

沙葱的休眠特性、抗逆机制及缓解效应研究进展

李维寰¹,王玉琪¹,王丽娟¹,于海利²

(1.天津农学院园艺园林学院 天津 300392; 2.武威市农业科学研究院 甘肃武威 733000)

摘要:沙葱是我国荒漠地区极具代表性的特色野生植物,其植株富含人体必需的氨基酸、维生素C、活性多糖、黄酮类化合物等营养与功能性成分,不仅具有独特的食用风味,还具备一定药用潜力,同时兼具生态保护与经济效益的双重价值。沙葱对干旱、盐碱、低温等非生物逆境具有极强的适应性,是研究植物抗逆机制的理想材料。目前,针对沙葱的研究多聚焦于单一维度,针对其特性、价值及应用潜力的系统性综述仍较为匮乏,相关研究进展尚未得到集中梳理。因此,笔者对沙葱休眠特性、抗逆生理响应及外源物质缓解效应等方面的研究报道进行了综述,总结其食用、药用、生态与经济价值,分析了目前沙葱的研究瓶颈并展望未来的发展方向,为沙葱深入研究与综合开发提供理论依据。

关键词:沙葱;休眠;抗逆;生理响应;缓解效应

中图分类号:S633.9

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)02-001-06

Research progress on dormancy characteristics, stress resistance mechanism and alleviation effects of *Allium mongolicum*

LI Weihuan¹, WANG Yuqi¹, WANG Lijuan¹, YU Haili²

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China; 2. Wuwei Academy of Agricultural Sciences, Wuwei 733000, Gansu, China)

Abstract: *Allium mongolicum* is a highly representative wild plant in desert regions of Chin., Its tissues are rich in essential nutrients and functional components such as indispensable amino acids, vitamin C, bioactive polysaccharides, and flavonoids. It not only possesses a distinctive edible flavor but also exhibits considerable medicinal potential, while simultaneously delivering dual values in ecological conservation and economic benefits. With strong adaptability to various abiotic stresses including drought, salinity, and low temperature, *A. mongolicum* serves as an ideal model for studying plant stress-resistant mechanisms. Currently, research on *A. mongolicum* primarily focuses on single-dimensional perspectives, and systematic reviews integrating its biological characteristics, multi-faceted values, and application potential remain scarce. Research progress in this field has not been comprehensively summarized and organized. Consequently, this paper reviews existing studies regarding the dormancy characteristics, physiological responses to abiotic stresses, and alleviative effects of exogenous substances in *A. mongolicum*. It also summarizes its edible, medicinal, ecological, and economic values, analyzes the current research bottlenecks, and prospects future development directions. This review is expected to provide a theoretical basis for the in-depth research and comprehensive exploitation of *A. mongolicum*.

Key words: *Allium mongolicum*; Dormancy; Stress-resistance; Physiological response; Alleviation effect

沙葱(*Allium mongolicum* Regel)是石蒜科(Amaryllidaceae)葱属(*Allium*)的多年生丛生草本植物,学名蒙古韭,主要分布于中国的甘肃、宁夏、内蒙古、新疆等地^[1-3]。其生境多为荒漠草原、砾质沙地、

季节性干河床及低山山坡^[4-6]。沙葱的人工驯化始于20世纪90年代,最初由甘肃、内蒙古等地科研机构开展生物学特性研究与小范围栽培试验,明确其生长习性并掌握种子直播、裸根苗移栽等基础技

收稿日期:2025-09-03;修回日期:2025-11-07

基金项目:中央引导地方科技发展资金(24ZYCGSN00070);天津市科技局科技帮扶产业项目(25ZXBTNSN00050)

作者简介:李维寰,男,在读硕士研究生,研究方向为设施园艺作物栽培生理。E-mail:lwh1583530870@163.com

通信作者:王丽娟,女,教授,主要从事设施园艺作物生理及种质创新等研究工作。E-mail:wanglijuantj@126.com

于海利,男,副研究员,主要从事设施园艺作物栽培及害虫防治工作。E-mail:yhl860310@163.com

术^[7];2006年后进入关键突破期,通过冷刺激打破休眠、日光温室调控等技术实现反季节栽培^[8],构建标准化管理流程;2016年起,沙葱产业逐步迈向扩张阶段,在西北多区域实现规模化推广。近年来,沙葱产业规模持续扩张,主要集中于甘肃民勤,其沙葱种植面积从2022年大坝镇的173.33 hm²逐步增长至2023年的666.67 hm²以上^[9],2025年则稳定在1000 hm²左右并覆盖14个镇^[10],同时内蒙古等地也通过推广新品种实现2000 hm²种植规模^[11],形成西北干旱区为主导的规模化发展格局。

