

崔晓霞, 马 倩, 刘学勤, 等. 壳寡糖对 PEG 胁迫下大豆种子萌发及幼苗生理指标的影响[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(1): 46–51.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.01.007

壳寡糖对 PEG 胁迫下大豆种子萌发 及幼苗生理指标的影响

崔晓霞, 马 倩, 刘学勤, 殷从飞, 王海荣, 赵艳岭
(江苏农林职业技术学院农学院园艺学院, 江苏镇江 212400)

摘要:以大豆品种 Williams 82 为试验材料, 在 10% 聚乙二醇(PEG)模拟干旱胁迫下, 分析不同浓度壳寡糖(COS)溶液(5、25、50、100、200 mg/L)在进行浸种和灌根处理后, 对大豆种子的萌发以及幼苗生理指标的影响, 探寻缓解大豆干旱胁迫的最适 COS 浓度。结果显示, 10% PEG 模拟干旱胁迫下, 大豆种子的发芽势、发芽率、种子胚芽长以及幼苗根长较对照明显降低, 幼苗叶片中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)的活性也受到严重抑制, 游离脯氨酸和丙二醛含量则明显升高。而外源施加较低浓度的 COS 处理后, 可有效促进大豆种子的萌发和幼苗的生长, 提高叶片中抗氧化酶 SOD、POD、CAT 和 APX 的活性, 并降低游离脯氨酸、丙二醛含量。结果表明, 100 mg/L 的外源 COS 溶液可最有效地减轻 PEG 胁迫对种子萌发和幼苗生长的抑制, 降低大豆幼苗叶片氧化损伤, 提高大豆的抗旱能力。

关键词:大豆; 壳寡糖; PEG 胁迫; 种子萌发; 幼苗生理指标

中图分类号:S565.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)01-0046-05

大豆[*Glycine max* (L.) Merr]原产自中国, 其栽培历史已有 5 000 年之久, 是全球重要的粮油作物, 且蛋白质含量丰富, 是植物界的“蛋白之王”^[1-2]。随着近年来我国经济的快速发展, 对大豆的需求量急剧增加^[3-4], 我国只能依靠大量进口才能满足需求, 对外依存度高。《“十四五”全国种植业发展规划》提出, 到 2025 年, 要力争大豆产量达到 2 300 万 t, 推动提升大豆自给率。

干旱胁迫是影响植物正常生长发育并导致作物产量下降的主要因素之一^[5]。干旱胁迫会导致植物组织严重失水, 干扰其正常的生理活动^[6]。大豆是对缺水比较敏感的一类豆科植物, 抗旱能力相对较弱, 其各个生育期都有可能受到干旱胁迫的影响, 对其产量的影响可高达 40%^[7-8]。在干旱胁迫下, 大豆的形态性状及许多生理生化指标都会相应的发生改变, 已有研究表明, 大豆种子萌发率、游离脯氨酸含量、膜脂过氧化作用和抗氧化酶活性等指标的变化都与干旱胁迫相关^[9-12]。因此, 进行大豆抗旱生理生化方面的研究, 对大豆抗旱育种具有

十分重要的意义。

壳寡糖(chitosan oligosaccharide, COS)是 2~10 个聚合度的寡聚氨基葡萄糖, 因其水溶性好、生物活性高等特点, 近年来在农业生产、食品工业、生物工程等领域被广泛应用^[13-16]。在农业生产中, COS 在作物应对非生物胁迫、生物胁迫以及促进植物生长发育等方面都具有重要的调节功能^[17-20]。已有研究表明, 干旱胁迫下喷施壳寡糖能有效提高小麦、水稻、花生、油菜等作物的生理活性和抗旱能力^[21-24]。罗晓峰等的研究表明, COS 拌种可提高大豆的田间出苗率, 叶面喷施能提高大豆的株高与茎粗, 提高大豆产量^[25]。Costales 等研究发现, 在叶面施用 COS 可以促进大豆植株的生长和结瘤^[26]。Tang 等的研究表明, COS 能强烈诱导豆芽中维生素 C、酚类和黄酮类物质的积累^[27]。但目前有关外源施加 COS 溶液缓解大豆干旱胁迫生理机制的研究相对较少, 因此笔者研究了在聚乙二醇(PEG)模拟干旱条件下 COS 对大豆萌发及幼苗期生理生化指标的影响, 以此揭示 COS 对大豆干旱胁迫的缓解机制, 以为大豆抗旱育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试大豆品种为 Williams 82。壳寡糖购自上海

