行回收处理，刈割晒干后，作为制作生物质炭、生态板材等原料或直接作为固废进行处置。



附 录 A
(资料性)
低累积作物品种清单

低累积作物清单见表 A.1

表 A.1 低累积作物品种清单

元素	作物类别	具体品种
Cd	水稻	早稻：粤杂 889、甬优 1540（桂南）、成优 1479
		中稻：沪优 9803、F 优 498、扬育粳 3 号、镇稻 99、粤粘丝苗、隆两优 534、Y 两优 1 号、袁两优 908、渝香 203
		晚稻：秀水 14、武运粳 23 号、武运粳 30 号、武运粳 31 号、南粳 46、南粳 47、南粳 5055、常农粳 8 号、澄糯 218、苏香粳 100、苏粳 9 号、甬优 538、浙两优 274、甬优 1540（浙江）
	小麦	宁麦 11、周麦 26、周麦 30、皖麦 50、烟农 19、西农 979、郑麦 129、保麦 2 号、百农 207、保麦 5 号、荔高 6 号、新麦 288、衡 4399、衡观 35、良星 99、运早 21-30、荷麦 17、烟农 0428、烟农 999、泰山 22 号、中育 10 号、鄂麦 596、临麦 6 号、小堰 15、长 134、北 1、北 4
	玉米	新单 58、美加 303、京农科 828、苏玉 29、德单 123、MC121、奥玉 503、泛玉 298、农大 372、金秋 119、先达 601、巡天 1102、京农科 728、禾茂 808、金玉 1233、怀玉 23、裕丰 303、德力 666、德单 5 号、嘉禧 100、棒博士 76、中科玉 505、邵单 8 号、隆平 206、鑫玉 35、鑫玉 37、丰度 191、豫单 9953、皖玉 708、华玉 8 号、广紫糯 6 号、天玉糯 22、珠玉糯 1 号、路单 12 号、足玉 7 号、华兴单 88 号、扎单 202、正大 999、仲糯 1 号、云瑞 8 号、新石玉 8 号、西单 7 号、灵丹 20、正丹 958
	油菜	浙大 630、沔油 737、油研 57
	油葵	S777、S606、矮大头 1280、JSL606
	甘薯	苏薯 16、QS816、湘 20、湘 108、广薯 87、金山 57、普薯 32、福薯 18、台农 71、绵 12-22-3、绵 12-18-1、徐渝 34、商薯 19、徐薯 22
蔬菜	芹菜：四季小香芹、荷兰红芹、津南实芹王	
	土豆：D47、D157、根 1 苦瓜：长绿二号、碧丰二号、长绿、金绿、丰绿、翠绿三号、碧绿三号、夏玉油绿 荷兰豆：饶平红花大荚、604 甜脆、韩育美味 番茄：千禧、金宝 蚕豆：湘蚕鲜 1 号	
Hg	水稻	早稻：福优 012、奇优 915
		中稻：宁粳 8 号、晶两优华占、隆两优黄莉占、奇优 801、汕优联合 2 号、瑞优 399、川谷优 204、I 优 4761、黔优联合 9 号、中优 838
		晚稻：武运粳 23 号、武运粳 31 号、南粳 46、南粳 5055、常优 4 号、苏香粳 100、宁粳 1 号、宁粳 8 号

元素	作物类别	具体品种
	小麦	农大 3163、藁城 8901、保麦 2 号、百农 207、保麦 5 号、荔高 6 号、新麦 288
	油菜	西南油霸、宁杂 11 号、福油 508
	蔬菜	番茄：红宝石二号、齐达利、美国红宝石、罗拉、中杂 9 号、金圆宝 106、金圆宝 1106、奥特 208 土豆：荷兰 15 号、黄心洋芋 88 号 丝瓜：一品香玉、早翠香、早佳 花菜：苔松 65 天、白美人花菜 100 天、银峰 100 天 白萝卜：白如玉、雪冠、新特白玉
As	水稻	早稻：优优 128
		中稻：Y 两优 1998、湘两优 900、连粳 11 号、隆两优 534、Y 两优 1 号、袁两优 908、渝香 203
		晚稻：丰优 9 号、T 优 272、优优 128、T 优 118、甬优 17、甬优 538
	小麦	保麦 2 号、百农 207、保麦 5 号、荔高 6 号、新麦 288
	玉米	路单 12 号、足玉 7 号、华兴单 88 号、扎单 202、珠玉糯 1 号、正大 999、仲糯 1 号
蔬菜	土豆：荷兰 15 号 苦瓜：长绿二号、碧丰二号、长绿、金绿、丰绿、翠绿三号、碧绿三号、夏玉油绿 荷兰豆：饶平红花大荚、604 甜脆、韩育美味 番茄：千禧、金宝	
Pb	水稻	早稻：两优 1 号
		中稻：全优 3301、宜香 2292、隆两优 534、Y 两优 1 号、袁两优 908、渝香 203、中浙优 1 号
		晚稻：天优 673、宁粳 1 号
	小麦	小偃 22、保麦 2 号、百农 207、保麦 5 号、荔高 6 号、新麦 288
	玉米	路单 12 号、足玉 7 号、华兴单 88 号、扎单 202、珠玉糯 1 号、正大 999、仲糯 1 号、云端 8 号、新石玉 8 号、西单 7 号、灵丹 20、正丹 958
蔬菜	土豆：D47、D157、根 1 苦瓜：长绿二号、碧丰二号、长绿、金绿、丰绿、翠绿三号、碧绿三号、夏玉油绿 荷兰豆：饶平红花大荚、604 甜脆、韩育美味 番茄：千禧、金宝	
Cr	水稻	早稻：甬优 1540（桂南）
		中稻：隆晶优 534、恒丰优粤合丝苗、荃优 822
		晚稻：南粳 46、广 8 优粤禾丝苗、甬优 12、甬优 1540（浙江）、甬优 2640
	小麦	山农 17、镇麦 9 号
	玉米	强盛 101、强盛 51、平安 18、先玉 335、福盛园 52
甘薯	广薯 87、普薯 32、金山 57、苏薯 16	

