

◆ 综述与进展 ◆

# 我国氨基寡糖素登记应用现状及展望

李 婷,聂 果,赵 霞,杨 旋,何 纶,吴春先 \*

(四川省农业农村厅植物保护站,成都 610041)

**摘要:**氨基寡糖素为新型寡糖类植物免疫诱抗剂和生物农药,绿色无残留,能够增强作物抗病抗逆能力,促进生长,提升作物产量和品质,减少化学农药使用量。本文通过统计氨基寡糖素产品登记数据,从产品年登记数量、区域分布、剂型、配伍成分、防治对象等方面梳理分析了其登记应用现状,剖析了当前我国氨基寡糖素产品登记应用方面存在的问题,并对其未来研发提出建议。

**关键词:**氨基寡糖素;植物免疫诱抗剂;登记应用;研发

中图分类号:TQ 450.1 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2025.06.003

## Current status and future prospects of oligosaccharins registration and application in China

LI Ting, NIE Guo, ZHAO Xia, YANG Ni, HE Ying, WU Chunxian\*

(Plant Protection Station of Sichuan Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Oligosaccharins, as a novel oligosaccharide plant immunity inducer and biopesticide, is eco-friendly and residue-free. It can enhance crop resistance to diseases and stress, promote growth, and improve crop yield and quality, reduce the use of chemical pesticides. This article compiled and analyzed the current registration and application status of oligosaccharins products by statistically evaluating registration data, covering aspects such as annual registration numbers, regional distribution, formulations, mixed ingredients, and target pathogens. It further examined the existing issues in the registration and application of oligosaccharins products in China and proposed future research and development recommendations.

**Key words:** oligosaccharins; plant immunity inducer; registration and application; research and development

植物免疫诱抗剂通过激活植物自身的防御系统,增强其对病害、逆境和有害生物的抵抗能力。与化学农药不同,植物免疫诱抗剂不直接杀灭病原体,而是诱导植物产生抗性蛋白、植保素等免疫物质。植物免疫诱抗剂不易使病原体产生抗药性,作用持久,对非靶标生物无害。其具有高效、环保和安全等优点,能够减少农药残留和环境污染,有助于农业生态平衡和农业绿色发展<sup>[1-3]</sup>。

新型寡糖类植物免疫诱抗剂——氨基寡糖素(农业用壳寡糖),是指D-氨基葡萄糖通过β-1,4糖苷键连接形成的低聚糖。海洋生物壳中的甲壳素脱乙酰化生成壳聚糖后,再经酶促降解获得。该物质对多种作物真菌病害、病毒病和线虫等均具有显著的

防控效果<sup>[4-6]</sup>。氨基寡糖素的生物学功能研究始于20世纪60年代,1976年,Ayers等<sup>[7]</sup>发现植物细胞壁寡糖碎片可诱导植物植保素(phytoalexin)合成。1985年,“寡糖素(oligosaccharins)”被正式命名,明确了其在调控植物生长、抗病等方面的潜力<sup>[1]</sup>。

氨基寡糖素是目前我国登记产品、配伍成分最多,防治对象较广的一种植物免疫诱抗剂。本文通过对我国已取得农药登记证的氨基寡糖素产品的相关数据进行统计分析,梳理了其登记应用现状,以期为未来的开发、登记和应用提供参考。

### 1 氨基寡糖素产品登记情况

经查询中国农药信息网,截至2025年6月15日,

收稿日期:2025-06-16

作者简介:李婷,女,正高级农艺师,主要从事农药管理工作。E-mail:litting5114@163.com

通信作者:吴春先,男,正高级农艺师,主要从事农药管理工作。E-mail:wchx74120@163.com

在我国取得农药登记证的氨基寡糖素产品共计149个。其中,原药产品3个,母药产品7个,单剂产品71个,复配制剂产品68个。复配制剂中,三元复配制剂2个,其余均为二元复配制剂。

### 1.1 产品年登记数量分析

从每年获批登记的产品数量来看,2009年,氨基寡糖素产品获得正式登记,2009—2012年,年登记数量均比较少,不超过3个。2013—2018年,年登记数量呈波动上升趋势。2019年,登记数量降至1个;2020年,登记数量回升;2021年,迎来登记高峰,年登记数量为22个。之后回落,登记趋于平缓。氨基寡糖素产品2009—2025年(截至6月)登记数量见图1。