收稿日期: 2024-02-28

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 32301776); 江苏农林职业技术学院院级科技项目(编号: 2020kj007)。

作者简介: 崔晓霞(1989—), 女, 甘肃定西人, 博士, 讲师, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: cuixiaoxia7@163.com。

源叶生物科技有限公司。

1.2 试验设计

试验于 2022 年 9 月在江苏农林职业技术学院农学院园艺学院科研温室中开展。设置 7 个处理,处理组合如下:(1)CK:种子萌发试验用蒸馏水处理,幼苗生长试验用霍格兰氏(Hoagland)营养液灌根处理;(2)DC0:10% PEG + 0 mg/L COS;(3)DC5:10% PEG + 5 mg/L COS;(4)DC25:10% PEG + 25 mg/L COS;(5)DC50:10% PEG + 50 mg/L COS;(6)DC100:10% PEG + 100 mg/L COS;(7)DC200:10% PEG + 200 mg/L COS。

1.2.1 种子萌发试验 挑选颗粒饱满、种皮无病斑、大小一致的大豆种子,经 10% NaClO 溶液消毒 20 min,用灭菌蒸馏水冲洗若干次,将大豆种子放置于铺有双层滤纸、150 mm 直径的培养皿上,PEG 胁迫下用不同浓度的 COS 溶液进行处理(7 个处理),每组 50 粒种子,重复 3 次。萌发试验在 25 ℃ 的人工气候箱中进行,定期补充处理溶液,2 d 后测定大豆种子的发芽势,7 d 后测定种子的发芽率并测量胚芽长度。

1.2.2 幼苗生长试验 大豆种子经过挑选后播种于配制好的基质中。先用蒸馏水浇灌至发芽后大致 1 cm 的高度,然后用 Hoagland 营养液浇灌至第 1 对真叶完全展开,最后在 PEG 胁迫下用不同浓度梯度的 COS 溶液进行处理(7 个处理)。每个处理 50 株大豆幼苗,重复 3 次。每天定时用 10% PEG 和不同浓度的 COS 溶液进行灌根处理 7 d,让溶液充分均匀地灌入根部(每个处理都是配制含有 10% PEG 的营养液进行灌根处理)。

1.3 测定项目和方法

胚芽长度:大豆种子萌发 7 d 后用直尺测量。根长:PEG 胁迫下,不同浓度 COS 溶液灌根处理 7 d 后,每组处理随机抽取 20 株幼苗用直尺测量根长。采收经处理后的适量大豆叶片,置于液氮中速冻,进行酶活性等相关指标的测定,或暂时保存于超低温冰箱中备用。

大豆幼苗用 10% PEG 和不同浓度的 COS 溶液进行灌根处理 7 d 后,取其叶片进行活性氧代谢相关酶的活性及游离脯氨酸和丙二醛含量的测定。超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法;过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用氧电极法;抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的测

定采用紫外吸收法;脯氨酸和丙二醛含量的测定分别采用茚三酮法和硫代巴比妥酸法。以上方法均参考李小方等的《植物生理学实验指导》^[28]。

1.4 数据处理

利用 Excel 2010 及 SPSS 25.0 进行数据分析和差异显著性检验并作图。

发芽势和发芽率计算公式如下:

发芽势 = (2 d 内发芽的种子数/试验大豆种子总数) × 100% ;

