2.农业面源污染综合治理技术路径

一、技术概述

**（一）技术基本情况**

治理农业面源污染是发展绿色农业和实施乡村振兴战略的内在要求，是当前生态环境保护工作的突出难点。陕西省是黄河流域生态保护和丹江口重点省份之一，秸秆综合利用单一、地膜回收难度大、受污染耕地安全利用综合技术模式缺乏等成为制约农业面源污染治理的难点和短板。本技术重点针对以上问题，围绕农业生产、粮食安全及人体健康等国家战略需求，通过在陕北、渭北、陕南等地区开展调研和试点示范，探究以关中地区为重点的秸秆综合利用技术路径，地膜科学使用回收技术线路和以关中陕南地区小麦-玉米、油菜等作物为主的中轻度受污染耕地安全利用技术模式，促进农业废弃物资源化利，较好地解决了中轻度受污染耕地安全利用的问题。

**（二）技术试验推广情况**

2018-2023年分别在关中七市，渭北陕北等10市67个县区区域和秦岭南北两麓开展了秸秆“五化”利用、地膜回收使用试点示范和多轮中轻度重金属污染农田安全利用技术试验示范，形成了以关中地区小麦、玉米秸秆为主的秸秆“肥料化、饲料化、燃料化、原料化、基料化为主”五化利用模式，总结筛选出地膜科学使用4个可操作运行模式，包括互联网回收监管运行模式、“以奖代补”运行模式、第三方企业闭环管理运行模式及回收利用系统环节补贴运行模式，初步建立源头减量，科学覆膜、田间捡拾、回收利用技术线路。种植筛出秦岭南北两麓选多种重金属低积累的小麦、水稻、玉米品种，结合深翻耕、叶面阻隔和土壤重金属钝化调控技术，总结形成陕西省关中地区小麦-玉米轮作和陕南地区水稻-油菜轮作区、玉米单作等中轻度受污染耕地安全利用技术导则。

**（三）技术提质增效情况**

1.秸秆综合利用水平不断提升，通过“五化”利用技术推广，关中地区秸秆综合利用率连续三年稳定在93%以上。

2.农膜回收水平不断提升，2021年全省农膜使用量约9.04万吨，回收量为7.52万吨，回收率为83.2%，2022年全省农膜使用量约9.41万吨，回收量为8.03万吨，回收率为85.66%.加厚高强度地膜和全生物降解地膜已在玉米、马铃薯、设施蔬菜等作物上得到推广，累计推广面积100万亩左右。同时，通过品种移栽、机械打孔等手段集中解决作物破膜生长关键技术，逐步被农民群众接受并得到推广应用。

3.集成的以低积累作物筛选、调理剂应用、叶面阻隔剂筛选、农艺措施优化为核心的农田重金属综合调控技术体系，将其应用于中轻度Cd污染为主的耕地土壤，可使土壤Cd有效态降低5-10%，土壤pH值上升0.205-0.375个单位，阳离子交换量增幅11-27%，土壤有机质增幅18-32%，农作物籽粒中Cd含量降幅26-36%，农作物产量增加28-35%，在实现中轻度Cd污染农田土壤提质增效、安全利用的同时提升农作物产量，有效保障陕西省农产品质量安全。

**（四）技术获奖情况**

无。

二、技术要点

**（一）关中地区秸秆综合利用有效路径**

**1.秸秆肥料化利用**

1.1 秸秆直接还田

1.1.1 秸秆机械混埋还田

（1）技术概述。秋季玉米收获后，用切碎机械将摘穗后的秸秆就地粉碎，均匀地抛撒在地表，随即采用旋耕设备耕翻入土，使秸秆与表层土壤充分混匀，并在土壤中分解腐烂，以达到改善土壤结构、增加有机质含量、促进农作物持续增产等效果。

