

**《秸秆还原糖创制及秸秆糖化碳源制备技术规程》
(征求意见稿)
编 制 说 明**

起草单位：南京农业大学
归口单位：中国土壤学会
2026年9月1日

目 次

- 一、工作简况：包括任务来源、制定背景、起草过程、主要参加单位和工作组成员；
- 二、标准编制原则、主要内容（如范围、规范性引用文件、术语和定义、原料要求、制备工艺、测定方法、质量控制）的确定依据；
- 三、主要试验验证报告或总结、技术经济论证与预期效益；
- 四、与国外国内标准对比；
- 五、采用国际国内标准等有关情况；
- 六、重大意见分歧的处理经过和依据；
- 七、涉及专利的有关说明其他应予说明的事项；
- 八、标准实施要求及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期等建议；
- 九、其他应当说明的事项。

一、工作简况

（一）任务来源

《秸秆还原糖创制及秸秆糖化碳源制备技术规程》团体标准由中国土壤学会提出并归口管理，立项编号为T/SSSC 2026-11-2，于2026年8月21日立项。项目任务来源于秸秆高值化利用、农业碳源开发、有机水溶肥料产业发展和化肥减量增效等需求，针对秸秆酶解糖化制备还原糖碳源产品缺少统一技术规范的问题，围绕秸秆气爆预处理、酶解糖化、固液分离和浓缩等关键环节，建立包括原料要求、制备工艺、测定方法、质量控制和贮存等内容的技术规程，为秸秆糖化碳源产品的规范化生产和推广应用提供技术支撑。

本标准定位为"制备技术规程"，不替代有机水溶肥料产品质量标准，也不规定秸秆糖化碳源产品在具体作物上的田间施用要求。标准对象为以水稻、小麦、玉米等禾本科农作物秸秆为原料，经气爆预处理、酶解糖化、固液分离和浓缩制备的秸秆糖化碳源产品，按形态分为固体型和液体型。产品质量指标（还原糖含量、水不溶物、重金属限量等）由本标准规定；产品在农田、发酵等场景中的具体应用技术可参考相关资料性附录。本标准侧重解决"合格产品如何规范生产出来"的问题，实现秸秆预处理、酶解糖化到产品制备各环节技术要求的统一。

（二）制定背景

我国是农作物秸秆生产大国，主要农作物秸秆年产生量约8.65亿吨，可收集量约7.31亿吨，综合利用率已达88.1%。然而，秸秆高值化利用比例仍然偏低，肥料化利用率为57.6%，原料化利用率仅为0.8%。秸秆由直接还田向生物炼制、功能肥料和工业碳源等方向延伸，具有较大的提升空间。

近年来，秸秆酶解制糖逐步成为秸秆全组分高值化利用的重要技术方向。该技术主要将秸秆中的纤维素和半纤维素转化为五碳糖、六碳糖，可用于有机水溶肥、微生物发酵碳源、乳酸和生物基材料等生物制造过程。南京农业大学沈其荣团队在秸秆气爆预处理和酶解糖化方面开展了系统研究，形成了以水稻、小麦、玉米秸秆为原料，经气爆预处理—酶解糖化—固液分离—浓缩制备秸秆糖化碳源的工艺路线。该技术体系具有产糖效率高、工艺稳定、产品水溶性好等特点，为秸秆糖化碳源的产业化生产奠定了基础。

在有机水溶肥产业方面，含有机碳源的水溶性肥料市场需求持续增长。秸秆还原糖作为水溶性有机碳源，具有来源可再生、碳源活性高、不依赖化石资源等优势，可作为有机水溶肥的核心碳源组分，无需另行复配氮、磷、钾养分即可直接使用。但现行有机肥料产品标准和肥料合理使用准则主要针对传统有机肥质量控制，对秸秆酶解糖化制备碳源的工艺参数、产品质量指标和检测方法缺少专门规定。在生产和推广中，仍存在气爆预处理参数不统一、酶解条件差异大、还原糖含量测定方法不一致、产品质量控制缺乏依据等

问题。制定《秸秆还原糖创制及秸秆糖化碳源制备技术规程》，有利于衔接秸秆高值化利用、有机水溶肥开发和工业碳源应用，形成适用于该类产品的统一技术要求，为秸秆糖化碳源产品规范化生产和推广应用提供技术支撑。

（三）起草过程

项目组在承担标准编制任务后，按照团体标准制定程序，开展了资料收集、标准比对、生产调研、工艺验证、文本起草、专家咨询和修改完善等工作。本标准已于2026年8月21日经中国土壤学会批准立项，立项编号为T/SSSC 2026-11-2。后续将按照中国土壤学会团体标准制修订程序，继续推进征求意见、技术审查和报批发布等工作。

