

《生物刺激素 微生物功能性代谢物 通则》 团体标准解析及其标准体系构建

刘 健¹, 李 俊²

(1. 中国无机盐工业协会生物刺激剂专业委员会 (CBPC), 上海 200026;

2. 中国农业科学院 农业资源与农业区划所, 北京 100081)

[摘要] 微生物功能性代谢物作为生物刺激剂的核心组分之一, 在绿色低碳循环农业健康发展过程中发挥着不可替代的重要作用。全面解析《生物刺激素 微生物功能性代谢物 通则》团体标准的核心内容, 确立了微生物功能性代谢物核心术语、主效功能与产品分类、鉴定与检测、功能评价与验证、标识标签等内容, 并分析提出其产业应用前景。进一步规划构建由通用标准、产品标准、安全标准、方法标准、技术规程5个层面组成的微生物功能性代谢物系列标准体系, 为后续制定行业及国家标准奠定基础。

[关键词] 生物刺激剂; 微生物功能性代谢物; 标准体系

[中图分类号] TQ449*.4; S144.9 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-4566 (2025) 11-0050-04

Analysis of the group standard “Biostimulants-microbial functional metabolites general rules” and construction of the corresponding standard system

LIU Jian¹, LI Jun²

(1. China Inorganic Salt Industry Association Biological Stimulant Professional Committee (CBPC), Shanghai 200062, China;

2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Microbial functional metabolites, as a key component of biostimulants, play an indispensable role in promoting the sustainable development of green, low-carbon, and circular agriculture. A comprehensive analysis of the group standard “Biostimulants-microbial functional metabolites general rules” is provided, including core definitions, primary functions, product classification, identification and detection methods, functional evaluation and validation procedures, and labeling requirements. Furthermore, the industrial application prospects of these metabolites is discussed. A structured framework for a series of standards on microbial functional metabolites has been proposed, comprising five tiers: General standards, product standards, safety standards, methodological standards, and technical regulations, thereby establishing a foundation for the future development of industry-wide and national standards.

Key words: biostimulants; microbial functional metabolites; standard system

0 引言

2024年12月30日, 农业农村部印发《关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见》, 要求到2030年, 农业绿色发展水平明显提高, 绿色低碳循环的农业产业体系初步构建。以微生物功能性代谢物为代表的新一代农用生物制品, 是农业绿色高质量发展不可或缺的投入品, 必将发挥其独特的作用。

微生物功能性代谢物作为生物刺激素^[1]的核心组分之一, 在增强作物营养吸收、促进作物生长发育、增强作物抗逆功能、改善作物品质及改良土

壤等方面发挥着不可替代的作用。为规范和促进生物刺激剂^[2]产业的快速健康发展, 中国无机盐工业协会生物刺激剂专业委员会 (CBPC) 组织行业专家和相关生产企业制定了《生物刺激素 微生物功能性代谢物 通则》(T/CISIA-010—2025) 团体标准^[3], 并于2025年7月1日正式发布。

本文全面解析《生物刺激素 微生物功能性代

[收稿日期] 2025-10-02

[作者简介] 刘 健(1969-), 男, 四川雅安人, 博士, 中国无机盐工业协会生物刺激剂专业委员会主任, 主要研究方向为微生物及代谢与农业生物合理化应用综合技术。

《生物刺激素 微生物功能性代谢物 通则》团体标准的核心内容，分析其产业应用前景，并科学规划未来3~5年，构建由通用标准、产品标准、安全标准、方法标准、技术规程5个层面约10个系列微生物功能性代谢物标准组成的体系，为行业标准和国家标准制定奠定基础。

1 团体标准《生物刺激素 微生物功能性代谢物 通则》简介

1.1 制定背景与基础

解决行业定义模糊、分类不一、质控不佳等问题；为企业研发、生产、监管提供依据，提升我国生物刺激素产业国际地位；中国无机盐工业协会生物刺激剂专业委员会组织16家相关企业参与调研、起草等工作。

1.2 标准的主要内容

本标准内容丰富，指导性强。标准整体框架共计8章和2个附录（共11页），包括范围、规范性引用文件、术语定义、分类、鉴定与检测、功能评价、标签标识、包装运输等。

首先，从范围内明确标准适用于具有生物刺激素功效的微生物功能性代谢物及制剂产品的研发、生产、检测和应用。其次是明确了生物刺激素、生物刺激素活性成分、微生物功能性代谢物、微生物源活性成分、代谢物鉴定、代谢物功能评价和微生物功能性代谢物产品等9个关键术语和定义，确立了这些关键术语的内涵，达到了专业性和规范性的统一。比如，微生物功能性代谢物表述为，微生物代谢产生的具有增强营养吸收、促进生长等功效的生物刺激素活性成分（含初级和次级代谢产物）；代谢物功能评价表述为，通过实验室生测和田间试验，评估对植物生长、抗逆、土壤改良等的效应；微生物功能性代谢物产品表述为，含一种或多种微生物源活性成分的原料或制剂。

为与产业对接并体现实用性，本标准重点针对具有生物刺激素功效的成分，包括蛋白质类、肽类、腐植酸类等14类71种（见表1）。这些具有生物刺激素功效的组分基本可通过微生物代谢产生。

表1 常见具有生物刺激素功效的活性成分

Table 1 Common active ingredients of biostimulants

类别	功效成分
蛋白质类	蛋白酶、几丁质酶、脂肪酶、淀粉酶、超氧化物歧化酶SOD、过氧化氢酶CAT等
肽类	寡肽、多肽、抗菌肽、糖肽等
腐植酸类	黑腐酸、棕腐酸、黄腐酸等
有机酸类	乙酸、丙酸、丁酸、乳酸、苹果酸、柠檬酸、异柠檬酸、琥珀酸、 α -酮戊二酸、阿魏酸、衣康酸、叶酸、一水肌酸、5-氨基乙酰丙酮(5-ALA)、水杨酸、 γ -氨基丁酸、甲基化非蛋白源性氨基酸、依克多因、茉莉酸、铁载体、氨基酸等
聚氨基酸	γ -聚谷氨酸、 ϵ -聚赖氨酸等
脂质类	糖脂、脂肽、磷脂、脂肪酸衍生物、多不饱和脂肪酸DHA、聚羟基脂肪酸酯PHA等
糖类	褐藻寡糖、 ϵ -聚花粉多糖、D-多糖、壳寡糖、透明质酸等
糖苷类	核苷酸、糖苷等
多酚类	香豆素等
萜烯类	β -胡萝卜素、虾青素、类胡萝卜素等
生物碱类	辣椒碱、苦豆子碱等
维生素类	维生素C、维生素B族、维生素H等
信号分子类	吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA3)、脱落酸(ABA)、细胞分裂素(CK)、乙烯、甾醇、酰基高丝氨酸内酯(AHLs)、植物激素类似物等
微生物类	枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、贝莱斯芽孢杆菌、木霉真菌等

本标准从3个维度对微生物功能性代谢物进行科学分类：一是按微生物代谢过程与途径分类；二是按代谢物功能主效分类（见表2，如增强营养吸收、促进生长发育等）；三是按产品分类，包括微生物功能性代谢物制剂产品（如含聚谷氨酸制剂）和复合微生物代谢物制剂产品（如复合氨基酸制剂）。

对微生物功能性代谢物成分鉴定与含量检测，包括一般规定、成分鉴定、分离纯化、含量检测等做了明确要求。尤其是对成分鉴定数据处理过程，提供了可供参考分析的3大数据库链接帮助：国家生物信息中心（CNCB）（<https://www.cncb.ac.cn/>）、欧洲生物信息研究所（EBI）的蛋白数据库

（<https://www.uniprot.org/align>）、斯坦福国际研究所（SRI international）的代谢组学数据库（<https://metacyc.org/>）。

本标准还就微生物功能性代谢物质量检测符合性、实验室生测、田间小区试验、复配产品验证等评价与验证要求方面做了原则性规定。

2 农用微生物及功能性代谢物的种类、功能及应用前景分析

2.1 基本概况

截至2025年9月，在农业农村部以微生物肥料

登记的产品累计15 210个，其中农用微生物菌剂登记产品8 030个，如枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌、酵母菌等；生物有机肥登记产品4 020个；复合微生物肥料登记产品3 160个。已证实的在行业标准NY/T 1 847和国家标准GB/T 41727中确立的微生物肥料的六大功效有：提供或活化养分（如生物固氮、溶磷、解钾）、产生活性物质（如赤霉素、吲哚乙酸，促进作物生长）、抑制病虫害（降低病情指数）、提高抗逆性（抗倒伏、抗旱等）、改善农产品品质（外观及内在指标）、促进有机物料腐熟和土壤改良与修复（降低有毒有害物质毒性）。试验证明，微生物肥料产品的主要功能是通过其活性代谢物实现的，也是后续新产品研发的方向。

过其活性代谢物实现的，也是后续新产品研发的方向。

目前市场上微生物功能性代谢物涉及初级代谢产物，如氨基酸、核苷酸等微生物生长繁殖必需物质；微生物产生的次级代谢产物，如5-氨基乙酰丙酸（5-ALA）、聚谷氨酸、壳寡糖、生物碱、农用抗生素、阿维菌素等；以及由微生物通过特定转化或反应生成的微生物代谢衍生物，如酶类，它可以促进土壤有机物分解，提高养分有效性。

2.2 微生物功能性代谢物的功能类别及常见种类

本标准列出了用于农业生产的微生物功能性代谢物主效功能分类表（见表2），其产业指导实用性强。

表2 可用于农业生产的微生物功能性代谢物主效功能分类

Table 2 Main functional classification of microbial metabolism that can be used in agricultural production

功能类别	常用微生物功能性代谢物种类
增强作物营养吸收	有机酸、类脂(糖脂、脂肽、磷脂及其他脂肪酸衍生物)、维生素、糖苷、酶、氨基酸、核苷酸等
促进作物生长发育	微生物表达天然内源激素(信号因子)、吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA3)、脱落酸(ABA)、细胞分裂素(CK)、乙烯、甾醇类5-氨基乙酰丙酸(5-ALA)等
增强作物抗逆功能	特殊氨基酸类(γ -氨基丁酸、 γ -聚谷氨酸、 ϵ -聚赖氨酸、甲基化非蛋白源性氨基酸等);类脂类(磷脂、脂肽、糖脂、酰基高丝氨酸内酯(AHLs)、多不饱和脂肪酸DHA、聚羟基脂肪酸酯PHA等);萜烯类(β -胡萝卜素、虾青素);多酚类化合物如香豆素;糖类(褐藻寡糖、 ϵ -聚花粉多糖、D-多糖、壳寡糖、透明质酸等);肽(寡肽、多肽、抗菌肽、糖肽等);酶类(蛋白酶、几丁质酶、脂肪酶、淀粉酶、超氧化物歧化酶SOD、过氧化氢酶CAT等);糖苷、生物碱、维生素、水杨酸、茉莉酸、依克多因等
改善作物品质	类胡萝卜素、铁载体、维生素类(VC、B族、H)、糖类(褐藻寡糖、 ϵ -聚花粉多糖、D-多糖、壳寡糖、透明质酸等)、氨基酸类、植物激素类似物等
改良土壤	类脂类(磷脂、脂肽、糖脂、聚羟基脂肪酸酯PHA等)、有机酸、聚氨基酸、多糖等

2.3 农用微生物功能性代谢物新技术与产业前景

2.3.1 微生物功能性代谢物新产品的研发路径

高效研发新一代的微生物代谢物功能产品，应遵循安全性、功能性、生产性、生态适应性、协同性和互作性的优良功能性菌种筛选策略，按需求分析→功能菌株挖掘→菌种库构建保藏→功能验证→生信分析→专利申请→大规模发酵→功能新产品开发→田间应用的研发路径。

2.3.2 国际微生物功能性代谢物发展现状

根据欧洲生物刺激素联盟（EBIC）定义，微生物功能性代谢物类生物刺激剂是指由微生物（细菌、真菌、放线菌等）合成或代谢产生的天然物质，其核心功能并非直接提供养分，而是通过调节植物生理过程、改善根际微环境或活化土壤养分，实现作物抗逆性提升、养分利用率优化及品质改良。与生物农药的“直接防控”不同，其作用机制更侧重“植物自身潜能激发”，例如地衣芽孢杆菌产生的聚谷氨酸可通过保水保肥特性间接增强作物抗旱能力。

全球研发前沿与技术突破主要集中在两方面：一

是在功能机制深度解码。比如，（1）胁迫响应调控机制：先正达通过转录组学研究发现，其生物刺激剂QUANTIS含有的芽孢杆菌代谢物可激活植物热休克蛋白（HSP70）表达，使马铃薯在38℃高温下光合作用效率维持率提升35%，最终增产8%；（2）根际微生态优化：西班牙MAFA Bioscience的黑曲霉菌株EEZ-93代谢物可促进土壤中固氮菌、解磷菌数量增长2~3倍，同时分泌益生元分子改善根际透气性，使柑橘树抗旱性提升40%；（3）养分转化路径革新：美国康奈尔大学证实假单胞菌铁载体类代谢物可通过螯合作用将土壤无效磷转化为有效磷，利用率提升幅度达43%，相关技术已应用于Adama公司“PhosActiv”系列产品。二是产业化技术升级。比如，（1）精准递送技术：瑞士DSM开发“温度响应型微胶囊”，将芽孢杆菌代谢物包裹于聚乳酸载体中，在土壤温度达25℃（作物需肥临界期）时自动释放，利用率较传统制剂提升58%；复合配方创新：荷兰瓦赫宁根大学开发“酶-多肽-寡糖”三元代谢物体系，兼具养分活化与抗逆功能，在番茄种植中实现化肥减量30%、产量提升28%的双重效益。

目前国际主流发展趋势是以欧洲标准引领与绿色转型和北美市场驱动与技术融合为主。管理上欧洲依据EU 2019/1009法规,将该类产品纳入肥料管理体系,需通过EFSA的“功效-生态安全”双重评估。2025年新增《农用代谢物生态风险指南》,要求提交土壤微生物群落影响数据,目前已建立189种合规代谢物数据库。美国EPA采用“分类管理”模式,低风险产品通过“快速通道”审批,周期缩短至9个月;加拿大推行“功效分级标签”制度,明确标注代谢物对特定作物的增产/抗逆率。

2.3.3 微生物功能性代谢物新产品研发与应用

为满足我国农业高质量发展,迫切需要研发的微生物功能性代谢物新功能包括:(1)定向微生物功能小肽产品,具有信号传导增强,调控作物产量、品质和抗性(如水稻粒型、玉米穗长、番茄抗病性等)等功能。(2)抗盐碱复合菌产品(如苍白气芽孢杆菌、荧光假单胞菌等特效菌种),具有提高种子出苗率、诱导作物抗盐碱次生代谢产物、促进根系发育、降低土壤pH、提升作物耐盐碱能力等作用。(3)脂壳寡糖(LCO)与根瘤菌的组合产品,有促根壮苗、促进结瘤固氮、增强养分吸收、提质增产、与化学种衣剂兼容性强等功效。(4)D-和L-谷氨酸产品,具有保水、保肥、抗逆、增产、提质、提高肥料利用率的作用。(5)5-ALA(5-氨基乙酞丙酸)产品,作为叶绿素合成前体,增强光合作用,且可促进糖类合成和着色增甜等。(6)新型微生物类脂产品,包括可促生、抑菌、提质增产、改善土壤结构的脂肽,以及能通过能量储存激活根际有益微生物、活化养分、重塑土壤生态的聚羟基脂肪酸酯(PHA);可刺激植物免疫、修护土壤、增效肥料、抑菌防虫的生物糖脂;以鱼皮为原料由海洋真菌驯化表达并发酵生产的复酶糖苷,在增产、抗病、保鲜等方面效果突出。

2.3.4 微生物功能性代谢物新产品的产业前景

截至2025年9月,农用微生物产品生产企业有4 500家,登记产品15 210个,年产量4 000多万吨,年产值400多亿元,应用面积超3 333万hm²。国家“十五五”规划及长期支持,行业年增长率约8%。全球市场增长的驱动给微生物功能性代谢物类生物刺激素产品提供了广阔发展空间,全球生物刺激剂市场2024年估计为43.6亿美元,预计2034年将达到128.5亿美元左右,2024—2034年的复合年平均增长率(CAGR)为11.42%^[4]。

合成生物学技术的推动,通过CRISPR基因编

辑技术、代谢通路重构,快速设计高效细胞工厂,对菌种改造跃升;结合发酵和分离提取降低生产成本,都为发展新型生物刺激剂功能特色产品提供了巨大空间,预计未来产能可达5 000万t/a;扩大应用规模,占肥料总量25%左右,覆盖4 000万hm²以上耕地,化肥利用率提高5~8个百分点;行业进入国际前沿水平。

3 农用微生物功能性代谢物标准体系构建

3.1 农用微生物功能性代谢物标准体系框架组成

未来3~5年,研究构建含通用标准、产品标准、安全标准、方法标准、技术规程5个层面、10个以上标准组成的团体标准体系,在此基础上不断完善,上升为行业标准和国家标准,并对接国际标准。

3.2 团体标准的作用与制标进程

团体标准聚焦新技术、新产业,具有快速填补标准空白和提供市场导向的独特功能,并具有标准的先进性、制定周期短及修订效率高的自主性和时效性等优点。由中国无机盐工业协会生物刺激剂专业委员会组织制定,贴合实际需求,专业性强;同时可随行业发展及时调整,灵活性也强。因此,团体标准在引领行业高质量发展、搭建技术转化桥梁、帮助企业参与新技术产品顶层设计等方面具有重要作用。

目前,随着《生物刺激素 微生物功能性代谢物 通则》(T/CISIA-010-2025)团体标准于2025年7月1日发布实施后,《生物刺激剂 术语与分类》(T/CISIA-015-2025)团体标准计划也于2025年10月17日发布。《农用微生物类脂》团体标准也在制定过程中,将于2026年年初发布。这些标准的研制与实施,对构建农用微生物功能性代谢物标准体系框架具有重要推动作用。

[参考文献]

- [1] 中国无机盐工业协会.生物刺激素 肽:T/CISIA-001—2024[S].(2024-04-19)[2025-07-07].<https://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/107645/>.
- [2] 中国无机盐工业协会.生物刺激剂 术语与分类:T/CISIA 015-2025[M].(2025-10-17)[2025-10-17].<http://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/150475/>.
- [3] 中国无机盐工业协会.生物刺激素 微生物功能性代谢物 通则:T/CISIA 010—2025[S].(2025-05-23)[2025-07-07].<https://www.ttbz.org.cn/StandardManage/Detail/140337/>.
- [4] 刘健.微生物类脂生物刺激剂产品的应用研究及前景分析[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(8):50-58,69.
LIU J. Application research and prospect analysis of microbial lipid-based biostimulants products [J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2025, 40(8): 50-58, 69.