

不同用量花粉多糖配施复合肥对小白菜生长影响研究

王慧慧, 黄瑾*, 吴丹, 李玉珠, 杭林枫, 李明强

成都新朝阳作物科学股份有限公司 四川成都

【摘要】花粉多糖是一种植物源生物刺激素, 本研究采用田间小区验证方式, 探索以复合肥为底肥, 复配花粉多糖后, 对小白菜植株生长、品质改善及氮肥利用率提升效果。试验结果显示: ①复合肥复配花粉多糖处理后, 对小白菜叶长及叶绿素有显著提升效果, 其中 1kg/t 复配量下小白菜叶长增长率达到 8.08%, 4kg/t 复配量下, 小白菜 SPAD 值增加 11.93%。②复合肥复配花粉多糖后, 小白菜 Vc 含量、可溶性糖含量增长率最高分别达到 22.93%、20.03%, 主要表现在 1kg/t 复配量处理; 复配处理后, 小白菜中氮磷钾含量增长率最高分别达到 8.26%、20.05%、13.09%, 主要表现在 1-2kg/t 复配量。③复配处理后, 小白菜产量在 4kg/t 复配量时显著增加了 4.17%; 复配后氮肥利用率均显著增加, 其中在 4kg/t 复配量处理下, 氮肥利用率显著增加至 46.96%, 较复合肥处理增加了 56.85%。整体来看, 在复合肥中复配花粉多糖, 可在促进小白菜快速生长的同时, 提升小白菜品质, 增加小白菜产量, 改善氮肥利用率。

【关键词】生物刺激素; 花粉多糖; 氮肥利用率; 蔬菜; 营养品质

【基金项目】成都市重点研发支撑计划技术创新研发项目 (2024-YF05-02104-SN)

【收稿日期】2025 年 5 月 14 日 **【出刊日期】**2025 年 6 月 19 日 **【DOI】**10.12208/j.jafs.20250008

Study on the effects of different dosages of pollen polysaccharides combined with compound fertilizer on the growth of Chinese cabbage

Huihui Wang, Jin Huang*, Dan Wu, Yuzhu Li, Linfeng Hang, Mingqiang Li

Chengdu NewSun Crop Science Co., Ltd., Chengdu, Sichuan

【Abstract】Pollen polysaccharide is a plant derived biostimulant. In this study, a field plot validation method was used to explore the effects of using compound fertilizer as the base fertilizer and compounding pollen polysaccharide on the growth, quality improvement, and nitrogen fertilizer utilization efficiency of Chinese cabbage plants. The experimental results showed that: ① After treatment with compound fertilizer supplemented with pollen polysaccharide, there was a significant improvement in the leaf length and chlorophyll content of Chinese cabbage. Specifically, at a compounding ratio of 1kg/t, the leaf length growth rate of Chinese cabbage reached 8.08%, and at a compounding ratio of 4kg/t, the SPAD value of Chinese cabbage increased by 11.93%. ② After compounding compound fertilizer with pollen polysaccharide, the highest increasing rates of vitamin C content and soluble sugar content in Chinese cabbage reached 22.93% and 20.03%, respectively, mainly manifested at a compounding ratio of 1kg/t. After compounding treatment, the highest increasing rates of nitrogen, phosphorus, and potassium content in Chinese cabbage reached 8.26%, 20.05%, and 13.09%, respectively, mainly manifested at a compounding ratio of 1-2kg/t. ③ After compounding treatment, the yield of Chinese cabbage significantly increased by 4.17% at a compounding ratio of 4kg/t; the nitrogen fertilizer utilization efficiency significantly increased after compounding, with the nitrogen fertilizer utilization efficiency significantly increasing to 46.96% at a compounding ratio of 4kg/t, representing a 56.85% increase compared to compound fertilizer treatment. Overall, supplementing compound

第一作者简介: 王慧慧 (1994-) 女, 汉, 四川成都, 硕士, 中级农艺师, 从事障碍土壤修护、生物刺激素及植物营养调理研究与产品开发;

*通讯作者: 黄瑾 (1982-) 女, 汉, 四川成都, 理学博士, 高级工程师, 从事生物农药、生物刺激素机理研究与产品开发。

fertilizer with pollen polysaccharide can promote the rapid growth of Chinese cabbage while improving its quality, increasing its yield, and enhancing nitrogen fertilizer utilization efficiency.