（2）技术要点。采用安装有秸秆切碎装置的联合收割机，在进行收获作业的同时，同步进行秸秆切碎和抛撒，要求秸秆粉碎长度小于8cm。秸秆灭茬时，采用大、中型旋耕机械进行整地作业，旋耕深度>12cm。为使秸秆与肥、土混拌均匀，采用反转灭茬机作业一遍效果较好，或正转灭茬机旋耕两次。每亩还田500kg秸秆时，应补施4.5kg纯氮和 1.5 kg纯磷，以促进秸秆腐烂分解。

1.1.2 秸秆机械翻埋还田

（1）技术概述。用秸秆粉碎机将摘穗后的农作物秸秆就地粉碎，均匀抛撒在地表，随即翻耕入土，使之腐烂分解，有利于把秸秆的营养物质完全地保留在土壤里，增加土壤有机质含量、培肥地力、改良土壤结构并减少病虫危害。

（2）技术要点。选择适宜不同土壤类型的耕整机械，并配套大马力拖拉机，翻压大于20cm，采用翻耕结合旋耕耙平一遍，打碎根茬并实现秸秆与肥料、土壤混合，有利于下茬作物的播种出苗及生长发育。尽量趁秸秆青枝绿叶时及时翻入田间，并配施一定量的肥料，提高秸秆腐解速度。

1.1.3 秸秆少免耕覆盖还田

（1）技术概述。在免耕、秸秆地表覆盖情况下，进行农作物直播或移栽，包括条带式秸秆覆盖还田、秸秆全覆盖还田、根茬覆盖还田、整秆秸秆垄沟覆盖还田。保护性耕作要求秸秆覆盖率不低于30%，但70%以上秸秆覆盖率才能更好地发挥保护性耕作的效益。对干旱半干旱地区农田保墒、降低水分蒸发和风蚀水蚀风险作用明显，机械作业较为简单，节本降耗显著，抑制杂草生长。

（2）技术要点。一是为保证良好的秸秆覆盖效果及减少播种时的堵塞现象，一般进行一次秸秆粉碎作业。二是为避免长期少（免）耕有可能引起的底层土壤板结问题，常年秸秆免耕覆盖还田要定期与土壤深松相结合。三是少（免）最好一次性完成开沟、播种、施肥、镇压等复式作业。四是将秸秆犁耕翻埋还田与免耕覆盖还田相结合，实行“一翻两免”模式（1年深翻、2年免耕）。

1.2 秸秆肥料还田

1.2.1 秸秆腐熟还田

（1）技术概述。通过接种外源有机物料腐解微生物菌剂（简称为腐熟剂），快速降解秸秆木质纤维物质，最终在适宜条件下，将秸秆分解矿化成为简单的有机质、腐殖质以及矿物养分。包括：在秸秆还田时直接接种有机物料腐解微生物菌剂，促进还田秸秆快速腐解和将秸秆堆积或堆沤在田头路旁；接种有机物料腐解微生物菌剂，待秸秆基本腐熟（腐烂）后再还田。

（2）技术要点。采用含有效微生物菌种两种或两种以上复合常温菌剂为宜。用于田头路旁堆腐所用的菌种，应采用尿素等氮肥调节C/N；对于麦油秸秆全量还田时，在原来施肥量基础上，应额外增加3-5kg/亩尿素，或将后期施氮量前移。

1.3.1 秸秆生产有机肥（1）技术概述。利用腐熟剂中菌种制剂和各种酶类在秸秆65％持水量、温度50℃-70℃条件下，将固体有机质降解为植物易于吸收的小分子物质。通过创造微生物正常繁殖的良好环境条件，促进微生物代谢进程，加速有机物料分解，放出并聚集热量，提高物料温度，杀灭病原菌和寄生虫卵，获得优质的有机肥料。

（2）技术要点。秸秆生产有机肥首先需要将秸秆粉碎为1cm左右的颗粒，再将粉碎好的秸秆和畜禽粪便等其他物料，按照25-30：1的碳氮比和60%的含水率进行调配。快速堆肥化方式生产有机肥时，物料大致经历升温、高温和降温3个阶段。升温阶段大致2-3天左右；高温阶段一般1周左右，陈化（降温）过程约4-5周。有机肥造粒前，对物料需进行粉碎、筛分、干燥处理，经过造粒、整形、抛圆后，需经烘干、冷却除尘、筛分等生产工序，方可包装入库贮存。