2025年3月—6月，开展资料调研。系统梳理秸秆资源化利用、秸秆预处理技术、酶解糖化工艺、还原糖检测方法、有机水溶肥料产品标准等方面的研究进展，收集现行国家标准、行业标准和相关团体标准，分析本标准与现有标准之间的衔接关系。重点关注GB/T 1.1《标准化工作导则》、GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》、GB/T 8170《数值修约规则与极限数值的表示和判定》、GB 38400《肥料中有毒有害物质的限量要求》、NY/T 1973《水溶肥料水不溶物含量和pH值的测定》、NY/T 1976《水溶肥料有机质含量的测定》等规范性引用文件。

2025年7月—10月，开展生产应用调研。围绕秸秆气爆预处理、酶解糖化、固液分离和浓缩等工艺环节，调研南京农业大学有机肥研究团队实验室工艺参数和放大试验数据，以及江苏思农高科技术有限公司、江苏协联生物科技有限公司等企业的中试和生产应用情况，总结秸秆种类、含水率、切割长度、气爆条件、酶解条件、产糖率、固液分离效率和浓缩工艺等关键技术参数，收集生产中常见问题和解决方案。

2025年11月—12月，组织内部研讨并形成标准提纲。项目组围绕标准定位、适用范围、术语设置、原料要求、制备工艺、测定方法、质量控制和贮存等内容进行讨论，明确本标准定位为制备技术规程，重点聚焦秸秆糖化碳源产品的规范生产环节，不重复规定产品在农田或发酵等场景中的具体应用方法。

2026年1月—6月，形成标准草案、编制说明和立项申报材料。在前期调研、标准比对和内部讨论基础上，编写《秸秆还原糖创制及秸秆糖化碳源制备技术规程》草案，形成配套编制说明。重点对标准条款的技术依据和设置理由进行说明，并围绕气爆预处理参数、酶解条件、产糖率参考值、还原糖含量测定方法和产品质量指标等进行修改完善。

2026年7月，开展立项前专家咨询和文本完善。项目组根据专家意见，对标准名称、适用范围、术语定义、规范性引用文件、制备工艺、测定方法和质量控制等内容进行修改，进一步突出秸秆糖化

碳源产品区别于传统秸秆直接还田和普通有机肥的特点，完善固体型和液体型产品差异化指标要求，并同步修改编制说明和立项申报材料。

2026年8月，根据中国土壤学会团体标准立项安排，本标准正式立项。立项后，项目组依据立项批复和专家意见，对标准草案和编制说明进行进一步修改，重点补充秸秆糖化碳源产业背景、立项必要性、标准适用边界、规范性引用文件依据以及主要技术内容的确定依据，形成征求意见初稿，开始针对性征求意见，根据意见再次完善修改，并于2026年10月形成征求意见稿。

（四）主要参加单位和工作组成员分工

本标准由南京农业大学牵头编制，参加单位包括江苏思农高科技有限公司、江苏协联生物科技有限公司。编制工作组由肥料资源化利用、土壤肥料、生物工程、标准化和企业生产等领域人员组成。

沈其荣 南京农业大学 项目负责人，负责技术方案审定。

刘东阳 南京农业大学 负责标准文本起草及工艺参数确定。

李海涛 南京农业大学 负责测定方法编制及质量控制内容。

李托 南京农业大学 负责酶解工艺验证及数据整理。

薛超 南京农业大学 负责气爆预处理工艺验证。

卢永健 江苏思农高科技有限公司 负责企业生产验证及产业化参数

蒋栋 江苏协联生物科技有限公司 负责酶制剂应用验证

二、标准编制原则、主要内容及其确定依据

（一）标准编制原则

1、协调一致性原则

本标准严格按照 GB/T 1.1《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》进行编写，在结构层次、术语表述、规范性引用文件、条款表述和附录设置方面保持标准化文件的一致性。产品质量指标与GB 38400《肥料中有毒有害物质的限量要求》、NY/T 1973《水溶肥料水不溶物含量和pH值的测定》、NY/T 1976《水溶肥料有机质含量的测定》等现行标准相衔接。标准不对已有产品检验方法作重复规定，避免与现行标准交叉冲突。

2、科学性原则

本标准以秸秆组分特征、气爆预处理原理、酶解糖化机理、还原糖检测方法和产品稳定性为基础确定技术要求。标准强调根据秸秆种类、预处理效果、酶解条件、产糖率和产品形态确定工艺参数和产品质量指标，体现科学制备和风险防控原则。

3、适用性原则

本标准面向秸秆糖化碳源产品生产实际，适用于以水稻、小麦、玉米等禾本科农作物秸秆为原料的制备工艺。考虑到不同秸秆种

类和不同生产条件下工艺参数可能存在差异，标准正文以原则性要求为主，允许产糖率在参考值 $\pm 10\%$ 以内波动，为实际生产保留合理调整空间。

4、可操作性原则

标准条款力求简明、直接、便于企业执行。标准明确原料要求、气爆预处理参数、酶解条件、固液分离方法和浓缩工艺，并配套提供还原糖含量测定方法（附录A）。使用者可据此建立基本的规范制备流程和质量控制体系。

5、安全性原则

秸秆糖化碳源产品制备涉及气爆高温高压操作、酶制剂使用和化学试剂配制。本标准强调气爆预处理应批次记录关键参数、酶制剂应核查酶活力检测报告、重金属含量应符合GB 38400规定，保障制备过程安全和产品质量安全。

（二）主要内容及其确定依据

本标准依据GB/T 1.1的要求编制，正文包括范围、规范性引用文件、术语和定义、原料要求、制备工艺、测定方法、质量控制和贮存等内容，并设置秸秆酶解液还原糖含量测定DNS分光光度法（附录A，规范性）和秸秆糖化碳源施用技术（附录B，资料性）。标准围绕秸秆来源、气爆预处理、酶解糖化、固液分离、浓缩和产品质量构建技术体系。

1、范围

本章明确本文件规定秸秆还原糖创制及秸秆糖化碳源制备的原料要求、制备工艺、测定方法、质量控制和贮存。标准适用于以水稻、小麦、玉米等禾本科农作物秸秆为原料，经气爆预处理、酶解糖化、固液分离和浓缩制备秸秆糖化碳源的技术工艺过程。所得碳源产物以秸秆还原糖为特征指标，还原糖含量不低于10.0%（干基）或 $100\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，可直接作为有机水溶肥使用，无需另行复配氮、磷、钾养分，也可用于微生物发酵碳源、土壤改良剂等。

标准不适用于：未经过酶解糖化处理的秸秆直接浸提液为碳源的工艺；仅以畜禽粪便、加工副产物腐熟物为单一有机碳源、不添加秸秆还原糖组分的工艺。

确定依据：本标准的核心任务是解决秸秆糖化碳源"如何规范制备"的问题，而不是规定产品在具体场景中的使用方法。将适用范围限定在秸秆气爆预处理—酶解糖化—固液分离—浓缩的制备环节，并明确不适用于未经酶解的秸秆直接浸提液和以畜禽粪便等为单一碳源的工艺，有利于与有机肥料产品标准和传统秸秆还田技术形成边界清晰的分工。水稻、小麦、玉米是我国主要禾本科作物，秸秆产量大、利用潜力高，是秸秆糖化碳源的主要原料来源。还原糖含量 $\geq 10.0\%$ （干基）或 $\geq 100\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的指标，基于南京农业大学团队实验室和放大试验数据确定，能够满足有机水溶肥和微生物发酵碳源的基本要求。

2、规范性引用文件

本章列出标准实施所需的规范性引用文件。根据标准文本，本文件引用GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》、GB/T 8170《数值修约规则与极限数值的表示和判定》、GB 38400《肥料中有毒有害物质的限量要求》、HG/T 2843《化肥产品化学分析常用标准滴定溶液、标准溶液、试剂溶液和指示剂溶液》、NY/T 1973《水溶肥料水不溶物含量和pH值的测定》、NY/T 1976《水溶肥料有机质含量的测定》等文件。

确定依据：本标准对象为秸秆糖化碳源产品，既具有有机水溶肥属性，又涉及生物质还原糖制备工艺，且涉及固体型和液体型两类产品形态。因此，规范性引用文件的设置既要支撑还原糖含量测定、水不溶物测定和重金属限量测定，也要支撑分析实验室用水和化学分析溶液配制要求。

其中，GB/T 6682用于支撑试验用水要求；GB/T 8170用于支撑数值修约和极限判定；GB 38400用于支撑产品重金属及有毒有害物质限量要求；HG/T 2843用于支撑标准滴定溶液、标准溶液、试剂溶液和指示剂溶液的配制；NY/T 1973用于支撑水不溶物含量和pH值的测定；NY/T 1976用于支撑有机质含量的测定。

3、术语和定义

本章设置秸秆糖化碳源、秸秆还原糖和秸秆糖化母液三个术语。术语设置既与秸秆资源化利用、酶解糖化和有机碳源产品的通用表述

相衔接，又结合秸秆酶解制糖工艺特点和产品形态差异，对本标准的适用对象和特征指标进行明确。

(1) 秸秆糖化碳源

本术语为本标准的核心语，术用于界定标准适用对象。其定义为：以水稻、小麦或玉米等禾本科农作物秸秆为原料，经气爆预处理、酶解糖化、固液分离和浓缩（必要时干燥）后制得的以秸秆还原糖为主要成分、还原糖含量符合表1规定的水溶性有机碳源产品。

注：按形态分为固体型和液体型，产品指标应符合表1的规定。

表 1 秸秆糖化碳源产品技术要求

项目	固体型	液体型	试验方法
还原糖含量（干基）	≥10.0%	—	附录 A
还原糖含量	—	≥100 g·L ⁻¹	附录 A
水不溶物	≤0.20%	≤0.50%	NY/T 1973
重金属及有毒有害物质	符合 GB 38400	符合 GB 38400	按 GB 38400 的规定

注：本产品以秸秆还原糖为特征指标，不设总养分（N、P₂O₅、K₂O）指标，无需另行复配氮、磷、钾养分。

确定依据：设置该术语主要基于三方面考虑。一是明确原料来源。本标准对象不是一般秸秆有机肥或秸秆直接还田产物，而是以禾本科秸秆经气爆预处理和酶解糖化制备的碳源产品。二是明确制备工艺。需经过气爆预处理、酶解糖化、固液分离和浓缩四个主要工序。三是明确产品属性。以秸秆还原糖为主要成分，具有水溶性有机碳源特征，按形态分为固体型和液体型。

（2）秸秆还原糖

本术语用于说明产品的特征指标。其定义为：秸秆中的纤维素和半纤维素经预处理和酶解糖化生成的葡萄糖、木糖、阿拉伯糖、半乳糖、岩藻糖等还原性单糖的总称。注：葡萄糖与木糖为主要组分，为本文件产品的特征指标；固体以干基质量分数（%）表示，液体以质量浓度（ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ）表示，按附录A测定。

确定依据：秸秆中的纤维素和半纤维素经酶解后主要生成六碳糖（葡萄糖为主）和五碳糖（木糖为主），这些单糖具有还原性，可用DNS法统一测定。秸秆还原糖是产品的核心功能组分，也是判断产品是否合格的关键指标。将其作为特征指标，有利于统一产品质量评价标准。固体以干基质量分数表示、液体以质量浓度表示，符合两类产品的计量和标识习惯。

（3）秸秆糖化母液

本术语用于说明固液分离后的液相中间产物。其定义为：按5.4.1的规定制备并经固液分离后得到的含秸秆还原糖的液相。注：秸秆糖化母液经浓缩（必要时干燥）后用于制备秸秆糖化碳源。确定依据：秸秆糖化母液是酶解糖化后固液分离得到的液相产物，是制备秸秆糖化碳源的中间体。设置该术语有利于在标准中统一表述固液分离和浓缩工序的物料关系。

4、原料要求

（1）秸秆原料

确定依据：本条规定秸秆种类允许水稻、小麦、玉米等禾本科农作物秸秆；秸秆质量要求无霉变、无重金属超标；秸秆含水率宜控制在约40%（质量分数），切割长度4 cm~5 cm，便于气爆预处理。

水稻、小麦、玉米是我国三大禾本科粮食作物，秸秆资源量大、分布广，纤维素和半纤维素含量较高，适合作为酶解糖化的原料。无霉变要求是为了避免霉菌产生的毒素和杂菌污染影响酶解效率和产品安全。含水率约40%和切割长度4 cm~5 cm的要求，基于南京农业大学团队气爆预处理工艺优化试验确定：在该条件下，气爆泄压时纤维结构破坏充分，底物可及度提高，有利于后续酶解糖化。切割过短会增加能耗，过长则气爆效果不充分。

（2）纤维素复合酶制剂

确定依据：本条规定纤维素复合酶应具备纤维素酶活力 ≥ 20 FPU·g⁻¹，其他辅助酶（如木聚糖酶、 β -葡聚糖酶等）按需配比。酶制剂应在低温、干燥条件下储存，开封后尽快使用。

纤维素酶活力是决定酶解效率的关键参数。20 FPU·g⁻¹的指标基于南京农业大学团队酶解优化试验确定：在该酶添加量下，48小时酶解后水稻秸秆产糖率可达590 mg 还原糖/g 秸秆干基左右，玉米秸秆可达620 mg 还原糖/g 秸秆干基左右。木聚糖酶和 β -葡聚糖酶等辅助酶可协同纤维素酶，促进半纤维素降解，提高总还原糖得率。酶制剂储存条件参照酶制剂产品通用要求，避免

酶活损失。

（3）化学试剂

确定依据：本条规定乙酸钾（缓冲液配制用）、柠檬酸（pH调节用）等化学试剂应为工业级及以上纯度；重金属含量应符合GB 38400的规定。

化学试剂纯度直接影响酶解反应条件和产品质量。工业级及以上纯度可满足酶解缓冲液配制和pH调节需要，同时控制重金属带入风险。GB 38400《肥料中有毒有害物质的限量要求》是肥料产品中有害物质限量的通用标准，本标准引用该标准作为化学试剂重金属含量的控制依据。

5、制备工艺

（1）工艺流程

确定依据：本条规定秸秆糖化碳源的制备包括气爆预处理、酶解糖化、固液分离、浓缩四个主要工序。工艺流程图的设置是为了直观展示各工序的先后关系和物料流向，便于标准使用者理解整体工艺路线。

（2）气爆预处理

确定依据：本条规定将秸秆切割至长度4 cm~5 cm，调节含水率至约40%（质量分数）；将物料装入气爆罐，升温至120 °C，罐内压力1.5 MPa，维持4 min后瞬间泄压爆破；气爆后物料呈松散纤维状，

颜色加深至棕黄色，冷却至55℃以下备用；气爆预处理应批次记录温度、压力、时间、进料量等关键参数。

气爆（蒸汽爆破）是秸秆预处理的有效方法之一。其原理是高温高压蒸汽渗入秸秆纤维内部，瞬间泄压时蒸汽急剧膨胀，产生机械力破坏纤维素的结晶结构和木质素-纤维素-半纤维素复合体，提高纤维素的可及度。120℃、1.5 MPa、维持4 min的工艺参数基于南京农业大学团队气爆条件优化试验确定：在该条件下，半纤维素部分降解，纤维素暴露充分，酶解产糖率最高。温度过高或时间过长会导致纤维素过度降解或生成抑制物，温度过低或时间过短则预处理效果不足。气爆后物料呈松散纤维状、棕黄色，是预处理效果良好的直观标志。冷却至55℃以下是为了防止高温影响后续酶解反应（酶解最适温度为55℃左右）。批次记录关键参数是实现过程控制和产品质量追溯的基础。

（3）酶解糖化

确定依据：本条规定配制pH 5.0的乙酸钾缓冲液；按固液比1：10（g：mL，气爆后秸秆干物质质量：缓冲液体积）将预处理秸秆与缓冲液混合，搅拌均匀；添加纤维素酶20 FPU·g⁻¹（以秸秆干物质计），55℃恒温酶解48 h，期间每隔6 h搅拌一次；酶解结束后升温至90℃维持10 min灭酶，冷却至室温；产糖率参考值：水稻秸秆约590 mg还原糖/g秸秆干基，玉米秸秆约620 mg还原糖/g秸秆干基，允许在参考值的±10%以内波动。

pH 5.0的乙酸钾缓冲液为纤维素酶提供适宜的反应环境。大多数纤维素酶的最适pH在4.5~5.5之间，pH 5.0是常用酶解条件。固液比1:10既保证了底物与酶的有效接触，又使反应体系具有适宜的流动性。酶添加量 $20 \text{ FPU} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 55°C 酶解48 h基于酶解条件优化试验确定：在该条件下，产糖率较高且经济性较好。超过48 h后产糖率增加趋缓，延长酶解时间会降低生产效率。每隔6 h搅拌一次是为了保证反应体系均匀，避免底物沉积和局部浓度差异。 90°C 维持10 min灭酶是为了终止酶解反应，防止残留酶活影响后续产品稳定性。

产糖率参考值基于南京农业大学团队实验室和放大试验数据确定。允许在参考值的 $\pm 10\%$ 以内波动，为实际生产中的原料批次差异、操作条件波动等保留合理空间。低于参考值90%的批次应排查原因，体现过程质量控制要求。

（4）固液分离与浓缩

确定依据：本条规定酶解液经板框过滤或离心分离，收集液相，即为糖化母液；固相糖渣可另行资源化利用；糖化母液经不高于 60°C 的低温真空浓缩至目标浓度：固体产物浓缩后干燥至还原糖含量（干基） $\geq 10.0\%$ （固体型）；液体产物浓缩至还原糖含量 $\geq 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ （液体型）；浓缩过程应监控温度、真空度和时间，避免还原糖热降解。

板框过滤和离心分离是常用的固液分离方法，可根据生产规模选择。固相糖渣主要成分为木质素和未降解纤维，可作为生物质燃料、土壤改良剂或进一步资源化利用。低温真空浓缩（不高于 60°C ）是为

为了避免还原糖在高温下发生焦糖化反应和美拉德反应，保证产品色泽和品质。浓缩温度、真空度和时间的过程监控要求，体现了浓缩工序质量控制的重要性。

（5）糖化碳源产物

确定依据：表1规定了秸秆糖化碳源产品技术要求，包括还原糖含量（固体型 $\geq 10.0\%$ ，液体型 $\geq 100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ）、水不溶物（固体型 $\leq 0.20\%$ ，液体型 $\leq 0.50\%$ ）和重金属及有毒有害物质（符合GB 38400）。

还原糖含量指标基于产品作为有机水溶肥和微生物发酵碳源的基本要求确定。 $\geq 10.0\%$ （干基）和 $\geq 100\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 分别对应固体型和液体型产品的有效碳源浓度下限。水不溶物指标参考NY/T 1973《水溶肥料水不溶物含量和pH值的测定》和NY/T 525《有机肥料》中水溶肥料的要求，固体型 $\leq 0.20\%$ 、液体型 $\leq 0.50\%$ 能够满足水溶肥料和滴灌系统的使用要求。重金属限量引用GB 38400，与现行肥料有害物质限量标准保持一致。

固体型产品应为松散均匀粉剂/晶体，无硬结块，褐色至灰褐色，无腐败恶臭；液体型产品应为均匀可再分散体系，无明显分层，无酸败腐败异味，允许微量沉淀。这些外观性状要求基于产品品质控制 and 用户使用体验确定。

6、测定方法

6.1 通用规定

确定依据：本条规定试验用水满足GB/T 6682三级水及以上；未注明试剂均为分析纯，标准溶液配制按HG/T 2843；检测数值修约、极限判定执行GB/T 8170。这些通用规定确保检测结果的准确性和可比性。

6.2 秸秆还原糖含量测定

确定依据：本条规定秸秆还原糖含量按附录A的规定测定；固体样品测试结果折算干基，液体直接取样稀释测定。附录A提供了DNS分光光度法的详细测定步骤，该方法原理成熟、操作简便、灵敏度高，是还原糖测定的常用方法。固体折算干基可消除水分差异对含量判定的影响。

6.3 理化指标测定

确定依据：本条规定水不溶物等技术指标按表1的规定执行；有机质等辅助指标参照NY/T 1976执行。水不溶物是水溶肥料的重要质量指标，直接影响产品溶解性和施用便利性。

6.4 卫生安全指标测定

确定依据：本条规定碳源产物的重金属及有毒有害物质限量应符合GB 38400的规定。该标准规定了肥料中有毒有害物质的限量要求，是肥料产品安全性的通用标准。

7、质量控制

7.1 原料控制

确定依据：本条规定每批次秸秆原料应进行外观检查（无霉变、无异物）和重金属快速筛查；酶制剂应核查酶活力检测报告，确保符合4.2要求。原料控制是保证产品质量的第一道关口。

7.2 过程控制

确定依据：本条规定每批次气爆预处理应记录温度、压力、时间，不符合5.2参数范围的物料不得进入酶解工序；每批次酶解结束后应取样按附录A测定还原糖含量，产糖率低于参考值下限（参考值的90%）的批次应排查原因并记录；确认不影响成品指标后方可进入下一工序；浓缩工序每批次检测浓缩液还原糖浓度，确保达到5.5规定的指标。

过程控制是保证产品批次间一致性的关键。气爆参数记录可追溯每批物料的预处理条件，便于异常分析。酶解产糖率检测是判断酶解效果的直接手段，低于参考值90%时需排查原因（如原料质量波动、酶活变化、pH偏差、温度波动等），确认不影响成品指标后方可进入下一工序，体现质量风险的主动控制。

8、贮存

确定依据：本条规定库房阴凉干燥、避光通风，远离热源火源；固体密封防潮防结块；液体密封防挥发分层，出现沉淀使用前摇匀。贮存条件直接影响产品保质期和使用性能。还原糖类产品易吸潮结块（固体）和微生物污染（液体），需在干燥、密封条件下存放。

附录A 秸秆酶解液还原糖含量测定DNS分光光度法

附录 A 为规范性附录，规定了DNS分光光度法测定秸秆还原糖含量的原理、仪器与试剂、样品前处理、测定步骤、结果计算和精密度要求。DNS法原理为还原性单糖在碱性条件下与3,5-二硝基水杨酸（DNS）沸水反应生成棕红色氨基化合物，在540 nm波长测定吸光度，采用葡萄糖标准曲线外标法定量。该方法操作简便、重复性好，适用于秸秆糖化液、固体碳源产物和液体碳源产物中总还原糖的检测。精密度要求为平行样品两次测定相对偏差 $\leq 5.0\%$ 。

附录B 秸秆糖化碳源施用技术

附录 B 为资料性附录，为产品使用者提供施用技术参考。内容包括适用作物（粮食作物、果蔬、经济作物、园艺苗木）、推荐施用时期（育苗期、缓苗期、膨果期、根系恢复期）、推荐稀释倍数（冲施500~1000倍、滴灌800~1500倍、育苗1000~2000倍）和配套建议。资料性附录的定位意味着这些内容不作为强制要求，具体施用方案应根据产品还原糖含量、作物种类和生育期等因素确定。试验结果表明，玉米秸秆酶解糖液稀释后还原糖质量分数0.2%~0.3%区间对黄瓜等作物促生效果较好，超过0.3%可能出现抑制，这一参考值可指导田间稀释倍数的确定。

三、主要试验验证报告或总结、技术经济论证与预期效益

（一）主要试验或验证的分析、综述报告

1、秸秆气爆预处理工艺验证

南京农业大学团队对水稻、小麦、玉米秸秆的气爆预处理条件进行了系统优化试验。结果表明，秸秆含水率约40%、切割长度4 cm~5 cm、气爆温度120 °C、压力1.5 MPa、维持时间4 min的条件下，气爆后秸秆纤维结构破坏充分，纤维素可及度显著提高。气爆物料的酶解产糖率较未预处理秸秆提高3倍以上，水稻秸秆产糖率可达约590 mg还原糖/g秸秆干基，玉米秸秆可达约620 mg还原糖/g秸秆干基。温度升高至130 °C以上时，纤维素部分过度降解，产糖率反而下降；维持时间超过6 min后产糖率增加趋缓，经济性下降。

2、酶解糖化条件优化验证

酶解条件优化试验表明，pH 5.0的乙酸钾缓冲液、固液比1：10、酶添加量20 FPU·g⁻¹、55 °C酶解48 h为较优工艺参数组合。在该条件下，酶解48 h后还原糖浓度达到较高水平，继续延长酶解时间至72 h，产糖率增幅小于10%，但酶解周期增加50%，生产效率下降。每隔6 h搅拌一次可有效提高反应均匀性和产糖率。90 °C维持10 min灭酶可彻底终止反应，避免残留酶活影响后续产品品质。

3、浓缩工艺验证

低温真空浓缩（不高于60 °C）的验证试验表明，在该条件下浓缩至还原糖含量≥100 g·L⁻¹（液体型）或干燥至还原糖含量≥10.0%（干基）（固体型），产品色泽为褐色至灰褐色，还原糖保留率在95%以上。温度超过70 °C时，部分还原糖发生焦糖化反应，产品颜色加深、溶解性下降。因此，标准规定浓缩温度不高于60 °C。

4、产品理化指标验证

对实验室和放大试验制备的秸秆糖化碳源产品进行还原糖含量、水不溶物和重金属含量检测。结果表明，固体型产品还原糖含量（干基）在10.5%~15.2%之间，水不溶物在0.08%~0.18%之间；液体型产品还原糖含量在105~165 g·L⁻¹之间，水不溶物在0.15%~0.45%之间。重金属含量均符合GB 38400的限量要求。

（二）技术经济论证与预期效益

1、经济效益

本标准实施后，可指导生产企业根据秸秆种类和气爆预处理条件确定酶解工艺参数，减少盲目试错和工艺不稳定造成的原料和酶制剂浪费。通过标准化生产，还原糖产率稳定在较高水平，秸秆原料的糖化转化效率提高，单位产品的原料成本降低。对肥料生产企业而言，秸秆糖化碳源可作为有机水溶肥的核心碳源组分，无需另行复配氮、磷、钾养分，产品附加值较高。标准实施可推动产品推广由经验生产向标准化生产转变，提高产品批次间一致性和市场认可度。

2、社会效益

本标准有利于形成秸秆糖化碳源产品规范制备的统一技术语言，为秸秆资源化利用企业、有机水溶肥生产企业和农业技术推广部门提供共同遵循的技术依据。标准发布实施后，可配合示范基地和技术培训，提升基层秸秆高值化利用能力，促进秸秆由直接还田向生物炼制和功能碳源产品方向转变，推动农业绿色生产方式转型。

3、生态效益

秸秆糖化碳源制备利用的是农业生产中产生的大量秸秆资源,将秸秆中的纤维素和半纤维素转化为可溶性还原糖碳源产品,避免了秸秆直接焚烧或随意堆放造成的环境污染。同时,秸秆糖化碳源产品可替代部分化学合成碳源(如葡萄糖、蔗糖等),减少对粮食资源的消耗。标准实施后,有望扩大秸秆高值化利用规模,降低秸秆废弃和焚烧带来的环境压力,促进农田生态环境改善。

4、产业效益

标准实施可提升秸秆糖化碳源产品的技术门槛和生产规范性,促进生产企业重视原料质量控制、工艺参数优化和产品品质管理,推动秸秆肥料化、碳源化产品向标准化、品牌化和高值化方向发展。按秸秆制糖转化关系估算,约3吨秸秆可生产1吨混合糖并联产2吨黄腐酸有机肥;约2.5~2.7吨秸秆可生产1吨混合糖并联产1.5~1.7吨黄腐酸高效有机肥。若将全国可收集秸秆的1%用于秸秆制糖联产碳源产品,对应约730万吨秸秆原料,具有较大的产业化放大潜力。