沙葱的营养丰富,富含人体所必需的各类营养物质,被称为“菜中灵芝”^[12]。沙葱生长最适宜的温度为10~25°C,而且沙葱对土壤环境的适应性强,耐贫瘠,但在疏松透气的砂质土壤、酸碱度保持在8.5左右、多年平均降水量在40~312 mm的环境下生长更佳^[13~15]。沙葱的叶片中含有17种氨基酸,包括赖氨酸、亮氨酸、异亮氨酸等7种人体必需氨基酸,占总氨基酸的33%,其谷氨酸、丙氨酸含量较突出,赋予其较高的蛋白质营养价值^[16]。沙葱的维生素C含量是普通蔬菜的10倍以上,达到241.46 mg·100 g⁻¹^[16],其他维生素含量也处于较高水平,在增强人体免疫力、抗氧化、预防坏血病等方面具有显著的作用^[17]。在沙葱所含的矿质元素中,钾、铁、钙、磷等含量丰

富,其中铁含量可达431.7 μg·g⁻¹^[18],显著高于普通蔬菜,是优质的矿物质补给源。为进一步明确沙葱的营养优势,将其与常见蔬菜韭菜的核心营养品质进行对比,发现沙葱的维生素C、铁、钙等含量明显高于韭菜,具体对比数据可见表1。

沙葱不仅具有丰富的营养,还具有独特的功能性成分。沙葱提取物中含有粗蛋白、谷氨酸、胱氨酸、铁、锌等物质^[19],具有提高人体免疫力、抗菌和改善人体肠道菌群等作用。沙葱挥发油是从沙葱中提取到的具有挥发性的油状成分,在抗菌、抗炎等方面有独特作用,其主要成分依次为肉桂酸乙酯、二乙基缩醛和草酸丁二酯^[20]。沙葱的挥发性物质是沙葱特殊气味的主要来源,主要成分有烯丙基甲基二硫醚、二甲基三硫化物、甲基-2-烯丙基三硫醚、二烯丙基二硫、2-己烯醛等物质^[21],具有助消化、改善肉类风味、杀菌抑菌等功效。此外,沙葱还含有多种黄酮类等抗氧化成分,在清除自由基、延缓衰老方面具有潜在价值^[22~23]。

目前,沙葱已成为一项地方特色经济产业,是高价值高营养兼具生态与经济价值的天然绿色蔬菜,引起了人们深入研究和广泛关注。为此,笔者对沙葱的休眠、抗逆生理响应及缓解效应等方面进行综述,为后续沙葱研究提供参考。

表1 沙葱与韭菜营养品质对比

Table 1 Comparative analysis of nutritional quality between *Allium mongolicum* Regel and *Allium tuberosum* Rott. ex Spr.

营养品质 Nutritional quality	沙葱 <i>Allium mongolicum</i> Regel	韭菜 <i>Allium tuberosum</i> Rott. ex Spr.	参考文献 Reference
w(可溶性糖) Soluble sugars content/(mg·100 g ⁻¹)	1 920.00	1 470.00~3 230.00	[16][24]
w(维生素C) Vitamin C content/(mg·100 g ⁻¹)	241.46	3.81~33.94	[16][24]
w(蛋白质) Protein content/%	24.34	27.66	[25]
w(总氨基酸) Total amino acids content/(mg·g ⁻¹)	337.48	241.59	[16][25]
w(叶片总黄酮) Total leaf flavonoids content/(mg·g ⁻¹)	4.89	3.68	[23][26]
w(钾) Potassium content/(mg·100 g ⁻¹)	10 101.00	6 789.00	[25]
w(钙) Calcium content/(mg·g ⁻¹)	5.47	0.44~0.54	[18][27]
w(铁) Iron content/(μg·g ⁻¹)	431.70	148.87~292.57	[18][27]

1 沙葱种子特性与休眠机制

沙葱作为具有重要经济与生态价值的植物,其种子的特性和休眠机制是影响其种植与利用的关键因素。研究种子特性与休眠机制,对种质保存^[28]、种苗催芽^[29]等至关重要,是突破种植规模限制、挖掘经济生态价值的核心,从而为后续沙葱研究奠定基础。

