

透明质酸对小油菜生长及产量的影响

许家磊¹, 都晓慧², 杨金文¹, 徐建华¹, 贾开钰¹, 李海军¹,
靳明明¹, 张英华¹, 张 杰¹, 张书贺¹, 刘 超¹

(1. 山东福瑞达生物科技有限公司 山东临沭 276700; 2. 临沭县市场监督管理局 山东临沭 276700)

摘 要:为探究透明质酸对小油菜生长及产量的影响,在相同氮、磷、钾肥用量条件下,设置6个处理,分别为清水(CK)、透明质酸原液稀释3000倍液(T1)、透明质酸原液稀释1500倍液(T2)、透明质酸原液稀释1000倍液(T3)、透明质酸原液稀释500倍液(T4)和透明质酸原液稀释100倍液(T5)。结果表明,与CK相比,T2处理的小油菜单株绿叶数和根系生物量显著增加,分别增加8.33%和41.7%,且均高于其他不同浓度的透明质酸溶液处理;T2处理的小油菜叶柄基部茎粗最粗,大于CK处理8.33%;T2处理的小油菜叶片叶绿素相对含量高于CK处理9.52%;T2处理的小油菜单株生物量和产量分别比CK处理显著提高37.55%和37.50%,且均高于其他不同浓度的透明质酸溶液处理。综上所述,1500倍稀释的透明质酸溶液处理可显著增加小油菜单株绿叶数和根系生物量,提高叶绿素相对含量,促进根系和植株生长,进而显著提高小油菜产量。因此,稀释1500倍的透明质酸溶液处理为本试验中的最优浓度处理。本研究结果为外源透明质酸促进小油菜生长和提高小油菜产量提供了理论依据。

关键词:小油菜;透明质酸;生长;根系;产量

中图分类号:S634.3

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)07-230-06

Effects of hyaluronic acid on the growth and yield of small rape

Xu Jiale¹, Du Xiaohui², Yang Jinwen¹, Xu Jianhua¹, Jia Kaiyu¹, Li Haijun¹, Jin Mingming¹, Zhang Yinghua¹, Zhang Jie¹, Zhang Shuhe¹, Liu Chao¹

(1. Shandong Freda Biotechnology Co., Ltd., Linshu 276700, Shandong, China; 2. Market Supervision Administration of Linshu County, Linshu 276700, Shandong, China)

Abstract: To investigate the effects of hyaluronic acid on the growth and yield of small rape, this experiment set up six treatments were established under the same nitrogen, phosphate and potassium fertilizer application rates: Clear water (CK), hyaluronic acid stock solution diluted 3000 times (T1), hyaluronic acid stock solution diluted 1500 times (T2), hyaluronic acid stock solution diluted 1000 times (T3), hyaluronic acid stock solution diluted 500 times (T4) and hyaluronic acid stock solution diluted 100 times (T5). The results showed that compared with CK, the T2 treatment significantly increased the number of green leaves per plant and root biomass of small rape, with increases of 8.33% and 41.7%, respectively, both higher than those of other dilution treatments. The diameter of the petiole base in the T2 treatment was also the highest, increasing by 8.33% over CK, and the SPAD value of the leaves was 9.52% higher than that of CK. In terms of yield indicators, the biomass and yield per plant in the T2 treatment were significantly increased by 37.55% and 37.50%, respectively, compared with CK, both being the highest among all treatments. In conclusion, the treatment with the 1500-folds diluted hyaluronic acid solution significantly increased the number of green leaves per plant, promoted root development, and enhanced chlorophyll content, thus effectively improving yield, making it the optimal treatment concentration under the conditions of this experiment. The results of this study provide a theoretical basis for the application of exogenous hyaluronic acid in promoting the growth and increasing the yield of small rape.