【Keywords】Biostimulants; Pollen polysaccharides; Nitrogen fertilizer utilization rate; Vegetables; Nutritional quality

前言

蔬菜种植在我国农业经济中占有不可忽视的地位,小白菜更是人们日常生活所需的重要蔬菜作物。小白菜在种植过程中,由于其生长速度快、复种指数高,因此对水肥的需求量大且要求高效,所以在常年种植过程中,容易出现施肥过多、吸收较差、养分利用率低的问题^[1-2]。

在植物所需的必需营养元素中,氮素是限制植物生长和形成产量的重要因素,也是许多重要有机化合物的组分,例如蛋白质、核酸、叶绿素、维生素以及一些激素和酶等^[3]。但有研究表明,我国露地叶菜、瓜类蔬菜等作物种植的氮肥平均利用率仅为18.4%~34.0%^[4-6],主要原因一是肥料施用量过大,蔬菜作物还未吸收完全就已采收,其次复合肥施用与其他特肥施用搭配不合理,无法起到速效作用,再次,蔬菜作物自身生物量较小,对养分的吸收利用能力较低,因此,提高作物对养分的吸收利用效率,快速增加产量,是蔬菜绿色种植的必要措施^[7-9]。

生物刺激素不是农药,因为其不直接具备杀虫、抗病和除草功效;生物刺激素也不是肥料,因为其用量极少,且不含有营养元素,而是通过调节植物信号转导过程,降低逆境对植物生长的影响,从而减少逆境条件下的作物减产^[10]。2012年,欧洲生物刺激素工业协会(European Biostimulants Industry Council, EBIC)指出:生物刺激素包括物质和/或微生物,当应用于植物或根际时,其功能是刺激自然过程以促进营养吸收、营养转化效率、非生物耐受性和作物产量^[11-12]。目前对生物刺激素的应用主要在于促进作物生长、增产等方面,对于生物刺激素复配复合肥、水溶肥等肥料产品以提升作物对氮的利用率方面研究相对较少。

花粉多糖是经生物酶法提取精制的植物源生物刺激素,粗提物为淡棕色粉末,易溶于热水,不溶于乙醇、丙酮等有机溶剂,pH值5~6,其主要成分为多糖、寡糖、单糖等水溶性糖类物质,除此之外还具有丰富的氨基酸、矿物质、微量元素等,在促进作物生长、抵抗逆境胁迫等方面具有显著作用,因此,本

文基于花粉多糖基础研究及前期效果验证工作,探索花粉多糖复配复合肥对小白菜产量、品质及氮肥利用效率的影响,以期生物刺激素在肥料增效方面的应用提供理论支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试药剂

5%花粉多糖(总多糖含量 $\geq 5\%$)

复合肥: $N+P_2O_5+K_2O \geq 50\%$ (30-10-10)

1.1.2 试验作物

小白菜(k2 快菜)

1.2 试验设计

试验于2023年5~6月在成都蒲江县成都新朝阳寿安基地进行,采用小区田间验证试验,供试试验地土壤基础理化性质如表1所示。

每小区面积为20m² (4m*5m),每个处理设置3个小区重复,共计18个小区,所有小区按随机分布原则进行划分,小区之间设立1m宽的保护行,具体试验设计如表2所示。

白菜种子按照20000株/亩种植密度进行撒施,复合肥作为基肥一次性施入。待小白菜长至三叶一心时,花粉多糖处理按照试验浓度兑水灌根,对照处理清水灌根。

1.3 测定指标及方法

(1)叶长、叶宽:测定小白菜固定叶片上由叶柄至叶尖的距离为叶长,叶片最宽位置距离为叶宽;

(2)SPAD值:采用SPAD手持叶绿素仪进行测试,测定每颗小白菜固定3个叶片,取SPAD值均值;

(3)植物氮磷钾、可溶性糖的测定分别按照《中华人民共和国农业行业标准》NYT 2017-2011、《中华人民共和国农业行业标准》NY/T 1278-2007进行测定;

(4)植物中的维生素C含量采用分光光度法进行测定;

(5)氮肥利用率计算方式:

氮肥利用率=(常规施肥区作物吸氮总量-无氮区作物吸氮总量)/所施肥料中氮素的总量*100%。

表 1 供试地土壤基本理化性质

土壤质地	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
Soil texture		Organic matter/ (%)	Alkali hydrolyzed N (mg/kg)	Available P/ (mg/kg)	Available K/ (mg/kg)
黄壤土	5.7	1.6	124.5	39.48	57.42