1.4.1 秸秆生产炭基肥

（1）技术概述。通过热解工艺将秸秆转化为富含稳定有机质的生物炭（俗称秸秆炭），然后将生物炭与化肥、有机肥等按照一定的比例混合造粒，制成复合炭基肥，或进一步配混成炭基微生物肥，用以改善土壤结构及理化性状。生物炭碳含量极其丰富，不仅能提高土壤有机质，而且能缓释营养，提高肥效，固碳效果显著。

（2）技术要点。秸秆炭基肥生产和应用，一是生物炭不宜施用于碱性太高的土壤，pH值接近或超过8的土壤应严禁施用。二是生物炭不宜直接表施，应与整地相结合，将其混合在土壤中。三是生物炭与适量化肥或有机肥配合施用。

**2.秸秆饲料化利用**

2.1 秸秆青贮

（1）技术概述。在适宜的条件下，通过乳酸菌等提供有利的环境，使嗜氧性微生物在存留氧气耗尽后，活动减弱或停止，从而达到抑制和杀死多种微生物、保存饲料的目的。在青贮饲料中微生物发酵产生有用的代谢物，使青贮饲料带有芳香、酸、甜等的味道，能大大提高食草牲畜的适口性。

（2）技术要点。秸秆青贮需选择可溶性糖分含量为其鲜重1%的秸秆（玉米、高粱、甘薯等）。青贮原料含水量为65%-75%，以保证乳酸菌正常活动。青贮原料应粉碎或切碎，玉米秸、甜高粱秆等比较粗硬的秸秆粉碎成1cm左右，小麦等比较柔软的秸秆切碎成3-4cm左右。

2.1.2 秸秆碱化/氨化

（1）技术概述。通过碱化处理可使秸秆中的纤维素、半纤维素与木质素分离，引起细胞壁膨胀、结构疏松，成为反刍动物瘤胃微生物的营养源，被动物吸收和利用，从而提高秸秆的消化率。

（2）技术要点。氨化最佳温度为10-25℃。温度在17℃时，氨化时间可少于28天；温度高达28℃时，只需10天左右即可氨化完毕。氨用量一般液氨2.5％-3.0％，尿素4.0％-6.0％，氨水10％-15％，碳酸氢氨10％-15％，秸秆需保持25％-35％的水分。

2.1.3 秸秆加工压块饲料

（1）技术概述。将各种农作物秸秆经机械铡切或揉搓粉碎之后，根据一定的饲料配方，与其他农副产品及饲料添加剂混合搭配，经过高温高压轧制而成的高密度块状饲料。秸秆压块饲料加工可将维生素、微量元素、非蛋白氮、添加剂等成分强化进颗粒饲料中，使饲料达到各种营养元素的平衡。

（2）技术要点。根据当地秸秆资源条件，确定压块饲料生产秸秆品种。适宜压块加工的秸秆湿度为16%-18%，切碎长度为30-50cm。对粉碎后的秸秆需进行除尘、发酵处理，以提高其营养水平。为了使压块饲料在加水松解后能够直接饲喂，可在压块前添加足够的营养物质，使其成为全价营养饲料。

2.4.1 秸秆揉丝加工

（1）技术概述。具备了秸秆切碎和粉碎处理的所有优点，且分离了纤维素、半纤维素与木质素，同时由于秸秆丝较长，能够延长其在瘤胃内的停留时间，有利于牲畜的消化吸收，从而达到既提高秸秆采食率，又提高秸秆转化率的双重功效。青贮玉米秸秆揉切效果更佳。