注：表中数据来源于已公开发表论文、农业部门推广建议以及国内相关标准。鉴于作物品种更新换代快，选择时建议选用最新推出的低累积作物品种。

附录 B
(资料性)
修复植物清单

修复植物清单见表 B.1

表 B.1 修复植物清单

污染物种类	修复植物名称	科	类型	生长条件	种植时间	种植方式	适宜种植地区
Cd	伴矿景天 <i>Sedum plumbizincicola</i>	景天科 Crassulaceae	肉质草本 Succulent herb	喜日光充足、温暖、干燥通风环境，忌水湿，对土壤要求不严格。性较耐寒、耐旱，对阳光的要求比较高，不耐阴	秋季	扦插种植，种植前先翻耕起畦，视地势和排水情况开沟。收割后集中转移至苗床育苗，夏季注意遮荫和灌溉，冬季注意防冻	中国华南、西南、长江中下游地区可种植
	东南景天 <i>Sedum alfredii Hance</i>	景天科 Crassulaceae	肉质草本 Succulent herb	喜干燥、通风良好的环境，选地应选地势高、排水良好的壤土	秋季	扦插种植，种植前先翻耕起畦，视地势和排水情况开沟。收割后集中转移至苗床育苗，越冬期间注意保温，盛夏期间避免强光照射和减少水分蒸发	中国华南、西南、长江中下游地区可种植
	藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	菊科 Asteraceae	草本 Herb	喜温暖，阳光充足的环境，对土壤要求不严，不耐寒，在酷热下生长不良	春、夏、秋均可	播种：春播 扦插：除冬天低温外，其他生长季节均可进行，易成活	广东、广西、云南、贵州、四川、江西、福建、浙江、河北可种植
	鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	菊科 Asteraceae	草本 Herb	喜长于温暖湿润气候区，以疏松肥沃、富含腐殖质的砂质壤土及粘壤土为宜	春播 3-4 月	穴播	中国华东、华中、华南、西南各省区

T/ACEF ×××—××××

污染物种类	修复植物名称	科	类型	生长条件	种植时间	种植方式	适宜种植地区
	龙葵 <i>Solanum nigrum</i> L.	茄科 <i>Solanaceae</i>	草本 Herb	喜光，也耐阴，但不能长期在缺少光照的地方，对土壤要求不严，但最好是以沙壤土为主，适宜的土壤 pH 值为 5.5-6.5	一年四季都能行，播种法最好春播	由插根和播种两种方式，插根法更易操作，播种法选用野生种做种，植株生长势好	中国大部分地区均可种植
Hg	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	豆科 Legume	草本 Herb	喜光，对土壤要求不高，喜弱酸性土壤不耐盐碱，pH 值 6~6.5 时，对根瘤形成有利。能适应短暂的极端气温，不耐干旱和长期积水	春秋播均可	播种前，应整地、开沟作畦以利排水。和根瘤菌拌种后播种，春、秋均可播种	中国大部分地区均可种植
	蜈蚣草 <i>Pteris vittata</i>	凤尾蕨科 Pteridaceae	草本 Herb	喜温暖湿润和半阴环境，生长适温 3-9 月为 16-24℃，高温时要避免过于干燥。该种从不生长在酸性土壤上，为钙质土及石灰岩的指示植物，其生长地土壤的 pH 为 7.0-8.0	一年四季都能行，5-6 月最好	繁殖：分株繁殖、孢子繁殖、组培繁殖，其中分株法繁殖比较快	秦岭南坡以南地区均可种植
	芒草 <i>Miscanthus sinensis</i>	禾本科 Poaceae	草本 Herb	喜欢阳光，和水分充足的环境，但不能淹水。最佳生长温度为 20℃	春、秋播均可	播种前要提前进行土壤松土，以保证在生长过程中土壤有透气性	中国大部分地区均可种植
As	蜈蚣草 <i>Pteris vittata</i>	凤尾蕨科 Pteridaceae	蕨类 Fern	喜温暖湿润和半阴环境，生长适温 3-9 月为 16-24℃，高温时要避免过于干燥。该种从不生长在酸性土壤上，为钙质土及石灰岩的指示植物，其生长地土壤的 pH 为 7.0-8.0	一年四季都能行，5-6 月最好	繁殖：分株繁殖、孢子繁殖、组培繁殖，其中分株法繁殖比较快	秦岭南坡以南地区均可种植

污染物种类	修复植物名称	科	类型	生长条件	种植时间	种植方式	适宜种植地区
Pb	金丝草 <i>Pogonatherum crinitum</i>	禾本科 Poaceae	草本 Herb	喜温暖湿润气候，对土壤要求不严，不喜欢阳光直射	10月至翌年3月	分株繁殖，将老株挖起，分成数小丛，每丛有苗5-6根，按行株距20公分15公分开窝，每窝栽1丛，盖土，压紧	华东、华中、华南、西南均可种植
PAHs	黄羽扇豆 <i>Lupinus luteus</i>	豆科 Legume	草本 Herb	喜温暖耐寒作物，在温带和寒温带，通风良好的开旷地上，对水分条件有良好的适应性，适于贫瘠土地作绿肥用	春、秋播均可，中国南方春播在3月上中旬，北方在4月中下旬，秋播在9月中下旬	播前必须用黄羽扇豆的根瘤菌剂或菌土拌种。种子需经碾磨处理，破坏种皮后方可播种，条播，覆土不宜过深，播后及时镇压	东北和华北均可种植
	红车轴草 <i>Trifolium pratense</i>	豆科 Legume	草本 Herb	喜凉爽湿润气候，气温过高难以越夏，气温过低则难以越冬。耐湿性良好，耐旱能力差。在pH值6~7、排水良好、土质肥沃的黏壤土中生长最佳	春、秋播均可，在高寒日暖山区以春播为好，其余地区秋播最好	种子繁殖，播种时，种子与细沙以1:5的比例混合撒播，覆土厚度2~3cm，踩实保墒	中国大部分地区均可种植
	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	豆科 Legume	草本 Herb	喜光，对土壤要求不高，喜弱酸性土壤不耐盐碱，pH值6~6.5时，对根瘤形成有利。能适应短暂的极端气温，不耐干旱和长期积水	春、秋播均可	播种前，应整地、开沟作畦以利排水。和根瘤菌拌种后播种，春、秋均可播种	中国大部分地区均可种植

污染物种类	修复植物名称	科	类型	生长条件	种植时间	种植方式	适宜种植地区
	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科 Legume	草本 Herb	耐寒、耐旱，耐盐碱，对土壤要求不严，但土层深厚疏松，排灌方便，pH值6.5-7.5的中性或微碱性土壤环境下生长最好	春、夏、秋均可，寒带以春播最好，其余地区秋播最好	选择适宜当地栽种的品种，方便排水的地块，播种前需进行翻地	中国大部分地区均可种植
PCBs	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科 Legume	草本 Herb	耐寒、耐旱，耐盐碱，对土壤要求不严，但土层深厚疏松，排灌方便，pH值6.5-7.5的中性或微碱性土壤环境下生长最好	春、夏、秋均可播种，寒带以春播最好，其余地区秋播最好	选择适宜当地栽种的品种，方便排水的地块，播种前需进行翻地	中国大部分地区均可种植
	紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	豆科 Legume	草本 Herb	喜温暖、湿润的气候，对土壤要求不严，在疏松、肥沃湿润的壤质土上生长较好，适宜生长的土壤pH值是5.5-7.5	春、秋两季最好，夏季气温不超过30℃	在播种前要将种子晾晒4个小时左右，再擦掉种子表面的蜡质，这样有利于促进种子吸水发芽。可以采用撒播或条播	中国大部分地区均可种植
有机氯农药	紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	豆科 Legume	草本 Herb	耐寒、耐旱，耐盐碱，对土壤要求不严，但土层深厚疏松，排灌方便，pH值6.5-7.5的中性或微碱性土壤环境下生长最好	春、夏、秋均可播种，寒带以春播最好，其余地区秋播最好	选择适宜当地栽种的品种，方便排水的地块，播种前需进行翻地	中国大部分地区均可种植

附 录 C
(资料性)
主要的低累积作物与修复植物轮作技术模式

主要的低累积作物与修复植物轮作技术模式见表 C.1

表 C.1 主要的低累积作物与修复植物轮作技术模式

耕作制度	地区	种植方式	主要种植作物	修复植物选择	轮作模式
一年两熟	长江中下游地区	旱作	小麦/油菜-玉米	适合当地种植的春播耐高温植物，如：蜈蚣草、藿香蓟、鬼针草、白车轴草、芒草、紫花苜蓿、紫云英	低累积小麦/油菜-修复植物
				适合当地种植的秋播植物，如：蜈蚣草、伴矿景天、藿香蓟、白车轴草、芒草、金丝草、黄羽扇豆、红车轴草、紫花苜蓿、紫云英	修复植物-低累积玉米
		水田	水稻-油菜/小麦	适合当地种植的秋播植物，如：蜈蚣草、伴矿景天、藿香蓟、白车轴草、芒草、金丝草、黄羽扇豆、红车轴草、紫花苜蓿、紫云英	低累积水稻-修复植物
一年三熟	长江以南地区	旱作	小麦-玉米-红薯	适合当地种植的夏播植物，如：蜈蚣草、伴矿景天、藿香蓟、鬼针草、白车轴草、紫花苜蓿、紫云英	低累积小麦-低累积玉米-修复植物
		水田	水稻-水稻-小麦/油菜	适合当地种植的秋播植物，如：蜈蚣草、伴矿景天、藿香蓟、白车轴草、芒草、金丝草、黄羽扇豆、红车轴草、紫花苜蓿、紫云英	低累积水稻-低累积水稻-修复植物
	华南地区	水田	水稻-水稻-油菜/甘薯/蔬菜	适合当地种植的秋播植物，如：蜈蚣草、伴矿景天、藿香蓟、白车轴草、芒草、金丝草、黄羽扇豆、红车轴草、紫花苜蓿、紫云英	低累积水稻-低累积水稻-修复植物
两年三熟	华北平原地区	旱作	小麦-玉米-棉花	适合当地种植的春播植物，如：藿香蓟、鬼针草、白车轴草、芒草、黄羽扇豆、红车轴草、紫花苜蓿、紫云英	低累积小麦-低累积玉米-修复植物

附录 D

(资料性)

典型土壤调理剂组成清单

典型土壤调理剂组成清单见表 D.1

表 D.1 典型土壤调理剂组成清单

调理剂类型	组成类别	主要组成	作用原理及效果
酸性土壤改良剂	强碱弱酸盐	碳酸钙、碳酸镁、石灰石、白云石等	当土壤 pH 达到 5.8 时,调节效果将不明显,但其调节进程不会造成土壤微生物的损伤,也不会引起板结,同时所能提供的养分较多
	碱性物质	生石灰、消石灰、硅酸钙、硅酸镁、生物质炭等	化学性质为碱性,通过中和反应,提高土壤 pH 值
钝化剂	石灰类物质	石灰、石灰石、碳酸钙镁等	作用原理为酸化改良, pH 提高后重金属活性降低
	粘土矿物	海泡石、蒙脱石、膨润土、硅藻土、高岭土等	主要通过吸附、配位和共沉淀反应等,减少土壤中重金属离子的浓度和活性
	含磷材料	钙镁磷肥、羟基磷灰石、磷矿粉、磷酸盐等	增大土壤表面积,形成沉淀实现对金属离子的固定
	含硅材料	硅酸钠、硅酸钙等	硅可以缓解重金属元素对植物的伤害,提高土壤 pH,降低重金属活性,减少植物对重金属的吸附和转移
	金属及金属氧化物	氧化铁、硫酸亚铁、硫酸铁等	通过专性吸附、非专性吸附、共沉淀以及在内部形成配合物等途径实现对土壤重金属的钝化固定
	有机物料	畜禽粪便、腐殖质、泥炭、有机堆肥等	通过增加土壤阳离子交换量和对离子的吸附能力,以及形成难溶性金属有机络合物等方式来降低土壤重金属的生物可利用性
	生物质炭材料	秸秆碳、果壳碳等	通过表面吸附、表面含氧官能团的络合作用,以及形成碳酸盐、磷酸盐沉淀等形式实现对重金属离子的固定
活化剂	人工螯合剂	Na ₂ EDTA、EDTA、EDDS 等	活化效果较强,而且能够在 pH 较低或者 pH 较高的情况下都能很好的发挥对重金属的螯合作用
	天然螯合剂/小分子量有机酸	柠檬酸、草酸、酒石酸、乙酸等	通过与重金属离子络合形成络合物或者是吸附于土壤表面后通过官能团与重金属进行络合
	腐殖酸	富里酸、胡敏酸等	腐殖酸能降低土壤 pH,同时腐殖酸分解生成的羟基自由基在水中也能降解有机污染物