表 2 田间试验设计表

处理	处理方式	单位面积施入的总养分 kg/mu	单位面积施入的 N、P ₂ O ₅ 、K ₂ O 比例
CK	清水		
复合肥 S	50kg/亩	25	30-10-10
SF1	复合肥+花粉多糖 (0.5kg/t 复配量)	25	30-10-10
SF2	复合肥+花粉多糖 (1kg/t 复配量)	25	30-10-10
SF3	复合肥+花粉多糖 (2kg/t 复配量)	25	30-10-10
SF4	复合肥+花粉多糖 (4kg/t 复配量)	25	30-10-10

1.4 数据处理与分析

数据统计分析采用 SPSS 27.0 (SPSS Institute Inc, Chicago, USA) 进行, 处理间差异以 Duncan 多重比较法进行检验 ($P<0.05$)。采用 Microsoft Excel 2019 进行数据绘图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对小白菜叶片生长的影响

由图 1 可以看出, 相比清水对照, 所有处理叶长、叶宽均显著增加。与复合肥 S 相比, SF1、SF2

及 SF4 叶长显著增加, 增长率为 7.58%~8.08%, 而 SF3 处理下叶长与 S 处理差异不显著; 与复合肥 S 相比, SF 所有处理下, 小白菜叶宽均无显著差异。

由图 2 可知, 所有处理小白菜 SPAD 值均显著高于清水对照; 与复合肥对照 S 相比, 复配花粉多糖处理的小白菜 SPAD 值均显著增加, SPAD 值增长率最高达到 11.93%; 不同花粉多糖复配量处理间, SF4 显著高于 SF1、SF3 处理, SF2、SF4 处理间差异不显著。

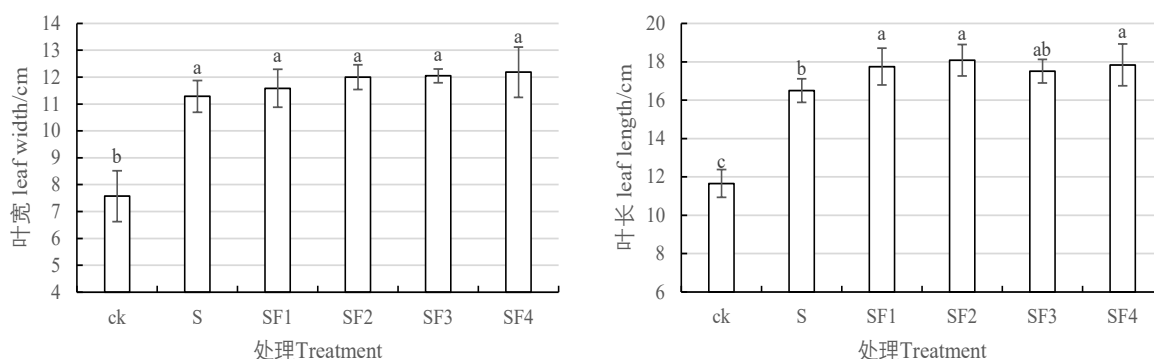


图 1 不同处理对小白菜叶长、叶宽的影响

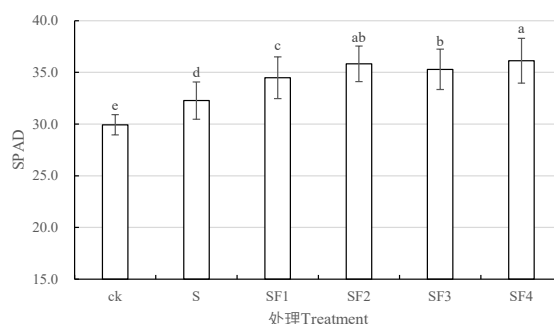


图 2 不同处理对小白菜相对叶绿素含量 SPAD 值的影响

整体来看, SF4 处理下, 小白菜叶片生长更好, 颜色更绿, SPAD 值增长更多, 其次是 SF2, 说明在复合肥中复配花粉多糖能协同增效, 促进小白菜叶片生长。

2.2 不同处理对小白菜品质营养的影响

由图 3 可知, 与清水对照相比, 复合肥复配花粉多糖所有处理下, 小白菜 Vc 含量显著增加, 而复合肥 S 单独处理下, 小白菜 Vc 含量与清水对照差异不显著; 与复合肥 S 相比, 复配花粉多糖 SF1、SF2 处理下, 小白菜 Vc 含量显著增加, 增长率分别为 22.63%、22.92%, 而 SF3 与 SF4 处理与复合肥 S 处理间差异不显著。