1.1 沙葱种子萌发特性

沙葱种子为黑色三棱状,种子纵径约3 mm,横

径1.5~2.0 mm,千粒质量平均为3.27 g,背部隆起,腹面平凹,种皮较厚且具纹饰,表面覆有蜡质层,这一结构既是对荒漠干旱环境的适应,同时也影响种子的透水性和透气性^[30~31]。通过扫描电镜观察,沙葱种子种皮表面存在不规则沟壑,可减少水分流失^[32]。沙葱种子的宏观形态及种皮表面的微观沟壑特征可见图1。

沙葱种子的萌发特性受多种环境因子调控。在温度方面,适宜沙葱种子萌发的温度为5~30°C,最适萌发温度为20~25°C^[33~34]。在水分方面,沙葱

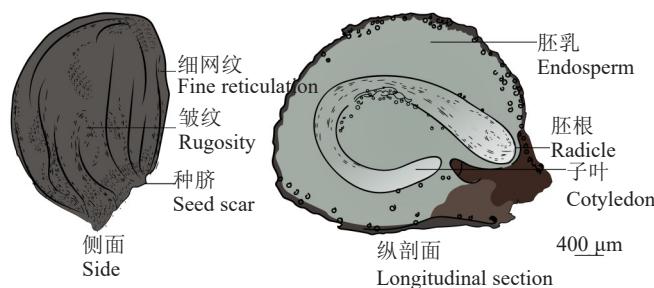


图 1 沙葱种子示意图
Fig. 1 Diagram of scallion seed

种子萌发的水势范围为 0~0.6 MPa^[35], 适宜的浸种时间为 8~24 h, 最适浸种时间为 12 h, 发芽率为 72.22%^[33,36], 通过不同发芽床试验, 沙葱种子在土床和纸床上萌发率(94% 和 91%)显著高于沙床萌发率(49%), 说明其萌发需要疏松透气的环境^[37]。在光照方面, 对沙葱种子进行 12 h 和 24 h 光照后与黑暗条件下进行对比, 发现其 12 h 和 24 h 光照后萌发率(15.6% 和 6.6%)均显著低于黑暗条件下的萌发率(75%), 即使在光照条件下改变温度, 沙葱种子的萌发依旧会被抑制^[38-40], 可见沙葱种子是典型的嫌光性种子。同时, 沙葱种子也应该适当保存才能保证其良好的活性, 文静^[41]通过研究沙葱种子室温、冷藏、冷冻 3 种贮藏方式, 结果表明, -20 °C 冷冻贮藏和 5 °C 冷藏贮藏都能有效保持种子活力, 其中冷冻贮藏方式最佳, 而室温贮藏则会加速种子活力下降。

沙葱种子萌发初期会在 30 h 内吸水饱和, 吸水量可达到种子总质量的 77%^[42]。随着种子吸胀吸水, 呼吸作用显著增强, 与呼吸作用相关联的酶活性也随之变化, 同时, 沙葱种子的不同贮藏年限对呼吸作用及内部酶活性也有很大影响, 杨忠仁等^[43]研究发现, 随着沙葱种子贮藏年限的增加, 其种子呼吸速率、细胞色素 C 氧化酶活性、酸性磷酸酶活性和苹果酸脱氢酶活性均呈现先升高后下降的趋势, 且贮藏 3 a 时活性最高, 但异柠檬酸脱氢酶活性却呈现降低趋势, 主要是因为其对种子老化敏感, 故建议选择贮藏 3 a 内的沙葱种子进行种植。宋晓青^[44]基于 TMT 蛋白质组学解析加速老化对沙葱种子活力的影响, 发现老化过程中 291 个差异蛋白动态变化, 其中谷胱甘肽代谢通路下调与种子活力指数下降显著关联, 从蛋白质层面揭示了室温贮藏导致种子活力下降的分子机制。呼吸作用为种子萌发提供大量能量, 用于合成蛋白质、核酸等物质, 推动细胞分裂与生长, 为后续胚根突破种皮做准备, 而胚根通常在适宜条件下 2~3 d 率先突破种皮^[31],