发芽率 = (7 d 内发芽的种子数/试验大豆种子总数) × 100% 。

2 结果与分析

2.1 COS 对 PEG 胁迫下大豆种子萌发的影响

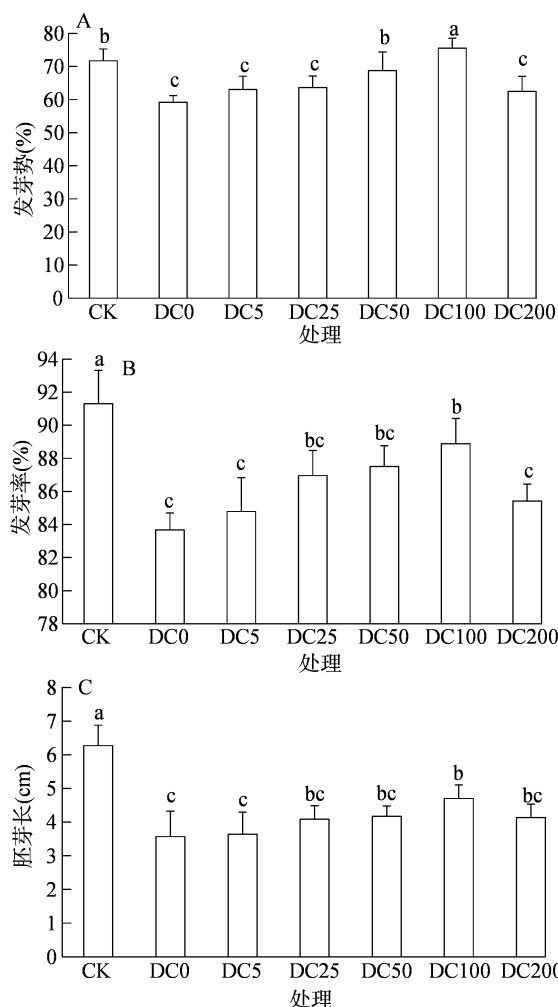
由图 1 可知,相比于 CK,10% PEG 模拟干旱处理后大豆种子的发芽势、发芽率和胚芽长分别降低了 17.50%、8.36% 和 43.09%,表明其萌发受到了不同程度的抑制。添加不同浓度的 COS 溶液(5、25、50、100、200 mg/L)处理后,大豆种子的发芽势、发芽率和胚芽长均明显提高,浓度 100 mg/L 的外源 COS 处理后增幅最大、效果最明显,种子的发芽势、发芽率和胚芽长较 DC0 处理分别提高了 27.66%、6.23% 和 31.70%。但是 COS 浓度过高时(200 mg/L),对大豆种子萌发的促进作用不显著。

2.2 COS 对 PEG 胁迫下大豆幼苗根长的影响

由图 2 可知,在 10% PEG 胁迫下,大豆幼苗根的伸长受到了显著的抑制,与 CK 相比,根长降低了 25.28%。不同浓度的 COS 进行灌根处理后,PEG 胁迫下的大豆根长随 COS 浓度的增加呈先升高再降低的趋势,而且 100 mg/L 的外源 COS 处理后增幅最明显,相较于 DC0 处理增加了 30.60%,缓解 PEG 胁迫对大豆幼苗根长的抑制效果最显著。

2.3 COS 对 PEG 胁迫下大豆幼苗游离脯氨酸和丙二醛含量的影响

植物体内的脯氨酸作为一种重要的渗透调节物质,参与植物的抗逆反应^[29]。丙二醛含量的多少则可以反映细胞膜脂过氧化作用的强弱^[30]。如图 3 所示,较低浓度的外源 COS(小于 100 mg/L)可降低 PEG 胁迫下(DC0)大豆叶片组织中脯氨酸和丙二醛的含量。外源 COS 浓度为 100 mg/L 时,游离脯氨酸和丙二醛含量相对于 DC0 处理,分别减少了 38.07% 和 25.31%,而 200 mg/L 的 COS 处理使得



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下图同
图1 不同浓度 COS 溶液对 PEG 胁迫下大豆种子萌发的影响

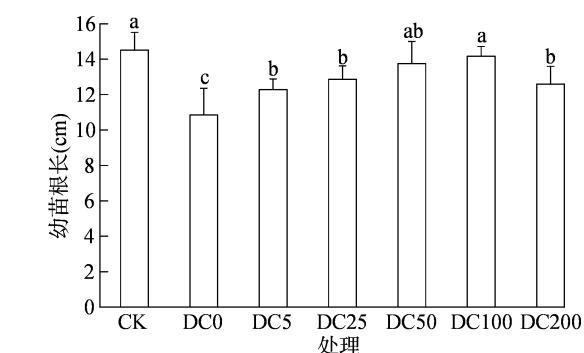
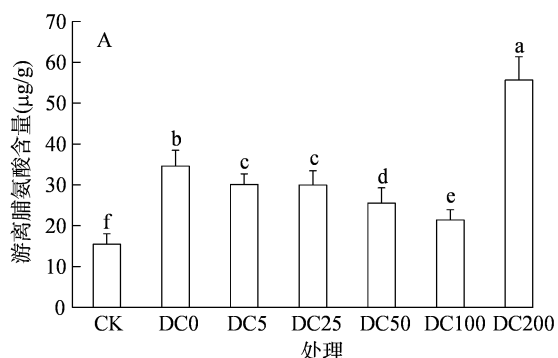