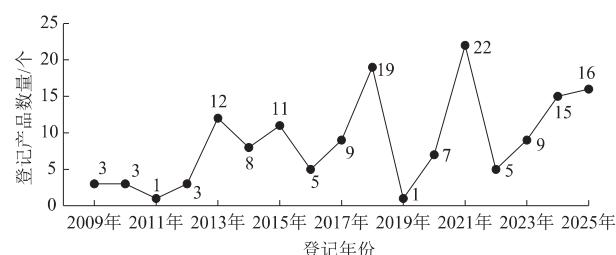


图1 氨基寡糖素产品年登记数量分布情况

### 1.2 产品登记区域分析

我国氨基寡糖素产品登记企业有104家,分布在在全国20个省(自治区、直辖市)。其中,山东、河南、河北和陕西登记企业数量较多,分别有37家、17家、7家和7家。氨基寡糖素产品登记企业分布情况见图2。

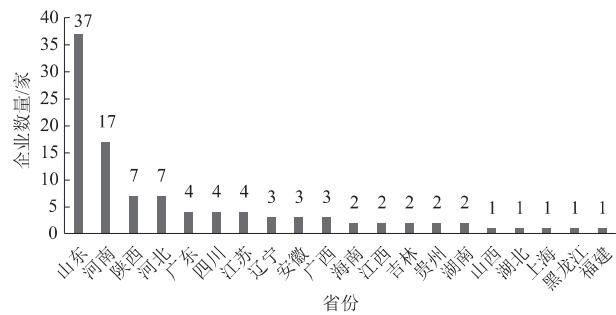


图2 氨基寡糖素登记企业分布情况

从企业所属区域来看,华东地区49家,华中地区19家,华南地区9家。氨基寡糖素产品登记企业主要集中在华东、华中经济发达地区或粮食作物、经济作物种植面积较大的地区。氨基寡糖素产品登记企业在全国7个地区的分布情况详见图3。

### 1.3 制剂产品登记剂型分析

除10个原药(母药)产品外,氨基寡糖素制剂产品登记剂型以水剂、可溶液剂、悬浮剂、水乳剂、微乳剂等环境友好型剂型为主。其中,水剂产品47个、

可溶液剂40个、悬浮剂16个、颗粒剂12个、水乳剂9个、微乳剂5个、水分散粒剂4个,可溶粉剂、可湿性粉剂和种子处理悬浮剂各2个。氨基寡糖素制剂产品登记剂型情况详见图4。

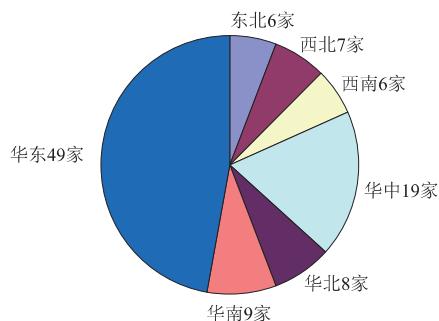


图3 氨基寡糖素产品登记企业区域分布情况

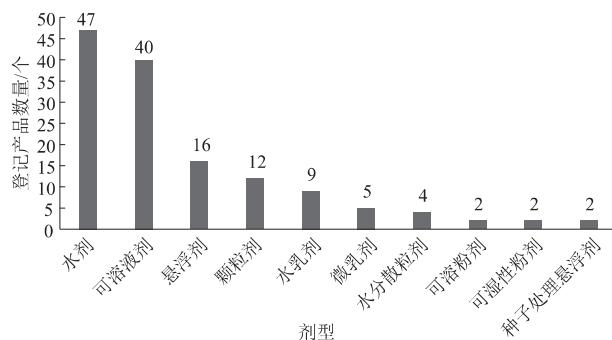


图4 氨基寡糖素产品登记剂型情况

### 1.4 制剂产品配伍成分分析

氨基寡糖素复配制剂产品共计68个,其中二元复配制剂66个,三元复配制剂2个。与其配伍的农药有效成分达33种。其中,氨基寡糖素与噻唑膦复配登记产品数量最多,有17个;与盐酸吗啉胍复配登记产品次之,有6个;与春雷霉素复配登记产品位列第三,有5个;与24-表芸苔素内酯、吡唑醚菌酯、辛菌胺、喹啉铜和28-高芸苔素内酯复配登记产品各有3个;与嘧菌酯、噻呋酰胺复配登记产品各有2个;与其余23种农药有效成分复配登记产品仅有1个。氨基寡糖素配伍成分登记产品数量分布见图5。