随后胚芽逐渐生长, 子叶展开形成幼苗。随着种子萌发后幼苗的持续生长, 沙葱会逐渐形成完整的植株结构, 其根、茎、叶、花等器官的形态特征可见图 2。

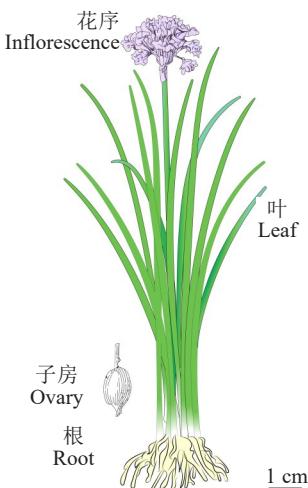


图 2 沙葱植株示意图
Fig. 2 Diagram of scallion plant

1.2 沙葱种子休眠机制与破眠技术

种子成熟后, 在萌发条件适宜时仍暂时不萌发的生理状态, 称作种子休眠, 这是植物适应环境的自我保护方式^[45]。沙葱种子休眠主要源于种皮限制和生理休眠的协同作用。种皮的蜡质层和厚壁细胞阻碍了水分和氧气的渗透, 未经处理的沙葱种子吸水率仅为 56.8%, 而酸蚀破损伤种皮后吸水率可达 73.7%^[46], 说明种皮限制了其萌发。王晓娟^[47]研究发现, 种皮中含有抑制物质, 其浸提液可使白菜种子发芽率降低, 进一步证实种皮的物理和化学双重限制作用。同时, 激素调控也是沙葱种子休眠的重要生理机制。沙葱种子中脱落酸(ABA)的含量较高, 最高可达到 135.67 ng·g⁻¹, 从而抑制了种子萌发, 使其休眠。随着种子后熟, ABA 含量逐渐下降, 赤霉素(GA₃)含量上升, 当 ABA 与 GA₃ 的比值降至 2~3 时, 沙葱种子逐渐解除休眠^[47]。

目前, 针对沙葱种子的破眠技术已形成多种有效方法。斯琴托娅^[48]使用砂纸摩擦沙葱种子种皮 4~5 min, 使其发芽率比正常萌发的种子显著高 4 倍。温水浸种(60~70 °C)24 h 也能有效促进其萌发^[11]。在物理方法之外, 化学方法处理在沙葱种子破除休眠中也有应用。张晓艳等^[49]研究发现, 沙葱种子的休眠能够被 30 mg·L⁻¹ IAA 处理打破, 其发芽率为清水对照的 2.6 倍, 贮藏年限为 4 a 左右的种子采用 15 mg·L⁻¹ IAA 处理打破沙葱种子休眠最佳, 发芽率最高可达 84.85%, 而贮藏 8~10 a 建议

使用 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ EBR 或 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA 处理。文静等^[29]对促进沙葱种子萌发的各项组合研究发现,最佳组合为 15% PEG 浸种 6 h,其发芽率是空白对照的 5 倍。王成等^[30]发现,使用质量浓度为 $800 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ GA₃ 对沙葱种子(储存年限 1.5 a)浸种后,其发芽率能从 17.50% 提高到 63.33%,并且使用 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ NAA 处理与其搭配使用,能显著提高其发芽率。此外,使用含有稀土元素的 $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ CeCl₃^[51-52] 和 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ La(NO₃)₃^[53] 对沙葱种子浸种后,能有效地提高种子萌发率,而且 5°C 低温层积^[47]也可以打破沙葱种子休眠。

2 沙葱的抗逆响应及缓解效应

沙葱作为特殊生态环境的典型植物,其抗逆适应机制对揭示植物在极端环境下的生存策略意义重大。沙葱的逆境响应直面干旱^[54-56]、盐碱^[57-60]等荒漠典型胁迫,探究沙葱如何感知、响应并适应逆境具有重要意义。沙葱的抗逆响应研究既能为沙葱资源保育及荒漠生态修复筑牢理论根基,也能为极端环境下沙葱适应机制解析与抗逆育种提供关键参考,助力生态保护与农业双向发展。

2.1 沙葱的抗逆表型

沙葱在干旱胁迫下表现出显著的形态可塑性。沙葱对干旱有极强的适应性,在土壤含水量大于 1.99% 的环境下,沙葱生长正常,小于 0.885% 时,叶片会枯黄并休眠,而介于两者之间时会生长不良^[54]。沙葱根、茎、叶的形态特征和结构特征决定了沙葱对干旱具有极强的适应性。严子柱等^[61]对沙葱的解剖结构进行分析得出,沙葱根表皮细胞排列紧密,壁加厚,皮层占比超 90%,含薄壁细胞,中柱占比小,初生木质部四元型无髓。茎由鳞茎片环形包裹,有异常维管束,中央髓腔大,表皮角质膜厚。叶被蜡质,角质层发达,气孔下陷,肉质叶栅栏组织发达,使沙葱具有良好的抗旱性。当然,沙葱对干旱的适应能力也是有限度的,持续 2 a 以上的干旱也会导致沙葱种群大量死亡。