图2 不同浓度 COS 溶液对 PEG 胁迫下大豆幼苗根长的影响

丙二醛和游离脯氨酸的含量相比于 100 mg/L 的 COS 处理又显著升高。结果表明,在 PEG 胁迫下(DC0),大豆体内的游离脯氨酸和丙二醛相比于 CK 会大量累积;适宜浓度的 COS 溶液处理后,游离脯氨酸和丙二醛的累积量相较于 DC0 会有不同程度地降低;当 COS 浓度过高时(200 mg/L),脯氨酸和丙二醛的累积量反而升高,对植物的生长产生不利影响。

2.4 COS 对 PEG 胁迫下大豆幼苗叶片抗氧化酶系统的影响

在干旱胁迫下,植物体内的活性氧会大量积累,为了避免过量的活性氧带来的伤害,植物会通过提高 SOD、POD、CAT、APX 等抗氧化酶的活性来清除活性氧^[31]。由图 4 可知,CK 的 SOD、POD、CAT 和 APX 活性明显高于其他处理;相比于 CK, COS 浓度 0 mg/L 处理后大豆幼苗叶片中 SOD、POD、CAT、

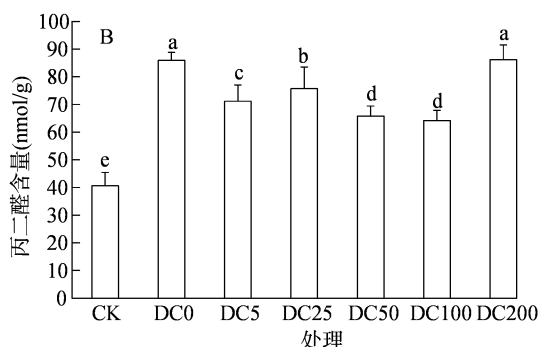


图3 不同浓度 COS 溶液对 PEG 胁迫下大豆幼苗叶片中游离脯氨酸和丙二醛含量的影响

APX 的活性分别降低了 46.88%、43.31%、37.86%、36.99%。除 CK 外,4 种酶活性随着 COS 不同浓度整体呈现先增强后减弱的趋势。100 mg/L 的 COS 处理后 SOD、POD、CAT、APX 的酶活相对于 0 mg/L 的处理分别增加了 84.65%、69.51%、46.44%、53.76%,200 mg/L 的 COS 处理显著降低了各个酶的活性。结果表明,较低浓度的外源 COS