由图 4 可知, 所有处理下小白菜可溶性糖含量均显著高于清水对照; 与复合肥 S 相比, 除 SF2 处理下小白菜可溶性糖显著增加 20.03% 外, 其它处理差异均不显著。

表 3 为不同处理下小白菜叶片中氮磷钾含量的变化情况, 由表可以看出, 不同药剂处理下, 小白菜

叶片氮含量均显著高于清水对照, 增长率范围达到 12.03%-21.28%; 与复合肥 S 相比, 除 SF3 处理小白菜氮含量差异不显著外, 其它处理氮含量均显著增加, 最高增幅达到 8.26%。

不同处理下, SF3、SF4 处理小白菜磷含量显著高于清水对照处理, 其它处理差异均不显著; 相比复合肥处理, SF3 处理小白菜磷含量显著增加, 增长率达到 20.05%。

与清水对照相比, 所有药剂处理下小白菜钾含量均显著增加, 增长率范围达到 6.68%-20.64%; 与复合肥 S 相比, 复配花粉多糖处理后, 小白菜钾含量均显著增加, 其中 SF2 与 SF4 差异无差异, 且显著高于 SF1 和 SF3, 增长率达到 12.71%-13.09%。

总体来看, 复配花粉多糖后, 小白菜叶片中各营养指标及养分指标变化趋势并不一致, 但整体相比复合肥 S 处理均有不同程度的增加, SF2 处理下, 小白菜 Vc、可溶性糖含量及氮元素含量增加最明显, 而 SF3、SF4 对小白菜叶片中磷和钾含量有明显提升作用。

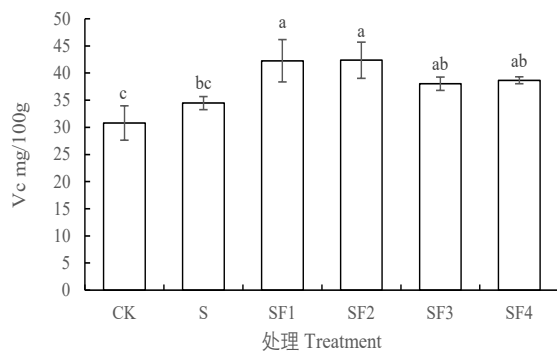


图 3 不同处理对小白菜叶片 Vc 含量的影响

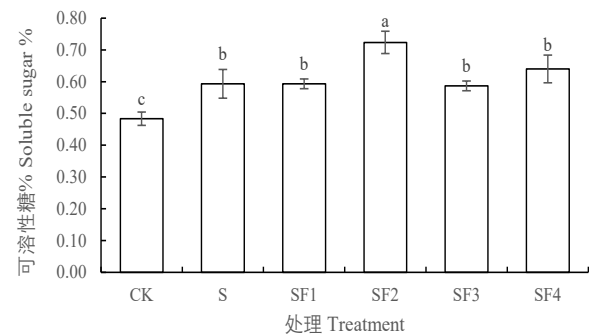


图 4 不同处理对小白菜叶片可溶性糖含量的影响

表 3 不同处理下小白菜叶片中氮磷钾含量变化

处理	全氮 g/kg	全磷 g/kg	全钾 g/kg
CK	34.92±0.22c	10.82±0.23c	64.83±0.65e
S	39.12±0.28d	11.27±0.12bc	69.16±0.55d
SF1	41.22±0.18ab	11.26±0.19bc	71.37±0.84c
SF2	42.35±0.23a	11.67±0.83bc	78.21±0.27a
SF3	39.6±0.44cd	13.53±0.29a	74.11±0.85b
SF4	40.87±0.81bc	12.69±0.66ab	77.95±0.88a