在盐胁迫下,沙葱的生长抑制效应随盐浓度升高而显著增强。沙葱的根系干鲜质量、根系活力都随着盐胁迫的加重而下降,而沙葱的根系长度、表面积、体积呈现先升后降的趋势,在 $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫时达到最大^[57],故适合沙葱生长的盐胁迫环境应低于此浓度。苗春乐等^[58]在 $20 \sim 500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下研究沙葱的萌发情况,结果表明,沙葱种子发芽率、发芽指数、发芽势都与 NaCl 浓度升高

成反比,而且表明沙葱种子适合在 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 浓度以下进行萌发。赵映雪^[59]还发现,随着 NaCl 浓度的升高,沙葱根、叶中的 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 都呈现下降趋势,但在 $150 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理时,根系的 Na、K 含量较高,说明沙葱在盐胁迫下会选择性地吸收 Na 和 K,维持体内 K/Na 平衡。此外,沙葱对低温也有较强适应能力,冬季叶片可忍受 -5°C 短期低温,根茎在 -45°C 仍能存活^[30]。

2.2 沙葱的抗氧化系统与物质代谢

在逆境下,沙葱通过增强抗氧化系统活性抵御氧化损伤。植株在逆境下体内易产生过量活性氧,破坏生物膜系统结构与功能。此时,抗氧化酶系统开始清除活性氧,维持其动态平衡,可以看出抗氧化系统对植物抗逆起着关键性作用。在盐胁迫下,沙葱根和叶的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和抗坏血酸氧化物酶(APX)活性均呈现先升高后下降的趋势, $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 处理时达到最大,而过氧化氢酶(CAT)活性却随着盐浓度的增加而升高^[59]。渗透调节物质的积累是沙葱适应逆境的重要代谢策略。在盐胁迫下,植物为保障正常代谢、维持渗透平衡,会主动在体内积累含氮有机物,这类物质能够一定程度内减轻盐胁迫带来的损伤^[62],充分体现了渗透调节物质对植物抵御盐害、维持生理机能稳定的重要性。渗透调节物质主要有可溶性蛋白、可溶性糖、脯氨酸、游离氨基酸等物质。研究表明,脯氨酸是植物耐盐的重要调节物质,还具有清除 ROS 及解除毒害作用^[63]。干旱条件下,沙葱的可溶性糖、蔗糖、麦芽糖、葡萄糖、果糖^[55]、游离脯氨酸^[59]含量都呈上升趋势,共同维持沙葱细胞渗透压。在盐胁迫时,可溶性糖和游离脯氨酸含量和干旱条件下一致,而且脯氨酸和丙二醛含量也随着盐浓度增加而升高^[59]。魏鹏超等^[64]通过分析干旱胁迫下沙葱种子的转录组学发现,干旱胁迫 10 d 时筛选到 12 399 个显著差异表达基因,初期差异基因主要富集在核糖体合成、赖氨酸生物合成等能量代谢通路,后期集中于光合作用、过氧化物酶体等抗氧化通路,其中大部分差异表达基因被注释为 C2H2 和 bHLH 转录因子家族,为干旱响应的核心调控因子。此外,曹镇宇等^[60]还通过回归与聚类分析得出,沙葱的耐盐极限值为 $236.087 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。由此可见,沙葱以抗氧化系统抵御氧化威胁,用物质代谢调节渗透平衡,完成对逆境生存的生理响应。

2.3 外源物质对沙葱逆境生理损伤的缓解效应

沙葱在盐碱、干旱等逆境下会出现生长抑制、

生理代谢紊乱等损伤,而外源物质可通过调节其生理代谢、抗氧化系统及离子平衡,有效缓解逆境伤害。外源 NO 是缓解沙葱逆境损伤的关键物质。路莹^[65]研究表明,0.4 mmol·L⁻¹ 外源 NO 浸种 3 h 可显著提高 NaCl 及 PEG 胁迫下沙葱种子的萌发率、萌发指数,同时也提升了种子中 SOD、CAT、APX、POD 活性,降低了 MDA 含量,其中对 APX 活性的提升效果最为显著。王萍等^[66]也证实,该处理可使 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发率较对照提高 26%,且恢复试验中最终萌发率仍为各处理最高,说明外源 NO 能减轻盐胁迫对种子的不可逆损伤。