处理可以极大提高抗氧化酶的活性,从而缓解 PEG 胁迫对大豆幼苗造成的生理损伤;浓度过高时(200 mg/L)则表现出抑制酶活性的作用,不利于植物生长。

3 讨论与结论

干旱胁迫是影响植物正常生长发育的重要因

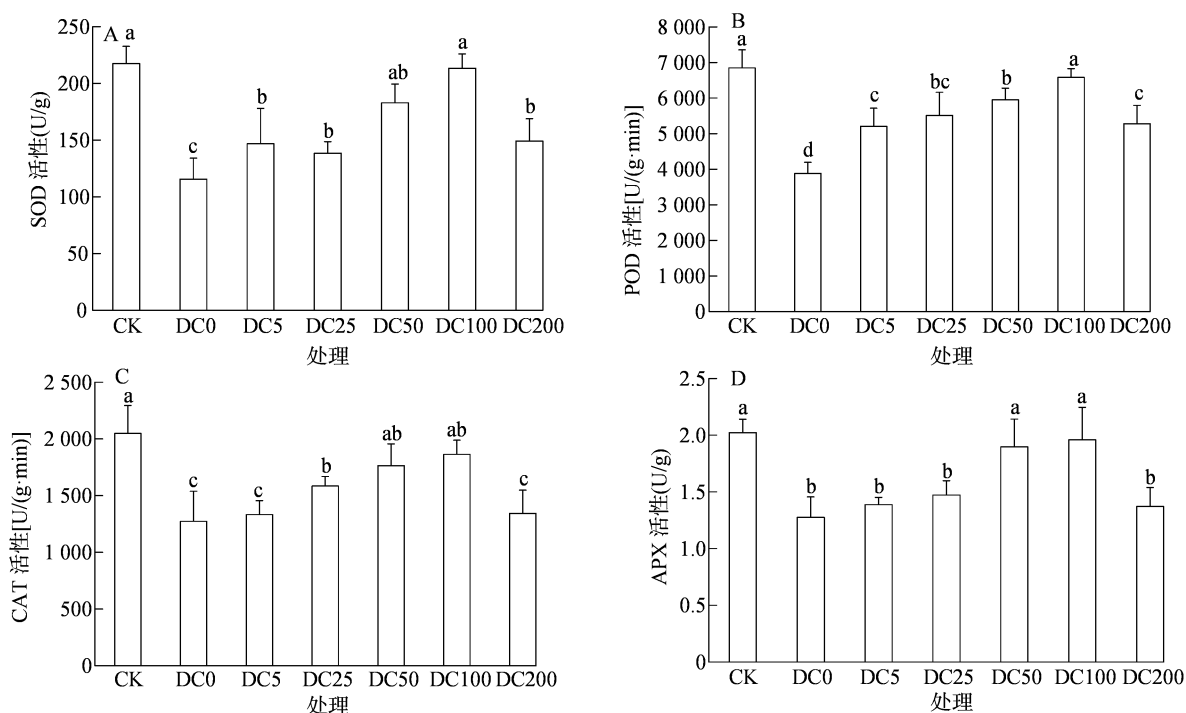


图4 不同浓度 COS 溶液对 PEG 胁迫下大豆幼苗叶片中 SOD、POD、CAT、APX 活性的影响

素之一,大豆是我国重要的农作物,因此研究如何提高大豆抵御干旱胁迫的能力至关重要。本研究通过分析 PEG 模拟干旱条件下不同浓度壳寡糖溶液对大豆种子萌发及幼苗生理的影响,初步解析大豆抗旱的生理机制,为大豆抗旱分子育种奠定基础。干旱胁迫下,作物种子内蛋白质、脂类和碳水化合物代谢活动会明显减弱,从而影响种子的萌发率、胚芽的伸长等生理活动^[9,32-33]。本研究结果表明,在 PEG 胁迫下大豆种子的发芽势、发芽率、种子胚芽长以及幼苗根长都明显受到抑制,外源施加不同浓度的 COS 溶液处理后,大豆种子的发芽势、发芽率、胚芽长和幼苗根长均明显提高,且 100 mg/L 的外源 COS 处理后效果最明显。

植物在干旱条件下会使得活性氧过度积累,从而加剧膜脂过氧化反应,丙二醛含量相应增多,过量累积的丙二醛会引起植物膜系统受损,从而对植物的正常生长产生不利影响^[34-35]。因此,丙二醛含量是反映植物细胞受氧化损伤程度的一个指标^[36]。本研究中,PEG 胁迫下(DC0)大豆幼苗叶片中的丙二醛含量相比对照增加了 111.55%,而外源施加适宜浓度的 COS 处理后,丙二醛的含量相较于 DC0 有不同程度地降低,以 COS 浓度为 100 mg/L 的效果最显著。

脯氨酸在植物组织中的积累量与其抗逆性有

关。在逆境中,植物细胞脯氨酸含量的增加,可降低其渗透势,从而保证植物各种生理生化活动的顺利进行^[37]。本研究发现在 PEG 胁迫下(DC0),大豆幼苗叶片中的游离脯氨酸的含量显著增加,5、25、50、100 mg/L 的外源 COS 处理可降低 PEG 胁迫下大豆植株叶片中的脯氨酸含量,说明适宜浓度的壳寡糖缓解了干旱对大豆幼苗的伤害。

在干旱胁迫下,植物体内的活性氧含量会急剧增加,而此时植物自身的活性氧清除系统开始工作,SOD、POD、CAT 和 APX 等抗氧化酶活性增加。已有研究表明,COS 处理可提高绿豆、玉米、番茄等作物在干旱胁迫下抗氧化酶的活性^[38-40]。本研究表明,适宜浓度的外源 COS 处理可极大提高大豆幼苗中 SOD、POD、CAT 和 APX 4 种抗氧化酶的活性,从而缓解干旱对细胞膜系统的损伤,提高大豆植株的抗旱能力。