### 1.5 制剂产品防治对象分析

统计氨基寡糖素制剂产品防治对象可知,氨基寡糖素单剂或复配制剂可防治烟草病毒病、番茄病毒病、番茄晚疫病、芦笋茎枯病、黄瓜细菌性角斑病、西瓜枯萎病、葡萄霜霉病、棉花枯萎病等46种病害,可防治黄瓜、胡椒、山药和猕猴桃树根结线虫及花生蛴螬等害虫,能调节芒果、花生、小麦、葡萄、人参和番茄生长或促进生根。登记用于防治病害的产品详见图6。

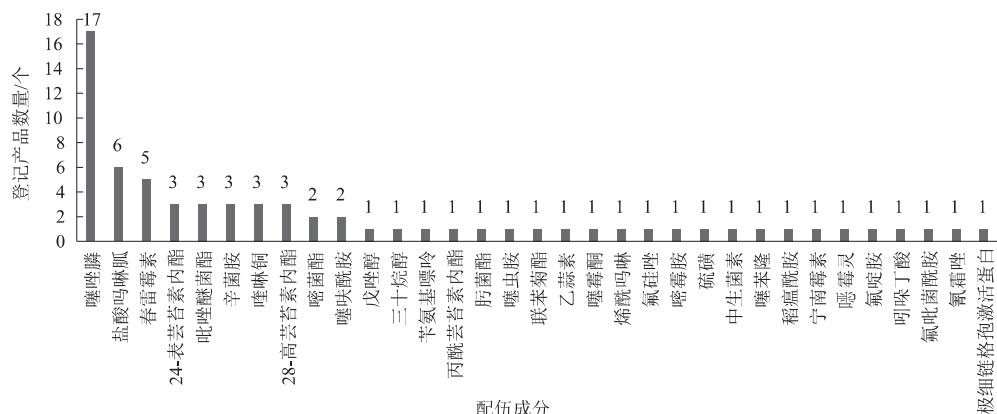


图5 氨基寡糖素复配产品登记数量分布图

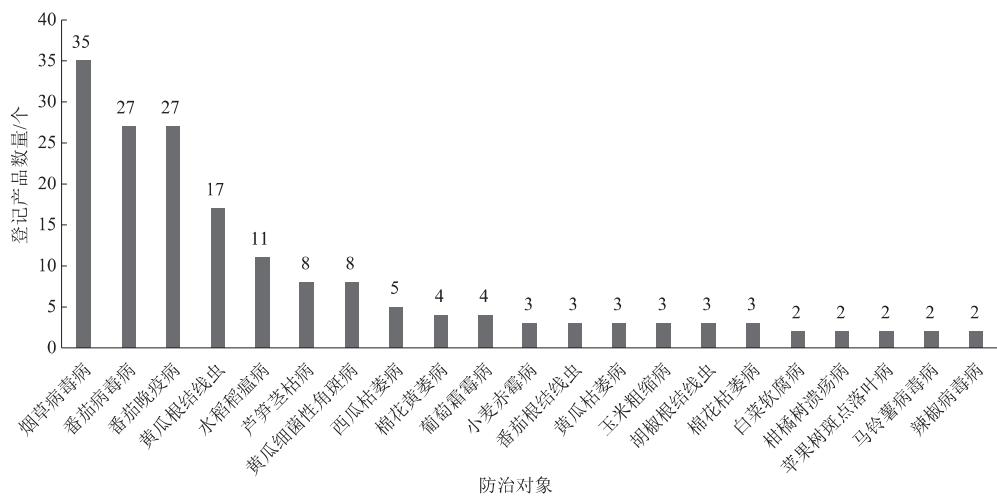


图6 防治对象登记产品数量分布图

## 2 氨基寡糖素在农业上的应用情况

139个氨基寡糖素单剂或复配制剂产品登记类别分为杀菌剂、杀线虫剂、杀虫剂、植物生长调节剂和植物诱抗剂等五大类。其中，杀菌剂93个、植物诱抗剂25个、植物生长调节剂11个、杀线虫剂10个和杀虫剂1个(1个产品同时登记为杀虫剂和杀菌剂)。登记为植物诱抗剂的25个产品中，除海南正业生物科技股份有限公司登记的5%氨基寡糖素水剂(PD20121446)可用于人参调节生长外，其余的均为杀菌剂，用于防治作物各种病害。