（2）技术要点。根据所要揉搓秸秆长度，随时调整物料的揉碎程度，合理调整刀片间隙。在揉碎青玉米秸时，刀片间隙可大于0.3 mm，揉碎稻草时，刀片间隙可小于0.2 mm，若工作中发现揉碎出的长草较多，则将刀片间隙减小，以保证揉碎质量。

2.5.1 秸秆微贮

（1）技术概述。将经过机械加工的秸秆贮存在水泥池、土窖、缸、塑料袋等设施内，通过添加微生物菌剂进行微生物发酵处理，使秸秆变成带有酸、香、酒味，家畜喜食的粗饲料的方法。根据贮存设施的不同，秸秆微贮的方法主要有：水泥窖微贮法、土窖微贮法、塑料袋微贮法、压捆窖内微贮法。

（2）技术要点。按照“分层装料、分层撒入玉米面或麦麸、分层喷洒水和菌液、分层压实”技术逐层装窖，装完后，在最上面均匀地撒一层食盐粉，食盐用量为250 g/m2。然后，再充分压实，盖严塑料薄膜，再在上面盖上20-30 cm厚的干秸秆，覆土15-20 cm。微贮秸秆的含水量一般为60％-65％，用于微贮的秸秆必须无霉烂变质、无污染，养牛用的秸秆长度不超过8cm，养羊用的不超过5cm。秸秆微贮后，窖池内的贮料会慢慢下沉，应及时加盖土，使之高出地面，并在距窖四周约1米处挖好排水沟，以防雨水渗入。在夏季封窖21天，秋季封窖30天后，可开窖检查微贮秸秆质量。优质的微贮麦秸、玉米秸或稻草，色泽金黄，有醇香、果香和酸香味，手感松散、柔软、湿润。

**3.秸秆基料化利用**

（1）技术概述。以玉米秸秆、玉米芯为主要原料，配比其他营养原料，生产食用菌的过程。秸秆食用菌栽培技术包括秸秆栽培草腐菌类技术和秸秆栽培木腐菌类技术，利用秸秆生产的草腐菌主要有双孢蘑菇、草菇、鸡腿菇、大球盖菇等，利用秸秆生产的木腐菌主要有香菇、平菇、金针菇、茶树菇等。

（2）技术要点。利用秸秆栽培食用菌，一是合理配混营养，提高菌棒质量。二是注重培养料高温杀菌消毒，严禁使用农药。三是在无菌环境下，安全保存和接种菌棒，避免菌棒和菌种发霉变质。四是受污染菌棒要及时销。

**4.秸秆燃料化利用**

4.1 秸秆固体成型燃料

（1）技术概述。利用木质素充当粘合剂将松散的农作物秸秆等农林剩余物挤压成颗粒、块状和棒状等成型燃料，具有高效、洁净、点火容易、贮运方便、易于实现产业化生产和规模应用等优点，是一种优质生物质燃料，可为农村居民提供炊事、取暖用能，也可以作为农产品加工业（粮食烘干、蔬菜、烟叶等）、设施农业（温室）、养殖业等不同规模的区域供热燃料，另外还可以作为工业锅炉和发电厂的燃料，替代煤等化石能源。

（2）技术要点。生产秸秆固体成型燃料的原料含水率应控制在20%-40%之间，通过自然晾晒或烘干方法进行干燥，用滚筒干燥机进行烘干，可将原料的含水率降低至8%-10%。秸秆类原料需通过粉碎机进行粉碎处理，通常使用锤片式粉碎机，粉碎的粒度由成型燃料的尺寸和成型工艺所决定。

4.2 秸秆热解炭化

（1）技术概述。将秸秆粉碎后，在炭化设备中隔氧或少量通氧条件下，经过干燥、干馏（热解）、冷却等工序，将秸秆进行高温、亚高温分解，生成炭和热解气等产品的过程。秸秆炭化技术包括机制炭技术和生物炭技术。