综上所述,在 10% PEG 模拟干旱胁迫下,适宜浓度的外源 COS 溶液处理可促进大豆种子的萌发和幼苗生长,增加抗氧化酶 SOD、POD、CAT 和 APX 的活性,降低叶片细胞内丙二醛和游离脯氨酸的含量,且浓度为 100 mg/L 的 COS 溶液处理后效果最显著,缓解 10% PEG 胁迫对种子萌发和幼苗生长的抑制效果最明显,在一定程度上提高了大豆的抗旱性。

参考文献:

- [1] Kim S L, Berhow M A, Kim J T, et al. Evaluation of soyasaponin, isoflavone, protein, lipid, and free sugar accumulation in developing soybean seeds [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(26): 10003–10010.
- [2] Sakthivelu G, Akitha Devi M K, Giridhar P, et al. Isoflavone composition, phenol content, and antioxidant activity of soybean seeds from India and Bulgaria [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(6): 2090–2095.
- [3] 栾立明, 郭庆海. 中国大豆产业国际竞争力现状与提升途径 [J]. *农业经济问题*, 2010, 31(2): 99–103.
- [4] 何秀荣, 孙宾成, 杨树果, 等. 大豆目标价格政策执行中的主要问题和政策建议 [J]. *大豆科技*, 2015(5): 1–5, 55.
- [5] Kaya M D, Okçu G, Atak M, et al. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 24(4): 291–295.
- [6] 王兴荣, 刘章雄, 张彦军, 等. 大豆种质资源不同生育时期抗旱性鉴定评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2021, 22(6): 1582–1594.
- [7] 李盛有, 孙旭刚, 王昌陵, 等. 不同嫁接方式下大豆对干旱胁迫的响应 [J]. *中国油料作物学报*, 2020, 42(4): 632–639.
- [8] Le D T, Nishiyama R, Watanabe Y, et al. Differential gene expression in soybean leaf tissues at late developmental stages under drought stress revealed by genome-wide transcriptome analysis [J]. *PLoS One*, 2012, 7(11): e49522.
- [9] 杜艳丽, 张兆宁, 李思琪, 等. 黑龙江地区主栽大豆品种萌发期耐旱性综合鉴定及评价 [J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2022, 34(4): 1–8, 22.
- [10] 郑世英, 郑晓彤, 耿建芬, 等. 硅对干旱胁迫下野生大豆幼苗生长和生理特性的影响 [J]. *大豆科学*, 2018, 37(2): 263–267.
- [11] 赵振宇, 赵宝懿. 不同大豆品种在萌发期对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价 [J]. *干旱地区农业研究*, 2018, 36(2): 131–136.
- [12] 张 靓, 刘添祎, 冀采凤, 等. 大豆 E_3 连接酶基因 *GmPLR-2* 的克隆及抗旱功能鉴定 [J]. *中国油料作物学报*, 2020, 42(5): 835–842.
- [13] Xie P D, Yang Y Y, Gong D, et al. Chito oligosaccharide maintained cell membrane integrity by regulating reactive oxygen species homeostasis at wounds of potato tubers during healing [J]. *Antioxidants*, 2022, 11(9): 1791.
- [14] 狄文伟. 壳寡糖在蔬菜生产上的应用 [J]. *北方园艺*, 2016(8): 54–55.
- [15] Mohammadi Z. Chitosan and chitosan oligosaccharides: applications in medicine, agriculture and biotechnology [J]. *International Journal of Bioorganic Chemistry*, 2017, 2(3): 102–106.
- [16] Naveed M, Phil L, Sohail M, et al. Chitosan oligosaccharide (COS): an overview [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 129: 827–843.
- [17] 邹 平. 特定乙酰度壳寡糖诱导小麦抗盐作用及其机理研究 [D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2015: 81–82.
- [18] 刘俊杰, 贾晓晨, 张春光, 等. 多组学技术揭示寡糖诱导植物免疫预警机制 [C]//2020 年糖科学青年科技论坛摘要集. 北京: 中国化学会, 2020: 31.
- [19] 骆训光. 壳寡糖防控马铃薯晚疫病的机制与应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2022: 29–30.
- [20] 王小蒙, 梁富忠, 叶坤国. 海藻精和壳寡糖对水稻种发芽及幼苗生长的影响 [J]. *中国农技推广*, 2022, 38(3): 84–87.
- [21] 赵肖琼, 梁泰帅, 张恒慧. 壳寡糖对 PEG 胁迫下小麦种子萌发、幼苗生长及渗透调节物质的影响 [J]. *种子*, 2020, 39(2): 91–95.
- [22] 尹雅洁, 张宗杰, 夏 险, 等. 壳寡糖对水稻幼苗生长及抗逆性影响 [J]. *生物学杂志*, 2021, 38(1): 77–80.
- [23] 孙君艳, 李淑梅, 全胜利. 干旱胁迫下壳寡糖对花生幼苗叶片光合特性及保护酶的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(6): 98–100.
- [24] 李 艳, 曾秀娥, 李洪艳, 等. 壳寡糖对干旱胁迫下油菜叶片生理指标的影响 [J]. *生态学杂志*, 2012, 31(12): 3080–3085.
- [25] 罗晓峰, 代宇佳, 宋 艳, 等. 三种植物生长调节剂对大豆生长发育及产量的影响 [J]. *核农学报*, 2021, 35(4): 980–988.
- [26] Costales D, Falcón A B, Nápoles M C, et al. Effect of chitosan oligosaccharides in nodulation and growth *in vitro* of inoculated soybean [J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2016, 7(9): 1380–1391.
- [27] Tang W Z, Lei X T, Liu X Q, et al. Nutritional improvement of bean sprouts by using chito oligosaccharide as an elicitor in germination of soybean (*Glycine max* L.) [J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(16): 7695.
- [28] 李小方, 张志良. 植物生理学实验指导 [M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2016: 86–88, 193, 203, 211.
- [29] Singh T N, Aspinall D, Paleg L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: a potential metabolic measure of drought resistance [J]. *Nature New Biology*, 1972, 236(67): 188–190.
- [30] 严美玲, 李向东, 林英杰, 等. 苗期干旱胁迫对不同抗旱花生品种生理特性、产量和品质的影响 [J]. *作物学报*, 2007, 33(1): 113–119.
- [31] Gill S S, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2010, 48(12): 909–930.
- [32] 喻泽莉, 何 平, 张春平, 等. 干旱胁迫对决明种子萌发及幼苗生理特性的影响 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2012, 34(2): 39–44.
- [33] 王 鹏, 侯思宇, 温宏伟, 等. 干旱胁迫对滞绿大豆种子萌发的影响及芽期抗旱性评价 [J]. *大豆科学*, 2021, 40(1): 68–74.
- [34] 尚宏芹, 刘兴坦. 表油菜素内酯对汞胁迫下小麦幼苗抗氧化系统的影响 [J]. *核农学报*, 2016, 30(11): 2258–2264.
- [35] Gomes F P, Oliva M A, Mielke M S, et al. Osmotic adjustment, proline accumulation and cell membrane stability in leaves of *Cocos nucifera* submitted to drought stress [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 126(3): 379–384.
- [36] Yousfi N, Slama I, Ghnaya T, et al. Effects of water deficit stress on