### 2.1 杀菌剂/植物诱抗剂

氨基寡糖素作为杀菌剂，其作用机制兼具直接抑菌和诱导植物免疫双重特性。一方面，其能破坏病原菌细胞膜、抑制孢子萌发及干扰病毒RNA合成；另一方面，可激活植物系统抗性，促进防御酶及抗病基因表达。作为环境友好型杀菌剂，其广泛应用于防治病毒病、霜霉病、纹枯病、晚疫病等细菌和病毒性病害，覆盖作物包括蔬菜、水果、水稻、小麦等<sup>[8-15]</sup>。田间应用数据显示，0.5%氨基寡糖素水剂对番茄晚

疫病的防效在82%以上，防治效果优于生产上大面积使用的250 g/L嘧菌酯悬浮剂。在开花期施用，其可有效提高番茄开花率；在番茄生长期多次施用，可促进植株生长，提高抗病性<sup>[12, 16]</sup>。氨基寡糖素与化学农药(如戊唑醇、嘧菌酯)复配可降低化学农药用量30%~50%，并能延缓抗性发展<sup>[17-21]</sup>；与其他生物农药复配则可通过协同作用增强抑菌效果<sup>[22-24]</sup>。

### 2.2 杀线虫剂/杀虫剂

作为杀线虫剂，氨基寡糖素可锚定在线虫体表，诱导作物产生几丁质酶。该酶可导致线虫体壁结构崩解、卵壳溶解，最终使线虫和虫卵死亡。在农作物上施用氨基寡糖素，可使农作物产生几丁质酶，在数量达到较高水平时，即能达到预防线虫的目的<sup>[25-27]</sup>。王泊理等<sup>[28]</sup>研究结果显示，氨基寡糖素与噻唑膦复配使用，可减少噻唑膦的用量，并大幅提高对哈密瓜根结线虫的防治效果。当10.5%噻唑膦·氨基寡糖素颗粒剂(噻唑膦、氨基寡糖素的质量比为20:1)用量为15 kg/hm<sup>2</sup>时，对哈密瓜根结线虫的防治效果可达87%。6%噻唑膦·氨基寡糖素水乳剂灌根施药，对柑橘根结线虫表现出良好的防效，线虫减退率超

过85% 防治效果为86.70% ,优于噻唑膦及氨基寡糖素单剂 ,且对柑橘根系具有促进生长作用 ,对树势恢复效果良好<sup>[29]</sup>。李健明等<sup>[30]</sup>制备了2%阿维菌素·氨基寡糖素胶囊悬浮剂 ,并考察了其对黄瓜线虫的防效。结果显示 :其对黄瓜根结线虫具有良好的防效 ,且持效期长。当用量为22.5 kg/hm<sup>2</sup>时 ,药后60 d 的防效仍在78%以上 ,且黄瓜根系发达 ,瓜重明显增加。马静等<sup>[31]</sup>研究发现 ,31%氟虫腈·噻虫嗪·氨基寡糖素悬浮种衣剂对玉米蛴螬的防治效果可达77% ,与8%氟虫腈悬浮种衣剂、70%噻虫嗪种子处理可分散粉剂效果相当 ,可减少氟虫腈、噻虫嗪使用量。