Key words: Small rape; Hyaluronic acid; Growth; Root system; Yield

收稿日期:2025-09-05;修回日期:2025-12-23

基金项目:2024年沂蒙创新领军人才

作者简介:许家磊,男,高级工程师,主要从事微生物代谢产物应用技术研究。E-mail:502307455@qq.com

通信作者:李海军,男,研究员,主要从事微生物技术产品产业化关键技术研究。E-mail:664508530@qq.com

透明质酸(hyaluronic acid, HA)俗称玻尿酸,是一种线性大分子酸性黏多糖,由D-葡萄糖醛酸和N-乙酰基氨基-D-葡萄糖的双糖单位重复交替连接组成^[1]。1934年,人们最先从牛眼玻璃体中分离得到透明质酸,并发现动物和人体结缔组织细胞间质中也广泛存在透明质酸^[2]。由于透明质酸分子链单糖间氢键的存在,低浓度透明质酸也能形成独特的蜂窝状网络结构,使透明质酸能吸附约自身1000倍的水分。因此,透明质酸具有极强的锁水保湿作用,保湿效果高于目前自然界发现的其他保湿物质,被誉为理想的天然保湿因子,已广泛应用于临床医学和化妆品生产等领域^[3-5]。然而,近年来HA在植物领域的应用日益受到关注。研究表明,HA可在干旱胁迫下提升苹果果实品质并维持产量^[6]。此外,HA基水凝胶能有效吸附土壤中的 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 等重金属离子并促进高粱生长,为农田的可持续利用提供了潜在解决方案^[7]。叶面喷施HA可提高紫花苜蓿的养分利用效率,显示出HA在提高肥料利用率方面的应用潜力^[8]。HA还因溶液带负电的特性可防止磷酸根等阴离子与钙镁离子结合形成低溶解性盐类,从而提高作物对土壤养分的吸收效率。以上透明质酸的特有功能,使透明质酸在农业上具有良好的应用前景。

小油菜(*Brassica campestris*)是最为常见的叶菜类蔬菜之一,营养较为丰富,在实际农业生产中复种指数高^[9]。近两年,随着全球变暖,高温、干旱等极端天气的发生呈现逐年加重的趋势^[10]。干旱是我国极为严重的农业气象灾害之一,旱灾造成的损失在各种气象灾害中较高,达62%^[11]。同时,当高温和干旱相伴发生时,高温胁迫发生的频率和范围很可能增大^[12]。这些气候变化给农业生产带来重要影响。干旱地区和保护地栽培作物生长期水分不足会严重影响作物生长和生物量累积。作物生长前期缺水会导致出苗率低,苗期生长严重受阻,进而会导致作物产量下降、品质降低^[13]。通常认为,干旱、高温等逆境条件下植物遭受逆境损伤的首要生理过程是光合作用的改变^[14]。相关研究表明,轻度干旱胁迫条件下,小油菜叶片光合速率、蒸腾速率均会升高,而气孔导度会缓慢下降,胁迫程度加重时,叶片光合速率、蒸腾速率和气孔导度均会出现明显下降^[15]。近年来,国家也在大力发展绿色节水农业^[16],在发展绿色节水农业的过程中,具有显著保水保肥、提高肥料利用率、促进作物生长功效的功能性肥料产品也成为肥料生产企业的研发重点^[17]。

透明质酸在农业上具有保水保肥、提高肥料利用率、有效促进农作物苗期生长,进而增加农作物产量和提高农作物品质的潜在功效。目前,透明质酸在叶菜类上的促生、增产效应与浓度效应尚不明确,田间系统试验匮乏。本试验以不同倍数的透明质酸原液稀释液处理小油菜,旨在探究透明质酸对小油菜生长性状和产量的影响,为其在小油菜等叶菜类蔬菜上的推广应用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

供试农作物品种为绿冠青梗菜-小油菜,购自青岛胶研种苗有限公司。供试土壤类型为潮土,质地为壤土,地势平坦,养分均一。试验材料为透明质酸原液,含量 $\geq 1\%$,由鲁商福瑞达医药股份有限公司下属企业——山东福瑞达生物科技有限公司生产提供。

