中国农业大学学报 2026,31(12):364-380
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

刘楚菲,丁诗懿,冯盈盈,陈迪,周丽英,陈清. 欧洲生物刺激素领域的科学研究动态、产业发展及政策演进分析[J]. 中国农业大学学报,2026,31(12):364-380.
LIU Chufei, DING Shiyi, FENG Yingying, CHEN Di, ZHOU Liying, CHEN Qing. Analysis of scientific research dynamics, industrial development and policy evolution of biostimulants in Europe[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(12): 364-380.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.12.27

欧洲生物刺激素领域的科学研究动态、产业发展及政策演进分析

刘楚菲[1] 丁诗懿[2] 冯盈盈[2] 陈 迪[1] 周丽英[1*] 陈 清[2]

(1. 中国农业大学 图书馆,北京 100193;
2. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193)

摘 要 为系统梳理欧洲生物刺激素领域的科学研究动态、产业发展与政策演进,以Web of Science(WoS)数据库的相关文献和网络调研数据为研究对象,运用CiteSpace与VOSviewer软件结合文献计量分析与网络调研法进行综合分析。结果表明:1)科研方面:该领域发文数量持续增长,整体已进入较为活跃的发展阶段;西班牙、意大利和德国在论文产出和核心作者规模方面表现突出,其中意大利和德国在国际合作网络中居于主导和枢纽地位;研究主题从早期的抗性诱导、激素调控与信号传导等生理机制,逐步转向营养管理、非生物胁迫响应及作物品质提升等应用导向型方向。2)产业方面:欧洲生物刺激素市场规模稳步扩大,产业体系不断完善,市场高度分化且专业化,不同国家因农业结构、资源禀赋和政策导向形成差异化应用路径与产业优势。3)政策方面:由分散监管向统一规范逐步演进,通过《欧盟肥料产品法规》等制度安排,逐步构建起较为系统的监管框架。综上,本研究深入梳理了欧洲生物刺激素领域的科研、产业及政策发展动态,可对我国生物刺激素领域的发展提供重要参考与启示。

关键词 欧洲;生物刺激素;文献计量学;CiteSpace;VOSviewer
中图分类号 S14 **文章编号** 1007-4333(2026)12-0364-17 **文献标志码** A

Analysis of scientific research dynamics, industrial development and policy evolution of biostimulants in Europe

LIU Chufei[1], DING Shiyi[2], FENG Yingying[2], CHEN Di[1], ZHOU Liying[1*], CHEN Qing[2]

(1. Library, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To systematically review the scientific research dynamics, industrial development, and policy evolution in the field of biostimulants in Europe, taking the relevant literature retrieved from the Web of Science (WoS) database as well as online survey data as the research objects, a comprehensive analysis was conducted by using CiteSpace and VOSviewer software combined with bibliometric analysis and online survey methods. The results show that: 1) In terms of scientific research, the number of publications in this field has continued to increase, indicating that the field has entered a relatively active stage of development. Spain, Italy and Germany have performed prominently in terms of publication output and the scale of core authors, among which Italy and Germany show relatively strong connectivity in the international cooperation network. Research topics have gradually shifted from early physiological mechanisms, such as resistance induction, hormone regulation, and

收稿日期:2025-12-31;接受日期:2026-04-10
基金项目:国家重点研发计划"政府间国际科技创新合作"重点专项项目(2023YFE0104700)
第一作者:刘楚菲(ORCID:0009-0000-1092-4184),硕士研究生,E-mail:liuchufei@cau.edu.cn
通讯作者:周丽英(ORCID:0009-0007-3345-8375),副研究馆员,主要从事科学计量、科技评价与农业情报研究,E-mail:zhouly@cau.edu.cn

signal transduction, to application-oriented directions, such as nutrient management, abiotic stress response, and crop quality improvement. 2) In terms of industry, the market size of biostimulants in Europe has expanded steadily, and the industrial system has continued to improve. The market is highly differentiated and specialized. Different countries have formed differentiated application pathways and industrial advantages based on their agricultural structures, resource endowments, and policy orientations. 3) In terms of policy, regulation has gradually evolved from decentralized supervision to unified standards. Through institutional arrangements such as the EU Fertilising Products Regulation, a relatively systematic regulatory framework has gradually been established. In conclusion, this study a comprehensive reviews of the research, industrial development, and policy trends in the field of biostimulants in Europe. These experiences can provide important references and insights for the development of the biostimulants field in China.

Keywords　European; biostimulants; bibliometrics; CiteSpace; VOSviewer

生物刺激素(biostimulants)作为一类新型的农业投入品,在促进作物生长、提高资源利用效率和增强作物抗逆性等方面具有重要作用,近年来受到国内外学术界和产业界的广泛关注。欧洲较早开展生物刺激素相关研究,在技术研发、产业发展和市场监管等方面积累了较为丰富的经验。根据《欧盟肥料产品法规》(EU Fertilising Products Regulation, FPR 2019/1009)[1]的定义,生物刺激素是指“包含某些成分和(或)微生物的物质,当施用于植物或根际时,能够通过刺激植物的自然过程以促进营养吸收、提高营养转化效率、提高非生物胁迫耐受性和改善作物品质”。与传统肥料和农药不同,生物刺激素不直接给植物提供营养或防治病虫害,而是通过激活植物自身生理过程和提高抗逆能力来间接促进植物生长和提高农产品质量。近年来,在国家推动农业发展全面绿色转型的大背景下[2],中国生物刺激素产业正快速成长,成为连接农业可持续发展与国际产业协同的重要环节。当前,已有研究从生物刺激素的分类[3]、作用机制[4-5]及应用效果[6-9]等方面梳理了国内外研究进展,亦有研究专门对欧洲的发展状况进行了综述[10]。基于此,本研究聚焦欧洲生物刺激素在科研、产业和政策3个维度,综合运用文献计量法与网络调研法对欧洲生物刺激素的发展状况进行系统分析,旨在梳理其研究热点、演进脉络及产业与政策特征,以期为我国生物刺激素领域的科研布局、产业发展和政策制定提供参考。

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源

本研究所用数据包括文献数据和网络调研数据两部分。文献数据来源于Web of Science(WoS)核心合集,网络调研数据主要采集自欧洲生物刺激素相关政策法规文件、行业组织网站及企业公开信息,用于分析该领域的产业发展情况和政策环境。本研究将WoS核心合集中的SCI-EXPANDED作为文献检索范围,并将文献类型限定为“Article”。经检索、筛选和数据清洗,最终获得作者机构归属欧洲国家的相关文献共4 244篇。

1.2　研究方法

本研究综合采用文献计量法与网络调研法相结合的研究思路。通过文献计量法,对欧洲生物刺激素领域的科学研究进展进行分析;通过网络调研法,对欧洲生物刺激素领域的产业发展历程与政策演进进行系统梳理。

文献数据主要借助CiteSpace和VOSviewer进行处理与可视化。通过计算关键词之间的共现关系,观察研究内容较为集中的方向及其变化;随后采用对数似然比(Log-likelihood ratio,LLR)算法对关键词进行聚类,据此划分该领域的主要研究主题。对于不同时期关注度上升较快的内容,则利用关键词突现功能加以识别。

2　欧洲生物刺激素领域的科学研究进展

2.1　研究发展脉络及核心文献

2.1.1　年度发文量分析

由图1可知,1997—2025年欧洲生物刺激素领域的发文量总体呈现上升趋势,经历了萌芽、稳步增长和快速扩张3个阶段。1997—2008年,该领域尚处于起步阶段,年发文量为46~87篇,年均约61篇。此时期的研究主要涉及植物营养改善和生物制剂的初步应用,生物刺激素的概念和研究范围尚未完全明确,相关政策和行业规范也有待建立。2009—2018年,进入稳步增长期,年均发文量增至

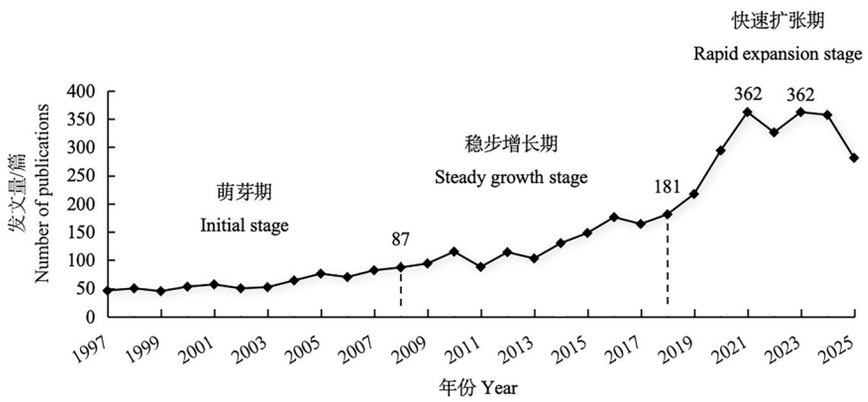


图 1 1997—2025 年欧洲生物刺激素领域文献年发文量

Fig. 1 Annual number of papers published in the field of biostimulants in Europe from 1997 to 2025

