

第1章

认识农业固体废物

1.1 农业固体废物来源

1.1.1 内涵与外延

1. 农业固体废物内涵

根据原环境保护部颁布的《农业固体废物污染控制技术导则》(HJ 588—2010),农业固体废物(简称“农业固废”)指农业生产建设过程中产生的固体废物,主要来自植物种植业、动物养殖业和农用塑料残膜等。

国家标准《农业废弃物综合利用通用要求》(GB/T 34805—2017)界定,农业废弃物指农业生产和加工过程中废弃的生物质,包括种植业废弃物、林业废弃物和养殖业废弃物。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法(2020年修订)》界定,农业固体废物是指在农业生产活动中产生的固体废物,相关条文中明确涉及的农业固体废物包括畜禽粪污、农作物秸秆、废旧农膜,但未对其外延进行详细说明。

2. 农业固体废物外延

农业生产活动是人类有意识地利用动植物(种植业、畜牧业、林业、渔业和副业),以获得生活所必需的食物和其他物质资料的经济活动。根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法(2020年修订)》,农业固体废物源于农业生产活动,其外延非常宽泛,既包括种养业直接产生的农作物秸秆、果树剪枝、尾菜烂果、畜禽粪污、病死畜禽等,也包括农产品初加工产生的果壳、玉米芯、花生壳等,还包括可回收的废旧农业投入品,如废旧农膜、废弃农药包装物、废弃水产养殖网箱、废旧农机具等。

1.1.2 来源及分类

1. 分类方法

对农业固体废物合理分类,有助于梳理农业固体废物的基本特征,系统分析和分类指导农业固体废物的收集、存储、转运、利用和处置。根据我国固体废物分类的一般原则和基本方法,结合农业固体废物自身特点,农业固体废物可按照来源、毒性、组分和形态等进行分类,具体分类方法与主要组成见表 1-1。

表 1-1 农业固体废物分类方法

分类方法	类 型	主 要 组 成	备 注
来源	农业种植类固体废物	农作物秸秆、果树剪枝、废菌包、尾菜烂果等	废旧农业投入品来自农业种植、畜禽养殖、水产养殖和农产品产地初加工等农业生产的各个环节,以塑料和金属类轻工业产品为主
	畜禽养殖类固体废物	畜禽粪污、病死病害畜禽、散落羽毛等	
	水产养殖类固体废物	残饵料、鱼类排泄物、水生植物残体等	
	产地初加工类固体废物	稻壳、花生壳、玉米芯、果皮、蛋壳等	
	废旧农业投入品	废旧农膜(地膜、棚膜、菌包膜等)、农药包装物、废旧网箱、废垫料、废饲料等	
毒性	一般固体废物	农作物秸秆、畜禽粪污、果树剪枝、玉米芯、废旧农膜、病死畜禽等	疫病病死畜禽及其排泄物具有危险特性,环境污染风险大
	危险废物	废旧农药包装物、养殖医废等	
组分	易腐有机固体废物	农作物秸秆、畜禽粪污、果树剪枝、尾菜、花生壳等	农业固体废物以有机固废为主,既有污染属性,也有资源属性
	难降解有机固体废物	废旧农膜、农膜包装物(塑料类)等	
	无机固体废物	农药包装物(石英类、金属类)、废旧农/渔机具等	
形态	固体废物	农作物秸秆、果树剪枝、废菌包、废农膜、废旧农药包装物、花生壳、玉米芯等	农业固体废物以固体废物为主,封存性的液态与气态废物少见
	半固体废物	畜禽粪污、养殖废垫料等	

2. 主要类型

按照来源,农业固体废物可分为农业种植、畜禽养殖、水产养殖、农产品产地初加工类固体废物和废旧农业投入品等,其中前四类以农业生产活动中自然产生的废物为主,多为易腐类生物质;废旧农业投入品一般为轻工业产品,与工业固体废物相似,来源于农业生产的各个环节。按照毒性,农业固体废物可分为一般固体废物和危险废物。依据《国家危险废物名录(2021)》,农药包装物属危险废物,危险废物代码是900-003-04,但危险废物豁免管理清单明确其收集、运输、利用和处置全过程不按危险废物管理,具体管理办法可参照《农药包装废弃物回收处理管理办法》(农业农村部生态环境部令2020年第6号)。病死畜禽未列入危险废物名录,因其除含有常规病原菌外,还可能含有口蹄疫、炭疽等高致死病毒,具有高危险特性,应进行无害化处理。按照组分,农业固体废物可分为易腐类、难降解类和无机类等,其中以有机废物为主,尤其是易腐类有机固体废物占绝大多数,难降解有机废物和无机废物一般来源于农业投入品。按照形态,农业固体废物可分为固态废物和半固态废物,其中以固态废物为主。

1.1.3 基本特征及污染风险识别

1. 基本特征

农业固体废物来源广泛,外在形态和理化性质差异大,其基本特征如图1-1所示,除具有一般废物的基本特征外,也有一些自身特征。

三大特征	(1) 统一来源与类型多样的双重性。农业固体废物全部来源于农业生产活动,其类型复杂多样。以无毒性废物为主,但也有部分有毒性废物和少数危险废物,如农药包装物;以有机废物为主,也有无机废物;以固体废物为主,也有半固态废物。各类废物的适宜资源化利用和无害化处置技术路径差异大。
	(2) 潜在污染与重要资源的两面性。农业固体废物绝大多数来源于农业种植和畜禽水产养殖,尤其是农作物秸秆与畜禽粪污产生量大,是重要的生物质资源,蕴含丰富物质和能量,因此具有资源属性。但“用之则利、弃之有害”,若不能妥善处理,均是重要污染源,对土壤、水体和大气等环境介质均存在污染风险。
	(3) 全年产生与季节波动的复杂性。农业是经济社会发展最重要的物质基础,农业固体废物与农业生产伴生,决定了农业固体废物产生的全年持续性。同时,农业生产,尤其是种植业具有明显的季节性,因此秸秆等农业固体废物的产生量随季节波动,对农业固体废物的储存、转运和资源化利用有不利影响。

图 1-1 农业固体废物基本特征

2. 污染风险识别

农业固体废物有害成分可通过大气、土壤和水体等介质污染环境,影响自然生态与农业可持续发展,直接或间接危害人体健康。农业固体废物环境风险不仅取决于其物理、化学和生物特性,也与其收储运方式、利用途径和处置措施等有关。不同情景和处理环节的农业固体废物潜在污染风险主要表现在以下四个方面。

1) 农业种植固体废物

不同情景与环节下,农作物秸秆、尾菜烂果、废菌包、果树剪枝等农业种植固体废物的主要污染风险如图 1-2 所示。废弃就地露天焚烧情景下,存在大气污染风险和交通安全隐患,引发全社会的广泛关注。露天焚烧排放的污染物主要包括颗粒物、氮氧化物等。在河流、沟渠等水源地随意堆弃的秸秆、尾菜烂果等腐烂后,有机物和微生物进入水体可造成水体污染。另外,不经好氧发酵处理的废菌包随意堆弃,存在杂菌、虫卵等污染风险。



图 1-2 农业种植固体废物潜在污染风险

在处理利用情景下,收储运环节污染风险包括两方面:一是在秸秆捡拾、打捆和转运过程中存在扬尘风险;二是在储存过程中,部分废物腐变后存在有机物或微生物污染水体风险,以及挥发性有机物污染大气风险。转化利用环节的污染风险包括燃烧过程中的氮氧化物等常规气体污染物排放风险、厌氧发酵过程中的甲烷泄漏和沼液二次污染风险、热解气化过程中的焦油污染风险、堆肥过程中的臭气(NH₃、H₂S等)污染风险、基料化利用中的杂菌污染风险等。另外,有研究认为,秸秆直接还田容易携带大量植物病原菌和虫卵,还田为其提供了适宜的生长环境和营养物质,增加土传病害风险。《中华人民共和国土壤污染防治法》指出,国家鼓励和支持农业生产者综合利用秸秆、移出高富集污染物秸秆。

2) 畜禽养殖固体废物

不同情景与环节下,畜禽粪污、废垫料、病死病害畜禽、废饲料等畜禽养殖固体废物的主要污染风险如图 1-3 所示。废弃随意堆放情景下,畜禽粪污对水体、土壤和大气均存在污染风险,主要表现在有机物污染、病原微生物污染、抗生素污染、重金属污染、臭气污染和挥发性有机物污染等,尤其是病死畜禽因携带不明病原体,随意丢弃存在重大环境污染风险。



图 1-3 畜禽养殖固体废物潜在污染风险

在处理利用情景下,收储运环节主要存在病原微生物和挥发性有机物污染风险,病死畜禽有特殊致病菌污染风险。转化利用环节的污染风险包括厌氧发酵过程中的沼气泄漏和沼液污染风险、好氧堆肥过程中的臭气污染风险等。病死畜禽焚烧、深埋和化制无害化处置过程中,也存在病原微生物、挥发性有机物和焦油等污染风险。法规政策文件对养殖固体废物污染防治有具体规定,如《畜禽规模养殖污染防治条例》指出,染疫畜禽及染疫畜禽排泄物、染疫畜禽产品、病死或者死因不明的畜禽尸体等病害畜禽养殖废弃物,应当按照有关法律、法规和国务院农牧主管部门的规定,进行深埋、化制、焚烧等无害化处理,不得随意处置。

3) 废旧农业投入品

不同情景与环节下,废旧农膜、农药包装物废弃物、废旧网箱等农业生产投入品的主要污染风险如图 1-4 所示。废弃情景下,废旧农膜对土壤和水体有微塑料等污染风险。农药包装物因其农药残留具有毒性,属于危险废物,随意丢弃后对土壤、大气和水体有重大污染风险。

在处理利用情景下,收储运环节污染风险包括:①因地膜田间收集环节存在技术瓶颈,残留部分对土壤有微塑料等污染风险;②农药包装物在储存转运过程中存在毒性挥发性有机物污染风险。转化利用环节的污染风险包括焚烧或热解技术条件下的挥发性有机物和焦油污染风险,再生塑料颗粒生产过程中

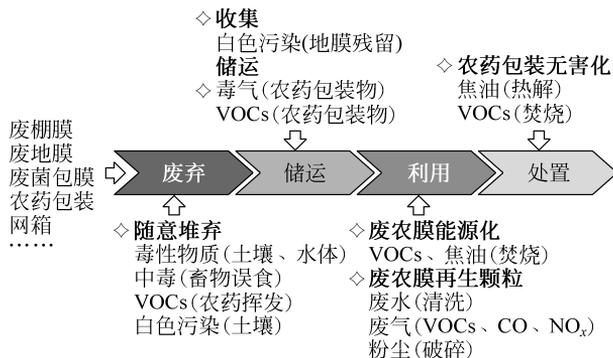


图 1-4 废旧农业投入品潜在污染风险

的废气、废水污染风险等。法规政策文件对废旧农业投入品污染防治有具体规定,如《农药包装废弃物回收处理管理办法》提出,农药生产者、经营者应当按照“谁生产、经营,谁回收”的原则,履行相应的农药包装废弃物回收义务。农药生产者、经营者可以协商确定农药包装废弃物回收义务的具体履行方式。农药使用者应当及时收集农药包装废弃物并交回农药经营者或农药包装废弃物回收站(点),不得随意丢弃。

4) 农产品产地初加工固体废物

不同情景与环节下,玉米芯、花生壳、稻壳等农产品初加工固体废物的主要污染风险如图 1-5 所示。与农业种植固体废物污染风险相似,农产品产地初加工固体废物在废弃情景下存在就地露天焚烧和随意堆放场两类污染风险,在存储、转运和利用环节与农业种植固体废物的污染风险也基本相同。因农产品初加工固体废物的产出相对集中,与农业种植固体废物相比,其收集与利用成本更低,利用难度更小,因此,目前多数农产品加工固体废物的开发利用较好,收集、转运和处理利用等各个环节存在的污染风险也相对较小。

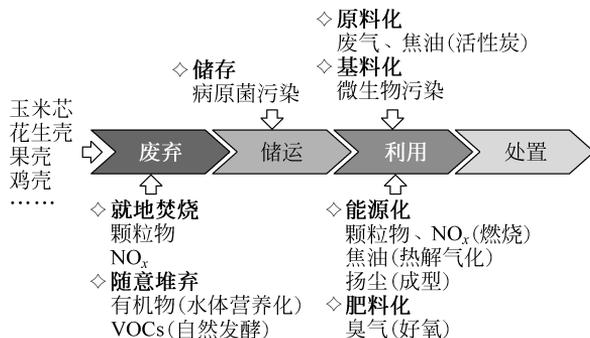


图 1-5 农产品产地初加工固体废物潜在污染风险

1.2 农业种植类固体废物

人们为获取各类植物性产品,在粮食、油料、蔬菜、绿肥、饲料、花卉、林果等各类作物栽培过程中直接产生的植物残体类固体废物,统称为农业种植类固体废物。它是某种物质和能量的载体,被认为是一种特殊形态的农业资源或生物质资源。农业种植类固体废物主要包括农作物秸秆、果树剪枝、废菌包、尾菜、烂果等。

1.2.1 农作物秸秆

1. 什么是秸秆

秸秆是成熟农作物茎叶部分的总称。根据农业行业标准《农作物秸秆资源调查与评价技术规范》(NY-T 1701—2009)中的术语定义,秸秆指农业生产过程中,收获了稻谷、小麦、玉米等农作物籽粒后,残留的不能食用的茎、叶等农作物副产品,不包括农作物地下部分。

2. 为什么要推进秸秆综合利用

农作物光合作用产物的一半以上存在于秸秆中,秸秆富含氮、磷、钾、钙、镁和有机质等,是一种具有多用途、可再生的生物质资源(图 1-6)。我国农作物秸秆种类多、总量大,是世界第一大秸秆产出国,占全球秸秆产生量的近 1/5。还田循环利用是国外秸秆利用的主导方式。发达国家秸秆利用较充分,杜绝了废弃与露天焚烧的问题。“用之则利,弃之有害”,受农村经济社会发展水平和农业生产条件等因素制约,我国农作物秸秆产生与供给显现出阶段性、结构性和区域性过剩现象,秸秆田间禁烧压力依然较大。



图 1-6 秸秆的收集和存储

3. 产生量与空间分布

全国秸秆产生与利用流向如图 1-7 所示。2022 年,我国农作物秸秆可收集量为 7.2 亿吨,其中,玉米、水稻、小麦三大粮食作物秸秆可收集量占全国秸秆总量的 80% 以上。综合利用率达 87.7%,其中,肥料化利用率是 62.1%、饲料化利用率是 15.4%、燃料化利用率是 8.5%、基料化利用率是 0.7%、原料化利用率是 1.0%,肥料化和饲料化为主、燃料化为辅的“农用优先、多元利用”格局基本形成。

我国农作物秸秆空间分布受地理环境和气候条件等因素影响,总体呈现出“东大西小、北大南小”的阶梯状分布特征,我国农作物秸秆资源主要集中在东北、华北和长江中下游地区,均占全国秸秆产生量的 2/3 以上。

玉米秸秆空间分布特征为主要在东北和华北地区富集,并沿对角线向西南地区延伸,东北和华北地区占全国玉米秸秆产生量的 2/3 以上,其中,黑龙江、吉林、山东、河北、河南 5 省产出最为集中,合计占全国玉米秸秆产生总量的一半以上。水稻秸秆空间分布特征为出现南北两极,分别是以黑龙江为极心的东北地区 and 以湖南、江西为极心的江南地区(包括长江中下游、西南和东南),黑龙江、湖南、江西三省合计占全国水稻秸秆产生量的 1/3 以上。小麦秸秆空间分布特征为以河南、山东为中心,向南北出现短线扩展,向西部沿河西走廊深度延伸,小麦秸秆主要集中在华北地区,占全国小麦秸秆产生量的 60% 左右。

知识链接 1——

秸秆产生量相关术语释义

(1) 作物草谷比:某种农作物单位面积秸秆产量与籽粒产量的比值。秸秆和籽粒的重量与含水量密切相关,当给出某种作物的草谷比时需同时注明含水量,默认情况下按空气干燥基(含水率 15%)计。

(2) 秸秆理论产生量:根据播种面积和作物草谷比等要素计算得到的某一区域农作物秸秆年总产量,表明理论上该地区每年产生的秸秆的数量。

(3) 秸秆可收集量:某一区域利用现有的收集方式,可收集获得供实际利用的农作物秸秆的数量。

(4) 秸秆收集系数:某一区域某种农作物秸秆可收集量与理论产生量的比值。可通过实际调查作物割茬高度占作物株高的比例和秸秆茎叶损失率等计算。

4. 资源化利用技术体系

秸秆资源化利用技术体系框架如图 1-8 所示,整体上可分为构架层、共用技

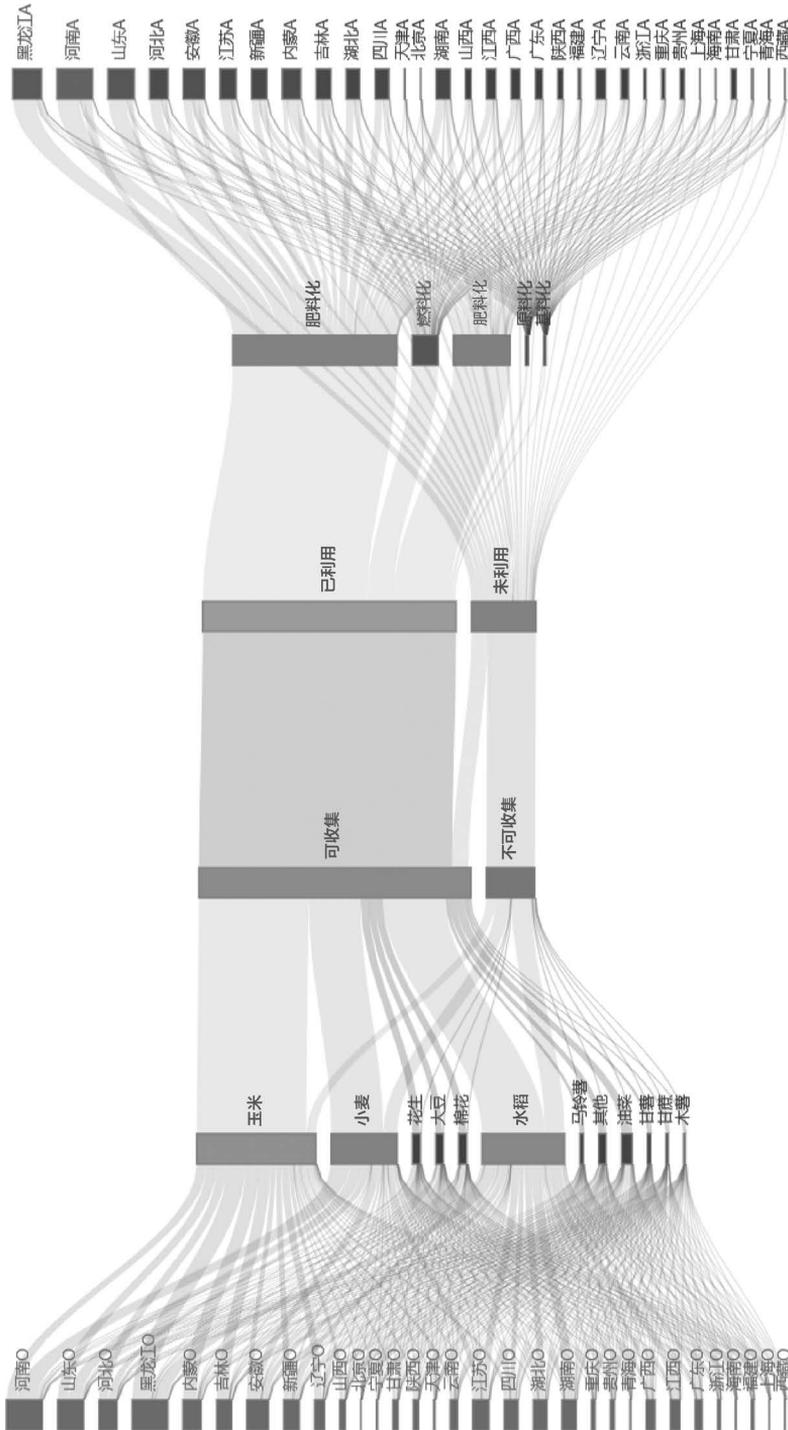


图 1-7 全国秸秆产生与利用流向图

术层和专用技术层。构架层对秸秆利用技术体系进行了基础分类,分为直接还田和离田利用两大技术系统。直接还田技术是一种秸秆就地肥料化利用技术,包括快腐还田、深松还田、旋耕还田和覆盖还田技术等,是目前最主要的秸秆利用方式。离田利用技术是秸秆经田间收割、捡拾、打捆和转运后的就近或高值利用技术,所包括的具体技术形式较多。

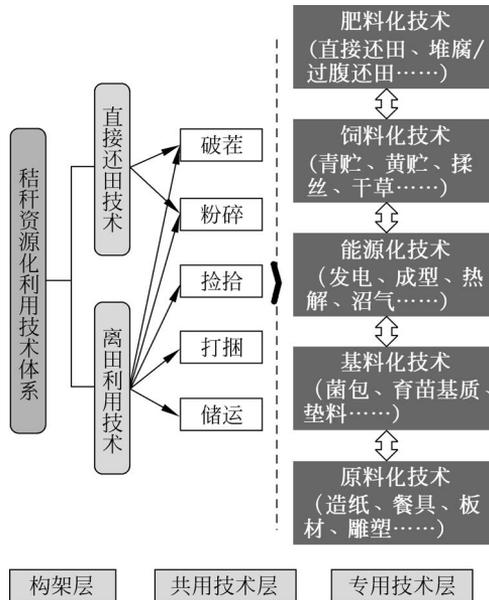


图 1-8 秸秆资源化利用技术体系框架

目前,可用于示范推广和产业应用的秸秆综合利用技术已达到 10 余种。为便于宣传推广和数据统计,多年来,国家和地方相关文件将其归纳为肥料化、饲料化、能源化、原料化、基料化 5 类主要途径,简称“五化”利用,专用技术层沿用了这一惯用分类方法。

(1) 秸秆肥料化利用技术应用最为广泛,除包括直接还田肥料化利用技术外,还包括过腹还田肥料化利用技术,以及菌肥联产、气肥联产肥料化利用技术等。

(2) 秸秆饲料化利用技术包括秸秆青贮、黄贮、膨化、成型、干草等秸秆饲料加工技术。适合饲料化利用的秸秆主要包括玉米、花生、油菜和豆类等作物秸秆。

(3) 秸秆能源化利用技术主要包括发电(热电联产)、成型、热解、捆烧等能源化利用技术,其中,秸秆发电(热电联产)技术是秸秆能源化利用最主要的技术形式。

(4) 秸秆基料化技术指以秸秆为主要原料,加工或制备成为微生物、植物或动物生长提供一定营养和良好条件的有机物料的技术,主要包括食用菌或育苗栽培基质、动物饲养垫料技术等。