（2）技术要点。通过炭化技术转化秸秆，首先要选择秸秆资源较丰富的村镇，同时应注重构建炭气液油全产业链。通过机制炭技术和生物炭技术均可产出生物炭、可燃气、木醋液和木焦油等产品。生物炭和生物燃气可作为燃料直接利用，木醋液可作为植物生长调节剂，用于蔬菜、水果等农作物提质增效，木焦油可作为果树腐烂病治腐剂。

4.3 秸秆直燃发电

（1）技术概述。秸秆直燃发电是以秸秆为燃料生产蒸汽，带动发电机发电的技术。具体包括秸秆预处理技术、蒸汽锅炉的多种原料适用性技术、蒸汽锅炉的高效燃烧技术、蒸汽锅炉的防腐蚀技术等。具有秸秆消纳量大、可有效解决区域秸秆过剩问题、直接替代燃煤等化石燃料发电、节能减排效果突出等特点。

（2）技术要点。一是合理布局秸秆发电厂，降低原料收集半径和原料成本。二是控制直燃发电的秸秆含水率不超过40%。三是高效解决床料结渣、碱金属腐蚀等问题，并进一步提高能源转换率、热效率和经济效益。

4.4 秸秆热电联产

（1）技术概述。本技术由秸秆直燃发电和余热利用组合而成。余热利用主要通过热交换、热功转换、冷热转换等方式进行社区供暖（供热）、温室栽培、热（温）水养殖、农产品烘干等，亦可利用余热再发电。具有工程热效率高、余热回收、综合效益好等特点。

（2）技术要点。一是充分回收烟气余热和梯级利用，尽可能提高余热利用率和利用效率。二是注重关键技术组合设备的选择，系统提高热电联产工程的能源转换率和经济效益。

**5.秸秆原料化利用**

5.1 秸秆制备栽培容器

（1）技术概述。将秸秆粉碎与其他生物质预处理后，依据产品性能添加不同的粘合剂或调理剂，通过吸滤或热压成型等方法，加工成各种植物栽培所需的基质或容器。如营养钵、水稻育秧盘、基质盘等。具有取材方便、经济性好、能帮助植物固定根系、协调水气、固持养分等优点，有利于各种作物尤其是幼苗的培育和生长。同时，具有生物可降解性，避免了塑料容器的二次污染。

（2）技术要点。一是加强秸秆粉碎和其他生物质的预处理，去除影响植物生长的有害物质。二是注意秸秆栽培基质与容器在存放时应防雨防潮，使用时应轻拿轻放。三是秸秆栽培基质不等同于肥料，育苗时要对育苗基质进行养分调配。

5.2 秸秆制备地膜

（1）技术概述。以作物秸秆为原料，将生物降解处理后的秸秆纤维原料，通过高浓度打磨制浆、废液提取净化、低浓度细磨浆的机械处理方式制取秸秆生物浆，再通过成膜机制作成秸秆地膜。

（2）技术要点。具有清洁无污染地技术优势，水田50-60天、旱田120天内完全生物降解还田。秸秆地膜农田覆盖应用，能够抑制杂草滋生，保墒效果显著，替代普通塑料地膜用于农业生产。以秸秆为原料生产秸秆生物降解地膜，需要配备专用覆膜机械，防止秸秆纤维断裂，影响覆膜质量。

5.3 秸秆编织草毯

（1）技术概述。利用专业机械将稻草、麦秸等秸秆编织成草毯，用于公路和铁路路基护坡、河岸护坡、矿山和城镇建筑场地渣土覆盖、垃圾填埋场覆盖、风沙防治等。为了促进草毯快速生草，提高工程防护效果，可在草毯机械生产过程中掺入植物种子、营养物质等。

（2）技术要点。一是秸秆编织网主要用于永久性和半永久性护坡工程。二是秸秆编织网不具有耐火性能，施工铺设初期应注意防火。三是编织网掺入草种要选择适应当地自然环境条件的品种。