约 131 篇。随着欧盟对可持续农业和生态农业的持续关注，以及分子生物学、植物生理学等学科的发展，研究重点逐渐转向生物刺激素对植物抗逆性、养分吸收和作物品质的影响及其作用机制[11-13]。2011 年欧洲生物刺激素工业委员会成立后，行业组织、科研机构和企业的联系进一步加强，相关研究也逐步由应用效果验证向作用机制分析拓展。2019—2025 年，欧洲生物刺激素领域的研究进入快速扩张阶段，年发文量显著提升，年均发文量超过 300 篇，2021 年和 2023 年均达到峰值 362 篇。2019 年欧盟正式通过《欧盟肥料产品法规》并在 2022 年全面实施，使生物刺激素作为独立产品类别首次被纳入欧盟统一监管体系，极大地推动了政策对该产业的认同与科研投入。这一时期的研究热点明显集中于脯氨酸[14]、活性氧、抗氧化活性[15-16]等信号分子机制，生物刺激素与环境胁迫响应的耦合机制[17]，以及产业化产品的开发与应用评估，科研范式也逐渐从宏观的农艺层面转向微观的分子与系统生物学层面。

2.1.2 代表性文献梳理

20 世纪 90 年代以来，欧洲较早开展植物生物刺激素研究，并逐渐成为该领域研究和产业应用较为活跃的地区。早期文献主要讨论生物刺激素的概念、类型及其对植物生长的影响，随后研究内容扩展到作用机理、产品评价和监管标准等方面。这些研究为生物刺激素的功能认定和后续市场管理提供了一定的科学依据。1994 年，Hervé[18]提出生物刺激素这一术语，推动了这一概念的早期讨论。1999 年，Zhang 等[19]进一步强调应围绕生物刺激素开展实证研究，提出应通过系统试验考察生物刺激素的实际作用，并重点讨论了激素调节和抗氧化反应在植物生长调控中的作用。2015 年，Du[3]提出了具有广泛影响力的植物生物刺激素定义，明确其为一类通过提高养分吸收效率、增强作物对非生物胁迫的耐受性或改善品质特征来发挥作用的物质或微生物，且其作用机制独立于传统营养供给路径，从而在理论上厘清了生物刺激素与传统肥料和农药等农资产品之间的本质区别。在分类研究方面，Kauffman 等[20]于 2007 年提出了划分方法，将生物刺激素归纳为腐殖酸类、含激素类和含氨基酸类三大类群。2015 年，Colla 等[21]在此框架基础上进行拓展与完善，提出了涵盖 6 类非微生物源与 3 类微生物源的系统分类体系，其中非微生物类包括壳聚糖、腐殖酸与黄腐酸、蛋白质水解物、亚磷酸盐、海藻提取物及含硅材料，微生物类则涵盖丛枝菌根真菌、植物根际促生细菌和木霉菌。上述研究主要围绕生物刺激素的概念、作用机理和实际功效展开，推动了欧洲对该类产品的认识不断深入。相关成果也为后续产品评价方法的制定和监管规则的建立提供了研究依据。

2.1.3 期刊发文量分析

表 1 展示了欧洲生物刺激素领域发文量排名前 10 的期刊，可知欧洲生物刺激素领域发文量前 10 的期刊共计发表 968 篇文献，占总文献量的 22.80%，发文量位居前 3 的期刊分别是 *Plants*、*Frontiers in Plant Science*、*Agronomy*。

2.2 核心研究力量

由于科学研究具有比较强的时效性与阶段性特征，本研究在原始数据集的基础上，选取 2015—2024 年发表的 2 587 篇文献作为重点分析样本，以

表 1　欧洲生物刺激素领域发文量排名前 10 的期刊

Table 1　Top 10 journals by number of publications in the field of European biostimulants

排名 Ranking	期刊名称 Journal name	发文量/篇 Number of publications	2024 年复合影响因子 Composite impact factor in 2024	5 年影响因子 5-year impact factor
1	*Plants*	180	4.1	4.5
2	*Frontiers in Plant Science*	161	4.8	5.7
3	*Agronomy*	111	3.4	3.8
4	*Journal of Experimental Botany*	91	5.7	6.8
5	*Plant Physiology and Biochemistry*	85	5.7	6.4
6	*Plant and Soil*	75	4.1	4.7
7	*International Journal of Molecular Sciences*	74	4.9	5.7
8	*New Phytologist*	72	8.1	10.3
9	*Horticulturae*	60	3.0	3.2
10	*Plant, Cell & Environment*	59	6.3	7.7

考察近 10 年欧洲生物刺激素领域的研究格局及其变化。在此基础上，分别从主要研究国家、核心作者和核心机构 3 个方面展开分析。

2.2.1　*主要研究国家*

表 2 为欧洲生物刺激素研究领域发文量排名前 10 的国家，可知西班牙、意大利和德国的发文量较高，分别为 366 篇、365 篇和 325 篇，是该领域较为活跃的研究国家。为考察不同国家之间的科研合作情况，本研究利用 VOSviewer 绘制国家合作网络图谱。在设置国家间合作阈值为至少合作 10 次的条件下，共识别出 57 个节点。由图 2 可知，西班牙虽发文量居首位，但其国际合作网络相对稀疏，主要合作对象集中于阿根廷、巴西、墨西哥和美国等国家，其研究活动仍以区域性和独立性为主，国际合作网络的广度仍有进一步拓展的空间；意大利与波兰、法国和希腊之间的合作较为密切，形成了较为稳定的合作关系；德国则与中国和英国等国家保持着较多合作。总体来看，意大利和德国的国际合作对象更为多样，合作网络的连接程度也相对较高。

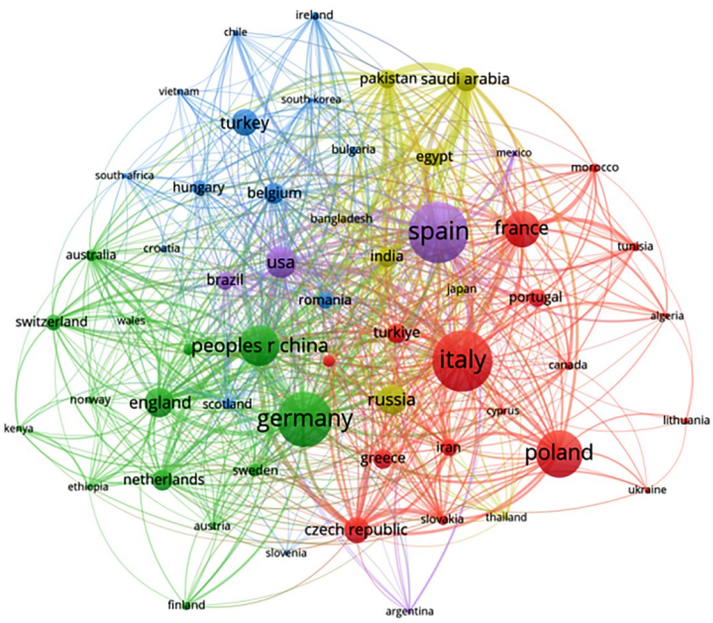
表 2　欧洲生物刺激素领域发文量排名前 10 的国家

Table 2　Top 10 countries by number of publications in the field of European biostimulants

排名 Ranking	国家 Country	发文量/篇 Number of publications	排名 Ranking	国家 Country	发文量/篇 Number of publications
1	Spain	366	6	Russia	152
2	Italy	365	7	UK	150
3	Germany	325	8	Turkey	133
4	Poland	265	9	Czech Republic	123
5	France	193	10	Belgium	99

2.2.2　*核心作者*

表 3 展示了欧洲生物刺激素领域发文量排名前 5 的作者，分别是 Youssef Rouphael、Giuseppe Colla、Luigi Lucini、Mariateresa Cardarelli、Oscar Vicente。其中 Youssef Rouphael 教授以 45 篇发文量占据第 1，Youssef Rouphael 是意大利那不勒斯费德里科二世大学（University of Naples Federico II）农学系教授，他长期研究植物生物刺激素的作用机理与应用，成果主要集中在植物源蛋白水解物和微生物型生物刺激素在促进作物生长、提高养分吸收效率、缓解逆境胁迫的综合效应上[22-25]。他揭示了蛋白水解物具有类似植物激素调控作用，可诱导植



图中节点大小与发文量呈正相关;连线及其粗细反映共著合作关系与强度;同色节点代表属于同一密切合作聚类群。图3和图4同。

Node size is positively correlated with the number of publications; lines and their thickness reflect co-authorship relationships and their strength; Same-colored nodes denote the same collaboration cluster. The same applies to Figs 3 and 4.

图2 欧洲生物刺激素领域主要研究国家合作网络

Fig. 2 Collaboration network of major countries in the field of European biostimulants

表3 欧洲生物刺激素领域发文排名前5的作者

Table 3 Top 5 authors by number of publications in the field of European biostimulants

排名 Ranking	作者姓名 Author name	国家 Country	发文量/篇 Number of publications
1	Youssef Rouphael	Italy	45
2	Giuseppe Colla	Italy	31
3	Luigi Lucini	Italy	20
4	Mariateresa Cardarelli	Italy	17
5	Oscar Vicente	Spain	16

物代谢重编程,改善光合效率、根系结构和抗氧化系统活性。同时,他提出了微生物类与非微生物类两类生物刺激素协同施用[26]的可持续管理策略,用高通量表型分析与代谢组学方法建立生物刺激素筛选与机理解析新范式,其研究为阐明生物刺激素分子基础、促进其在可持续农业中的应用提供重要理论与技术支撑。发文量排名第2的是意大利图西亚大学农林科学系教授Giuseppe Colla,他认为,生物刺激素产业的快速发展反映了农业生产方式向可持续方向转变的趋势。相关研究表明,生物刺激素能够在一定程度上提高植物的养分利用效率,并降低对化学肥料的依赖,从而降低农业生产对生态环境造成的影响[27]。上述作用与可持续农业的发展目标较为契合,也为提高农业生产效率、保障粮食安全和改善农业生态环境提供了新思路。

由图3所示的作者合作网络可知,Youssef Rouphael、Giuseppe Colla和Mariateresa Cardarelli等学者之间合作较为密切,形成了该领域较具代表性的研究团队。整体来看,作者间的合作关系呈现出多个相对独立的合作团簇,说明该领域尚未形成高度集中的合作网络,研究合作存在一定的分散性与多中心特征。

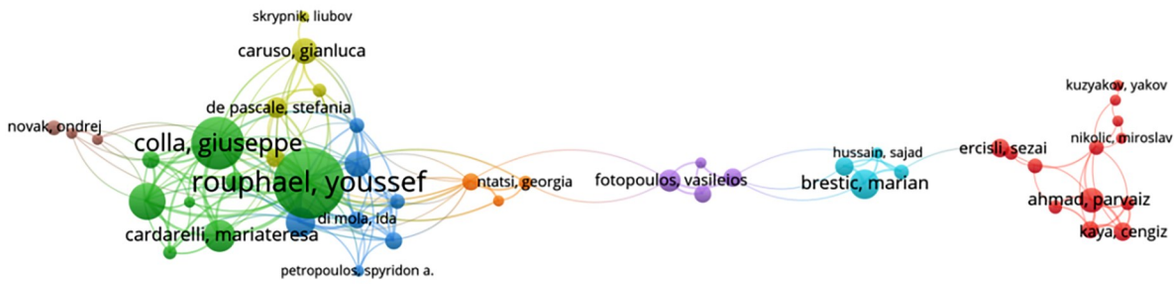


图 3　欧洲生物刺激素领域作者合作网络

Fig. 3　Author collaboration network in the field of European biostimulants

2.2.3　核心机构

表 4 展示了欧洲生物刺激素研究领域发文量排名前 10 的科研机构。总体来看，发文较多的机构主要为国家级科研机构和综合性大学。西班牙国家研究委员会（Consejo Superior de Investigaciones Científicas，CSIC）以 123 篇位居首位，反映出该机构在生物刺激素领域具有较强的研究基础和较高的科研活跃度。俄罗斯科学院（Russian Academy of Sciences，RAS）和那不勒斯费德里科二世大学（University of Naples Federico II）分别发表 96 篇和 91 篇，位列第 2 和第 3 位。其中，俄罗斯科学院的相关研究主要集中于植物胁迫生理及微生物类生物刺激素的作用机制。法国国家农业、食品与环境研究院（National Research Institute for Agriculture，Food and Environment，INRAE）与法国国家科学研究中心（Centre National de la Recherche Scientifique，CNRS）分别以 89 篇和 82 篇位列第 4 和第 5 位。

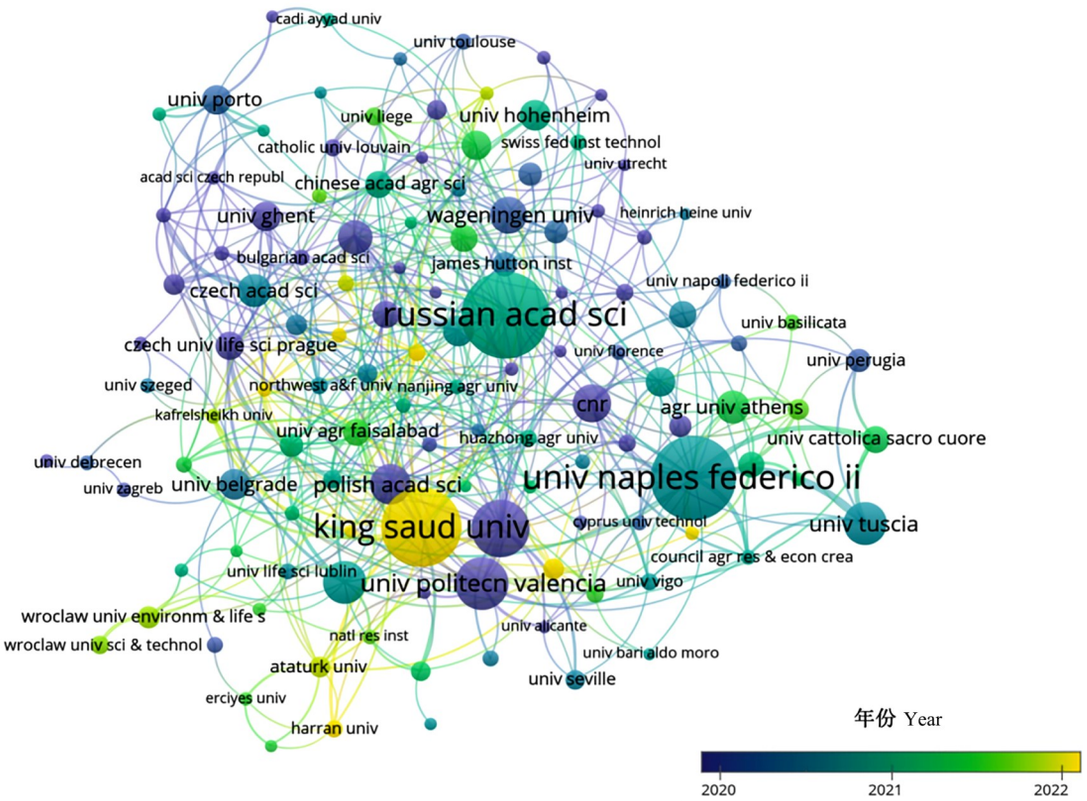
表 4　欧洲生物刺激素领域发文量排名前 10 的机构

Table 4　Top 10 institutions by number of publications in the field of European biostimulants

排名 Ranking	机构 Institution	发文量/篇 Number of publications
1	Consejo Superior de Investigaciones Científicas（CSIC）	123
2	Russian Academy of Sciences（RAS）	96
3	University of Naples Federico II	91
4	National Research Institute for Agriculture，Food and Environment（INRAE）	89
5	Centre National de la Recherche Scientifique（CNRS）	82
6	Wageningen University & Research（WUR）	63
7	Consiglio Nazionale delle Ricerche（CNR）	56
8	Max Planck Society（MPG）	54
9	Czech Academy of Sciences（CAS）	53
10	Universitat Politècnica de València（UPV）	48

由图 4 所示的机构合作网络可知，俄罗斯科学院（对应图 4 russian acad sci 节点）和那不勒斯费德里科二世大学（对应图 4 univ naples federico ii 节点）与其他机构之间的合作较多，是网络中较为重要的节点。两家机构具有较高的连接度，并与多个科研机构保持合作关系，在不同合作群体之间发挥了一定的联系作用。围绕这些主要节点，网络中形成了若干规模不一的合作群体，部分群体表现出较明显的学科或地域联系。

从机构类型分布看，合作网络涵盖综合性大学、农业类院校、国家级科研机构、跨部门研究委员会等科研主体。俄罗斯科学院代表国家级科研院所体系，那不勒斯费德里科二世大学、瓦赫宁根大学及研究中心（Wageningen University & Research 对应图 4 wageningen univ 节点）等高校在跨机构合作中起重要组织与创新引领作用。不同类型科研



节点颜色表示机构参与合作论文的发表年份，颜色由紫色至黄色表示机构合作活动由早期向近期演变。

Node color indicates the publication year of collaborative publications involving each institution, with colors ranging from purple to yellow representing the temporal evolution of institutional collaboration activity from earlier to more recent periods.

图 4 欧洲生物刺激素领域机构合作网络

Fig. 4 Institution collaboration network in the field of European biostimulants

机构的共同参与，体现出高校、科研院所与产业主体之间的联系正在逐步加强。从合作网络来看，欧洲生物刺激素领域已形成多个较为活跃的研究中心，机构之间既存在跨区域合作，也呈现出不同层级研究主体共同参与的特点。部分高产机构在网络中与其他机构保持较多联系，对研究资源共享和合作关系拓展发挥了一定作用。

2.3 主要研究热点

2.3.1 主题聚类结果

运用 CiteSpace 软件对欧洲近 10 年来生物刺激素研究文献进行聚类分析，共聚类出 6 个主题（图 5），分别为#0 arbuscular mycorrhizal fungi（丛枝菌根真菌，AMF）、#1 proline（脯氨酸）、#2 salicylic acid（水杨酸，SA）、#3 antioxidant activity（抗氧化活性）、#4 reactive oxygen species（活性氧，ROS）、#5 amino acids（氨基酸）。这 6 个主题体现了从微生物互作机制到分子信号通路，再到抗氧化应答与代谢调控的研究主题。

1）#0 arbuscular mycorrhizal fungi（丛枝菌根真菌，AMF）。在欧洲生物刺激素研究中，AMF 属于起步较早且研究基础较为深厚的方向。其相关研究集中于 AMF 在提高作物对养分的吸收能力[28]、增强抗逆性[29]、改善土壤环境等方面[30-31]的生物刺激机制。从作用过程来看，AMF 能够与植物根系形成菌根共生结构，扩大根系有效吸收范围，提高植物对磷、氮及部分微量元素的吸收能力[32-33]，在低磷等养分逆境下，植物根系可通过分泌信号分子独脚金内酯来调节植物与真菌的互作关系。近年来，该主题的研究重点已不再局限于促生效应本身，而是逐渐延伸至 AMF 参与干旱、盐碱和重金属等逆境胁迫响应的生理调控网络[34-36]，这表明 AMF 在提高作物资源利用效率、促进农业可持续发展以及生态修复等方面具有较高的研究价值。

2）#1 proline（脯氨酸）。脯氨酸是植物在应激

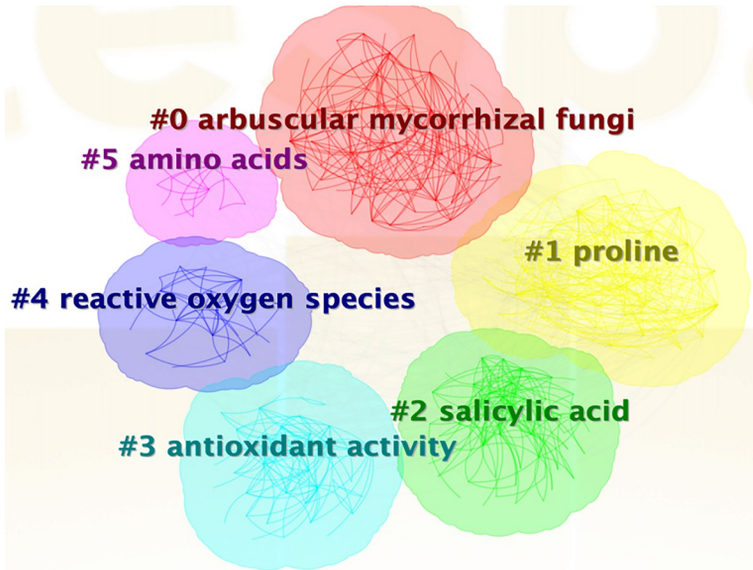


图 5　欧洲生物刺激素领域关键词聚类图

Fig. 5　Keywords clustering map in the field of European biostimulants

条件下最关键的渗透调节物质和信号分子之一[37]。该主题聚焦于脯氨酸在调控植物抗逆反应中的代谢途径及其与生物刺激素作用的协同效应。研究表明，外源施用脯氨酸或能促进植物内源脯氨酸合成代谢的生物刺激素处理，可显著提高植物的抗旱、抗盐及抗重金属能力[37-38]。从生理作用看，脯氨酸可参与细胞渗透调节，维持细胞膜稳定，并在氧化还原平衡调控和活性氧清除中发挥作用，从而减轻逆境对植物造成的损伤[39-40]，是生物刺激素抗逆作用中较为典型的代谢调控路径。近年来，围绕脯氨酸与多胺和甜菜碱等小分子代谢物之间关系的研究逐渐增多[41-43]。研究重点也开始由单一代谢物的作用转向不同代谢过程之间的相互联系。

3）#2 salicylic acid（水杨酸，SA）。水杨酸是植物防御反应和逆境适应过程中重要的信号分子，在诱导系统获得性抗性方面具有明确作用[44]。该主题主要集中于SA信号通路与生物刺激素作用机制之间的联系。已有研究显示，部分生物刺激素可通过影响SA的合成、积累及其下游信号转导过程，提高植物对病原侵染[45]、干旱[46]和高温[47]等胁迫的适应能力。与早期研究侧重单一信号分子不同，近年相关研究更加关注SA与茉莉酸[48]和乙烯[49]等其他激素信号之间的交互关系[48-49]，这说明生物刺激素调控植物免疫与抗逆反应并非依赖单一路径，而更可能体现为多信号网络共同参与的综合调节过程。

4）#3 antioxidant activity（抗氧化活性）。抗氧化活性常用于判断生物刺激素对植物生理状态的影响，也有助于理解其减轻逆境损伤的作用。已有研究表明，施用生物刺激素后，植物体内超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶等抗氧化酶的活性可得到提高[50-54]，与此同时，谷胱甘肽、抗坏血酸和酚类物质等非酶抗氧化成分也会发生相应变化[55]，这些变化有助于清除过量活性氧，减轻氧化胁迫对植物细胞造成的损伤。

5）#4 reactive oxygen species（活性氧，ROS）。ROS在植物逆境响应中具有双重作用。ROS积累过多时，会引起膜脂过氧化、蛋白质损伤等氧化伤害；而在适宜浓度下，ROS又可作为信号分子，参与植物对外界环境变化的感知和调节。因此，相关研究主要关注生物刺激素对ROS产生和清除过程的影响。已有研究表明，生物刺激素可通过提高抗氧化酶活性、调节NADPH氧化酶及其相关信号过程，减少逆境条件下ROS的过量积累，从而减轻氧化损伤[56]。同时，近年来研究进一步揭示ROS并不只是胁迫损伤的结果，也可作为“第二信使”参与植物防御反应、气孔调节和激素信号传递等过程[57-59]，表明生物刺激素可能通过ROS信号调控来实现对环境胁迫的快速感应与响应。

6）#5 amino acids（氨基酸）。氨基酸类生物刺激素在农业生产中的应用较为普遍，相关研究主要集中在养分补充[60-61]、信号调节[62]和抗逆保护[63]等

多个方面。氨基酸既是植物氮代谢过程中的重要物质[64-65]，也参与蛋白质合成、叶绿素形成和光合作用调节，对植物生长及干物质积累具有促进作用[66]。不同氨基酸的生理功能并不完全相同，其中谷氨酸、精氨酸和色氨酸等与植物激素合成、氮素代谢和信号传递等过程密切相关[67-69]。近年来研究逐渐由单一氨基酸或单一产品的效果评价，扩展到复配型氨基酸生物刺激素在干旱、盐胁迫等多种逆境条件下的应用[70-71]，研究内容也更加关注配方组成、施用条件及其与具体生产场景的适配性。

2.3.2 研究热点演化分析

通过突现词检测，可以揭示10年来欧洲生物刺激素领域研究热点的动态演进轨迹（表5）。根据突现词的强度、起始和持续时间，可以划分为以下3个阶段：

1）基础机理与诱导抗性探索阶段（2015—2018年）。该时期研究更多关注生物刺激素作用的生理和分子基础。Arabidopsis thaliana（拟南芥，突现强度10.17）作为典型模式植物频繁出现[72]，研究主要借助模式体系解析生物刺激素对Defense

表5 欧洲生物刺激素领域突现关键词

Table 5 Keywords burst in the field of European biostimulants

关键词 Keywords	年份 Year	突现强度 Burst intensity	突现开始年份 Burst start year	突现结束年份 Burst end year	2015—2025年
Arabidopsis thaliana	2015	10.17	2015	2018	
Colonization	2015	8.58	2015	2017	
Proline accumulation	2015	6.74	2015	2017	
Disease resistance	2015	5.87	2015	2016	
Disease	2015	4.76	2015	2016	
Defense responses	2015	4.66	2015	2018	
Plant extracts	2015	4.49	2015	2016	
Botrytis cinerea	2015	3.98	2015	2019	
Roots	2017	6.05	2017	2018	
in vitro	2015	5.10	2017	2020	
Nitrogen fixation	2015	5.07	2017	2020	
Diversity	2017	4.64	2017	2018	
Nitrate	2019	5.16	2019	2020	
Polyphenols	2015	4.26	2019	2020	
Biostimulants	2019	4.12	2019	2020	
Water deficit	2020	7.09	2020	2021	
Plant biostimulants	2021	4.94	2021	2023	
Glycine max	2018	4.58	2021	2022	
Foliar application	2021	4.23	2021	2023	
Transport	2022	6.23	2022	2023	
Management	2022	5.84	2022	2023	
System	2022	4.41	2022	2025	
Germination	2020	4.30	2023	2025	
Essential oils	2023	4.27	2023	2025	
Antimicrobial activity	2020	4.18	2023	2025	

注：浅蓝色色块表示对应关键词突现之前的时间段，蓝色色块表示该关键词未出现突现现象的时间段，红色色块表示该关键词发生突现现象的时间段。

Note: Light-blue blocks indicate the period before the onset of a burst for the corresponding keyword, blue blocks indicate periods during which no burst was detected, and red blocks indicate the period during which the keyword exhibited a burst.

responses（植物防御反应，突现强度 4.66）和 Disease resistance（抗病性，突现强度 5.87）的调控机制[73-75]。同时，Proline accumulation（脯氨酸积累，突现强度 6.74）等关键词的出现在一定程度上表明，研究者已经开始从渗透调节、代谢积累和氧化防御等角度解释生物刺激素的抗逆机制[76]。此外，Plant extracts（植物提取物，突现强度 4.49）[77]作为突现词之一，也反映出植物源提取物在该阶段逐渐成为生物刺激素来源开发的重要对象。

2）营养管理与功能拓展阶段（2018—2020 年）。随着生物刺激素概念逐渐被接受，相关研究不再仅停留在抗病和防御反应层面，而是开始转向养分吸收、氮素利用和作物品质形成等方面。该阶段突现词涉及 Nitrogen fixation（固氮作用，突现强度 5.07）、Nitrate（硝酸盐，突现强度 5.16）吸收与代谢、Polyphenols（多酚，突现强度 4.26）积累等内容[78-80]，说明研究重点已由单纯的逆境防御扩展至作物营养效率和品质调控。与此同时，Biostimulants（生物刺激素，突现强度 4.12）成为突现关键词，也表明该研究领域在这一时期逐渐形成相对明确的学科边界和术语体系。

3）非生物胁迫及生产应用阶段（2020 年至今）。随着气候变化影响加深，以及农业生产对绿色投入品需求的增加，生物刺激素研究更加关注其在实际种植条件下的应用效果。其中，Water deficit（水分亏缺，突现强度 7.09）[81-82]是突现强度较高的关键词之一，说明生物刺激素在缓解干旱胁迫、提高作物抗旱性方面受到较多关注。研究层面更趋多元化与系统化：一方面，关注 Foliar application（叶面施用，突现强度 4.23）[83]等具体应用技术，并在 Glycine max（大豆，突现强度 4.58）[84]等重要经济作物中进行验证，另一方面，探索如 Essential oils（精油，突现强度 4.27）等新型来源及其 Antimicrobial activity（抗菌性，突现强度 4.18）等多功能特性[85-87]。

3　欧洲生物刺激素领域的产业发展情况

3.1　市场规模

在气候变化、资源约束和农业绿色转型的多重背景下，生物刺激素因具有提高养分利用效率、增强作物抗逆性等作用，逐渐受到政策制定者和市场主体的关注。随着可持续农业发展和土壤健康管理日益受到重视，全球生物刺激素市场规模不断扩大。根据 Global Market Insights 最新报告估算，2025 年全球生物刺激素市场估值为 39 亿美元，2026 年预计增至 43 亿美元，预计到 2035 年扩展至 117 亿美元，复合年增长率为 11.5%，其中 2025 年欧洲市场份额为 23.3%，该产业仍具有较大的发展空间[88]。

3.2　区域发展

从区域市场结构来看，欧洲生物刺激素市场高度分化且专业化，不同国家因农业结构、资源禀赋和政策导向形成差异化应用路径与产业优势。

2024 年，西班牙约占欧洲生物刺激素市场的 24.2%[89]，所占份额相对较高。西班牙园艺产业规模较大，且长期面临水资源约束和高温、干旱等气候条件，这在一定程度上增加了农业生产对提高水肥利用效率和增强作物抗逆性的需求。该国较早推动农业集约化生产向可持续方向转型，也为生物刺激素的推广创造了条件。西班牙的生物刺激素相关产品主要应用于水果和蔬菜生产，其中海藻提取物和氨基酸类产品在温室种植中的使用较为普遍。西班牙还形成了较为完整的生产和供应体系，Bioiberica 等企业在欧洲市场具有一定的产品供给能力，为本国生物刺激素产业发展提供了支撑。

法国生物刺激素市场的发展受农业政策和监管制度影响较为明显。法国通过“生态植物计划”等政策推动农药和化肥减量，并鼓励在综合作物管理中采用替代性投入品，这为生物刺激素的应用提供了政策空间。法国对相关产品实行评估和准入管理，由法国食品、环境与职业健康安全署开展产品安全性和有效性审查。生物刺激素在法国已用于谷物、葡萄等作物生产。据法国全国农业和海产品管理局统计，2023 年约有 38% 的谷物种植农户使用过生物刺激素相关产品[89]。

意大利生物刺激素市场的发展与其农业生产结构密切相关。意大利的优质水果、蔬菜和葡萄酒产业较为发达，对农产品品质、生产稳定性和环境友好性的要求较高，由此带动了功能型生物刺激素的应用。部分企业也开始依托 GeaPower 等技术平台，对不同类型的活性成分、作用机制及应用场景进行整合，推动产品开发由单一配方逐步转向针对具体作物和生长需求的综合解决方案。

德国的应用则更多见于谷物和油料作物，关注内容主要包括养分利用、土壤改良和逆境条件下的

作物生长。尤利乌斯·库恩研究所等机构开展了生物刺激素产品的田间试验和效果评价，相关结果可为产品使用提供参考[90]。在监管方面，德国按照欧盟肥料产品法规及欧洲合格认证/符合性CE标志①要求对相关产品进行管理，市场准入和产品合规要求相对严格。

3.3 市场竞争动态

近10年来，欧洲生物刺激素产业并购活动呈阶段性演进，从区域性资源整合升级为全球化技术平台构建，反映出产业成熟度提升与战略重心转移。由表6可知，2017年前后，行业整合主要表现为国内或区域内企业之间横向整合，如意大利Biolchim-CIFO Group收购ILSA部分股权，通过整合研发、生产和市场资源以扩大产品组合并提升协同效应，竞争重点是产能与市场集中度。2020年前后，生物刺激素逐渐进入跨国农业企业的业务布局，并购活动随之增多。以先正达收购Valagro为例，大型农业企业近年来开始将生物刺激素业务纳入原有产品体系。通过收购，企业可以直接获得相关技术、产品和市场渠道，缩短进入这一市场所需的时间。2023年前后，海藻提取物等细分领域成为新的并购对象，跨地区收购也比以往更为常见。部分企业还将原料供应、生产和销售渠道一并纳入整合范围。2026年的部分交易进一步涉及微生物、生物制剂和信号化合物等技术，说明企业关注点已不再局限于单一产品，而是逐步延伸至研发平台、应用服务和综合解决方案。整体而言，近年来的并购与整合活动表明，欧洲生物刺激素行业正在经历新一轮资源重组，企业业务也由单一产品供应向多类产品组合和配套技术服务拓展。

表6 2017年以来欧洲生物刺激素市场代表性并购与整合事件

Table 6 Representative mergers, acquisitions and integration events in the European biostimulants market since 2017

年份 Year	并购方 Acquirer	被并购方 Target company	产品特点 Product characteristics	战略目的 Strategic objective
2017	Biolchim-CIFO Group（意大利）	ILSA（意大利）	有机及有机矿物肥料、生物刺激素、特定作用产品	整合资源，形成全球重要的特种肥料与生物刺激素集团
2020	先正达（瑞士）	Valagro（意大利）	生物刺激素、特种营养产品	拓展生物制剂业务，增强生物刺激素和作物营养产品组合
2023	Olmix（法国）	Bois Valor（法国）	木质提取物类叶面生物刺激素、种子处理方案	强化植物护理业务和生物源解决方案组合
2023	Den Ouden GrowSolutions（荷兰）	Ferm O Feed 与 Plant Health Cure 合并（荷兰）	有机肥料、生物刺激素、菌根技术与土壤生物解决方案	整合国际销售网络与土壤/植物改良技术服务能力
2023	De Sangosse（法国）	AlgaEnergy（西班牙）	微藻类生物刺激素、生物肥料和生物防治产品	强化农业生物解决方案和微藻技术布局
2023	Biobest（比利时）	BioWorks（美国）	生物农药、生物防治相关产品	扩展北美生物农药产品组合和生产能力
2023	Biobest（比利时）	Biotrop（巴西）	生物防治、接种剂、生物刺激素等农业生物制品	拓展南美市场，并由园艺生物防治扩展至大田农业生物制品
2026	SAS Group（西班牙）	Ceres Biotics（西班牙）	微生物生物解决方案、生物刺激素、土壤改良剂、特种植物营养产品	拓展微生物生物解决方案产品组合和研发能力
2026	HELM AG（德国）	Unium Bioscience（英国）	生物制剂、生物刺激素、特种肥料和信号化合物技术	强化全球生物解决方案和作物可持续生产技术布局

①CE（Conformité Européenne）标志是欧盟对境内流通产品实施的强制性安全认证标志。

4　欧洲生物刺激素领域的政策演进历程

在《欧盟肥料产品法规》未出台前，由于缺乏统一的科学界定与监管框架，早期的生物刺激素主要以海藻提取物、腐殖酸、氨基酸及蛋白水解物等形式存在，各成员国根据自身国内肥料或植物保护法规对植物生物刺激素进行管理，从而政策呈现出较为分散的特点。

自 20 世纪末以来，欧洲生物刺激素相关制度体系总体呈现出由分散监管向统一规范逐步演进的特征。20 世纪 90 年代至 21 世纪初期，由于欧盟层面尚未对生物刺激素形成明确的法律界定，各成员国主要依据肥料法或植物保护产品法对其进行分类管理，监管框架呈现出一定的碎片化特征。由图 6 可知，2011 年，欧洲生物刺激素工业委员会（EBIC）成立，标志着行业开始以组织化形式参与政策对话与标准制定，其成员数量也由最初的 10 家逐步扩展至 60 余家[91]。此后，2012 年在法国斯特拉斯堡召开的首届全球性生物刺激素大会，进一步推动该议题进入国际学术与产业层面的公共讨论空间。

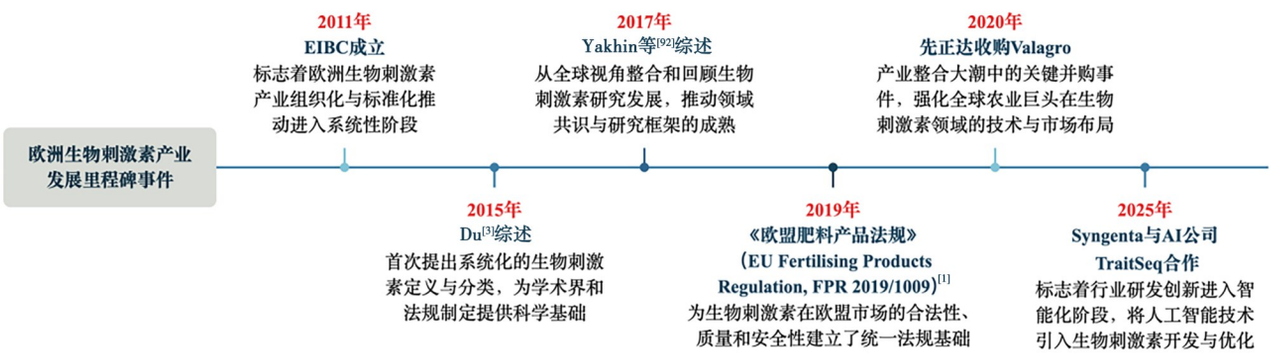


图 6　欧洲生物刺激素产业发展里程碑事件

Fig. 6　Milestone events in the development of the European biostimulants industry

随着相关研究证据逐步积累以及市场规模不断扩大，欧盟于 2019 年通过《欧盟肥料产品法规》，并于 2022 年 7 月正式实施[1]。该法规在欧盟统一法律框架下将植物生物刺激素列为独立的产品功能类别（PFC 6），对生物刺激素的功能、材料组成、标签要求和合格评定程序作出了规定，为相关产品进入欧盟市场提供了统一的法规依据。

在安全监管方面，《欧盟肥料产品法规》对微生物生物刺激素设置了相应的卫生指标，对大肠杆菌、沙门氏菌等微生物规定了限量要求。法规实施初期，可用于欧盟肥料产品的微生物范围主要包括根瘤菌、菌根真菌及部分固氮微生物。由此，符合植物生物刺激素功能定义的产品被纳入肥料产品法规体系管理；若产品宣称具有防治病虫害等植物保护功能，则仍需适用植物保护产品的相关监管要求。

《欧盟肥料产品法规》虽然统一了欧盟层面的基本要求，但各成员国在落实进度和监管方式上仍不完全一致。对于部分新型原料，现有的分类标准和技术依据也尚未完全覆盖。为解决法规实施中出现的问题，欧盟随后陆续调整相关配套规定，如推动数字标签的使用、更新组件材料类别清单，并进一步明确欧盟统一市场规则与成员国监管职责之间的衔接。这些调整有助于减少各国在执行中的差异，也使现有法规能够更好地适应新材料和新产品的管理需求。

5　结论与启示

5.1　结论

本研究采用文献计量法和网络调研法，从科研、产业和政策 3 个方面对欧洲生物刺激素领域的发展状况进行了分析，主要结论如下：

1）欧洲生物刺激素领域的研究总体经历了由萌芽探索、稳步积累到快速扩张的阶段性演进，其知识生产轨迹呈现出明显的结构升级特征。西班牙、意大利和德国在发文量、高被引论文数量及核心作者分布等方面表现较为突出，是欧洲生物刺激素研究较为活跃的国家，并形成了具有一定影响力的研究团队和合作网络。从研究内容看，该领域的关注重点不断变化，早期研究主要涉及植物抗性诱

导、激素调控和信号传导等基础生理过程；此后逐渐深入菌根共生、活性氧和水杨酸信号等微观机制，并进一步拓展至养分管理、非生物胁迫应对和作物品质改善等应用方向，基础研究与生产应用之间的联系日益加强。

2）欧洲生物刺激素市场规模持续扩大，并展现出较高的中长期增长潜力。受农业生产条件、资源禀赋和政策环境等因素影响，欧洲各国生物刺激素产业形成了不同的发展路径，市场应用也呈现出一定的地域差异。近年来，随着企业并购和跨区域合作增多，行业竞争逐渐由单一产品开发转向技术整合、产品组合和综合服务能力的提升。

3）欧洲生物刺激素监管体系经历了由分散管理向统一规范的制度转型。《欧盟肥料产品法规》在欧盟统一法律框架下明确了植物生物刺激素的功能定位，并将其纳入肥料产品管理体系，为相关产品的市场准入、标签管理和合格评定提供了统一依据。该法规为欧洲生物刺激素市场的规范发展奠定了制度基础，也可为其他国家建立和完善相关监管制度提供参考。

5.2 启示

欧洲的经验说明，生物刺激素能否得到稳定应用，离不开持续的试验验证和较为扎实的基础研究。我国相关产品开发较快，市场应用也在扩大，但现有研究对其活性成分、作用过程和实际使用效果的解释还不够充分。尤其是在不同作物、土壤和气候条件下，产品效果是否稳定，仍缺少长期、连续的试验数据。今后的研究可更多结合田间生产实际，关注产品成分、施用时期、使用剂量及环境效应，并加强不同地区、不同作物之间的比较验证。与此同时，国内科研机构还可通过参与国际合作，及时了解该领域的研究进展和技术变化。

从产业发展看，欧洲企业正在由单一产品供应逐步转向针对作物和生产场景提供综合解决方案，对产品功能、质量控制和施用技术提出了更明确的要求。我国可在现有基础上进一步统一产品分类和质量标准，完善检测方法、效果评价和技术规范，减少不同产品之间质量和功效差异较大的问题。企业也应在产品销售之外，加强与肥料、农药、数字农业及农艺服务的结合，根据不同作物和种植条件形成配套施用方案。通过提供农艺指导、决策支持和后续技术服务，可增强产品应用的可操作性，提高农户对相关技术的接受程度。

在政策和制度方面，我国 2025 年发布的《生物刺激剂 术语与分类》[93]，为国内相关产品的分类和标识提供了参考，行业标准也在陆续制定。但目前一些产品究竟按照肥料还是其他农业投入品进行管理，仍存在认识不一的情况，产品功效和安全性的评价方法也有待统一。后续管理中，可根据产品功能和使用方式进一步划分监管范围，逐步明确登记、标签和效果验证要求。对于涉及微生物、天然提取物等原料的产品，还需同时考虑生物资源利用、知识产权和生态安全问题，避免产业扩张快于标准和监管建设。

参考文献 References

[1] European Parliament, Council of the European Union. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003[EB/OL]. [2025-12-25]. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/? uri=celex%3A32019R1009

[2] 农业农村部. 深入贯彻新发展理念加快农业发展全面绿色转型[EB/OL]. [2025-12-25]. https://jhs.moa.gov.cn/lsfz/202501/t20250110_6469023.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Deeply implementing the new development philosophy to accelerate the comprehensive green transformation of agricultural development[EB/OL]. [2025-12-25]. https://jhs.moa.gov.cn/lsfz/202501/t20250110_6469023.htm (in Chinese)

[3] Du J P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 196: 3-14

[4] 吴少博. 茶多酚对番茄幼苗的促生机制及缓解镉胁迫的效应研究[D]. 郑州：河南农业大学, 2025
Wu S B. Study on the mechanism of tea polyphenols promoting the growth of tomato seedlings and the effect of relieving cadmium stress[D]. *Zhengzhou*: *Henan Agricultural University*, 2025 (in Chinese)

[5] 赵方亮，丁峰，寿飞莹. 新型生物刺激素在蔬菜育苗中的应用及作用机制分析[J]. 现代食品, 2025, 31(4): 97-99
Zhao F L, Ding F, Shou F Y. Application and mechanism analysis of novel biostimulants in vegetable seedling cultivation[J]. *Modern Food*, 2025, 31(4): 97-99 (in Chinese)

[6] 李同花，刘学才，梁爱新，战帅，王子浩，秦跃军. 除草剂和生物刺激素混用在玉米上的效果[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(8): 1933-1937
Li T H, Liu X C, Liang A X, Zhan S, Wang Z H, Qin Y J. Effect of combined application of herbicides and biostimulants on maize[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2025, 66(8): 1933-1937 (in Chinese)

[7] 任太钰，陈志云，蔡一鸣，李俊玲，冯雨，蒋双丰. 叶面喷施生物刺激素对茶树生长及春茶品质的调控效应研究[J]. 茶叶通讯, 2025, 52(3): 321-327
Ren T Y, Chen Z Y, Cai Y M, Li J L, Feng Y, Jiang S F. Elucidating the mechanistic regulation of foliar-applied biostimulants on growth and spring

tea quality attributes in tea plants[J]. *Journal of Tea Communication*, 2025, 52(3): 321-327 (in Chinese)

[8] 艾京，郭俊，徐婧，吕俊. 生物刺激素在辣椒生长促进中的应用效果评估[J]. 河北农业，2025(4)：95-96
Ai J, Guo J, Xu J, Lyu J. Evaluation of the application effect of biostimulants in promoting pepper growth[J]. *Hebei Agriculture*, 2025(4): 95-96 (in Chinese)

[9] 赵玺，宿翠翠，谢忠清. 氮肥减量配施生物刺激素对甜叶菊氮素吸收及糖苷含量的影响[J]. 中国农学通报，2025，41(11)：107-116
Zhao X, Su C C, Xie Z Q. Effects of nitrogen reduction combined with biostimulants on nitrogen absorption and glycoside content in Stevia rebaudiana[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2025, 41(11): 107-116 (in Chinese)

[10] 朱国梁，王思怿. 欧美生物刺激素相关管理制度解析[J]. 肥料与健康，2024，51(6)：73-77，166
Zhu G L, Wang S Y. Analysis of relevant management systems for biostimulants in Europe and the United States[J]. *Fertilizer & Health*, 2024, 51(6): 73-77, 166 (in Chinese)

[11] Nawaz K, Ashraf M. Exogenous application of glycinebetaine modulates activities of antioxidants in maize plants subjected to salt stress[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2010, 196(1): 28-37

[12] Paradiković N, Zeljković S, Tkalec M, Vinković T, Maksimović I, Haramija J. Influence of biostimulant application on growth, nutrient status and proline concentration of Begonia transplants [J]. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2017, 33(2): 89-96

[13] Kocira A, Kocira S, Świeca M, Złotek U, Jakubczyk A, Kapela K. Effect of foliar application of a nitrophenolate-based biostimulant on the yield and quality of two bean cultivars[J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 214: 76-82

[14] Hosseinifard M, Stefaniak S, Ghorbani Javid M, Soltani E, Wojtyla Ł, Garnczarska M. Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: A review [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23(9): 5186

[15] Fiorentino S, Bellani L, Santin M, Castagna A, Echeverria M C, Giorgetti L. Effects of microalgae as biostimulants on plant growth, content of antioxidant molecules and total antioxidant capacity in Chenopodium quinoa exposed to salt stress[J]. *Plants*, 2025, 14(5): 781

[16] Guo S Q, Ma X X, Cai W Q, Wang Y, Gao X Q, Fu B Z, Li S X. Exogenous proline improves salt tolerance of alfalfa through modulation of antioxidant capacity, ion homeostasis, and proline metabolism[J]. *Plants*, 2022, 11(21): 2994

[17] Utgés-Minguell L, Sierras-Serra N, Marín C, Pintó-Marijuan M. Enhanced production by Terra-sorb® symbiotic biostimulant in two model species under nitrogen stress[J]. *Plants*, 2025, 14(7): 1087

[18] Hervé J J. Biostimulants, a new concept for the future; prospects offered by the chemistry of synthesis and biotechnology [J]. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 1994, 80: 91-102

[19] Zhang X, Schmidt R E. Biostimulating turfgrasses [J]. *Grounds Maintenance*, 1999, 34(11): 14-15

[20] Kauffman G L, Kneivel D P, Watschke T L. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass[J]. *Crop Science*, 2007, 47(1): 261-267

[21] Colla G, Rouphael Y. Biostimulants in horticulture [J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 196: 1-2

[22] Rouphael Y, Cardarelli M, Bonini P, Colla G. Synergistic action of a microbial-based biostimulant and a plant derived-protein hydrolysate enhances lettuce tolerance to alkalinity and salinity[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 131

[23] Rouphael Y, Carillo P, Ciriello M, Formisano L, El-Nakhel C, Ganugi P, Fiorini A, Miras Moreno B, Zhang L L, Cardarelli M, Lucini L, Colla G. Copper boosts the biostimulant activity of a vegetal-derived protein hydrolysate in basil: Morpho-physiological and metabolomics insights[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1235686

[24] Rouphael Y, Colla G. Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications [J]. *Agronomy*, 2020, 10(10): 1461

[25] Rouphael Y, Colla G. Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 1655

[26] Rouphael Y, Lucini L, Miras-Moreno B, Colla G, Bonini P, Cardarelli M. Metabolomic responses of maize shoots and roots elicited by combinatorial seed treatments with microbial and non-microbial biostimulants[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 11: 664

[27] Mannino G. A new era of sustainability: Plant biostimulants [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(22): 16329

[28] Bisht A, Garg N. AMF species improve yielding potential of Cd stressed pigeonpea plants by modulating sucrose-starch metabolism, nutrients acquisition and soil microbial enzymatic activities [J]. *Plant Growth Regulation*, 2022, 96(3): 409-430

[29] Rivero J, Álvarez D, Flors V, Azcón-Aguilar C, Pozo M J. Root metabolic plasticity underlies functional diversity in mycorrhiza-enhanced stress tolerance in tomato[J]. *New Phytologist*, 2018, 220(4): 1322-1336

[30] Usama M, Khan M S, Hannan F, Rasool B, Rizvi H, Farhad M, Tauqeer H M, Ullah S, Iqbal M. Crosstalk between glomalin and AMF reduces cadmium uptake and leaching, enhancing pea yield and soil health[J]. *BMC Plant Biology*, 2025, 25(1): 1522

[31] Cho E J, Lee D J, Do Wee C, Kim H L, Cheong Y H, Cho J S, Sohn B K. Effects of AMF inoculation on growth of Panax ginseng C. A. Meyer seedlings and on soil structures in mycorrhizosphere [J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 122(4): 633-637

[32] Shah S, Khan Y, Wang M M, Zhang T. Arbuscular mycorrhizal fungi as mediators of nitrogen, phosphorus, and carbon: Implications for plant growth and development[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2026, 49(4): 687-707

[33] Beslemes D, Tigka E, Roussis I, Kakabouki I, Mavroeidis A, Vlachostergios D. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on nitrogen and phosphorus uptake efficiency and crop productivity of two-rowed barley under different crop production systems[J]. *Plants*, 2023, 12(9): 1908

[34] Mathur S, Tomar R S, Jajoo A. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress [J].

Photosynthesis Research, 2019, 139(1): 227-238

[35] Gunes H, Demir S, Erdinc C, Furan M A. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and biochar on the growth of pepper (*Capsicum annuum* L) under salt stress[J]. *Gesunde Pflanzen*, 2023, 75(6): 2669-2681

[36] Banerjee S, Jha S, Chakraborty S, Ghosh S, Sarkar D, Datta R, Bhattacharya S S, Bhattacharyya P. Mycorrhiza-assisted phytoremediation of spiked chromium-contaminated soil: Assessing AMF-vetiver symbiosis for Cr accumulation and soil quality enhancement[J]. *Environmental Research*, 2025, 283: 122143

[37] Kaur G, Asthir B. Proline: A key player in plant abiotic stress tolerance[J]. *Biologia Plantarum*, 2015, 59(4): 609-619

[38] Zouari M, Ben Ahmed C, Elloumi N, Bellassoued K, Delmail D, Labrousse P, Ben Abdallah F, Ben Rouina B. Impact of proline application on cadmium accumulation, mineral nutrition and enzymatic antioxidant defense system of Olea europaea L. cv Chemlali exposed to cadmium stress [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, 128: 195-205

[39] Renzetti M, Funck D, Trovato M. Proline and ROS: A unified mechanism in plant development and stress response[J]. *Plants*, 2025, 14(1): 2

[40] Spormann S, Nadais P, Sousa F, Pinto M, Martins M, Sousa B, Fidalgo F, Soares C. Accumulation of proline in plants under contaminated soils-are we on the same page[J]. *Antioxidants*, 2023, 12(3): 666

[41] Pál M, Tajti J, Szalai G, Peeva V, Végh B, Janda T. Interaction of polyamines, abscisic acid and proline under osmotic stress in the leaves of wheat plants[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 12839

[42] Zhang Y, Jin J Y, Yang T X, Zhang G H, Ba L J, Zhao Z B, Xu S, Meng L S, Cao S. Glycine betaine maintains postharvest quality of blueberries by increasing proline metabolism and thereby retarding cell wall and sugar metabolism[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2025, 229: 110593

[43] De la Torre-González A, Montesinos-Pereira D, Blasco B, Ruiz J M. Influence of the proline metabolism and glycine betaine on tolerance to salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L) commercial genotypes[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2018, 231: 329-336

[44] Yang H, Fang R, Luo L, Yang W, Huang Q, Yang C L, Hui W K, Gong W, Wang J Y. Uncovering the mechanisms of salicylic acid-mediated abiotic stress tolerance in horticultural crops[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1226041

[45] Roychowdhury R, Mishra S, Anand G, Dalal D, Gupta R, Kumar A, Gupta R. Decoding the molecular mechanism underlying salicylic acid (SA)-mediated plant immunity: An integrated overview from its biosynthesis to the mode of action[J]. *Physiologia Plantarum*, 2024, 176(3): e14399

[46] Heller K, Woznica Z, Byczynska M, Wielgusz K, Baraniecki P. The efficacy of salicylic and acetylsalicylic acids in the protection of fibrous flax against drought stress[J]. *Journal of Natural Fibers*, 2013, 10(1): 29-39

[47] Jansma S Y, Sergeeva L I, Tikunov Y M, Kohlen W, Ligterink W, Rieu I. Low salicylic acid level improves pollen development under long-term mild heat conditions in tomato[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 828743

[48] Paolacci A R, Catarcione G, Ederli L, Zadra C, Pasqualini S, Badiani M, Musetti R, Santi S, Ciaffi M. Jasmonate-mediated defence responses, unlike salicylate-mediated responses, are involved in the recovery of grapevine from Bois noir disease[J]. *BMC Plant Biology*, 2017, 17(1): 118

[49] Ramšak Ž, Coll A, Stare T, Tzfadia O, Baebler Š, Van de Peer Y, Gruden K. Network modeling unravels mechanisms of crosstalk between ethylene and salicylate signaling in potato[J]. *Plant Physiology*, 2018, 178(1): 488-499

[50] Candido V, Boari F, Cantore V, Castronuovo D, Denora M, Sergio L, Todorovic M, Schiattone M I. Interactive effect of water regime, nitrogen rate and biostimulant application on physiological and biochemical traits of wild rocket[J]. *Agricultural Water Management*, 2023, 277: 108075

[51] Bigham Soostani S, Ranjbar M, Memarian A, Mohammadi M, Yaghini Z. Regulation of APX, SOD, and PAL genes by chitosan under salt stress in rapeseed (*Brassica napus* L)[J]. *BMC Plant Biology*, 2025, 25(1): 824

[52] Ziaei M, Pazoki A. Foliar-applied seaweed extract improves yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L) cultivars through changes in biochemical and fatty acid profile under irrigation regimes[J]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2022, 22(3): 2969-2979

[53] Ahmad A, Blasco B, Martos V. Combating salinity through natural plant extracts based biostimulants: A review[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 862034

[54] Gil-Ortiz R, Naranjo M Á, Atares S, Vicente O. Antioxidant responses of water-stressed cherry tomato plants to natural biostimulants[J]. *Agronomy*, 2023, 13(9): 2314

[55] Ganugi P, Fiorini A, Tabaglio V, Capra F, Zengin G, Bonini P, Caffi T, Puglisi E, Trevisan M, Lucini L. The functional profile and antioxidant capacity of tomato fruits are modulated by the interaction between microbial biostimulants, soil properties, and soil nitrogen status[J]. *Antioxidants*, 2023, 12(2): 520

[56] Oka T, Fujimaru Y, Minami T, Yamaguchi T, Matsumoto H, Sunohara Y. Characterization of safranal-induced morphological changes and salt stress alleviation in lettuce seedlings[J]. *Plant Growth Regulation*, 2025, 105(3): 725-737

[57] Carillo P. Can biostimulants enhance plant resilience to heat and water stress in the Mediterranean hotspot?[J]. *Plant Stress*, 2025, 16: 100802

[58] Agliassa C, Mannino G, Molino D, Cavalletto S, Contartese V, Bertea C M, Secchi F. A new protein hydrolysate-based biostimulant applied by fertigation promotes relief from drought stress in Capsicum annuum L.[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2021, 166: 1076-1086

[59] Navarro-Morillo I, Navarro-León E, Atero-Calvo S, Rios J J, Ruiz J M, Blasco B. Biostimulant-induced mitigation of cold and drought stresses in zucchini plants[J]. *Scientia Horticulturae*, 2024, 331: 113114

[60] Samane E. Translocation, leaf distribution, and nutritional status of manganese in cucumber plants as affected by foliar application of exogenous amino acids[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2020, 39(3): 1191-1204

[61] Alfosea-Simón M, Simón-Grao S, Zavala-Gonzalez E A, Cámara-Zapata J M, Simón I, Martínez-Nicolás J J, Lidón V, Rodríguez-Ortega W M, García-Sánchez F. Application of biostimulants containing amino acids to tomatoes could favor sustainable cultivation: Implications for tyrosine, lysine, and methionine[J]. *Sustainability*, 2020, 12(22): 9729

[62] Svietlova N, Zhyr L, Reichelt M, Grabe V, Mithöfer A. Glutamine as sole nitrogen source prevents induction of nitrate transporter gene NRT2.4 and affects amino acid metabolism in Arabidopsis[J]. *Frontiers in Plant Science*,

2024, 15: 1369543

[63] Sharma S S, Dietz K J. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(4): 711-726

[64] Dluzniewska P, Gessler A, Kopriva S, Strnad M, Novák O, Dietrich H, Rennenberg H. Exogenous supply of glutamine and active cytokinin to the roots reduces NO3-uptake rates in poplar[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2006, 29(7): 1284-1297

[65] Navarro-León E, López-Moreno F J, Borda E, Marín C, Sierras N, Blasco B, Ruiz J M. Effect of l-amino acid-based biostimulants on nitrogen use efficiency (NUE) in lettuce plants[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(15): 7098-7106

[66] Zouari M, Ben Ahmed C H, Zorrig W, Elloumi N, Rabhi M, Delmail D, Ben Rouina B, Labrousse P, Ben Abdallah F. Exogenous proline mediates alleviation of cadmium stress by promoting photosynthetic activity, water status and antioxidative enzymes activities of young date palm (*Phoenix dactylifera* L)[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, 128: 100-108

[67] Franzoni G, Cocetta G, Trivellini A, Garabello C, Contartese V, Ferrante A. Effect of exogenous application of salt stress and glutamic acid on lettuce (*Lactuca sativa* L)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 299: 111027

[68] Silveira N M, Ribeiro R V, de Morais S F N, de Souza S C R, da Silva S F, Seabra A B, Hancock J T, Machado E C. Leaf arginine spraying improves leaf gas exchange under water deficit and root antioxidant responses during the recovery period[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2021, 162: 315-326

[69] Queiroz R B, Bessa L A, Ávila R G, Santos Augusto D S, Oliveira M S, Vitorino L C. Effect of exogenous tryptophan on primary metabolism and oxidative stress and their relationship with seedling germination and vigor of Glycine max L.[J]. *Agronomy*, 2023, 13(6): 1609

[70] Kalisz A, Kornaś A, Gil J, Rudolphi-Szydło E, Gawrońska K, Sieprawska A, Jafari H, Mahdavinia G R, Kulak M, Gohari G, Fotopoulos V. Foliar spraying with amino acids and their chitosan nanocomposites as promising way to alleviate abiotic stress in iceberg lettuce grown at different temperatures [J]. *Scientific Reports*, 2024, 14: 17208

[71] Zuzunaga-Rosas J, González-Orenga S, Tofei A M, Boscaiu M, Moreno-Ramón H, Ibáñez-Asensio S, Vicente O. Effect of a biostimulant based on polyphenols and glycine betaine on tomato plants' responses to salt stress[J]. *Agronomy*, 2022, 12(9): 2142

[72] Fleming T R, Fleming C C, Levy C C B, Repiso C, Hennequart F, Nolasco J B, Liu F Q. Biostimulants enhance growth and drought tolerance in Arabidopsis thaliana and exhibit chemical priming action[J]. *Annals of Applied Biology*, 2019, 174(2): 153-165

[73] Hu Z J, Sun Z H, Ma Q M, Yang X Q, Feng S X, Shao S J, Shi K. N-decanoyl-homoserine lactone alleviates elevated CO_2-induced defense suppression to Botrytis cinerea in tomato[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 268: 109353

[74] Hael-Conrad V, Abou-Mansour E, Díaz-Ricci J C, Métraux J P, Serrano M. The novel elicitor AsES triggers a defense response against Botrytis cinerea in Arabidopsis thaliana[J]. *Plant Science*, 2015, 241: 120-127

[75] Sofo A, Nuzzaci M, Vitti A, Tataranni G, Scopa A. *Control of Biotic and Abiotic Stresses in Cultivated Plants by the Use of Biostimulant Microorganisms*[M]//Ahmad P, Wani M R, Azooz M M, Phan Tran L S, eds. Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes: Volume 1. New York, NY: Springer, 2014: 107-117

[76] Hayat S, Hayat Q, Alyemeni M N, Wani A S, Pichtel J, Ahmad A. Role of proline under changing environments: A review[J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2012, 7(11): 1456-1466

[77] Battacharyya D, Babgohari M Z, Rathor P, Prithiviraj B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 196: 39-48

[78] Kaushal P, Ali N, Saini S, Pati P K, Pati A M. Physiological and molecular insight of microbial biostimulants for sustainable agriculture[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1041413

[79] Zarzecka K, Gugała M, Sikorska A. Nitrates content in table potato tubers under the influence of herbicides and biostimulants[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 2019, 69(6): 489-493

[80] Montesano V, Negro D, Sonnante G, Laghetti G, Urbano M. Polyphenolic compound variation in globe artichoke cultivars as affected by fertilization and biostimulants application[J]. *Plants*, 2022, 11(15): 2067

[81] Bazrafshan A, Shorafa M, Mohammadi M H, Zolfaghari A A, van de Craats D, van der Zee S E A T M. Comparison of the individual salinity and water deficit stress using water use, yield, and plant parameters in maize[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, 192(7): 448

[82] Medyouni I, Zouaoui R, Rubio E, Serino S, Ahmed H B, Bertin N. Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant[J]. *Food Science & Nutrition*, 2021, 9(4): 1949-1960

[83] Al-Karaki G N, Othman Y. Effect of foliar application of amino acid biostimulants on growth, macronutrient, total phenol contents and antioxidant activity of soilless grown lettuce cultivars[J]. *South African Journal of Botany*, 2023, 154: 225-231

[84] de Andrade Silva R, Lessa Silva W, Farias Damasceno L, Luís Oliveira Cunha M, Angelica Carvalho Mendes N, Aparecido Manzani Lisboa L. Physiological and productive role of biostimulants in alleviating hypoxia stress in soybean grown under field conditions[J]. *Gesunde Pflanzen*, 2023, 75(6): 2713-2721

[85] Kim J Y, Lee S Y. Application of food-grade natural antimicrobials for the control of crop disease caused by phytopathogens[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2022, 31(3): 275-284

[86] Hara M. Potential use of essential oils to enhance heat tolerance in plants[J]. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2020, 75(7/8): 225-231

[87] Ibrahim F M, Mohammed R S, Abdelsalam E, Ashour W E, Magalhães D, Pintado M, El Habbasha E S. Egyptian citrus essential oils recovered from lemon, orange, and mandarin peels: Phytochemical and biological value[J]. *Horticulturae*, 2024, 10(2): 180

[88] Global Market Insights. Biostimulants market size, share & analysis report, 2026-2035[EB/OL]. [2026-07-01]. https://www.gminsights.com/industry-analysis/biostimulants-market

[89] Market data forecast. Europe biostimulants market size & share report, 2034 [EB/OL]. [2026-07-01]. https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-biostimulants-market

[90] Julius Kühn-Institut. Scientific advice on the establishment of a conformity assessment body for plant biostimulants according to Regulation (EU) 2019/1009 at the JKI[EB/OL]. [2025-12-25]. https://www.julius-kuehn.de/ex_anwendung/FoPro/projectprofile.php? id=3733&lang=en

[91] EBIC-European Biostimulants Industry Council: LinkedIn company profile [EB/OL]. [2025-12-25]. https://www.linkedin.com/company/ebic-european-biostimulants-industry-council-/? originalSubdomain=be

[92] Yakhin O I, Lubyanov A A, Yakhin I A, Brown P H. Biostimulants in plant science: A global perspective[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 7: 2049

[93] 国家数字标准馆. 生物刺激剂 术语与分类:T/CISIA 015—2025[EB/OL]. [2025-12-25]. https://www.ndls.org.cn/standard/detail/ad693e71183a7fa035d1489bbd308eb6

China Inorganic Salts Industry Association. Biostimulants-Terminology and classification: T/CISIA 015—2025[EB/OL]. [2025-12-25]. https://www.ndls.org.cn/standard/detail/ad693e71183a7fa035d1489bbd308eb6 (in Chinese)

责任编辑:申青苗



第一作者简介: 刘楚菲,硕士研究生,现就读于中国农业大学信息资源管理专业。参与国家重点研发计划“中欧基于自然解决方案的农业营养管理国际合作”、国家社会科学基金青年项目“基于多源数据融合的学术期刊开放同行评议模式评价及优化策略研究”2项课题,发表学术论文3篇。



通讯作者简介: 周丽英,管理学博士,中国农业大学图书馆副研究馆员,情报学硕士生导师。主要从事科学计量、科技评价与农业情报研究,主持中央高校基本科研业务费专项资金项目多项,发表学术论文10余篇。