3 展望

沙葱的食用与药用价值开发仍有广阔空间。在食品加工领域,现有研究已证实不同干燥方法对沙葱品质影响显著,其中真空冷冻干燥方法(FD)能最好地保持沙葱色泽和风味物质,但成本较高^[12],后续可以考虑用其他方式联合干燥技术以平衡品质与成本。沙葱挥发性成分具有独特风味,可开发为天然食品添加剂,目前在肉制品保鲜方面已有应用^[67-68],可继续研究沙葱与其他配料的协同作用。在药用活性方面,沙葱多糖的降血脂和总黄酮的抗氧化和抗菌作用已得到验证^[58],但其分子结构与活性的构效关系尚不明确,需进一步解析。

沙葱在生态与经济价值融合方面具备独特优势。在荒漠治理中,沙葱作为旱生植物,其根系可固沙保土,且能在贫瘠土壤中生长,是荒漠草原植被恢复的理想植物。同时,沙葱全年可以刈割 9 茬,每茬可获利 6.0 万元·hm⁻²~7.5 万元·hm⁻²,其经济效益约 60 万元·hm⁻²^[69]。沙葱产业链已经从初级鲜菜销售向深加工延伸,但规模化种植仍面临种子萌发率低、产量不稳定等问题,需要加强良种选育,通过杂交育种或分子育种技术改良其农艺性状。此外,甘肃民勤等地的经营模式已取得成效,可进一步推广并结合电商平台拓宽销售渠道,实现生态保护与经济增收的双赢。

从基础研究角度看,沙葱抗逆机制的分子基础仍需深化。目前,对其耐旱、耐盐的生理响应已有较多报道^[54-60],但抗逆关键调控基因的挖掘和功能验证不足,后续可以借助转录组学和代谢组学等技术筛选核心调控因子并验证其功能。王媛媛等^[70]分析沙葱叶绿体基因组密码子使用偏好性,确定 7 个最优密码子,为抗逆基因异源表达优化提供了依据。王宏霞等^[71]鉴定了沙葱叶绿体 260 个 SSR 位

点,其中 9 个高多态性位点可用于种质资源鉴定,为抗逆种质筛选提供了分子标记工具。同时,王立科等^[72]筛选出低温胁迫下沙葱 qRT-PCR 最优内参基因 *AmGAPDH*,为后续抗逆基因定量分析提供了标准化方法,未来还需拓展不同胁迫下内参基因的筛选,从而完善分子试验体系。此外,沙葱与共生微生物的互作关系研究较少,探索根际促生菌的筛选与应用,有望通过生物调控提高其抗逆性和产量,为荒漠地区农业可持续发展开辟新途径。

参考文献

- [1] 付筱.中国葱属根茎亚属及其近缘类群的形态学、质体基因组学以及适应性进化研究[D].成都:四川大学,2023.
- [2] 敖长金.沙葱化学成分及其生物学功能研究进展[J].饲料工业,2010,31(18):1-5.
- [3] ZHANG T Y, CHEN H K, ZHANG C R. Polymorphic microsatellite markers for *Allium mongolicum* Regel (Amaryllidaceae)[J]. Genes Genetic Systems, 2014, 89(3):133-136.
- [4] 蒋涛,敖长金.沙葱的研究进展[J].现代农业科技,2008(9):10-11.
- [5] 周自政,陶永红,马祥元,等.野生沙葱露地种子直播驯化栽培技术[J].中国瓜菜,2018,31(11):68-69.
- [6] 胡家虎.中国葱的历史源流及其文化研究[D].新疆阿拉尔:塔里木大学,2023.
- [7] 严子柱,刘有军,姚泽,等.甘肃沙葱产业化发展历程、现状及展望[J].甘肃林业科技,2023,48(4):64-67.
- [8] 严子柱,姚泽,马全林,等.一种沙葱强制休眠的反季节栽培方法:CN 114946573A[P].2022-08-30.
- [9] 陆家木,徐世卿,刘同伟,等.“小沙葱”成为农民致富“大产业”:甘肃省民勤县八一村“党建+产业”共建模式纪实[J].农产品市场,2023(12):16-19.
- [10] 民勤融媒.民勤:从“戈壁野菜”到“十万元棚”温室沙葱唱响丰收曲[EB/OL].(2025-10-29)[2025-10-31].<https://news.qq.com/rain/a/20251029A02DYU00>.
- [11] 张凤兰,王佳琪,杨忠仁,等.沙葱新品种沙珍 SC-2 号及其栽培技术[J].中国蔬菜,2021(3):120-122.
- [12] 曹世英.干燥方法对沙葱干燥和品质特性的影响研究[D].内蒙古包头:内蒙古科技大学,2023.
- [13] 李银科,刘世增,贺访印,等.土壤类型对沙葱幼苗出土和生长的影响[J].中国农业科技导报,2009,11(1):108-112.
- [14] 何金芬,段振伟.沙葱日光温室生产技术[J].农业技术与装备,2021(5):159-160.
- [15] 严子柱,刘世增,李爱德,等.野生蔬菜资源:沙葱的开发价值初探[J].甘肃林业科技,2006(1):8-11.
- [16] 张凤兰,杨忠仁,郝丽珍,等.5 种野生蔬菜叶片营养成分分析[J].华北农学报,2009,24(2):164-169.
- [17] 王海燕,聂淑慧,胡贻椿,等.维生素 K 的功能、吸收与代谢研究进展[J].营养学报,2025,47(1):92-98.
- [18] 斯琴巴特尔,刘新民.蒙古韭的营养成分及民族植物学[J].中国草地,2002(3):53-55.
- [19] 张巧娥,敖长金.沙葱提取物中营养成分的分析[J].畜牧与兽医,2008(5):53-54.
- [20] 刘世巍,赵堂,杨敏丽.GC-MS 分析沙葱挥发油的化学成分[J].华西药学杂志,2007(3):313-314.
- [21] 王俊魁,杨帆,包斌.顶空固相微萃取结合气质联用分析沙葱