1.2 方法

试验于2024年8月2日至9月15日在山东省潍坊市寒亭区北港浹村试验田块中进行。在相同氮、磷、钾肥用量条件下,比较不同浓度透明质酸原液的稀释溶液浇施处理对小油菜生长性状和产量的影响。本试验采用随机区组设计,共设置6个处理,每个处理3次重复,每个试验小区面积为 35 m^2 ,具体试验处理方案情况见表1。所有试验处理采用的尿素、磷酸二铵、硫酸钾,严格按照等量氮、磷、钾肥施入量施用。在小油菜正常施肥管理的基础上,各个试验处理每7 d浇施1次不同浓度透明质酸原液的稀释溶液,对照(CK)处理每7 d浇施与试验处理透明质酸原液的稀释溶液等体积的清水,浇施次数共计5次。试验田块小油菜的种植密度为 $9500\text{ 株}\cdot 667\text{ m}^2$,各试验处理按照 $1\text{ L}\cdot\text{m}^2$ 计算用量,其他生产栽培管理同当地常规生产。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 小油菜植株生长指标及产量测定 在试验田块的小油菜收获前,每试验小区随机选择植株长势整齐一致的、能代表各试验小区生长状况的小油菜各20株,使用直尺测量小油菜的地上部株高,使用人工计数方法测量单株绿叶数,使用游标卡尺测量叶柄基部茎粗,使用分析天平称量根系生物量和单株生物量,并计算各个生物学指标的平均值;各个试验小区单独计算产量,以各个试验小区小油菜单株生物量的平均值和试验田块小油菜的种植密度计算每 667 m^2 产量。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental design

处理 Treatment	施用方式 Application method	用量 Dosage	施用量 Application rate
CK	浇施	按 1 L·m ⁻² 计算用量	等体积清水 An equal volume of clean water
T1	Irrigation	Calculate the amount of liquid required based on a rate of 1 L·m ⁻²	透明质酸原液 3000 倍稀释液 Hyaluronic acid stock solution diluted 3000 times
T2			透明质酸原液 1500 倍稀释液 Hyaluronic acid stock solution diluted 1500 times
T3			透明质酸原液 1000 倍稀释液 Hyaluronic acid stock solution diluted 1000 times
T4			透明质酸原液 500 倍稀释液 Hyaluronic acid stock solution diluted 500 times
T5			透明质酸原液 100 倍稀释液 Hyaluronic acid stock solution diluted 100 times

1.3.2 小油菜叶片叶绿素相对含量的测定 在试验田块的小油菜收获前一周,于晴天 09:00—11:00,选取小油菜由下至上的第 3 片功能叶片,使用叶绿素测定仪 TYS-3N 测定其植株叶片的叶绿素相对含量 (SPAD),每个试验小区 5 次重复,取测定数据的平均值。

1.4 数据处理

使用 Excel 2021 进行试验数据统计和图表绘制,试验数据采用 SPSS 26.0 软件 Duncan 检验法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对株高的影响

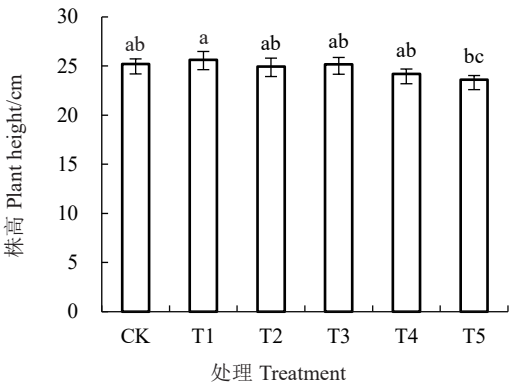
由图 1 可知,对照(CK)处理条件下,小油菜株高为 25.2 cm,浇施不同浓度的透明质酸溶液(500~3000 倍稀释液)后对小油菜株高无明显影响,但浇施 100 倍稀释溶液后的透明质酸溶液(T5)处理的小油菜株高相对于 CK 处理的小油菜株高显著下降。

2.2 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对单株绿叶数的影响

由图 2 可知,对照(CK)处理小油菜单株绿叶数为 16.8 个,浇施 1500 倍稀释后的透明质酸溶液处理(T2)的小油菜单株绿叶数为 18.2 个,显著高于 CK,小油菜单株绿叶数提升 8.33%,其他不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理的小油菜单株绿叶数与 CK 的单株绿叶数之间无显著差异。

2.3 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对叶柄基部茎粗的影响

由图 3 可知,对照(CK)处理条件下,小油菜叶柄基部茎粗为 3.6 cm,浇施 500~3000 倍稀释后的



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 1 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对株高的影响
Fig. 1 Effects of dilutions prepared from hyaluronic acid solutions of different concentrations on plant height