**（二）地膜科学使用回收指导技术**

按照源头减量，科学覆膜、田间捡拾、回收利用技术线路，全面推进地膜科学使用回收。

**1.源头减量。**综合考虑区域水热资源条件和作物生长发育需求，兼顾地膜覆盖投入与作物产出效益，通过品种选育、种植制度优化等方式，因地制宜科学推广无膜浅埋滴灌、保水剂施用、秸秆覆盖替代等技术，减少地膜用量；通过推广一膜多季或多年使用、地膜覆盖度降低等技术，降低地膜使用强度和投入量。

**2.田间覆盖**

**（1）加厚高强度地膜覆盖。**根据区域气候特点、生产实际，选择合理的地膜覆盖方式和时间，抓好整地施肥、起垄覆膜、适时适墒播种等关键环节。根据产品性能指标，及时改进播种、覆膜等配套设备装置。

**（2）全生物降解地膜覆盖。**宜选择排灌方便、水源充足、土壤结构疏松的地块，根据播种时墒情适当深耕整地，清除土壤中的作物残余和石头，保证土面平整，避免铺设过程中地膜过早破损。在土壤含水量适宜时整地，一般旋耕1次以上，可将有机肥随旋耕作业施入土壤，避免地膜直接接触有机肥。铺设时地膜张紧适度、紧贴土床，可每隔 2—3 米压盖适量土壤防风。使用滴灌系统时，铺设地膜时须尽量避免长期与滴灌带接触。在干旱地区，可适当增加灌溉频次和灌溉量，同时应避免膜上长时间存水，防止地膜过早降解。

**3.田间捡拾**

**（1）人工捡拾。**在聚乙烯地膜完成功能覆盖期后，膜面未发生明显破损之前，可采取人工适期捡拾回收。在作物收获后或播种前，可采用锄头等工具沿膜侧人工开沟，使压在土壤中的地膜完全暴露，从田头沿覆膜方向进行人工扯膜。

**（2）机械捡拾。**在作物收获后，针对土地平整和覆膜种植集中连片地区，采用适当幅宽的残膜回收单式作业机或秸秆粉碎还田与残膜回收联合作业机；针对覆膜种植不集中连片且田块面积较小地区，采用小型单式残膜回收作业机或复式联合作业机具。在下一季播种前，可采用弹齿式、搂耙式等回收机械，进行耕层内残膜回收作业。可在机械捡拾后，人工对农田中遗留的地膜和田间地头机械无法捡拾的区域进行捡拾。机械捡拾作业质量应符合《残地膜回收机作业质量》（NY/T 1227—2019）要求，有效降低回收残膜含杂率。

**4.回收利用**

**（1）统一回收。**设立专门的废旧地膜回收站点进行统一回收。废旧地膜田间捡拾后，需进行清杂处理，及时交送回收站点，不得随意丢弃、掩埋或焚烧。因地制宜探索总结有效回收模式，加强补贴政策落实，建立健全长效回收机制。回收站的选址、布局、规模应与辖区内经济发展状况、交通便利度、地膜使用量等相协调，便于交收、运输，符合高效环保的原则。鼓励地膜回收体系与供销合作体系、垃圾处理、可再生资源体系等相结合。回收站点要有必要的围挡设施，对交送的废旧地膜分类捆扎、打包后，及时交送就近的回收加工企业处理。

**（2）资源化利用。**废旧地膜回收加工企业可采取再生造粒、燃料提取、燃料发电、制作木塑等多种方式进行资源化利用。再生造粒是目前普遍采用的一种方式，通过分类筛选、膜杂分离、破碎、清洗、脱水沥干、熔炼塑化、切割造粒等工艺流程，选用节水节能、高效、低污染的技术和设备，实现废旧地膜加工再利用。对秸秆杂质含量高、难分拣、再利用价值低的废旧地膜，可采用专用设备燃烧等方式，拓展废旧地膜多元化处理路径。

**（三）关中陕南地区中轻度受污染耕地安全利用技术导则**

以安全利用为目的，在充分利用耕地资源的基础上，通过整合重金属低积累作物品种筛选、原位钝化、农艺调控及综合防控等技术措施，形成“低积累品种+深翻+土壤调理/钝化剂+叶面阻控剂+农艺（水肥）调控+秸秆/根茬离田”的整体技术模式。同时，尽可能避免出现农产品可食部分重金属超标和二次污染风险。

**1.关中小麦-玉米轮作区中轻度受污染耕地安全利用技术**

关中地处暖温带半湿润季风气候区，雨量适中，四季分明，土壤肥沃，农业发达。历史上主要利用废水长期污灌发展种植业，造成关中平原耕地土壤重金属污染来源复杂、程度不一，重金属累积在短时间内难以消除。为此，结合当地常规农艺措施、气候条件和种植习惯等，提出低积累小麦-玉米轮作+深翻耕+叶面阻隔剂+土壤钝化+农艺综合调控+秸秆/根茬离田的污染耕地安全利用技术，以保证关中地区农产品质量安全。

（1）种植重金属低积累主粮品种

在中轻度受污染耕地农田种植重金属富集能力较弱的小麦和玉米品种，可有效减少重金属进入籽粒，初步降低农作物重金属污染风险。在保障粮食产量的基础上，结合西安、咸阳等地的试验，在初步筛选的主粮品种中，小麦品种推荐西农535、小偃22；玉米品种推荐军育535、惠民658。

（2）深翻耕技术

通过机械深翻耕，不仅将污染物含量较高的表层土壤与污染物含量较低的下层土壤充分混合，以稀释土壤表层重金属含量，而且可增加耕层厚度。推荐深翻耕0-35 cm。对于冬小麦/夏玉米轮作，在冬闲或播种冬小麦前2周左右进行。

为避免表层土壤中被稀释的重金属再次表聚富集，当年深翻耕后小麦-玉米轮作季应浅松免耕。由于重金属多聚集于小麦玉米根系及地上部秸秆，因此深翻前确保秸秆及根茬离田。由于土壤有机质与养分多集中在耕地表层，因此深翻耕应配套施肥进行。

（3）土壤重金属钝化技术

向土壤中添加钝化剂，其中，生物炭用量为140-200 kg/亩，钙镁磷肥为40-80 kg/亩，硅钙镁钾肥为40-80 kg/亩。钝化剂在深翻耕时或种植前一周和肥料混施入农田，充分与耕层土壤混匀。

（4）叶面阻控剂

叶面阻控剂由锌、硅、铁、硼四种有效成分单独或复合配制，为自主研制配方。每亩取1.1 L叶面阻控剂浓缩母液并加水稀释至110 L，在农作物不同生长发育期内用喷雾器进行反复均匀喷施。

按照上述方法，推荐在关中旱地种植条件下使用锌、硅复合阻控剂，降低作物籽粒Cd含量效果最佳。叶面阻控剂建议在小麦返青期、拔节期和孕穗期各喷施一次；玉米喷施期建议选在大喇叭口期，连续喷施2-3次，间隔期7-10天为宜；叶面喷施均宜选择在晴天或者多云的下午16时左右进行喷施。

**2.陕南地区水稻-油菜轮作、玉米单作中轻度受污染耕地安全利用技术**

陕南地区以重金属Cd污染为主，污染来源主要为有色金属采选和冶炼。通过重金属低积累作物品种筛选、原位钝化技术、农艺调控及综合防控等技术措施，形成了“低积累品种+深翻+土壤调理+叶面阻控剂+农艺调控+秸秆/根茬离田”的技术模式。

（1）种植重金属低积累作物品种

在中轻度受污染耕地农田种植重金属富集能力较弱的水稻和玉米品种，可以有效减少Cd进入籽粒，降低农作物的重金属污染风险。经调研及试验，筛选推荐种植川优6203、内5优6、川种优3877等低积累水稻品种和中金368、正玉968、同玉11、蜀玉201、奥利10号等低积累玉米品种。

（2）深翻耕技术

通过深翻耕0-35 cm，将污染物含量较高的表层土壤与污染物含量较低的下层土壤充分混合，降低土壤表层重金属含量。

对于玉米单作模式，在播种一周前深翻一次，当年深翻耕后玉米单作季应浅松免耕；在水稻-油菜轮作区，深翻耕推荐在油菜收获后、水稻栽种前完成（水稻油菜轮作季，水稻淹水期可活化土壤中多种重金属离子），当年深翻耕后水稻油菜轮作季应浅松免耕。

深翻具体时间、深度等可根据当地种植习惯、土壤类型和耕作层厚度等来确定。对于稻田，建议深翻耕后耕作层加犁底层厚度应在25 cm以上，且稻田耕作层厚度≤15 cm、稻田犁底层厚度≥10 cm。

（3）土壤调理技术

玉米、水稻种植一周前翻耕施入石灰（调理提升土壤pH值，降低重金属活性）或生物炭（吸附重金属，调理改善土壤理化条件，农田增碳减排），旋耕深度12-18 cm，持水状态下养护至种植。生物炭用量为140-200 kg/亩，石灰为60-100 kg/亩，调理剂在种植前一周施入田中，充分与耕层土壤混匀。

（4）叶面阻控剂

每亩取1.1 L叶面阻控剂（自主配制的锌、硅复合叶面阻隔剂）浓缩母液并加水稀释至110 L，在农作物不同生长发育期内用喷雾器来回均匀喷施在作物上。

水稻苗期重金属污染最严重，应适当增加阻控剂喷施次数，分蘖期后土壤Cd量较大幅度减少，可适当减少喷施次数。玉米单作时在大喇叭口期、抽丝期和籽粒形成期喷施3次，选择在晴天下午16时左右进行喷施。

（5）农艺调控

水：玉米季、油菜季的水分管理依照当地耕种习惯进行。合理调控水稻田水分可降低土壤重金属活性，且淹水处理可提高土壤pH（淹水初期更明显），促进土壤中重金属由活性到惰性形态的转变。陕南地区水稻田灌水具体措施为：水稻移栽后进行深灌，将田面水面层高度分别控制在返青期4-6 cm、分蘖期5-7 cm、拔节期5-10 cm，孕育期8-12 cm，灌浆期5-10 cm，黄熟期3-5 cm。

肥：水稻/玉米季施加钙镁磷肥40-80 kg/亩，有机肥200-300 kg/亩，施加量根据污染程度和土壤性质适当调整。

三、适宜区域

秸秆综合利用有效利用技术路径适宜关中地区；地膜科学使用回收指导技术适宜于关中、渭北等地区；关中陕南地区中轻度受污染耕地安全利用技术适宜关中陕南地区或生态相近区域。

四、注意事项

1.开展秸秆还田比例大于40%时，要在各主要粮食生产区域逐步建立秸秆还田生态效应监测点位，做好土壤生态还田效应监测，进一步优化秸秆还田技术模式。

2.地膜产品指标。加厚高强度地膜产品厚度、力学性能等指标应不低于《聚乙烯吹塑农用地面覆盖薄膜》（GB 13735—2017）中 I类耐老化地膜有关要求，全生物降解地膜产品厚度、力学性能等指标应符合《全生物降解农用地面覆盖薄膜》（GB/T 35795—2017）要求具体指标由各地根据作物种类、生产条件等确定。同时做好监测调查评价，及时掌握区域污染动态变化，科学评价使用成效。

3.调控重金属污染农产地，应阻断污染源，杜绝污水灌溉，禁止施用未经农业农村主管部门登记的商品肥料和其他不符合国家标准规定的农业投入品。同时定期跟踪监测及时优化治理措施。

五、技术依托单位

**陕西省耕地污染防治技术体系、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站**

联系地址：陕西省西安市莲湖区习武园27号

邮政编码：710000

联 系 人：景鹏娟 王晨光 田涛

联系电话：13488460620

电子邮箱：[350996908@qq.com](mailto:350996908@qq.com)