### 2.3 植物生长调节剂

氨基寡糖素能通过诱导PR蛋白、防御酶等 ,增强对生物胁迫(病原菌、线虫)和非生物胁迫(盐碱、干旱等)的抵抗能力 ,激活叶绿素合成相关基因 ,提高植物光合效率 ;促进植物器官分化和养分积累 ,提高作物产量。采用氨基寡糖素对小麦、玉米种子进行拌种处理 ,在一定范围内对小麦、玉米的生长具有促进作用 ,进而提升到其产量和品质 ;同时 ,对小麦、玉米的丙二醛(MDA)含量以及过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)、超氧化物歧化酶(SOD)等酶的活性也具有一定的调节作用<sup>[32-34]</sup>。Lu<sup>[35]</sup>研究显示 ,施用5%氨基寡糖素水剂 ,新疆葡萄平均增产率在20% ,红枣平均增产率为30% ,棉花平均增产率为5%~15%。氨基寡糖素与6-苄氨基嘌呤、寡聚酸碘混配拌种处理能够提高马铃薯茎粗、叶绿素含量、光合速率和单株薯重 ,进而提高马铃薯产量 较对照提高28%<sup>[36]</sup>。田间试验发现 ,氨基寡糖素可促进茶树生长 ,提高茶叶产量 ,并改善茶叶口感 ;生理学研究发现 ,氨基寡糖素能够增强茶树光合作用 ,提高防御酶活性 ,进而延缓茶树衰老 ,增强茶树抗逆性 ;转录组学研究进一步揭示 ,氨基寡糖素通过调节茶树的碳代谢、激素信号转导、植物-病原体相互作用等关键生物学过程来促进茶树的生长 ,活化茶树体内多种代谢途径 ,最终实现对茶树生长发育相关代谢及防御能力的调控<sup>[37]</sup>。

## 3 小结及展望

氨基寡糖素作为一种从海洋甲壳类动物外壳中提取的新型生物农药 ,通过激发植物自身的免疫系统 ,诱导其产生系统性抗性(如抗病、抗逆性) ,从而减少病虫害并提高作物产量。其被称为“植物疫苗” ,对真菌、细菌、病毒和线虫等引起的病害均有

显著的防治效果。此外 ,它还能调节植物生长 ,促进根系发育 ,改善果实品质。在应用方式上 ,氨基寡糖素可通过浸种、喷雾、灌根及土壤处理等多种方式施用。其与常规农药复配使用可增强效果 ,合理使用可使作物增产 ,并减少化学农药使用量。

尽管氨基寡糖素具有绿色环保、无残留等优势 ,但其推广仍面临诸多挑战 :单独使用效果相对有限 ,需加大剂量或与其他农药复配 ,成本较高 ;稳定性相对较差 ,易受环境(如雨水)影响 ;依赖植物自身免疫激活 ,见效较慢 ;与部分农药混用易产生絮凝现象 ,且杀虫活性弱于化学药剂。当前 ,突破路径主要包括 通过改进制剂加工工艺 ,如微胶囊化、纳米技术等 ,提升产品稳定性 ;优化发酵工艺 ,降低产品生产成本 ;开发与其他农药成分或肥料的复配产品 ,以提高防效并扩大防治范围 ;加强作用机理研究 ,延长产品使用寿命 ,延缓抗性发生和发展 ;建议实施生物农药补贴政策 ,加大推广示范力度 ,以扩大氨基寡糖素使用范围 ,减少化学农药使用量。未来 ,随着绿色农业的发展 ,氨基寡糖素等这类兼具药效与肥效的生物制剂有望在更多作物和场景中发挥核心作用。

### 参考文献

- [1] 王宪委. 新型寡糖类植物免疫诱抗剂制备及作用机制研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2023.
- [2] 王露露, 岳英哲, 孔晓颖, 等. 植物免疫诱抗剂的发现、作用及其在农业中的应用[J]. 世界农药, 2020, 42(10): 24-31.
- [3] 刘艳潇, 祝一鸣, 周而勋. 植物免疫诱抗剂的作用机理和应用研究进展[J]. 分子植物育种, 2020, 18(3): 1020-1026.
- [4] 吕金慧, 安娜, 陈萍. 海岛素在植物中的应用研究进展[J]. 绿色科技, 2017(1): 15-17; 19.
- [5] 冯建军, 李健强, 刘西莉, 等. <sup>14</sup>C-寡糖在西瓜幼苗植株体内吸收传导和分布[J]. 高等学校化学学报, 2004, 25(12): 2273-2277.
- [6] 李芳, 陈建明, 陈忠其, 等. 植物免疫诱抗剂对番茄灰霉病和早疫病的抑菌效果[J]. 农药, 2016, 55(3): 214-216.
- [7] AYERS A R, EBEL J, FINELLI F, et al. Host-pathogen interactions. XI. quantitative assays of elicitor present in the extracellular medium of cultures of *Phytophthora megasperma* var. *sojaci*[J]. Plant Physiol, 1976, 57: 751-759.
- [8] 刘东升, 郭梅燕, 陈玉国, 等. 7种农药对烟草病毒病的田间防治效果[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(3): 443-444; 447.
- [9] 翟影. 不同抗病毒制剂喷施对番茄病毒病防治效果和果实品质的影响[J]. 农业技术与装备, 2025(2): 166-167; 170.
- [10] 刘天赵, 范铁兵, 檀志全. 5%氨基寡糖素水剂对晚稻纹枯病的防治研究[J]. 广西植保, 2013, 26(3): 14-16.
- [11] 骆雪梅, 严凯. 氨基寡糖素与4种化学杀菌剂复配对大白菜霜霉病的田间防效[J]. 现代农药, 2022, 21(4): 66-69.