2.3 不同处理对小白菜产量及氮素利用率变化的影响

由图 5 可知, 与清水对照相比, 不同处理下, 小白菜理论亩产量均显著增加, 增长范围在 5.68%-

10.09%; 与复合肥 S 处理相比, SF4 处理后小白菜理论产量显著增加了 4.17%, 而 SF1-SF3 处理后, 与复合肥相比理论产量差异不显著。

由图 6 可知, 在复合肥中复配花粉多糖处理后,

氮肥利用率均显著增加, 最高增长率表现在 SF4 处理, 氮肥利用率由 29.94% 增加至 46.96%, 其它几个处理间差异不显著。

整体来看, 在复合肥中复配花粉多糖后, 对小

白菜理论亩产量及氮肥利用率均有不同程度的提升作用, 主要表现在花粉多糖 4kg/t 复配量时, 亩增产及氮肥利用率显著改善。

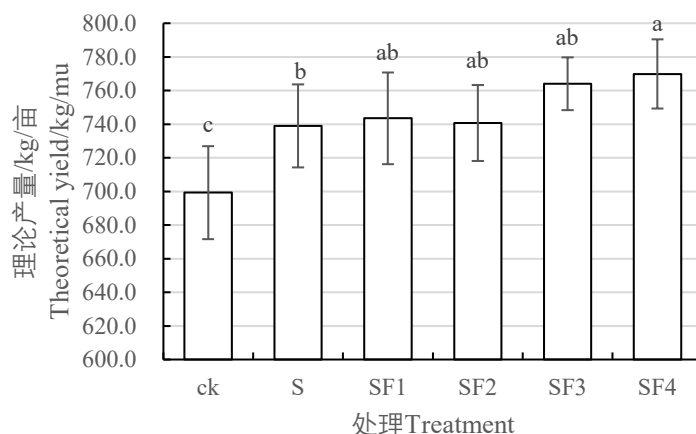


图5 不同处理下小白菜理论亩产量的变化

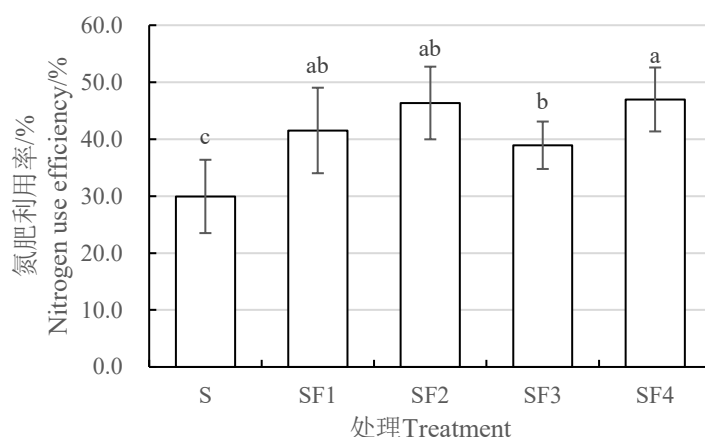


图6 不同处理下氮肥利用率的变化

3 讨论

氮肥利用率一直是我国政府及行业学者重点关注的问题, 不同学者指出, 提高氮肥利用率的同时, 要确保农产品供应及品质, 解决氮肥利用率低不能仅靠降低氮肥投入量, 协调氮肥与新型肥料、新型原料之间的复配, 也是促进作物对氮肥吸收利用的关键^[13-15]。

在 2019 年, 欧洲议会批准通过新的肥料法规草案 (EU) 2019/1009 是全球唯一一部将生物刺激素单独进入农业投入品分类的法律, 自 2022 年 7 月 16 日起全面实施, 从此在欧洲植物生物刺激素成为一个独立农业投入类别^[16]。该法律规定: 生物刺激素是不依赖营养成分刺激植物营养吸收利用过程的产

品, 其唯一目的是改善植物或植物根际的一个或多个以下特征: (1) 养分利用效率; (2) 对非生物胁迫的抵抗力; (3) 质量性状; (4) 土壤或根际中有限养分的可利用性。目前研究较多的生物刺激素包括黄腐酸、腐植酸、海藻提取物、壳聚糖、微生物菌剂等。已有研究发现, 腐植酸是以芳香核为主体, 含有多种官能团结构的高分子有机酸型物质聚合体, 在 10 年生的茶园施用腐植酸, 可提高土壤有机质含量 145.0%, 提高速效磷含量 65.69%-152.96%^[17]。黄腐酸是腐植酸的主要成分, 有研究显示, 施用黄腐酸配可以提高马铃薯的产量和品质^[18], 根施黄腐酸可以快速有效的补充土壤营养, 促进番茄中 Vc 和可溶性糖含量增加 43.9% 和 35.4%^[19]。