四、与国外国内标准对比

经调研,国外相关标准和技术文件多集中于生物燃料用秸秆糖化发酵技术、有机肥料质量管理和养分管理要求,尚未针对"秸秆还原糖创制及秸秆糖化碳源制备技术"制定专门标准。国内现行的T/CIET 1606-2025《生物燃料制备用秸秆糖化发酵技术规范》主要针对秸秆糖化发酵制备醇基生物燃料的工艺流程,其适用范围和产品用途与木标准不同。

本标准结合我国秸秆资源化利用、有机水溶肥产业和农业碳源开发实际，对秸秆气爆预处理参数、酶解糖化条件、固液分离、浓缩工艺和产品质量指标进行细化。与生物燃料用秸秆糖化标准相比，本标准具有以下特点：一是突出秸秆糖化碳源作为水溶性有机碳源的产品属性，而非燃料乙醇中间体；二是突出还原糖含量作为特征指标的质量控制体系，强调产品在水溶肥和发酵碳源领域的应用价值；三是突出基层可操作性，通过附录A的DNS测定方法和附录B的施用技术参考提高实用性；四是突出与我国现行肥料标准体系衔接，重金属限量引用GB 38400。

五、采用国际国内标准等有关情况

本标准未采用国际标准。编制过程中参考了国内外秸秆预处理、酶解糖化、还原糖检测和有机水溶肥料相关技术文献，但标准条款根据我国秸秆资源利用、肥料管理和基层生产实际自主编制。

本标准符合国家关于农业绿色发展、秸秆综合利用、耕地质量保护和化肥减量增效的相关要求。标准实施过程中，应遵守《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国农产品质量安全法》《肥料登记管理办法》等法律法规和规章要求。

本标准与现行有机肥料产品标准、水溶肥料标准、有害物质限量标准和检测方法标准保持协调。GB 38400《肥料中有毒有害物质的限量要求》规定了肥料中有毒有害物质的限量要求，可作为本标准中重金属含量控制的重要依据。NY/T 1973《水溶肥料水不溶物含量和pH

值的测定》和NY/T 1976《水溶肥料有机质含量的测定》规定了水溶肥料相关指标的测定方法,可作为本标准中理化指标测定的方法依据。HG/T 2843《化肥产品化学分析常用标准滴定溶液、标准溶液、试剂溶液和指示剂溶液》规定了化学分析用溶液的配制方法,可作为本标准中试剂溶液配制的依据。

本标准不替代上述产品质量标准、检测方法标准和肥料合理使用准则,而是在其基础上,针对秸秆糖化碳源产品这一具体产品类型的制备工艺环节进行细化。本标准的对象为以水稻、小麦、玉米等禾本科农作物秸秆为原料,经气爆预处理、酶解糖化、固液分离和浓缩制备的秸秆糖化碳源产品,按形态分为固体型和液体型。标准重点规定原料要求、制备工艺、测定方法、质量控制和贮存等内容。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准目前按照立项专家的意见进行了修改,形成了征求意见初稿,尚未出现重大分歧意见。

七、涉及专利的有关说明

本标准不涉及具体专利的应用。标准条款主要规定秸秆还原糖创制及秸秆糖化碳源制备过程的通用技术要求,不限定特定生产工艺、专用设备或专有技术。如后续标准内容涉及专利,编制组将按照团体标准管理要求,对相关专利信息进行识别、披露和处理。

八、标准实施要求及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期等建议

(一) 实施要求与组织措施

建议标准发布后，由中国土壤学会组织开展标准宣贯，面向秸秆资源化利用企业、有机水溶肥生产企业、农业技术推广部门和相关检测机构开展培训。可通过专题培训、现场观摩、示范展示和技术明白纸等形式，提高标准知晓度和应用水平。

（二）技术措施

选择秸秆主产区的秸秆糖化碳源生产企业建立标准应用示范点，围绕气爆预处理参数控制、酶解效率提升、浓缩工艺优化和产品质量检测开展跟踪评价。鼓励生产企业建立原料质量检查、过程参数记录和产品出厂检验制度，推广机构结合本地秸秆资源和生产条件提出本地化实施方案。

（三）过渡期和实施日期

建议标准发布后设置3~6个月过渡期，便于相关企业和检测机构熟悉标准内容，调整生产工艺、检测方法和质量控制体系。建议自标准发布之日起3~6个月后正式实施。

（四）预期效果

标准实施后，将有助于规范秸秆糖化碳源产品的制备行为，提高产品质量和市场认可度，推动秸秆高值化利用，促进有机水溶肥产业和农业碳源开发领域的发展。

九、其他应当说明的事项

无。