- [21] 中挥发性成分[J].食品工业科技,2012,33(24):171-173.
- [22] 张君萍.沙葱籽油和多糖的提取及其降血脂作用[D].南京:南京农业大学,2011.
- [23] 萨茹丽,木其尔,王翠芳,等.沙葱不同部位提取物总黄酮含量及其体外抗氧化、抗菌活性研究[J].食品工业科技,2014,35(22):124-127.
- [24] 赵丽芬,王青青,奥宁,等.不同韭菜品种营养品质评价分析[J].中国蔬菜,2024(6):81-88.
- [25] 王俊魁,杨帆,赵丽华,等.沙葱与韭菜中营养成分分析比较[J].营养学报,2013,35(1):86-88.
- [26] 刘华,张晓娟,杨燕燕,等.韭菜和韭黄总黄酮的提取及抗氧化活性研究[J].粮食与油脂,2017,30(5):33-37.
- [27] 徐佳宁,郭守鹏,董贝,等.不同韭菜品种营养品质和产量的比较分析[J].山东农业科学,2020,52(9):58-61.
- [28] 贺访印,刘世增,严子柱,等.野生沙葱的资源分布与保护利用[J].中国野生植物资源,2007(2):14-17.
- [29] 文静,郝丽珍,杨忠仁,等.沙葱休眠种子萌发对3种化学处理的应答反应[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2010,31(4):64-68.
- [30] 严子柱.沙葱生态生理特性及驯化栽培技术研究[D].兰州:甘肃农业大学,2006.
- [31] 杨忠仁.沙葱种子生物学特性研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
- [32] 燕玲,宛涛,乌云.蒙古高原葱属植物种皮微形态研究[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2000,21(1):91-95.
- [33] 杨忠仁,郝丽珍,张凤兰,等.沙葱种子的萌发特性和几种贮藏物质含量的变化[J].植物生理学通讯,2007,43(1):173-175.
- [34] 唐式敏.蒙古韭主要生物学特性及生理基础的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.
- [35] 庞杰,郝丽珍,杨忠仁,等.不同水势下沙葱种子的萌发特性研究[C]//中国园艺学会2012年学术年会论文摘要集,2012.
- [36] 许耀照,吕彪,王勤礼,等.沙葱种子发芽特性研究[J].北方园艺,2014(6):4-7.
- [37] 韩玉静.野生蒙古韭种子活力及萌发特性研究[J].当代畜牧,2015(24):80-82.
- [38] 鄂圆圆.光照对沙葱种子萌发特性及生理基础影响的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [39] 郭霏,鄂圆圆,杨忠仁,等.光照对沙葱种子萌发及抗氧化代谢的影响[J].种子,2017,36(8):28-31.
- [40] 魏鹏超,鄂圆圆,张东,等.光照处理下不同温度对沙葱种子萌发和生理指标的影响[J].安徽农业科学,2024,52(3):31-34.
- [41] 文静.贮藏条件和化学处理对沙葱种子萌发的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [42] 赵金花,李青丰,巴德玛嘎力布.内蒙古3种野生葱属植物种子吸水与萌发特性研究[J].种子,2011,30(9):95-98.
- [43] 杨忠仁,郭霏,张东,等.不同贮藏年限沙葱种子萌发及呼吸生理的变化[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(11):91-96.
- [44] 宋晓青.基于蛋白质组学解析加速老化对沙葱种子活力的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2022.
- [45] 赵金花.三种野生葱属植物的生态适应性及繁衍更新特性研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [46] 王晓娟,张凤兰,杨忠仁,等.沙葱种子休眠原因初探[C]//沈阳:中国园艺学会2010年学术年会,2010.
- [47] 王晓娟.沙葱胚胎学及种子休眠机理的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.
- [48] 斯琴托娅.四种葱类植物生长发育的观测研究[J].内蒙古草地,2010,22(4):54-59.
