

《生物质灰渣基沙化土壤改良剂标准》

编制说明

目 录

一、标准编制的依据、背景、目的、意义.....	1
二、起草单位组成情况及编制组成员名单.....	4
三、标准编制的工作基础.....	9
（一）生物质灰渣理化特性研究	9
（二）复合改良剂对沙化土壤的修复效果研究	16
（三）生物炭和有机肥对沙化土壤绿豆生长及产量的影响	22
（四）生物质灰渣对退化土壤修复作用研究	24
（五）生物质灰对土壤团聚体及有机碳分布影响	27
（六）试验验证分析	30
四、前期筹备工作.....	31
五、主要章节内容.....	31
（一）范围	32
（二）规范性引用文件	32
（三）术语与定义	32
（四）技术要求	32
（五）试验方法	34
（六）检测规定	34
（七）标识	34
（八）包装、运输和贮存	34
六、需要调查研究的主要问题，必要的测试验证项目	34
七、编制组成员工作分工.....	35
八、工作进度计划.....	37
（一）团体标准起草阶段（2024年10月~12月）	37
（二）征求意见阶段。（2025年1月）	38
（三）审查阶段（2025年2月）	38
（四）批准、发布（2025年3月-4月）	39
九、其他需要安排的工作.....	39
（一）标准报批发布后，成立标准宣贯工作组	39

一、标准编制的依据、背景、目的、意义

（一）依据和背景

（1）沙化土壤治理迫在眉睫

全球荒漠化土地面积为 $3.6 \times 10^7 \text{ km}^2$ ，其中耕地面积约占五分之一。中国荒漠化土地面积为 $261.16 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，沙化土地面积为 $172.12 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。中国沙化土地主要分布在北方干旱与半干旱地区，是世界上沙漠化土地最多的国家之一。沙化土地涉及范围广，占地面积大，已经开始成为全球的环境问题和经济社会问题。

沙化土地的土壤特征主要表现为土质疏松，风蚀严重，土粒松散，粗颗粒增加，毛细作用弱，水分入渗能力增强，但土壤保水蓄水、保肥蓄肥能力差，这些特点会导致土壤结构的不合理、土壤养分的流失，同时还会对植物的生长产生影响，长期以来，会导致生态系统的的不稳定，从而使土地质量下降。土地沙化已经成为制约人民生产、生活以及经济发展的重要因素。加强沙化土地治理，改良沙化土地，防止沙化土地继续退化，保护土地环境等形势迫在眉睫。

（2）生物质灰渣产量巨大且缺少资源化利用途径

秸秆离田的主要去路之一是生物质发电，根据《中国生物质能产业发展年鉴 2023》我国生物质能发电装机容量已连续四年位居世界第一，根据国家能源局 2024 年一季度数据，

全国生物质发电新增装机 63 万千瓦，累计装机达 4477 万千瓦，每年可消耗生物质量近 1 亿吨，秸秆灰渣产量达 1500 万吨/年，但生物质灰渣目前缺乏有效利用途径和销售市场，一般用于筑路、填埋等初级处理，或随意堆放，这样粗放的处理方式不但没有任何效益、占用土地资源，导致植物生长所必需的营养元素生态链发生断裂，而且还制约生物质发电的发展，日益成为经济和环境的负担，生物质电厂生物灰渣有效处理是一个亟待解决的问题。

(3) 生物质灰渣可以改良沙化土壤结构

生物质灰通常呈粉末状，在施用后可改变土壤毛管土壤空隙和非毛管空隙的比例，从而促进土壤团粒结构形成，协调土壤水分和空气，提高耕层土壤接纳和储存水分的能力。配施生物质灰能够增加大团聚体的数量，明显提高土壤团聚体结构的稳定性，以抵抗强烈降雨和灌溉干扰的外部驱动力，防控土壤物理结构的退化。

生物质灰渣含有植物所必需的营养元素，包括必需的大量元素和微量元素，例如 P、K、Ca、Mg、S、Fe、Mn、Zn、Cu、Co、B 和 Mo 等多种植物生长必需的中微量元素，且含量比例与植物所需基本一致。进入土壤可以改善系统平衡，可以增加土壤淤泥含量来改善土壤质地，从而降低土壤干密度

并提高土壤保水能力，这对植物生长具有良好的作用；生物灰渣中的钙与土壤中的钠交换保持了土壤的松散性，并使

根部穿过土壤层，对植物营养生长产生积极作用。

（二）目的和意义

（1）规范生物质灰渣资源化利用市场

自 2020 年 9 月 1 日起施行的《固体废物污染环境防治法》首次正式将生物质电厂发电所产生的炉渣列为固体废物名录，接受固体废物污染环境防治法的管辖。根据最新《固废法》的规定，生物质发电产生的灰渣和炉渣均需要外运后做无害化处理，才可以达到环保生态管理部门的环保要求。这种将生物质灰渣等同于粉煤灰，将其定义为固体废弃物的强制性规定，出发点无疑是控制污染、保护环境，但生物质灰渣是生物质原料经燃烧等处理后剩余的物质，其原材料源自植物，涵盖木质类生物质以及草本农业类生物质。正因如此，生物质灰渣具备自然可降解特性，能够回归大地，将其作为固体废物处理是对资源的巨大浪费。