- [12] 孙光忠, 彭超美, 刘元明, 等. 氨基寡糖素对番茄晚疫病的防治效果研究[J]. 农药科学与管理, 2014, 35(12): 60-62.
- [13] 乔康, 姬小雪, 邱士芬. 氨基寡糖素2%水剂防治番茄病毒病试验[J]. 农药科学与管理, 2012, 33(5): 59-60; 62.
- [14] 杨帅, 徐淑兵, 金岩, 等. 5种生物农药对芦笋茎枯病的防治效果[J]. 中国蔬菜, 2021(7): 83-87.
- [15] 王怡萍, 彭予汐, 徐一仟, 等. 氨基寡糖素对小麦条锈病防控及增产效果评估[J]. 植物保护学报, 2025, 52(1): 222-230.
- [16] 付思蕊, 王胤, 陈雅奇, 等. 不同植物免疫诱抗剂对番茄的诱抗促生作用研究[J]. 蔬菜, 2023(2): 43-48.
- [17] 何立楠, 石金巧, 张荣全, 等. 戊唑醇与氨基寡糖素复配对猕猴桃软腐病的防控效果[J]. 世界农药, 2021, 43(10): 25-29; 34.
- [18] 王佐乾, 吕亮, 杨小林, 等. 五种植物免疫诱抗剂对戊唑醇减量增效的研究[J]. 湖北农业科学, 2024, 63(11): 68-71.
- [19] 李聪聪, 王亚娇, 栗秋生, 等. 防治玉米叶斑病高效药剂筛选及药剂减施增效技术[J]. 植物保护, 2022, 48(3): 342-348.
- [20] 张彤彤, 赵昀树, 张武, 等. 氨基寡糖素与嘧菌酯和蛇床子素联用在马铃薯黑痣病和晚疫病防治中的应用效果评价[J]. 中南农业技术, 2023, 44(11): 6-11.
- [21] 杜蕙, 蒋晶晶. 生物农药与化学杀菌剂对葡萄霜霉病的联合作用效果[J]. 甘肃农业科技, 2020(1): 25-29.
- [22] 付欣, 张媛媛, 朱发娣, 等. 乙蒜素与氨基寡糖素对甜瓜细菌性果斑病协同杀菌作用研究[J]. 热带农业科学, 2025, 45(1): 76-81.
- [23] 徐作珽, 李林, 李长松, 等. 中生菌素和氨基寡糖素对西瓜枯萎病防治试验[J]. 中国蔬菜, 2003(3): 10-12.
- [24] 张振华, 安娟, 徐希宝. 8%氨基寡糖素·宁南霉素可溶液剂防治番茄病毒病田间药效试验[J]. 黑龙江粮食, 2023(10): 42-44.
- [25] 神兴明, 王娜, 任士伟, 等. 氨基寡糖素对番茄根结线虫病的防效及其促生效果研究[J]. 现代农业科技, 2023(3): 109-112.
- [26] 陈立萍, 杨峻, 王朝斌, 等. 几种药剂防治黄瓜根结线虫效果比较研究[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(1): 53-56.
- [27] 郭志刚. 氨基寡糖素(0.5%水剂)对黄瓜根结线虫病的防治试验[J]. 农业科技通讯, 2014(3): 123-124.
- [28] 王泊理, 赵江克, 王孟玺. 氨基寡糖素和噻唑膦防治哈密瓜根结线虫的效果[J]. 植物医生, 2017, 30(1): 64-66.
- [29] 郑荻, 曾锦冰, 李次平, 等. 氨基寡糖素复配噻唑膦对柑橘线虫的防治试验[J]. 农业与技术, 2017, 37(11): 29-30; 39.
- [30] 李健明, 何觉勤, 许丽娟, 等. 2%阿维菌素·氨基寡糖素胶囊悬浮剂的制备及药效研究[J]. 广东化工, 2020, 47(23): 37-38; 20.
- [31] 马静, 常虹, 邓素花, 等. 31%氟虫腈·噻虫嗪·氨基寡糖素悬浮衣剂防治玉米蛴螬的田间药效试验[J]. 河南农业, 2017(26): 12-13.
- [32] 王亚霜. 氨基寡糖素对小麦和玉米的促生作用及其机理的初步研究[D]. 河南新乡: 河南科技学院, 2020.
- [33] 杨晓辉. 3种植物生长调节剂对玉米生长及产量的影响[J]. 特种经济动植物, 2023, 26(1): 33-35.
- [34] 周森. 12%氨基寡糖素·香草硫缩病醚微乳剂对小麦的促生、增产与防病作用研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [35] LU Y. Popularization and application of haidaosu (5% amino-oligosaccharin) as a plant immunity inducer in main crops cultured by crops[J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(12): 2733-2735; 2741.
- [36] 吴雁斌, 吕和平, 高彦萍, 等. 植物生长调节剂拌种对马铃薯生长发育、光合特性及产量的影响[J]. 福建农业学报, 2022, 37(5): 578-584.
- [37] 欧利娜. 氨基寡糖素促进茶树生长的作用机制研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.