- [49] 张晓艳,张东,宋晓青,等.4种植物生长调节剂对沙葱种子萌发特性的影响[J].种子,2023,42(10):105-110.
- [50] 王成,徐宗才.沙葱种子特性及植物生长调节剂对其萌发的影响[J].青海大学学报,2019,37(6):41-46.
- [51] 王佳琪,杨忠仁,张凤兰,等.不同稀土元素处理对沙葱种子活力及生理生化特性的影响[J].北方园艺,2021(20):11-17.
- [52] 杨忠仁.不同处理对沙葱种子活力及寿命生理生化基础的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [53] 宋煜静.La³⁺与Ca²⁺对不同贮藏年限沙葱种子萌发及抗氧化系统的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [54] 马全林,刘世增,严子柱,等.沙葱的抗旱性特征[J].草业科学,2008(6):56-61.
- [55] 魏鹏超.干旱处理对沙葱种子萌发过程中糖代谢调控机制的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2023.
- [56] 王国泽,高宁,崔秀琦,等.内蒙古地区沙生野生蔬菜沙葱耐旱生理特性研究[J].北方园艺,2015(3):16-19.
- [57] 赵映雪,张凤兰,郝丽珍,等.NaCl胁迫对沙葱苗期根系特征及无机离子含量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(3):115-121.
- [58] 苗春乐,郝丽珍,王萍,等.NaCl胁迫对沙葱种子生活力及抗氧化酶活性的影响[J].华北农学报,2008,23(4):172-175.
- [59] 赵映雪.NaCl胁迫对沙葱幼苗根和叶片生理生化基础的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.
- [60] 曹镇宇,魏鹏超,杨忠仁,等.复合盐碱胁迫对沙葱种子萌发的影响[J].种子,2024,43(4):104-110.
- [61] 严子柱,满多清,李得禄.沙葱(*Allium mongolicum*)解剖结构与抗旱性[J].中国沙漠,2015,35(4):890-894.
- [62] ABRAHAM B. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production[J]. Plant, Cell and Environment, 2017, 40(1):4-10.
- [63] ALVAREZ M E, ARNOULD S, LÁSZLÓ S. Proline metabolism as regulatory hub[J]. Trends in Plant Science, 2021, 27(1): 39-55.
- [64] 魏鹏超,曹镇宇,张晓艳,等.干旱胁迫下沙葱种子转录组学分析[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2025,46(6):41-48.
- [65] 路莹.外源NO对NaCl及PEG胁迫下沙葱种子萌发及生理特性的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.
- [66] 王萍,路莹,刘杰才,等.外源NO浸种对NaCl胁迫下沙葱(*Allium mongolicum* Regel.)种子萌发的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2013,34(3):15-19.
- [67] 刘旺景,李书仪,唐德富,等.日粮添加沙葱及其提取物对羊肉膻味脂肪酸沉积及贮藏肉品质的影响[J].食品科学,2022,43(11):49-56.
- [68] 于爱缓,王雨珊,高会霞,等.日粮添加沙葱对牛肉冷藏保鲜品质及脂肪酸谱的影响[J].食品科学,2025,46(12):278-286.
- [69] 严子柱,马全林,姚泽,等.特色蔬菜沙葱研究现状分析[J].甘肃林业科技,2023,48(3):52-56.
- [70] 王媛媛,杨美青.蒙古韭叶绿体基因组密码子使用偏好性分析[J].分子植物育种,2021,19(4):1084-1092.
- [71] 王宏霞,李文麒.蒙古韭叶绿体微卫星特征分析[J].北方园艺,2023(3):1-7.
- [72] 王立科,杨平,张边江,等.实时荧光定量PCR分析蒙古韭低温诱导叶片中内参基因的选择[J].基因组学与应用生物学,2020,39(1):195-199.