目前一些将生物质灰渣回用到土地的企业，虽能取得改良土壤 pH 值、补充土壤营养元素等效果，但在环保压力及缺少相应执行的依据的压力下，会在产品配料中隐去生物质灰渣原料，相应审查部门无法核查所用灰渣是否 100%来自于植物，也无法通过控制功能指标和限制性指标，这无疑是土地可持续发展的隐患。

通过制定《生物质灰渣基沙化土壤改良剂标准》可以使生物质灰渣的土地回用有据可依和有据必依，规范生物质灰

渣土地利用市场。

(2) 生物质灰渣变废为宝改良沙化土壤

将生物质灰渣当作改良土壤的材料，可实现生物质行业全领域“变废为宝”循环利用，实现生物质全周期都有望实现二氧化碳的“净零”排放，助力“双碳”目标的实现。在探索灰渣与沙质土壤的适配性、改良效果提升等方面，有望催生出一系列新的技术路径和解决方案。这一应用模式也将带动新的产业生态形成，围绕生物质灰渣的收集、处理、应用等环节，衍生出众多相关产业和就业机会，激发新的经济增长点。

生态环境的维持及减少沙尘现象的产生都需要对沙化现象进行治理，矿区沙漠化治理不仅是西部大开发环境建设优先战略的需求，也是提高国民经济发展的必然需求，是使沙化地区的人们能够脱离贫困，提高土地质量的必要道路，对西部地区自然资源的开发也具有重要的意义。

二、起草单位组成情况及编制组成员名单

(1) 牵头单位

①国能生物发电集团有限公司

国能生物发电集团有限公司成立于 2005 年 7 月 7 日，是国家电力投资集团有限公司在京二级单位，主要业务涉及

生物质综合利用、风电、光伏等新能源、碳资产管理和综合能源服务等领域，是我国农林生物质直燃发电产业的开拓者

和领军企业，是我国目前规模最大的农林生物质综合利用企业和绿色碳源供给商，连续 10 年被评为国家农业产业化重点龙头企业。截至 2023 年底，公司总资产 355.64 亿元，分子公司 56 家，分布于全国 12 个省（市、自治区）。

（2）主要参与单位

①国家电投集团北京电力有限公司

国家电投集团北京电力有限公司组建于 2016 年 10 月，是国家电投集团二级子公司，主要从事风能、太阳能、氢能、储能、综合智慧能源和配售电业务的投资、开发、运营，是一家零碳智慧能源企业。公司目前有区域子公司 8 家、项目开发公司 6 家、科研机构 1 个及中心 3 个。截至 2023 年底，公司资产总额 396 亿元，装机总量 609 万千瓦，在运场站 165 个。公司拥有丰富沙漠生态综合治理经验，光伏治沙模式得到国内外高度关注及联合国环境规划署认可。

②山东大学可持续发展研究中心

山东大学可持续发展研究中心成立于 2003 年 11 月 3 日，是学校直属的科研和研究生培养的独立实体机构。

山东大学可持续发展中心是为了促进山东大学能源、环境及其相关学科的发展，满足山东省乃至国家日益增长的节能减排与环境保护的科学技术需求而组建的，并为山东省政

府环境保护、循环经济等职能部门提供技术依托和政策咨询服务。

该中心依托的科研平台主要有燃煤污染物减排国家工程实验室、全国循环经济工程实验室、环境热工过程教育部工程技术研究中心、山东省环境科学工程技术研究中心、山东省燃烧与污染控制工程研究中心、山东省能源碳减排技术及资源化利用重点实验室、环境模拟与污染控制山东省高校重点实验室。

先后主持了 15 项国家及省部级科研项目，出版 7 部学术专著。

获国家科学技术发明二等奖 2 项，教育部科技进步一等奖 1 项，教育部科技发明二等奖 3 项，山东省科技进步一等奖 1 项，山东省科技发明二等奖 1 项，山东省科技进步二等奖 2 项。

中心采用“微观—宏观—动态”递进方式，构建了基于过程的、迅速的产品全过程动态清单构建方法；并依据泰勒系列展开不确定性分析模型与 ISO 14040 系列标准，开发了我国生命周期清单基础数据库（CPLCID）。

该 CPLCID 数据库中已涵盖了我国重点工业行业的典型产品（造纸、化肥、炼焦、煤碳、电力、铝、铜、锌、钨、铅、玻璃、水泥、钢铁、化纤、生物柴油、蒸汽、乙烯、糠醛、卤水、常见无机化学制品等）、污水处理、垃圾处置（下

水污泥、城市生活垃圾、电子垃圾、钻井固废、危废处置、餐厨垃圾等)、道路运输、秸秆资源化利用等基础生命周期

数据。

目前数据库已涵盖了 6000 余个单元流程，每个单元流程内都包含数据质量指标，可为准确、科学、客观地动态量化我国产业全过程管控提供数据支持。

③山东祥桓环境科技有限公司

山东祥桓环境科技有限公司是依托山东大学能源与环境研究所、燃煤污染物减排国家工程实验室成立的国家级高新技术企业、山东省瞪羚企业。

自 2014 年成立以来，公司始终与山东大学“产学研”紧密结合，取得丰硕成果，先后获得多项国家级、省部级科技奖励，取得各类专利百余项。

公司始终在科技领域孜孜以求、不断推陈出新，目前已建立脱硫、脱硝、除尘、节能、余热利用、燃料替代、散源治理、污水处理、有机废物资源化等核心技术体系，并拥有完全自主知识产权，具备核心竞争力，业务已广泛分布于电力、钢铁、建材、化工、新能源等行业及领域。

公司不断追求能力建设，目前已具备工程总承包、勘察设计、施工、调试等相关资质，满足向广大客户提供技术开发、工程咨询、勘察设计、装备制造、安装调试、运行维护等优质服务。

④ 济南祥丰能源技术有限公司

济南祥丰能源技术有限公司成立于 2009 年，主要从事

农村能源、环境领域的技术开发、咨询、设计，设备制造，工程施工和技术服务；开展农业及农村废弃物的综合利用，以及综合利用产品的深度加工和推广应用。在种养及生活废弃物资源化处理、乡镇供热工程、污水处理、土壤改良、有机肥和生物农药基料生产等方面拥有成熟技术。

公司与山东大学可持续发展中心、山东大学全国循环经济工程实验室、山东省能源碳减排及资源利用重点实验室建立了产学研联合体，形成了从基础技术研究到成果转化，从产品研发到市场推广的科研平台，促进了祥丰能源持续快速增长。

公司秉承绿色、循环、和谐的发展理念，致力于协同农业生产、改善农村生态、提升农民生活的“三农三生”融合发展的技术研发和产品推广，推动建设祥和丰盈的社会主义新农村。

(3) 项目负责人（简介）

郝顺德，男，出生年月：1975年6月，联系电话：18653153977，政治面貌：中共党员，现就职于国能生物发电集团有限公司，职务：国能生物生态修复（灰渣利用）中心工作组组长。学历：大学本科。

主要工作经历：

1997年7月-1999年12月先后任山东运通农业中心销售经理、山东寿光一立农业公司副总经理；

2000年1月-2006年4月任山东鲁能工程公司综合干事；

2006年5月至今就职于国能生物发电集团有限公司，先后任国能集团燃料价格及市场管理，新疆分公司燃料部副经理，惠民发电公司副总经理、国能华东分部综合部主任（兼任国能生物公司生态修复（灰渣利用）中心工作组组长）。

2016年至2020年兼任国际泥炭工业协会中国国家委员会副秘书长，参与泥炭机制团体标准申请、制定。

获得奖项情况：

2016年至2020年兼任国际泥炭工业协会中国国家委员会副秘书长，参与泥炭基质团体标准申请、制定。

2016年11月荣获山东省潍坊市农业科技先进工作者。

三、标准编制的工作基础

标准编写主要内容包括生物质灰渣基沙化土壤改良剂生产所需的原辅料及相关设施、设备，生产工艺操作流程及结果的判定，适用于生物质电厂生物质灰渣基沙化土壤改良剂的生产。标准起草和制定过程主要包括以下试验：

（一）生物质灰渣理化特性研究

1.不同原料来源生物质灰渣性质研究

生物质种类广泛，不同生物质燃烧所得生物质灰渣的特性有所差别，针对不同来源和特定燃烧工艺形成的生物质灰

渣具有特殊的理化性质研究较多，主要检测手段为 XRF（X 射线荧光光谱分析）法，检测秸秆灰的矿物质组分，汇总了

12 种常见生物质资源在 450℃、600℃、815℃和 1000℃灰化温度下的化学组成。

表 3.1 12 种生物质灰渣在不同灰化浓度下的灰分化学组成 (%)

种类	灰化温度 (°C)	灰分	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	Cl
玉米秸秆	450	11.1	0.4	2.2	1.6	36.3	4.3	3.7	29.4	6.1	0.8	15
	600	9.3	0.7	3.6	1.8	41	5.8	3.7	25.1	6.5	0.6	11.2
	815	8.8	0.6	3.7	2.8	45.2	8.5	4.6	21.4	9.6	0.9	2
	1000	6.7	0.6	2.4	2	45.8	4.3	9.2	17.7	14.7	0.8	2.3
稻草	450	14.6	1.1	3.5	1.1	42.8	3.1	7.9	19.5	8	0.5	10.9
	600	12.7	1	2.3	0.9	52	2.5	6.5	17.8	7.7	0.8	7.1
	815	11	0.9	3.9	1.6	51.3	5.1	10.3	13.5	9.6	0.8	1.3
	1000	10.9	0.4	3.6	2	57.1	4.1	7.2	12	10	1.1	0.8
麦秸	450	14.1	0.7	0.8	1.3	62.5	1.4	2.7	17.6	2.8	0.4	9.4
	600	12.9	1.1	1	1.5	53.8	2.8	3.7	21.3	4.2	0.6	10.1
	815	12.1	1	0.7	1.4	66.2	2.7	4.5	15.3	4.1	0.7	3.4
	1000	9.3	1.5	1.4	1.7	67.2	3.2	4.8	12.9	5.5	0.8	0.8
杨树	450	2.9	0.8	3.4	5.4	38.2	5.7	5.8	10.5	26.1	2.9	0.6
	600	2.6	0.7	4.1	6.9	26.8	7	5.5	8.2	34.8	3.8	1.5
	815	2.2	0.7	5.2	5.1	29.2	9	8.7	9.2	27.4	3	1.1
	1000	2	0.8	3.4	7.1	29.6	6.5	10	5.7	32.3	3.1	0.6
棉杆	600	2.9	2.4	6.4	5.8	18.2	7.1	9.5	17.1	26.1	3.8	2.8
	815	2	2.1	7.7	5.5	19.6	7.6	8.7	14.4	29.2	4.1	0.5
油菜	600	7.7	1.1	0.4	0.2	4.1	2.7	21.2	35.4	25.7	0.7	8.2
秸秆	815	6.2	0.9	1.5	1.2	3.3	2.3	25.2	32.4	25.2	0.7	6.9
松木	600	1.7	12.8	5.6	6.5	16.5	2.4	7.6	7.8	24.9	4.6	8.8

	815	1.4	12.6	7.7	5.5	19.6	2.7	10.3	5.5	26.6	3.3	4.9
竹子	600	0.9	/	4.5	/	19.2	5.3	8.2	49.2	6	3.1	1.1
	815	0.8	/	4.7	/	25.6	6.4	7.2	43.7	5.8	2	0.8
花生壳	600	/	0.99	5.46	3.13	24.2	5.69	9.6	18.6	19.7	5.18	3.3
	815	/	0.82	6.27	7.26	27.8	3.72	8.4	15.5	20.3	8.48	0.09
稻壳	600	18.2	0.39	0.55	0.36	94.7	/	0.09	1.86	0.75	0.86	0.18
	815	18.2	0.12	0.43	0.2	95.9	/	0.07	1.72	0.77	0.35	0.03
烟草茎	600	17.3	0.4	5.9	/	0.1	4.1	8	21.2	31.4	0.1	28.2
	815	12.7	0.9	8	0.9	0.5	3.7	11.4	23	40.9	0.1	9.9
玉米芯	600	9.51	7.29	5.18	2.68	25.6	/	4.63	29.7	6.65	0.96	13.3
	815	7.94	6.43	6.74	2.56	25.9	/	7.79	23.3	6.32	0.79	10.9

总结了 12 种生物质灰的理化特性，各种生物质灰渣主

要由 SiO_2 、 CaO 、 K_2O 、 P_2O_5 、 NaO_2 等氧化物组成，不同的生物质灰渣中各种氧化物的含量存在较大差别。

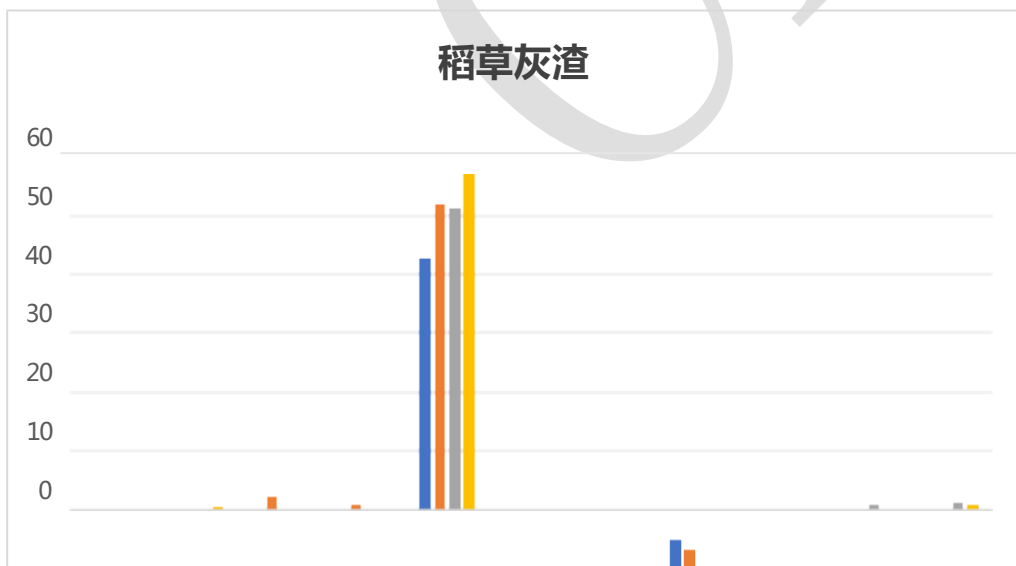
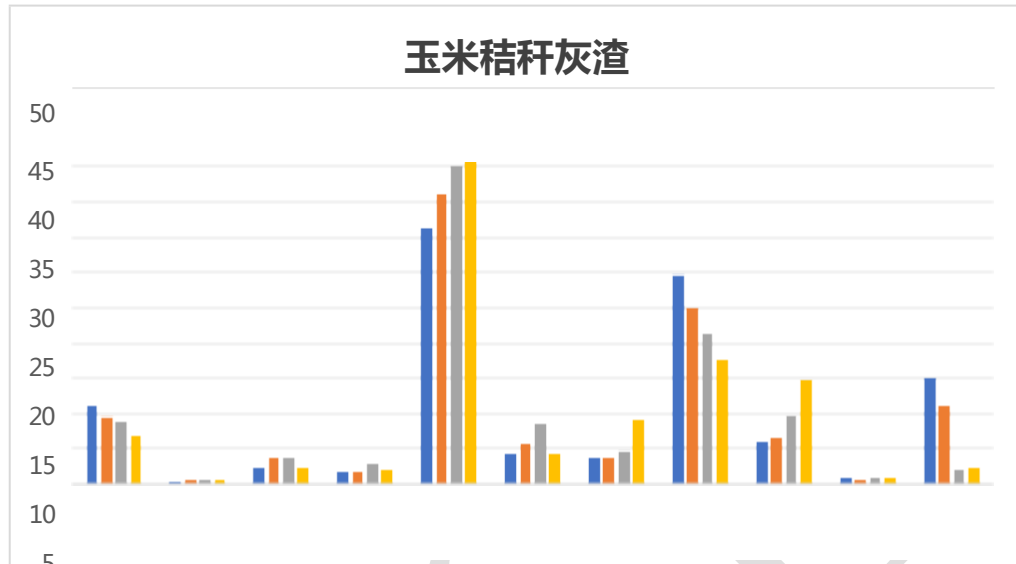


图 3.2 稻草灰渣化学组成

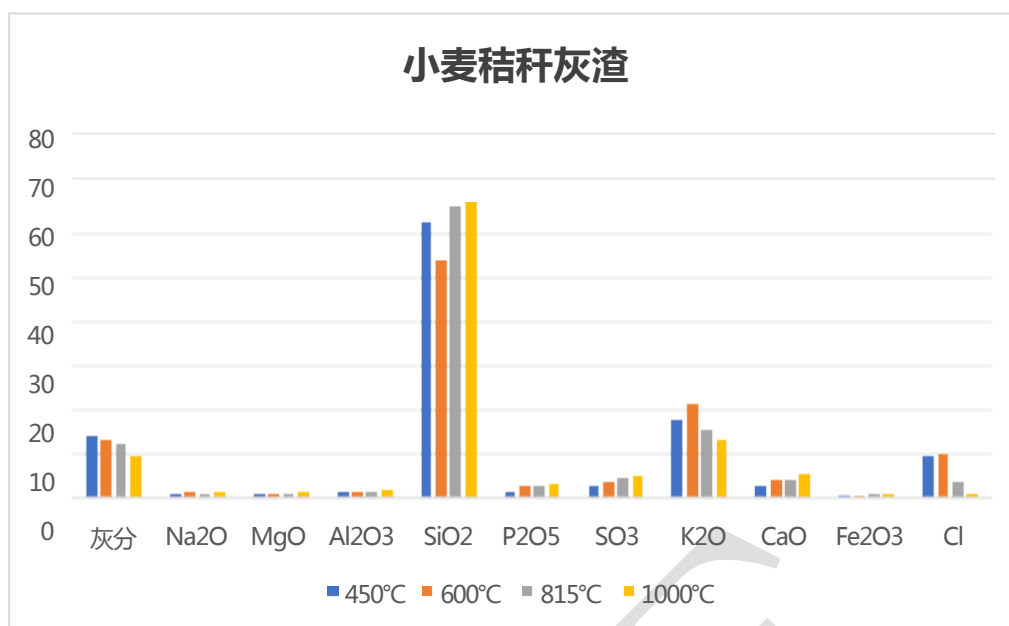


图 3.3 小麦秸秆灰渣化学组成

以玉米秸秆、稻草和小麦秸秆为秸秆类代表，由图 3.1、3.2 及 3.3 可知，秸秆灰渣种 SiO_2 含量最多，含量比为 36.3%~67.2%，且随灰化温度的升高含量逐渐升高；其次为 K_2O 含量最多，玉米秸秆灰渣汇总最高含量接近 30%，含量随温度的升高呈现下降趋势；同时 P_2O_5 的含量也是较多的成分之一，平均含量在 3%~6%左右，其含量和温度的变化没有明显的变化趋势。

杨树木灰渣

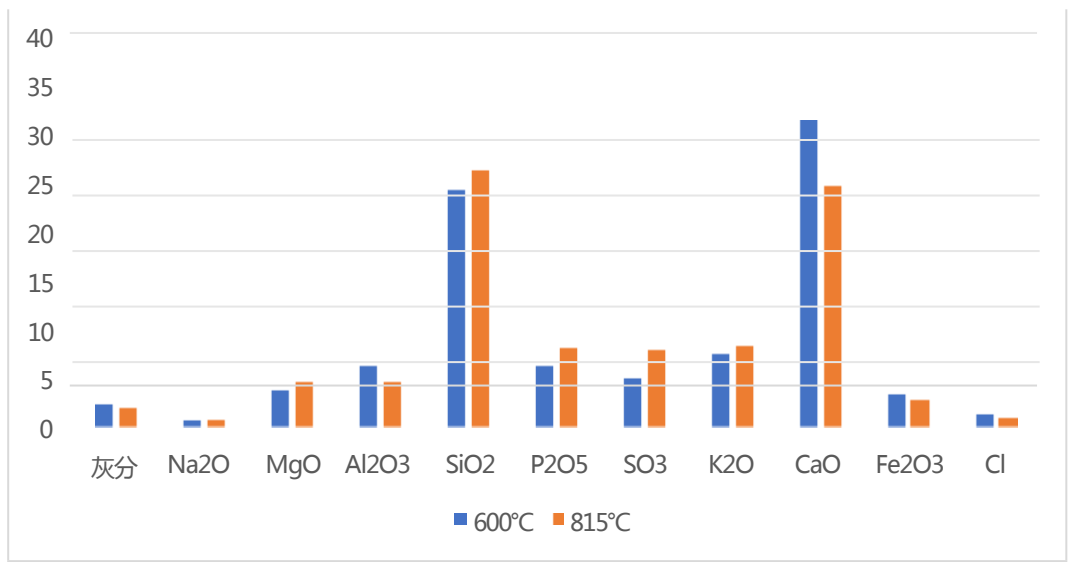


图 3.4 杨树木灰渣化学组成

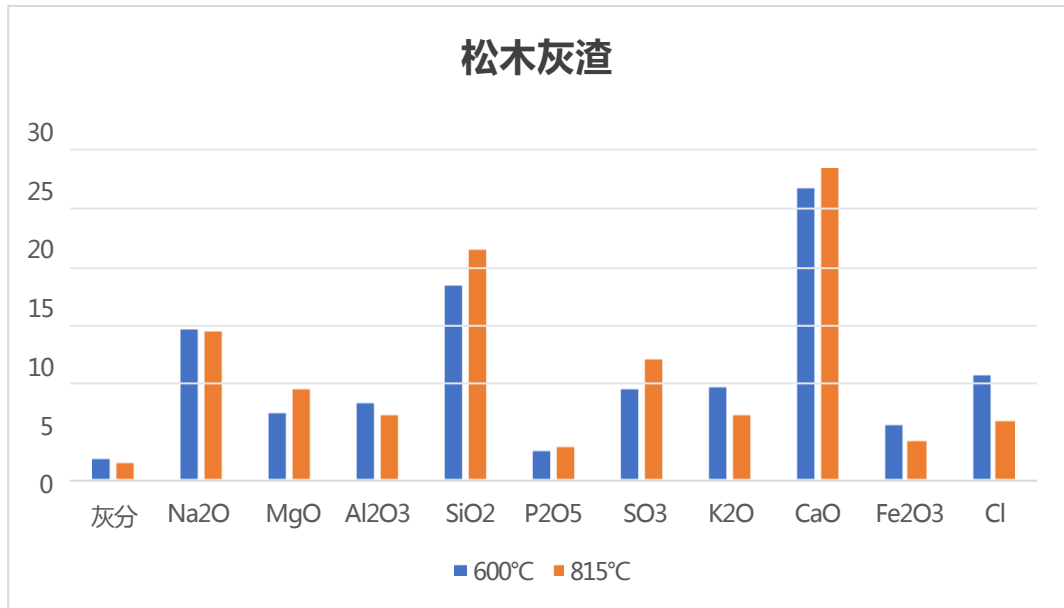


图 3.5 松木灰渣化学组成

以常见的杨树木和松木作为木本生物质的代表性生物质原料，由图 3.4 和 3.5 可知，木本类生物质灰渣中 CaO 和 SiO₂ 约占 60%左右；K₂O、P₂O₅ 含量约占 6%左右；其次铁、镁、铝等微量元素含量也较为均匀。

2. 农林生物质直燃电厂灰渣资源化技术与展望

农林生物质灰渣多呈碱性，碱金属元素含量较高，主要成分包括 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、P₂O₅、SO₃，还含有少量 MnO、TiO₂、Na₂O 以及未燃碳和少量有机物。

表 3.2 不同生物质灰渣的化学组成

生物质 Biomass	均热减量 LOI	化学组成 Chemical composition/%											温度 Temperature/ ℃		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻			
木本类 Woody plants	针叶木(白棕和黄松) White fir and ponderosa pine	27.59	9.35	3.12	1.14	32.06	1.76	4.93	0.69*	3.13	10.72	0.39	0.07	525	
	针叶木(树皮和木屑) Conifer bark and wood dust	15.62	48.6	5.94	3.26	18.1	0.051	3.2	0.14	0.52	1.85	0.92	0.06	1000	
	松木屑 Pine sawdust	—	11.84	1.96	2.94	35.88	—	1.60	39.43	0.70	1.32	0.44	0.16	600	
	松木屑 Pine sawdust	—	13.04	1.70	3.70	37.52	—	1.83	39.76	0.65	0.72	0.28	0.07	825	
	梧桐树叶 Parasol tree's leaves	—	24.95	1.88	1.79	28.37	—	5.93	16.83	3.65	11.58	1.12	3.97	600	
	梧桐树叶 Parasol tree's leaves	—	28.53	1.67	1.80	29.53	—	6.75	17.34	3.85	8.09	1.06	0.86	825	
	橄榄树锯末 Olive cake	22.47	12.13	2.64	1.49	11.94	0.03	3.38	4.17	4.12	41.50	0.18	3.47	450	
	桉树 Eucalyptus	5.12	25.34	6.05	4.15	36.72	0.42	3.61	3.84	4.70	5.84	0.95	—	—	
	杨树 Poplar	3.64	36.44	8.96	6.39	23.76	0.52	3.52	4.68	1.90	6.70	1.49	1.90	975	
	冷杉木(飞灰) Fir chips(Fly ash)	0.8	16.4	5.9	3.6	33.7	2.8	11.7	2.5	3.3	13.0	1.4	1.7	1000	
	冷杉木(底灰) Fir chips(Bottom ash)	2.4	14.8	3.2	3.3	48.4	0.4	9.9	0.1	1.0	11.1	1.0	0.1	1000	
	杨树 Poplar	—	6.5	0	1.5	43.0	—	17.5	3.1	15.3	6.6	—	—	850	
	草本类 Herbaceous plants	水稻秸秆 Rice straw	7.97	75.38	0.09	0.10	1.60	0.27	1.64	0.67*	0.61	11.95	0.14	3.18	525
		小麦秸秆 Wheat straw	14.91	57.47	0.77	0.39	2.80	0.07	1.82	1.66*	1.05	16.55	0.80	3.58	525
		稻壳 Rice husk	17.78	76.7	0.18	0.23	0.82	—	0.65	—	1.62	2.03	—	—	900
向日葵壳 Sunflower husk		—	62.67	3.71	3.12	6.77	—	3.93	—	0.86	18.94	—	—	—	
甘蔗渣 Sugarcane bagasse		9.78	61.59	5.92	7.36	5.00	0.10	1.17	0.42	0.98	6.22	—	—	1000	
稻壳 Rice husk		14.85	63.77	0.37	2.65	0.44	0.05	0.50	0.12	0.67	1.42	0.03	0.05	1000	
稻壳 Rice husk		—	93.59	0.54	0.82	1.45	0.19	0.15	1.94	—	1.94	0.01	—	—	
花生壳 Groundnut shell		3.90	43.13	10.71	3.96	10.81	—	6.10	—	4.19	9.61	5.60	1.44	450	
玉米秸秆 Corn stalk		—	44.7	2.8	2.4	13.5	—	9.1	4.2	3.7	19.0	—	—	850	
棉花枝 Cotton branch		—	12.5	4.0	2.8	32.6	—	14.3	5.1	11.4	14.3	—	—	850	

3. 生物质电厂飞灰用作肥料的可行性评价

2 家电厂均采用振动炉排燃烧方式燃用秸秆和树皮等的混合燃料，飞灰取自布袋除尘器下的灰斗，分别命名为 A 和 B。

表 3.3 生物质灰中元素浸出率

灰样 Ash	主量元素 Major Elements							微量元素 Trace elements					
	K	Na	Ca	Mg	P	Si	Al	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
A	65.60	35.80	14.27	n.d.	0.106	0.013	0.075	1.274	0.024	0.101	0.012	0.035	0.017
B	38.61	7.319	9.840	n.d.	0.191	0.027	0.011	0.325	0.013	0.009	0.014	0.010	0.200

A、B 飞灰中主量元素中 K、Na、Ca 元素的浸出率均

较高，其中 K 的浸出率则最高，而其他主量元素包括 Mg、P、Si、Al 的浸出率都极低（远小于 1%）。对于重金属元素（Cr、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb），除 A 飞灰的 Cr 为 1.274% 外，其他浸出率都比较小，远小于 1%，说明这些元素在飞灰中大多以难溶物质的形式存在，可以推测它们的浸出对环境的影响很小。

K 元素易浸出，浸出率分别为 65.60%、38.61%，所以飞灰比较适合作为速效钾肥。同时，除 A 飞灰中 Cr 的浸出率为 1.274% 外，其他有害元素的浸出率远小于 1%，说明当生物质飞灰应用到农林土壤时只有极少部分重金属元素可能进入水体，不至于造成污染。

4. 生物质灰渣资源化利用研究

将生物质灰渣中的重金属含量值与标准值对比，结果如表 3.4 所示。测定结果表明：两种生物质灰渣中重金属含量均符合国家规定，不仅可直接将其施用于农田，作为原料制备复混肥重金属含量也不会超标。

表 3.4 生物质灰渣重金属含量

单位 (mg/kg)	分离灰	淋洗灰
总镉 (Cd), mg/kg	2.1	1.0
总汞 (Hg), mg/kg	3.7	2.9
总砷 (As), mg/kg	-	-

总铅 (Pb) , mg/kg	26	50
总铬 (Cr) , mg/kg	31	27

廖翠萍等研究表明, 镉、铬、铅三种元素在生物质灰迹

中呈稳定性态存在，随着浸提液降低，其浸提量没有变化，表明这些金属的的化合物是酸不可溶的。其原因可能有两点，一是它们在灰渣中的含量极低，二是与它们在灰渣中的赋存形态有关。因此，在利用过程中，生物质灰渣中的有害重金属元素不会对土壤及植物造成污染。同时，两种生物质灰渣中均未检测出砷含量，也与廖翠萍等的研究结果相符。

通过以上研究可知生物质灰渣中含有多种植物所需营养元素，这些营养元素可以明显改良土壤的理化性质。生物质灰渣中所含的灰分、 SiO_2 、 CaO 等成分，以及本身颗粒微小、输送等特性，可以降低土壤砂性，提高沙土持水能力，降低土壤容重，增加沙土微生物活性，增加土壤抗侵蚀能力，对水、肥、气、热有很好的保存和传导作用。

(二) 复合改良剂对沙化土壤的修复效果研究

(1) 供试材料

①供试土壤：取自于内蒙古芒来露天矿区，通过对矿区土地利用类型土壤黏粒、砂粒及粉粒含量测定，按照美国农业部制分类方法确定矿区土壤质地类型为砂壤。

表3.5 原土样基本理化性质

PH	EC	铵态氮	硝态氮	全磷	有效磷	全钾	速效钾	有机质
	(mS/cm)	(mg/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)
7.86	247	232.407	22.60	0.35	37.87	0.52	43.84	15.78

②供试作物：选取黑麦草作为实验供试植株。

③土壤改良剂：黄腐酸、粉煤灰、枯芽孢杆菌。

(2) 试验设计

本实验采用三因素三水平的组合方式，形成 9 种不同的土壤改良剂处理组合，再加 1 个对照，共计 10 个组合。

表 3.6 土壤改良剂具体施加量内容表

样品编号	枯草芽孢杆菌	黄腐酸	粉煤灰	实验方案
	A(g/盆)	B(g/盆)	C(%)	
1	0.0825	0.7875	0	A ₁ B ₁ C ₁
2	0.0825	1.4175	10	A ₁ B ₂ C ₂
3	0.0825	2.0475	20	A ₁ B ₃ C ₃
4	0.1230	0.7875	10	A ₂ B ₁ C ₂
5	0.1230	1.4175	20	A ₂ B ₂ C ₃
6	0.1230	2.0475	0	A ₂ B ₃ C ₁
7	0.1850	0.7875	20	A ₃ B ₃ C ₃
8	0.1850	1.4175	0	A ₃ B ₂ C ₁
9	0.1850	2.0475	10	A ₃ B ₃ C ₂
10	0	0	0	CK

①土壤饱和吸水量的变化

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/946123020052011005>