花粉作为植物的精子,其特点是脂肪含量低、蛋白质含量高,是天然的“营养品”。通过大孔树脂层析、丙烯葡聚糖凝胶层析等方法对花粉多糖进行分离纯化,获得的单一多糖经验证,可通过调控黄酮、谷胱甘肽和苯丙烷类无杂质的基因表达,增强谷胱甘肽代谢以及促进类黄酮和苯丙烷生物合成来促进作物根系生长,与肥料搭配施用,可增强作物对氮的吸收利用效率,以此来达到增效的目的。在本研究中,与常规施肥处理相比,复配生物刺激素花粉多糖后,小白菜叶片生长更好,叶长增加 8.08%,叶绿素增加了 11.93%;复配花粉多糖后,小白菜增产 4.17%,且可食部位维生素 C 及可溶性糖含量均有增加,最高增长率达到 22.92%、20.03%,叶片中氮磷钾含量亦有提升,说明生物刺激素花粉多糖复配复合肥能提升小白菜产量的同时,改善小白菜可食部位营养品质。与复合肥处理相比,复配生物刺激素花粉多糖后,氮肥利用率增加了 56.85%,达到 46.96%,可见生物刺激素搭配复合肥施用,能提升作物肥料利用率,达到高效增产的目的。

4 结论

花粉多糖是来源于植物的天然生物刺激素,与复合肥复配处理,可促进小白菜叶片快速生长,增强叶色浓绿,提高小白菜产量 4.17%;同时,复配后可提升小白菜可食部位营养品质,维生素 C 及可溶性糖含量可增加 22.93%、20.03%,同时提升小白菜中氮磷钾含量积累,提升氮肥利用率增加 56.85%,根据试验结果,可推荐复配量为 2-4kg/t。

参考文献

- [1] 陈明均, 贺坦. 全球蔬菜产业发展现状[J]. 中国果菜, 2025, 23(01): 1-8.
- [2] 李南瑾, 沈林恩, 王良杰, 等. 我国蔬菜种植系统氮肥利用率及其驱动因子[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2025, 33(6): 1103-1116.
- [3] 丁武汉, 雷豪杰, 徐驰, 等. 我国设施菜地地表观氮平衡分析及其空间分布特征[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 353-360.
- [4] 黄梓翀, 刘善江, 孙昊, 等. 我国蔬菜肥料利用率现状与提高对策[J]. 蔬菜, 2021(7): 43-49.
- [5] 丁武汉, 雷豪杰, 徐驰, 等. 我国设施菜地地表观氮平衡分析及其空间分布特征[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 353-360.
- [6] 李亚莉, 陈雷, 张炎, 等. 缓释尿素与普通尿素配施对加工番茄产量和氮肥利用率的影响[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(2): 345-352.
- [7] Pan Xuming, Ding Miao, Zhou Yucheng, et al. The amounts of nitrogen and phosphorus losses from a vegetable field via runoff[J]. Journal of AgroEnvironment Science, 2022, 41(10): 2262-2268.
- [8] 卜容燕, 程焱, 王慧, 等. 安徽省冬油菜的施肥现状及肥料利用率[J]. 中国农业科学, 2020, 53(10): 2034-2044.
- [9] 李书田, 艾超, 何萍, 等. 我国主要蔬菜的养分吸收和需求特征[J]. 中国蔬菜, 2022(1): 41-48.
- [10] 林家欣, 陆苑莹, 伏广农, 等. 不同生物刺激素对水培上海青产量及品质的影响[J]. 农业工程技术, 2023, 43(6): 11-15.
- [11] EBIC. Available online at: <http://www.biostimulants.eu/>. 2012.
- [12] Yakhin OI, Lubyantsev AA, Yakhin IA, et al. Biostimulants in plant science: A global perspective. Front Plant Sci 2016, 7: 2049.
- [13] 田瑞赟, 安玉龙. 微生物菌剂与新型肥料复合应用对小麦抗病性及品质的影响研究[J]. 棉花科学, 2024, 04: 50-52.
- [14] 胡先进, 胡仁健, 翟耀东, 等. 生物有机肥配施新型肥料对再生稻生产的影响[J]. 安徽农学通报, 2025, 13(1): 5-9.
- [15] 胡佳玉, 张晶, 孔波, 等. 氮肥增效剂的应用与展望[J]. 肥料与健康, 2023, 50(1): 1-13.
- [16] Regulation (EU) 2019/1009 (2019). 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 Regula.
- [17] 苏群, 孙磊, 杜红, 等. 腐植酸肥料对茶园土壤改良的应用效果[J]. 磷肥与复肥, 2019, 34(8): 34-38.
- [18] 赵波. 不同来源黄腐酸及其用量对马铃薯生长发育及产量品质的影响[D]. 山东农业大学, 2023.
- [19] 李静, 李世莹, 李青松. 黄腐酸用量对番茄产量及品质的影响[J]. 农学学报, 2022, 12(2): 54-59.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS