

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.06.003

日本污泥处置发展概况及对我国污泥资源化的启示

崔超¹, 熊建军¹, 张荣兵¹, 姚大伟¹, 白家云¹, 王佳佳^{2,3}

(1. 北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100044; 2. 自然资源部咨询研究中心, 北京 100035; 3. 中国地质大学<北京> 土地科学技术学院, 北京 100083)

摘要: 目前,我国污泥资源化发展存在一些瓶颈问题,为此总结学习了日本污泥资源化管理经验,分析了日本污泥产量及处置概况、资源化利用方式和日本污泥制肥管理政策及要求,以期国内污泥资源化的发展规划提供借鉴。结果显示,1988年—2007年日本全国污泥产量呈现逐年增加趋势,增幅达66.2%,资源化利用率从1988年的15%逐年增加至2010年的78%。2011年受日本福岛核电站核泄漏事故的影响,污泥资源化率降至55%,此后污泥资源化率又稳步增加,2017年恢复至73%。目前,日本已形成以建材利用为主线的资源化模式,截至2017年约占污泥总量的47%,建材产品多元化,以污泥制水泥产品为主。日本污泥绿化农用方式稳步发展,截至2017年约占全国污泥总量的15%,以污泥制肥方向为主。同时,日本通过立法形成了较为完善的污泥制肥市场准入制度,划分了不同污泥肥料产品种类,明确了产品管理要求。当前日本污泥肥料占全国普通肥料的15.8%~16.3%,其中以污泥发酵肥料为主,占污泥肥料总量的76.8%~78.3%。借鉴日本发展经验,我国在未来污泥资源化发展过程中应深入开拓多元化污泥衍生产品,积极发展污泥衍生产品的政府采购模式,探索构建污泥产品肥料市场准入制度,促进污泥资源化发展进程。

关键词: 日本; 污泥处置; 污泥资源化; 污泥制建材; 污泥制肥

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)06-0019-07

Overview of Sludge Disposal Development in Japan and Its Enlightenment to Sludge Resource Utilization in China

CUI Chao¹, XIONG Jian-jun¹, ZHANG Rong-bing¹, YAO Da-wei¹,
BAI Jia-yun¹, WANG Jia-jia^{2,3}

(1. Beijing Drainage Group Co. Ltd., Beijing 100044, China; 2. Consulting and Research Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China; 3. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences <Beijing>, Beijing 100083, China)

Abstract: To address the bottlenecks in sludge resource utilization in China, this study reviews Japan's experience in sludge resource management, and analyzes its sludge production, disposal, resource utilization methods, and associated policies and requirements, to provide reference for domestic sludge resource development planning. The findings indicate that sludge production in Japan increased by 66.2% from 1988 to 2007. The resource utilization rate increased from 15% in 1988 to 78% in 2010. Due to the Fukushima nuclear power plant accident in 2011, the resource utilization rate was only 55%. Since then, the sludge resource utilization rate has steadily increased and recovered to 73% in 2017. At

通信作者: 王佳佳 E-mail: 937857993@qq.com

present, Japan had established a dominant sludge resource utilization pathway focused on building materials, which accounted for about 47% of total sludge by 2017. And the building materials products were diversified, with the sludge cement products being the main focus. The sludge resource utilization of agricultural greening applications had developed steadily, accounting for about 15% of the total sludge by 2017, mainly for sludge fertilizer production. At the same time, Japan had formed a relatively complete market access system for sludge fertilizer production, divided the types of sludge fertilizer products, and defined management standards. Currently, sludge fertilizer accounted for 15.8%–16.3% of the common fertilizer in Japan, among which sludge fermented fertilizer was the main product, accounting for 76.8%–78.3% of the total sludge fertilizer. By learning from Japan's development experience, China should focus on diversifying sludge products, actively adopting government procurement models, establishing market access systems, and promoting the development process of sludge resource utilization.

Key words: Japan; sludge disposal; sludge resource utilization; sludge building materials; sludge fertilizer production

随着我国污泥产量的日益加剧,工业化水平的日益发展,以解决污泥无害化、稳定化、减量化为目标的处理技术已相对较为成熟,但在我国现行法律政策的实施管理下,处理后污泥产物的最终处置仍是业内关注的热点及难点。从国内外的污泥处置研究现状看,以污泥“资源化”为目的的污泥处置方式才是环境友好可持续的重要方式^[1-2]。根据《中国城市建设统计年鉴》数据,截至2019年我国城市市政污泥焚烧利用、土地利用、建材利用、卫生填埋占比分别为29.33%、15.88%、26.44%、20.39%,整体资源化利用率(肥料、建材、燃料)占71.65%,鉴于我国污泥产量基数大,仍有大量污泥迫切需要资源化处置。

为解决我国当前的污泥资源化发展瓶颈问题,学习总结了日本污泥资源化管理经验,并结合我国在污泥资源化利用方面的问题提出思考及建议,以期为国内污泥资源化的发展规划提供借鉴。

1 日本污泥产量及处置概况

根据日本下水道协会统计的国土交通省有关全国下水道统计数据,从日本全国污泥产量(以干基计)看,1988年—2007年呈逐年增加趋势(1988年约 136×10^4 t,2007年约 226×10^4 t,增幅达66.2%),2008年—2017年趋于平稳[在 $(220\sim 240)\times 10^4$ t区间内震荡变化];从全国污泥处置方式看,主要分为填埋(陆地、排海)、土地利用(绿化农田)、建材(水泥原料及水泥以外的其他建材)、固体燃料、其他有效利用、厂内存储、其他(见图1);从处置方式看,污

泥填埋在1996年前处于主导地位,自1996年《下水道法》明确污泥减量化相关处理要求后,污泥填埋量随之稳步减少,至1999年污泥填埋量与资源化量持平,2009年达到最低点,2011年后填埋量有所提升,并维持在一定水平。

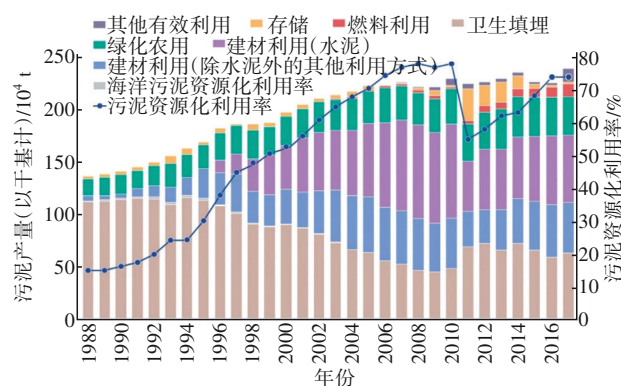


图1 日本污泥不同处置方式及资源化利用概况

Fig.1 Overview of different disposal methods and resource utilization of sludge in Japan

从污泥资源化利用率来看,1988年—2010年污泥资源化利用率呈逐年增加趋势,资源化利用率从15%逐步增加至78%。2011年受日本大地震福岛核电站核泄漏事故影响,沉降到地面的放射性污染物通过下水道系统汇集到污水处理厂,并进一步浓缩至污泥中,导致污泥焚烧灰、堆肥、干化肥料中放射性物质含量出现超标现象^[3],污泥资源化利用率陡然降落至55%。与此同时,为避免放射性污染物的进一步传播,污泥的填埋量、临时存储量增加。2012年—2017年,随着污泥品质的好转,资源化率

又逐步增加并恢复至73%。

从资源化方式占比看,1990年前污泥绿化农用一直是资源化利用的主要方式,随着社会进步,绿化农用量虽然有所增长,但总量占比有限,截至2017年约占全国污泥总量的15%。而从污泥制建材利用方向看,1995年后污泥制水泥以外的其他建材方式占资源化利用的主导地位。1996年污泥制水泥建材利用方式兴起,直至2010年,污泥制水泥资源化利用率持续增长,同样受2011年福岛核电站核泄漏事件影响,污泥焚烧灰被迫在污水处理厂内进行临时存储、保管,污泥制水泥资源化利用比例随之降低。截至2017年,日本污泥制建材利用量约占污泥总产量的47%。

从污泥资源化的具体应用方向(见图2)看,日本已经形成了多元化的污泥资源化产品体系,促进了“以污泥为资源”的再生利用。

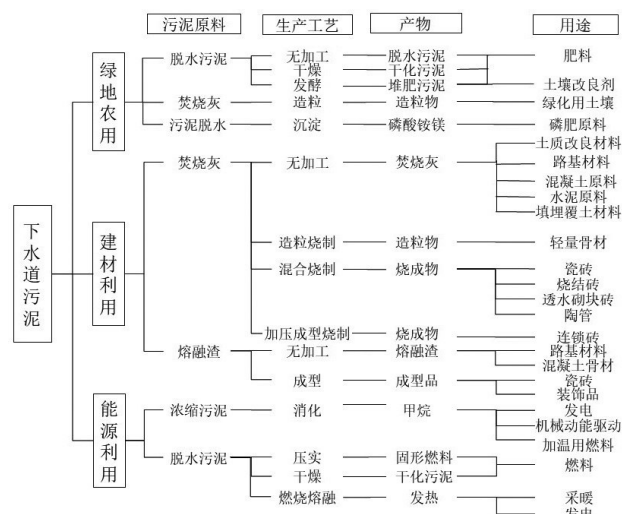


图2 日本污泥资源化利用路径

Fig.2 Sludge resource utilization path in Japan

污泥制建材主要通过干化污泥进行焚烧和熔融,燃烧灰用于水泥原料、透水砖、改良土、轻骨料、砌块砖、瓦、混凝土制品、陶管等产品制作,熔融炉渣制作路基材料、骨材、瓦和回填材料等。污泥制肥料主要通过堆肥制作发酵肥料,并通过干化制作干化污泥肥料产品,主要用于绿地和农田地区。碳化物和燃烧产物主要用作土壤改良剂和园艺土壤,同时,利用污泥脱水液开展磷酸铵镁及其他磷回收技术的应用,致力于污水污泥中磷肥资源的再利用。污泥燃料利用主要通过微生物分解污泥中的有机物产生消化气(以甲烷为主),用作发电及汽

车和城市燃气的燃料。此外,污水污泥通过干燥和碳化转化为燃料,并在火力发电厂中用作煤炭的替代品。

2 日本污泥制肥

尽管日本国内污泥绿化农用量仅占全国污泥总量的15%左右,但从长期统计数据不难看出,该利用方式一直稳定、持续发展,并未因污泥建材利用方式的发展而被替代,表明日本绿化农用有其特殊性,这与日本污泥制肥法律政策及其资源循环发展的社会理念密切相关。根据2000年修订的《肥料控制法》,日本将污泥肥料划归到普通肥料类别。通过分析近年来农林水产省公布的普通肥料生产情况,日本全国的普通肥料总量维持在 $(819.7 \sim 855.6) \times 10^4$ t/a,其中污泥肥料占比维持在15.8%~16.3%(见图3),与日本污泥绿化农用的占比趋势一致。从不同污泥肥料种类占比来看,污泥肥料以发酵肥料为主,占污泥肥料总量的76.8%~78.3%。由此可见,污泥肥料在日本市场比较稳定,工艺成熟,对全国肥料资源供应起到重要作用。而我国在污泥土地利用过程中污泥制肥发展一直存在政策瓶颈,对污泥土地利用资源化发展造成障碍。因此,重点分析污泥绿化农用利用方式中污泥制肥的法律及政策发展、污泥肥料产品要求、产品利用所涉标准及产品当前发展概况,以期为我国污泥制肥提供借鉴。

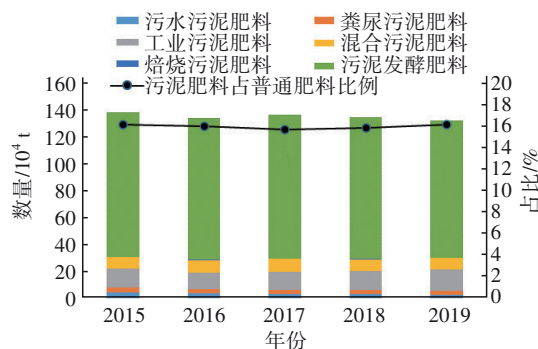


图3 日本不同污泥肥料数量及占比

Fig.3 Quantity and proportion of different sludge fertilizers in Japan

2.1 日本污泥制肥相关法律及政策

① 《肥料控制法》。该法于1950年颁布,历经23次修订,其目的是保护肥料的质量,确保其公平交易,并规定肥料的标准、登记、检查等相关内容,致力于农业生产力的发展。该法将肥料分为

“普通肥料”和“特殊肥料”,“特殊肥料”是指农林水产大臣指定的“米糠”“堆肥”及其他肥料,“普通肥料”是指特殊肥料以外的肥料。以污水污泥为原料的肥料属于“特殊肥料”,生产许可采用申请制。

随着日本国内对化肥、农药减施的要求以及有机农产品消费者需求的提升,日本开始对堆肥等特殊有机肥料采取适当的质量管控措施。为了促进肥料的合理施用、确保肥料质量以及流通顺畅,2000年10月1日实施了修订后的《肥料控制法》,建立了质量标识制度和注册登记制度,并将污泥肥料列入普通肥料目录。

② 《肥料质量保证执法条例》。为进一步明确肥料质量的管理要求,1950年农林水产省依托《肥料控制法》制定《肥料质量保证执法条例》,对污泥肥料种类及管理要求进行补充说明,明确有关污泥肥料的六个品类(包括污水污泥肥料、粪尿污泥肥料、工业污泥肥料、混合污泥肥料、焙烧污泥肥料、污泥发酵肥料)。

③ 《废物处理和公共清洁法》。该法颁布于1951年,旨在抑制工业废弃物的排放,以及进行废弃物的适当分类、保管、收集、搬运、再生、处置等处理,保护清洁生活环境、提高公共卫生水平。该法指出“污泥”作为工业废弃物适用于本法的管理,并明确指出只有当污水管理企业将污泥视为废弃物排放的情况下才适用于本法,若以资源化形式对其利用,则不适用于本法。

④ 《土壤肥力促进法》。1984年,日本以增进农业产量和稳定农业经营为目的制定了《土壤肥力促进法》,规定了促进土壤肥力提升的基本方针和制度。1997年日本修改了此基本方针,提出了土壤开发的基本土壤管理方法和促进土壤适宜管理的基本思路,旨在利用农业废弃物和畜禽粪尿等有机资源培肥土壤,为污泥等有机资源的肥料产品介入提供了契机。

⑤ 《优化畜禽排泄物管理及促进畜禽排泄物利用法》。随着日本国内畜禽规模化和老龄化形势的加剧,以畜禽粪便为资源利用模式的推广日渐受阻,但在日本资源循环型社会发展的要求下,为更好地解决当前有机资源的利用困境,1999年制定了《优化畜禽排泄物管理及促进畜禽排泄物利用法》,以确保国内有机资源的充分利用。该举措也为污泥作为有机资源的联合利用提供了契机。

⑥ 《促进高质量可持续农业生产方式引进法》。为了防止化肥农药过度使用带来的土地质量减退,同时适应消费者对有机农产品的需求,1999年日本制定了《促进高质量可持续农业生产方式引进法》,在全国范围内推广堆肥等有机资源化还田和化肥农药减施的可持续农业发展方式,以确保环境的协调发展,也为污泥等有机资源的土地利用提供了机会。

⑦ 《建立健全物质循环社会基本法》。该法颁布于2000年,用以促进再生资源的循环利用、合理处置,并将经营者的排放责任法定化,强制要求生产经营者开展资源的循环利用。

⑧ 《绿色采购促进法》。该法于2000年5月颁布,是政府颁布的关于促进环境商品采购的法律。作为《建立健全物质循环社会基本法》的单项法律之一,该法认为从需求方(环保商品等)努力是很重要的观点。根据该法,政府和其他公共机构应带头促进环保商品的采购,通过促进提供有关环保商品的市场化,实现社会建设的可持续发展。除了国家和其他组织的努力外,法律还规定了地方政府、企业经营者和公民的责任。

⑨ 《环保商品采购促进政策(采购方针)》。2002年,日本国土交通省制定该项法律,要求在使用作为零部件的材料和工程机械时,努力实现绿色采购。因此,公共工程的采购被指定为《绿色采购法》规定的特定采购项目。与下水道污泥有关的内容包括:由下水道污泥制成的发酵肥料、瓷砖、路面砖(煅烧)以及由下水道污泥等再生材料制成的路面砖(预制无钢筋混凝土产品)和环保水泥(主要由焚烧灰制成)等,均被列为《绿色采购促进法》规定的采购目录。

⑩ 《污泥肥料中重金属管理指南》。为了进一步保障污泥肥料的质量,2010年日本农林水产省发布了《污泥肥料中重金属管理指南》。2015年通过修订明确了砷、镉、汞、镍、铬和铅的管理推荐限值,以保障生产者在污泥肥料制作过程中的重金属含量管理;同时,明确了详细的企业管理方法,以增强社会对污泥肥料的信任度。

总体来看,日本从1950年就已经开展了污泥肥料利用的立法工作,并经过多次修改,日趋完善成熟。在法规方面,主要通过《肥料控制法》《肥料质量保证执法条例》《污泥肥料中重金属管理指南》明

确了污泥制肥的合法性,提出了污泥制肥的相关规定要求,明确日本农林水产省为污泥制肥的监管单位并负责污泥肥料产品的监管、登记审批。与此同时,随着社会转型发展及资源循环利用的要求,日本历经多年分别从污泥废弃物管理、畜禽粪便资源化、土地质量提升、循环经济、绿色采购等方面,为污泥肥料利用提供了不同程度的发展契机,促进了市场活力。

2.2 污泥制肥产品标准要求

随着日本国内对有机农业和高附加值农业发展需求的增加,有机肥料的应用受到广泛关注。日本有机肥多以畜禽粪便、食品厂污泥、下水道污泥、树皮等工业副产品为原料,其肥料成分及有害物质含量、熟化程度等与常规有机肥不同。为建立质量标准和标识,确保肥料质量、使用安全、达标产品推广,1991年日本农林水产省在全国农协中央协会成立“有机肥质量保护研究组”,研究制定肥料质量标准。根据《肥料控制法》,1994年4月颁布了面向肥料生产商的通过特殊肥料质量标准和标识进行质量管理的自我认证制度,主要包括污水污泥肥料(对污水进行曝气处理后脱水污泥或污泥消化发酵产物)和污泥发酵肥料(以污水处理过程中产生的污泥为主要原料进行堆积腐熟)两大类。质量标准分为“通用质量标准”和仅限于各项目的“分类质量标准”。

通用质量标准包括三项内容:①砷、镉、汞应符合《肥料控制法》规定的特殊肥料标准。②植物生长无异常,植物栽培测试鉴定有无异常。③肥料产品的铜和锌含量分别在600 mg/kg和1 800 mg/kg以下(以干基计)。

污泥肥料分类及质量标准如表1所示。

表1 污泥肥料分类及质量标准

Tab.1 Classification and quality standard of sludge fertilizer

类别	指标	污水污泥肥料(干基计)	发酵污泥肥料(干基计)
需要质量标识的标准项目	有机物/%	>35	>35
	碳氮比(C/N)	<10	<20
	总氮(以N计)/%	>2	>1.5
	总磷(以P ₂ O ₅ 计)/%	>2	>2
不需要质量标识的项目	水分/%	<30	<50
	pH		<8.5

按种类区分的质量标准分为规定的质量标识和任意的质量标识,污泥肥料生产者必须根据规定的要求进行产品标识。另外,对于各类堆肥产品,一律不能使用“完熟”标识。

① 标识内容应包括:肥料名称,原材料,通用质量标准中提出的铜、锌,要求质量标识的每个标准项目的分析值或标准值,生产企业名称及所在地,工厂名称,生产日期。另外,作为施用注意事项,对于铜>300 mg/kg、锌>900 mg/kg的肥料,应标识“大量施用、长期连用会导致土壤中铜、锌积累的注意事项”。

② 通用标识事项列举了销售商名称、地址、植物栽培试验结果,以及“依据有机质肥料等质量保护研究会推荐标准”等。

③ 产品与标识不相符的会受到《肥料控制法》第26条第1项的管理限制。

2000年日本修订了《肥料控制法》,以污泥为原料的肥料从特殊肥料目录调整至普通肥料目录,进一步明确了以污水污泥为原料的污水污泥肥料、混合污泥肥料、煅烧污泥肥料及污泥发酵肥料四类污泥肥料。根据2000年的法律修订内容,生产或进口以污水污泥为原料的肥料时,应事先与官方标准进行适应性调查,通过后向农林水产省申请注册,并需要取得农林水产大臣的普通肥料认证。同时,肥料生产者还应提供“生产者质量保证卡”,其中需标明注册号、肥料类型/名称、原材料类型、生产者名称/地址、主要成分含量等信息。对于进口者,进口肥料中也应附“质量保证卡”。另外,在生产污泥肥料时,肥料产品中砷、镉、汞、镍、铬和铅含量应符合法规标准(见表2)。在使用符合《含重金属等工业废弃物相关判定的省令》(1973年总理府令第5号)中第一个附表的工业废弃物原料加工产品时,原料应符合该省令规定的含有重金属等工业废弃物相关的判定标准。同时,污泥肥料产品必须经过植害试验的调查,鉴定肥料使用过程中无植物危害性。其他在污泥肥料使用过程应遵守相关土壤环境等标准的指标及要求,如《农用地土壤重金属积累防治管理标准》《农用地土壤污染防治法》(1970年法律第139号)、《土壤污染对策法》中的《关于向土壤加水时溶出的特定有害物质的量的基准》(2002年12月26日环境省令第29号附表2)及《关于土壤中含有的特定有害物质的量的基准》(2002年12月26

日环境省令第29号附表3)。

表2 以污水污泥为原料的肥料重金属限值

Tab.2 Limits of heavy metals in fertilizers using sewage sludge as raw material $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

肥料种类	重金属	限值
污水污泥肥料、 混合污泥肥料、 煅烧污泥肥料、 污泥发酵肥料	砷	50
	镉	5
	汞	2
	镍	300
	铬	500
	铅	100

3 思考与启示

3.1 深入开拓多元化污泥衍生产品

从日本污泥处置情况来看,污泥资源化发展从20世纪90年代末进入迅速发展时期,截至当前资源化率已稳定在70%以上,其中以肥料、建材、燃料为三大发展方向,不断开拓各领域的资源化产品,逐步形成以建筑材料为主流的资源化发展主线。不同应用方向产品的多元化,奠定了日本污泥高资源化率的发展基础。污泥制建材产品中除了常见的水泥、回填料、砖等基础产品,还延伸了不同功能用途的透水砖、陶管、骨材等生态型、深加工建材产品。在污泥制肥方向看,除了以农林水产省所管理的传统发酵、干化类污泥肥料产品外,日本还大力发展磷资源化回收,其国土交通省2010年出台了《污水系统中磷的回收利用指南》,目前主要通过HAP法、MAP法、灰碱提取法、部分还原熔融法开展磷肥提取,其产品最终通过肥料登记进入市场,以解决国内磷矿进口压力。在能源化利用方面,通过污泥厌氧发酵提取甲烷,将产业链进一步延伸至燃气、新型能源等领域。

而我国污泥资源化尚处于发展阶段,填埋处置占比仍较大,污泥资源化存在产业结构简单、深加工创新不足、功能性衍生制品少的现状问题,降低了污泥资源化产品的发展动能及市场潜力。此外,污泥资源回收技术也处于发展阶段,如污水污泥中磷回收技术的研发与应用。因此我国从业者应注重污泥的原料特性研究,深入挖掘初级污泥制品的下游产业链发展方向,通过对初级污泥制品的资源开发及深加工,致力于进一步提升产品的功能属性附加值,在资源化利用瓶颈中育先机,在污泥市场的变局中开新局,以污泥生产单位下游产业链的市

场化产品倒逼污泥资源化的绿色发展。

3.2 积极发展污泥衍生产品的政府采购模式

日本属于资源紧缺型国家,下水道污泥中丰富的营养及矿物资源的回收利用对日本资源循环利用非常重要。为了推动废物循环再生制品的市场化发展,日本采取以政府为主导的绿色采购计划,并制定法规约束生产经营者的废弃物排放责任,加强废弃资源的循环利用。其中,日本的国土交通省作为下水道污泥的直接政府管理单位,于2002年带头制定了《环保商品采购促进政策(采购方针)》,明确国土交通省在公共工程项目中采购污泥发酵肥料,以及含污泥再生材料的瓷砖及生态水泥(以城市污泥焚烧灰为主要材料的水泥)等污泥资源化衍生产品的要求。

目前,我国相关政策文件中也有针对污泥资源化产品鼓励采买的条文,如《污泥无害化处理和资源化利用实施方案》(发改环资[2022]1453号)中(十五)完善价费机制、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020年修订)第一百条、2011年发布的《北京市水污染防治条例》第四十四条,但是上述政策缺少以政府为主体推动的污泥资源化实体落地项目,市场化发展动能较弱。因此,我国应加强污泥资源化处置的政府主导地位,将污泥衍生产品的市场化主流出路列入政府采购计划,并通过建立污泥衍生产品的政府示范工程,推动污泥资源化产品的市场化发展。

3.3 探索构建污泥产品肥料市场准入制度

下水道污泥具有资源和污染的双重属性,其丰富的有机质和氮磷营养资源对促进植物生长和土壤培肥改土具有良好功效,属于类肥料材料。日本通过《肥料控制法》《肥料质量保证执法条例》《污泥肥料中重金属管理指南》等一系列法规和管理要求,从国家层面自上而下建立污泥肥料市场准入管理制度,不仅明确了农林水产省对污泥肥料的注册管理制度,同时也明确了污泥肥料生产种类,通过法规和管理要求保障了污泥肥料经营管理者的法律责任,促进了污泥肥料产品的市场推广,增强了购买者的产品使用信心。

我国虽然已建立肥料市场准入的管理制度,但是《有机肥料》(NY/T 525—2021)中明确将污泥列为限制原料,使得污泥制肥受到限制,进而制约了污泥在制肥方向上的发展。随着污水处理设施的发

展,污泥产量与环保现状的矛盾日益加剧,未来污泥中大量营养资源的再生利用必将受到社会关注。目前,国内已广泛开展污泥磷资源的回收利用研究^[4]。同时,随着国内工业园区的规范化及排污许可制度的落实,城镇污泥与其他污泥来源逐步区分,城镇污泥品质趋向优良,以利用污泥中营养资源为目的的污泥制肥发展方向将具有更广阔的前景。

因此,我国应科学评估国内污泥特点,借鉴国外污泥肥料产品的市场准入管理制度,推动污泥制肥市场的有序、安全发展。具体措施如下:针对不同来源的污泥原料,采取分门别类的管理措施,同时设定污泥作为制肥原料的限制指标、限值及安全性评估要求,倒逼以污泥制肥为主要发展方式的污泥生产经营单位采取更先进、更高要求的污染物源头减控措施,保障污泥制肥原料可控、产品质量安全可靠。

4 结语

① 1988年—2007年日本全国污泥产量呈现逐年增加趋势,增幅达66.2%,资源化利用率从1988年的15%逐年增加至2010年的78%。2011年受日本福岛核电站核泄漏事故的影响,污泥资源化率降至55%,2017年恢复至73%。

② 日本已形成以建材利用为主线的污泥资源化模式,截至2017年约占污泥总量的47%,建材产品多元化,以污泥制水泥产品为主。污泥绿化农用水方式稳步发展,但总量占比有限,截至2017年约占全国污泥总量的15%,以污泥制肥方向为主。

③ 日本通过立法形成了较为完善的污泥制肥市场准入制度,划分了不同污泥肥料产品种类,明确了管理要求。当前,污泥肥料占日本全国普通肥料的15.8%~16.3%,以污泥发酵肥料为主,占污泥肥料总量的76.8%~78.3%。

④ 我国在污泥资源化未来发展过程中应深入开拓多元化污泥衍生产品,积极发展污泥衍生产品的政府采购模式,探索构建污泥产品肥料市场准

入制度,促进污泥资源化发展进程。

参考文献:

- [1] 崔超,张荣兵,付强,等.挪威污水污泥发展概况及对我国污泥土地利用的启示[J].中国给水排水,2022,38(14):9-16.
CUI Chao, ZHANG Rongbing, FU Qiang, et al. Development of sewage sludge in Norway and its enlightenment of sludge land utilization in China [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38 (14) : 9-16 (in Chinese).
- [2] 戴晓虎,张辰,章林伟,等.碳中和背景下污泥处理处置与资源化发展方向思考[J].给水排水,2021,47(3):1-5.
DAI Xiaohu, ZHANG Chen, ZHANG Linwei, et al. Thoughts on the development direction of sludge treatment and resource recovery under the background of carbon neutrality [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(3):1-5 (in Chinese).
- [3] 水落元之,久山哲雄,小柳秀明,等.日本生活污水污泥处理处置的现状与特征分析[J].给水排水,2015,41(11):13-16.
MOTOYUKI Mizuochi, TETUSO Kutama, HIDEAKI Koyangi, et al. Analysis of the sludge treatment and disposal characteristics and status of domestic sewage in Japan [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41 (11):13-16 (in Chinese).
- [4] 丁燕燕,于鸿宇,戴晓虎.污泥中的磷及回收技术研究进展[J].中国给水排水,2022,38(16):29-34.
DING Yanyan, YU Hongyu, DAI Xiaohu. Research progress on phosphorus in sludge and its recovery technology [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38 (16):29-34 (in Chinese).

作者简介:崔超(1990-),男,山东淄博人,硕士,高级工程师,主要从事固废处理处置与资源化利用方面的研究工作。

E-mail:cuichao5212009@163.com

收稿日期:2022-07-14

修回日期:2022-10-08

(编辑:丁彩娟)