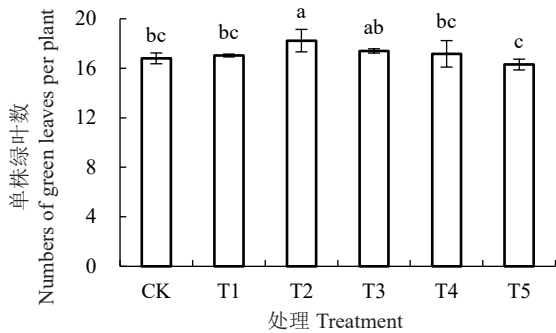


图 2 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对单株绿叶数的影响
Fig. 2 Effects of dilutions prepared from hyaluronic acid solutions of different concentrations on the number of green leaves per plant

透明质酸溶液处理(T1~T4)的小油菜叶柄基部茎粗相比于 CK 呈现增加的趋势,但与 CK 处理无显著差异。浇施 100 倍稀释后的透明质酸溶液处理(T5)的小油菜叶柄基部茎粗为 3.4 cm,是所有处理

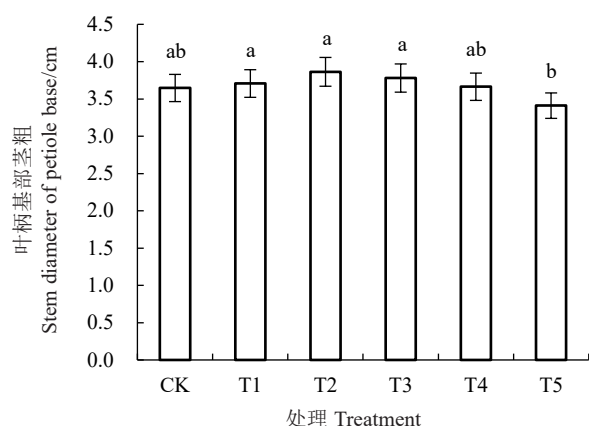


图3 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对叶柄基部茎粗的影响

Fig. 3 Effects of dilutions prepared from hyaluronic acid solutions of different concentrations on petiole-base stem diameter

中的最低值,但与CK无显著差异,显著低于浇施1000~3000倍稀释后的透明质酸溶液处理(T1~T3)的小油菜。

2.4 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对根系生物量的影响

由图4可知,对照(CK)处理条件下,小油菜根系生物量为6.0 g,在浇施1000~3000倍稀释范围内的透明质酸溶液处理(T1~T3)的小油菜根系生物量为6.9~8.5 g,相对于CK,小油菜根系生物量增幅在15.0%~41.7%,且显著高于CK处理。浇施100倍和500倍稀释的透明质酸溶液(T5和T4)处理的小油菜根系生物量均与CK无显著差异。

2.5 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对叶绿素相对含量的影响

由图5可知,对照(CK)处理条件下,小油菜植株叶片叶绿素相对含量为42.0,浇施100~3000倍稀释的透明质酸溶液(T1~T5)处理与CK相比较,小油菜植株叶片叶绿素相对含量均有所增加,小油菜植株叶片叶绿素相对含量增加幅度为9.4%~12.9%,其中T1、T3、T4处理的小油菜植株叶片叶绿素相对含量显著高于CK处理,小油菜植株叶片叶绿素相对含量增加幅度在10%以上。

2.6 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对单株生物量和产量的影响

由图6~7可知,对照(CK)处理条件下,小油菜单株生物量为189.1 g,浇施100~3000倍稀释的透明质酸溶液处理(T1~T5)的小油菜单株生物量相对于CK均有不同幅度的提升,小油菜单株生物量增

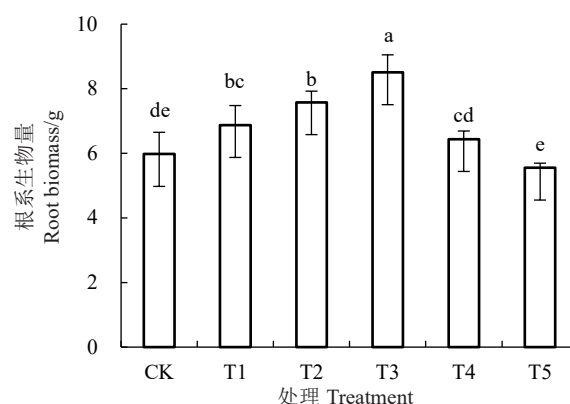


图4 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对根系生物量的影响

Fig. 4 Effects of dilutions prepared from hyaluronic acid solutions of different concentrations on root biomass

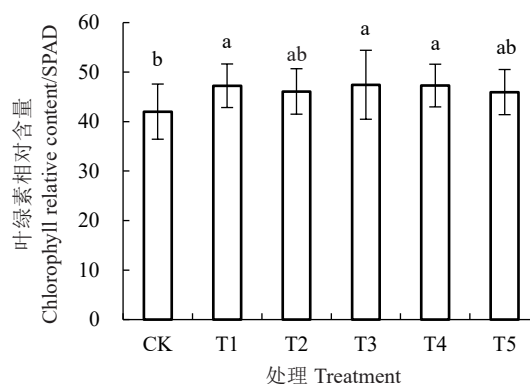


图5 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对叶绿素相对含量的影响

Fig. 5 Effects of dilutions prepared from hyaluronic acid solutions of different concentrations on chlorophyll relative content

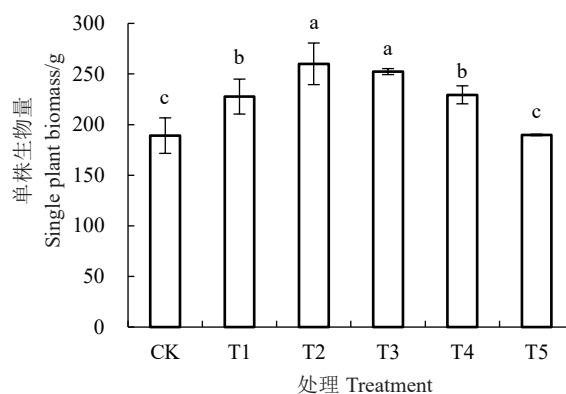


图6 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对单株生物量的影响

Fig. 6 Effects of dilutions prepared from hyaluronic acid solutions of different concentrations on single plant biomass

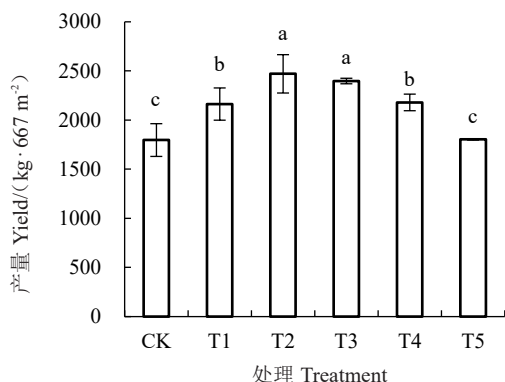


图7 不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理对产量的影响

Fig. 7 Effects of diluting solutions prepared from hyaluronic acid raw materials of different concentrations on yield

幅为0.37%~37.55%;除浇施100倍稀释后的透明质酸溶液处理(T5)外,不同浓度透明质酸原液的稀释溶液处理的小油菜单株生物量均显著高于CK。小油菜每667 m²产量的变化趋势与小油菜单株生物量基本一致,浇施1500倍稀释的透明质酸溶液处理(T2)的小油菜产量最高,为2 470.6 kg·667 m⁻²。

3 讨论与结论

几十年来,复合型农业旱热事件(CADHE)不断加剧,气候变化预计将进一步放大其影响,可能将农业系统推向临界点^[18]。相较于单一极端事件,复合干旱高温事件(CDHEs)危害更严重,已引起广泛关注。人为气候变化(ACC)不仅影响高温、干旱等单一事件,也显著影响CDHEs^[19]。全球变暖背景下,极端气候事件频率和强度持续上升,农业系统由于直接暴露,成为最易受影响的行业。现有研究多关注气候均值变量对作物产量的影响,较少涉及干旱与高温同时发生的复合极端事件的系统性影响^[20]。随着干旱加速发生,农业地区骤旱比例增大,从季节开始(SOS)到旺季(MOS)的第一个生长季最易受骤旱影响(50%以上发生在此期)^[21]。水分不足是主要非生物胁迫,显著降低作物产量,威胁全球粮食安全^[22]。Abbasi等^[23]研究表明,干旱导致谷物产量减少10%,预计到2050年将影响超过50%耕地的作物生产。干旱胁迫对种子萌发、幼苗生长及植物生物量产生负面影响,而植物可通过多种形态和生理策略应对非生物胁迫^[24-28]。为缓解干旱胁迫对作物的不利影响,天然高分子多糖显示出较大潜力。

多糖是增强土壤团聚体稳定性最有效的胞外

聚合物,胞外多糖对保持土壤水分、增强土壤稳定性及影响微生物群落等有重要作用,还能促进作物生长、提高抗逆性^[29]。天然高分子多糖能促进干旱胁迫下作物生长。赵文慧等^[30]试验证明,海带多糖对水稻幼苗多项指标有影响,最佳质量浓度为0.15 g·L⁻¹。Li等^[7]利用HA基复合水凝胶(HDT)对Cd²⁺和Pb²⁺进行吸附,发现该水凝胶不仅修复了重金属污染土壤,还显著促进了高粱根系的生长,表明HA类物质在改善根际环境方面具有独特优势。本试验中透明质酸处理可提高小油菜根系生物量,进一步证实了透明质酸(HA)可促进作物根系发育和养分吸收。王涛等^[8]在硅藻矿粉与玻尿酸废液配施对紫花苜蓿的研究中发现,叶面喷施HA废液可提高苜蓿的叶片叶绿素含量和养分利用效率,与本研究结果一致。罗学义等^[6]研究表明,HA可提高苹果产量,与本试验结果一致。在本试验中,稀释100倍的透明质酸溶液处理的小油菜叶柄基部茎粗、单株绿叶数和根系生物量均低于T1处理和CK。王涛等^[8]的研究结果表明,高浓度的玻尿酸废液对紫花苜蓿的生长促进效果并不如预期,推测可能与高浓度多糖引起根际渗透压升高或植物内源激素平衡发生改变有关。此外,Li等^[7]在水凝胶试验中也指出,HA类物质的过量施用可能对植物生长产生抑制效应,适宜浓度才是发挥增效作用的关键。

综上所述,本试验结果表明,适宜浓度的透明质酸HA浇施处理可通过促进根系发育、增强叶片光合能力、增加单株绿叶数等途径协同提高小油菜产量。稀释1500倍的透明质酸溶液处理(T2)为本试验中的最优浓度处理。HA在可持续农业中兼具肥料增效剂、土壤调理剂和逆境缓解剂的潜在多重角色。本研究仅验证了HA在正常水分条件下的促生增产效果,其在干旱胁迫、盐渍化或重金属污染土壤中的功能表现尚需进一步探究。后续研究可围绕HA与其他功能性物质的复配施用、HA的降解周期与作物生育期的匹配,以及HA对土壤微生物群落结构的影响等方向展开。

参考文献

- [1] Chen W Y, Abatangelo G. Functions of hyaluronan in wound repair[J]. Wound Repair and Regeneration, 1999, 7(2): 79-89.
- [2] Meyer K, Palmer J W. The polysaccharide of the vitreous humor[J]. Journal of Biological Chemistry, 1934, 107(3): 629-634.
- [3] 黄小忠, 管国强. 透明质酸生理功能及其应用研究进展[J]. 畜牧与饲料科学, 2015, 36(1): 21-25.
- [4] 卢方云, 吴瑛婕, 黄瑾, 等. 透明质酸的制备及其应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(5): 440-447.

- [5] 任姝静,王玉玲.有效浸润,多维促渗:功能多样的透明质酸[J].中国化妆品,2021(2):116-118.
- [6] 罗学义,高永新,王延秀,等.透明质酸对苹果果实品质及产量的影响[J].寒旱农业科学,2025,4(8):741-747.
- [7] Li H, Wang X, Song X, et al. Sustainably polyanionic hyaluronic acid-based hydrogel for efficient removal of Fe^{3+} , Cd^{2+} , and Pb^{2+} ions in soil with enhanced sorghum growth[J]. Biomacromolecules, 2025, 26(7):4419-4435.
- [8] 王涛,梁红怡,王显,等.硅藻矿粉和玻尿酸废液对紫花苜蓿减肥和耐旱效果的研究[J].草地学报,2025,33(2):618-629.
- [9] 闫双堆,郭探文,张延慧,等.硫酸铵与尿素配比对土壤氮素形态、小油菜产量及氮素吸收的影响[J].核农学报,2023,37(10):2063-2070.
- [10] 陈怀亮,张红卫,薛昌颖.中国极端天气事件与农业气象服务[J].气象与环境科学,2010,33(3):67-77.
- [11] 刘玲,沙奕卓,白月明.中国主要农业气象灾害区域分布与减灾对策[J].自然灾害学报,2003,12(2):92-97.
- [12] Salvucci M E, Crafts-Brandner S J. Inhibition of photosynthesis by heat stress: The activation state of Rubisco as a limiting factor in photosynthesis[J]. Physiologia Plantarum, 2004, 120(2):179-186.
- [13] 董文俊,刘健峰,丁奠元,等.旱作覆膜玉米生长和水分利用对气候变化的响应[J].干旱地区农业研究,2020,38(1):1-12.
- [14] Chakhchar A, Lamaoui M, Aissam S, et al. Differential physiological and antioxidative responses to drought stress and recovery among four contrasting *Argania spinosa* ecotypes[J]. Journal of Plant Interactions, 2016, 11(1):30-40.
- [15] 赵丽英,王伟,宋玉伟.土壤水分胁迫下油菜光合特性变化和膜伤害研究[J].河南农业科学,2010(8):33-35.
- [16] 陶汪海,邓铭江,王全九,等.西北旱区农业高质量发展体系的生态农业内涵与路径[J].农业工程学报,2023,39(20):221-232.
- [17] 董金龙,徐烨红,全智,等.中国设施种植土壤可持续利用的难点与应对策略[J].土壤学报,2024,61(6):1467-1480.
- [18] Shi W Z, Zhang K, Chen Z F, et al. Projected increase in global compound agricultural drought and hot events under climate change[J]. Global and Planetary Change, 2025, 253:104962.
- [19] Yang J H, Zhou L, Wu J J, et al. Effects of anthropogenic climate change on the compound drought and heat events in different agricultural regions of China[J]. Ecological Indicators, 2024, 167:112719.
- [20] Zhang C W, Gao J B, Liu L L, et al. Compound drought and hot stresses projected to be key constraints on maize production in Northeast China under future climate[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 218:108688.
- [21] Shi R G, Liu Y L, Zhu Y, et al. Impact of flash droughts on global crop yields considering crop phenology and irrigation conditions[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2025, 373:110763.
- [22] Jan F M, Altaf T M, Liaqat W, et al. Approaches for the amelioration of adverse effects of drought stress on soybean plants: From physiological responses to agronomical, molecular, and cutting-edge technologies[J]. Plant and Soil, 2025, 513(1):1-53.
- [23] Abbasi T, Abbasi S A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 14(3):919-937.
- [24] Abid U, Mohammad N, Hazrat A, et al. Drought tolerance improvement in plants: An endophytic bacterial approach[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2019, 103(18):7385-7397.
- [25] Naeem K, Shahid A, Adnan M S, et al. Insights into the interactions among roots, rhizosphere, and rhizobacteria for improving plant growth and tolerance to abiotic stresses: A Review[J]. Cells, 2021, 10(6):1551.
- [26] Arena C, Vitale L, De Santo A V. Paraheliotropism in *Robinia pseudoacacia* L.: An efficient strategy to optimise photosynthetic performance under natural environmental conditions[J]. Plant Biology, 2008, 10(2):194-201.
- [27] Vitale L, Tommasi P, Arena C, et al. Growth and gas exchange response to water shortage of a maize crop on different soil types[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2009, 31(2):331-341.
- [28] Rigano M M, Arena C, Matteo D A, et al. Eco-physiological response to water stress of drought-tolerant and drought-sensitive tomato genotypes[J]. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 2016, 150(4):682-691.
- [29] 崔岩,边建文,刘瑛,等.微藻多糖及其衍生物在农业领域的研究进展[J].土壤通报,2023,54(5):1226-1236.
- [30] 赵文慧,张华颖,吴阳,等.不同质量浓度海带多糖对水稻幼苗生长的影响[J].水产研究,2025,12(1):50-58.