(编辑:顾林玲)

## (上接第6页)

- confer resistance to banana blood disease caused by *Ralstonia syzyigii* subsp. *celebesensis*[J]. Plant Protection Science, 2025, 61(3): 262.
- [42] PEI Y K, ZHU Y T, JIA Y J, et al. Molecular evidence for the involvement of cotton *GhGLP2* in enhanced resistance to *Verticillium* and *Fusarium* Wilts and oxidative stress[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 12510.
- [43] 于洪佳, 张家阳, 王平平, 等. 杨凌糖丝菌蛋白激发子HSyp1和HSyp2诱导植物抗病功能[J]. 微生物学报, 2025, 65(1): 268-282.
- [44] WANG J, LIU S, REN P, et al. A novel protein elicitor (PeSy1) from *Saccharothrix yanglingensis* induces plant resistance and interacts with a receptor-like cytoplasmic kinase in *Nicotiana benthamiana*[J]. Molecular Plant Pathology, 2023, 24(5): 436-451.
- [45] LIU Q, WANG S, DU Y, et al. Improved drought tolerance in soybean by protein elicitor AMEP412 induced ROS accumulation and scavenging[J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2022, 36(12): 1623-1633.
- [46] LIU Q, SHEN Y, YIN K. The antimicrobial activity of protein elicitor AMEP412 against *Streptomyces scabiei*[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2020, 36(1): 18.
- [47] WANG H, YANG X, GUO L, et al. PeBL1, a novel protein elicitor from *Brevibacillus laterosporus* strain A60, activates defense

- responses and systemic resistance in *Nicotiana benthamiana* [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2015, 81(8): 2706-2716.
- [48] WANG N B, LIU M J, GUO L H, et al. A novel protein elicitor (PeBA1) from *Bacillus amyloliquefaciens* NC6 induces systemic resistance in tobacco[J]. International Journal of Biological Sciences, 2016, 12(6): 757-767.
- [49] 王宝. 内生真菌HND5激发子蛋白SbES及挥发性物质生防潜力分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [50] SUN Y B, REN X Y, GUO W H, et al. Protein elicitor GP1pro targets aquaporin NbPIP2;4 to activate plant immunity [J]. Plant, Cell & Environment, 2023, 46(8): 2575-2589.
- [51] 黄佩. 哈茨木霉TH33疏水蛋白的异源表达及诱导烟草防御反应[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [52] 赵玉强. 黏细菌来源MAMP鉴定及其诱发植物超敏反应机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2022.
- [53] NGOU B P M, DING P T, JONES J D G. Thirty years of resistance: zig-zag through the plant immune system[J]. The Plant Cell, 2022, 34(5): 1447-1478.
- [54] HAKE K, ROMEIS T. Protein kinase-mediated signalling in priming: immune signal initiation, propagation, and establishment of long-term pathogen resistance in plants[J]. Plant, Cell & Environment, 2019, 42(3): 904-917.

(编辑:顾林玲)