李大明,胡志华,胡丹丹,等. 养分专家系统推荐施肥对江西早籼-晚粳模式水稻养分吸收利用的影响[J]. 江苏农业科学,2025,53(1):51-58.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.01.008

养分专家系统推荐施肥对江西早籼-晚粳模式水稻养分吸收利用的影响

李大明¹, 胡志华^{1,2}, 胡丹丹¹, 徐小林¹, 宋惠洁¹, 柳开楼¹, 吴艳¹, 吴成或³, 余喜初¹

(1. 江西省红壤及种质资源研究所/国家红壤改良工程技术研究中心,江西南昌 330029;

2. 江西农业大学国土资源与环境学院,江西南昌 330045; 3. 江西省农业技术推广中心,江西南昌 330046)

摘要:为了研究现有养分专家推荐施肥系统(NE)推荐的施肥量对早籼晚粳模式下水稻产量、养分吸收的特征,获取符合早籼-晚粳模式养分需求特点的推荐施肥参数,借助田间试验,采用裂区处理设计。主处理为品种种植模式处理,分别为早籼晚粳、早籼晚粳;副处理为施肥处理,设农民习惯施肥(FP)、养分专家推荐施肥(NE)、养分专家推荐施肥不施氮肥(NE-N)、养分专家推荐施肥不施磷肥(NE-P)、养分专家推荐施肥不施钾肥(NE-K)、不施肥(NF)等处理。连续测定2年4季水稻产量、植株养分吸收量,综合分析肥料产量反应和利用效率。结果显示,与农民习惯施肥相比,使用NE推荐施肥模式能够显著提高双季稻产量($P < 0.05$),早、晚稻产量分别增加了6.14%~9.43%、9.58%~14.69%。与早籼晚粳模式相比,早籼晚粳处理的双季稻产量显著增加($P < 0.05$)。早籼晚粳模式下,NE处理双季稻总产量较FP处理增幅为15.10%~19.71%。NE推荐施肥模式能够显著促进水稻对氮、磷、钾等养分的吸收与利用,与FP处理相比,NE处理的早、晚稻植株对氮、磷、钾的吸收量分别增加了15.49%~24.71%、10.18%~15.51%、6.21%~7.94%和13.16%~29.92%、9.45%~23.37%、11.89%~24.42%。NE推荐施肥模式显著提高了双季稻的肥料偏生产力,氮肥偏生产力、磷肥偏生产力与农民习惯施肥相比分别增加了20.25%~47.79%、33.04%~169.96%。与早籼晚粳模式相比,在早籼晚粳模式下,晚稻季氮、磷、钾肥偏生产力分别提高了19.88%~34.04%、9.28%~17.01%、11.37%~15.98%,氮、磷、钾肥农学利用率分别增加16.13%~47.33%、35.17%~64.43%、52.68%~163.92%。养分专家推荐施肥模式可显著提高双季稻产量、养分吸收量与肥料利用率;与传统双季稻模式相比,早籼晚粳模式在提高双季稻的产量、晚稻养分吸收与肥料利用率等方面的作用更明显。

关键词:养分专家推荐施肥;早籼晚粳;早籼晚粳;养分吸收

中图分类号:S511.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)01-0051-08

水稻(*Oryza sativa* L.)是我国重要的粮食作物,常年种植面积达3 000万 hm^2 左右,提高水稻产量

对于保障国家粮食安全至关重要^[1-2]。随着我国经济的发展,人们对稻米品质的要求日益提升,优质稻米缺口日益扩大。与籼稻相比,粳稻能够更充分高效地利用光温资源,且粳稻有产量高、米质优、效益好、综合生产力高等优势^[3]。近年来,为了增加优质稻米产量,降低粳稻供应缺口,江西省晚粳改粳模式面积逐年扩大,这对提高水稻产量、改善稻米品质与优化稻米供给结构具有重要意义。同时,针对江西粳稻种植限制因子与适宜种植区、适宜品种筛选、合理栽培模式等问题,研究者已开展了一

收稿日期:2024-01-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:42167049);江西省重点研发计划(编号:20181ACH80007、20203BBFL63064);江西省水稻产业技术体系质量安全与环境控制岗项目(编号:JXARS-02-06)。

作者简介:李大明(1984—),男,江苏宿迁人,博士,研究员,主要从事水稻施肥与稻田环境控制方向研究。E-mail:lid_2005@126.com。

通信作者:余喜初,硕士,研究员,主要从事水稻栽培与养分管理方面的研究。E-mail:yxchu@163.com。

growth, water relations and osmolyte accumulation in *Medicago truncatula* and *M. laciniata* populations [J]. *Comptes Rendus Biologies*, 2010, 333(3): 205-213.

[37] 赵燕吴,曹跃芬,孙威怡,等. 小麦抗旱研究进展[J]. 植物生理学报, 2016, 52(12): 1795-1803.

[38] 徐溶蔓,侯典云,李春霞,等. 外源壳寡糖喷施对干旱胁迫下科

大绿2号幼苗生理特性及产量的影响[J]. 现代园艺, 2023, 46(23): 1-6.

[39] 徐婷. 干旱胁迫下玉米幼苗对外源壳寡糖处理的生理响应[J]. 安徽农学通报, 2022, 28(3): 24-27.

[40] 赵小湾,宋明璇,刘金华,等. 干旱胁迫下壳寡糖对番茄幼苗生理指标的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2023(1): 163-168.