



侯晓敏, 闫锋, 董扬, 等. 海藻糖对干旱胁迫下谷子幼苗生理特性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2024(12):6-11.

海藻糖对干旱胁迫下谷子幼苗生理特性的影响

侯晓敏¹, 闫 锋¹, 董 扬¹, 赵富阳¹, 李清泉¹, 李永平², 王冰雪¹

(1. 黑龙江省农业科学院 齐齐哈尔分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161006; 2. 齐齐哈尔市农业技术推广中心, 黑龙江 齐齐哈尔 161000)

摘要:为筛选能有效提高谷子幼苗抗旱能力的海藻糖最适浓度, 采用盆栽试验, 以嫩选 20 谷子幼苗为试验材料, 用 18% 的 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫, 通过调查喷施不同浓度的海藻糖(10, 15 和 20 mmol·L⁻¹) 对干旱胁迫下谷子幼苗抗氧化酶活性、渗透调节物质、膜脂过氧化及产量构成因素的影响。结果表明, 干旱胁迫下喷施海藻糖处理后, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性显著提高, 在干旱胁迫第 12 天时, 效果最明显的 T2 处理较 T0 分别提高了 27.11%、21.33% 和 20.15%, 丙二醛(MDA)含量则显著降低了 41.58%, 渗透调节物质(脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白)含量和相对含水率(RWC)均有所提高, 缓解了干旱胁迫对谷子幼苗的伤害。此外研究发现, 干旱胁迫下海藻糖对谷子幼苗抗旱性的提高存在浓度效应, 高浓度海藻糖处理会抑制 RWC 和可溶性糖含量, 促进 MDA 含量积累, 其中海藻糖处理的最佳浓度是 15 mmol·L⁻¹, 可以最大程度增强谷子幼苗的抗旱性。

关键词:谷子; 海藻糖; 干旱胁迫; 抗氧化酶

谷子又称稷、粟, 被称为“杂粮之首”, 据考古发现, 谷子起源于我国, 距今已有 8 000 多年的栽培历史, 谷子具有耐旱、水肥利用率高、适应性强等特点, 是北方干旱半干旱地区主要的杂粮作物^[1]。近年来, 由于全球性缺水, 我国北方水资源尤为贫乏, 水分亏缺严重影响作物的生长发育及产量, 特别是需水量较大的苗期影响更加严重^[2]。干旱胁迫下谷子穗重和千粒重显著下降。何凤等^[3]研究了干旱胁迫对杜仲叶片的影响, 结果表明干旱胁迫对杜仲叶片的过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性的增强有促进作用。张明飞等^[4]在水分亏缺条件下发现谷子幼苗的超氧化物歧化酶(SOD)和 POD 活性显著增加。张海燕等^[5]研究发现, 渗透调节能力决定了油菜的抗旱程度, 而丙二醛(MDA)含量的大小能够反映植株抗旱能力。秦岭等^[6]研究表明, 水分胁迫条件下谷子幼苗的可溶性蛋白等渗透调节物质含量明显增加, 能够缓解水分亏缺对谷子的伤害。目前, 面临的水资源短缺问题将长期存在, 因此提高作物抗旱能力是大田生产中急需解决的重点工作。

外源激素是目前提高植株抗旱性的主要栽培措施。柯贞进等^[7]研究发现, 丙烯酰胺浸种显著提升了干旱胁迫下抗氧化酶活性和渗透调节物质含量。张笑等^[8]研究表明, 干旱胁迫下外源脱落

酸明显提高了谷子幼苗的相对含水率(RWC)、SOD 和 POD 活力。申洁等^[9]研究认为, 适宜浓度的腐植酸处理可以提高谷子幼苗的抗旱性。海藻糖是一种安全的非还原性双糖, 通常在植物体内含量极低, 有研究指出, 在干旱等逆境环境时, 植物体内会迅速积累海藻糖, 保护细胞膜、蛋白质等免受伤害, 促进植株生长发育^[10]。刘旋等^[11]研究发现, 低温胁迫下外源海藻糖处理使玉米叶片内抗氧化酶活性显著增加, 缓解低温对幼苗的伤害。郝晓华等^[12]研究发现, 干旱胁迫下用不同浓度的海藻糖处理, 藜麦的 SOD、CAT 活性显著上升, 可溶性糖和脯氨酸含量有所增加, 从而减少干旱胁迫对藜麦的伤害。海藻糖有利于保护细胞膜的完整性, 改善植物的水分关系和养分的吸收, 还参与了信号分子和植物激素的信号关联, 从而提高植物的耐盐碱能力^[13]。研究指出, 植物缺水时会积累海藻糖, 而海藻糖能够通过脱落酸信号传导增加番茄的耐旱性^[14]。通过对两种不同耐旱性的水稻品种进行干旱胁迫, 外源海藻糖处理后发现水稻的抗氧化酶活性显著增加, 光合作用增强, 有助于耐旱品种适应干旱胁迫^[15]。Kosar 等^[16]研究发现海藻糖使干旱胁迫下向日葵的产量显著提高。外源海藻糖对干旱胁迫抗性影响研究在甜高粱^[17]、玉米^[18]、烟草^[19]等作物中

收稿日期: 2024-05-29

基金项目: 齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2023025, CNYGG-2023028); 国家谷子高粱产业技术体系资助项目(CARS-06-14.5-B21)。

第一作者: 侯晓敏(1997—), 女, 硕士, 实习研究员, 从事杂粮作物遗传育种及栽培研究。E-mail: houxiaomin2021@163.com。

通信作者: 李清泉(1968—), 男, 学士, 研究员, 从事杂粮作物育种研究。E-mail: zls1968@163.com。

也有相应报道。但有关海藻糖对干旱胁迫下谷子幼苗的影响研究较少,本研究以嫩选 20 谷子品种为材料,探讨不同浓度的海藻糖对干旱胁迫下谷子幼苗抗氧化酶活性、渗透调节物质、膜脂过氧化程度和产量的影响,为海藻糖在谷子苗期抗旱应用提供理论数据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试谷子品种为嫩选 20 号,由黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院提供。外源海藻糖纯度 $\geq 99\%$,分子式 $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot 2H_2O$,分子量:378.3 Da。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2023 年在齐齐哈尔分院试验基地进行。采用盆栽的方式,选用高度为 20 cm,直径为 30 cm 的塑料盆,在桶底部钻 6 个直径为 0.5 cm 的小孔并铺上纱网,挑选籽粒成熟饱满、大小一致且无病虫害的种子进行播种,每盆保苗 5 株。待幼苗长出绿芽后每日淋浇 1 次 Hoagland 营养液,每次 500 mL。

试验共设 5 个处理组:(1)对照组 CK:Hoagland 营养液;(2)干旱处理 T0:含 18%的 PEG-6000 的 Hoagland 营养液;(3)干旱处理 T1:10 mmol·L⁻¹海藻糖+含 18%的 PEG-6000 的 Hoagland 营养液;(4)干旱处理 T2:15 mmol·L⁻¹海藻糖+含 18%的 PEG-6000 的 Hoagland 营养液;(5)干旱处理 T3:20 mmol·L⁻¹海藻糖+含 18%的 PEG-6000 的 Hoagland 营养液。将指定浓度的海藻糖配制成溶液,装于有刻度线的电动喷雾器中,当幼苗长至四叶一心时进行处理,将海藻糖溶液均匀定量喷施在处理组的植株叶面上,平均每植株喷施 100 mL,3 d 后进行干旱胁迫,使用含 18% PEG-6000 的 Hoagland 营养液进行干旱胁迫处理,每个处理设置 10 组生物学重复。

1.2.2 测定项目及方法 取植株叶片存于-80℃超低温冰箱用于测定理化指标,每个处理分别在干旱处理后 3,6,9 和 12 d 取样,各处理每次取样 3 盆。

理化指标测定:参照李合生^[20]的方法,SOD 活性采用氮蓝四唑显色法测定;POD 活性采用愈创木酚法测定;CAT 采用紫外比色法测定;脯氨酸含量采用茚三酮显色法测定;可溶性糖含量采用蒽酮法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定;RWC 采用称重法测定^[20];MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定^[21]。

穗部性状和千粒重测定:谷子成熟后,测量各处理的穗长、穗粗、穗重和千粒重,每个处理 3 次重复。

1.2.3 数据分析 用 Excel 2016 进行数据处

理,用 SPSS 21.0 进行单因素方差分析和显著性检验,用 OriginPro 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 海藻糖对干旱胁迫下谷子幼苗渗透调节物质含量的影响

2.1.1 可溶性糖 由图 1A 可知,整体上与 CK 相比,干旱胁迫处理后谷子幼苗叶片的可溶性糖含量显著增加,T0 处理随胁迫天数的延长呈上升趋势,与 CK 相比分别提高了 25.18%、29.15%、57.63%和 65.21%。与 T0 相比,干旱胁迫 3 d 时,可溶性糖含量随海藻糖浓度的增加呈递增趋势,而在干旱处理后 6~12 d 时,谷子幼苗的可溶性糖含量随海藻糖浓度的增加呈先上升后下降的趋势,均为 T2 处理最高,且显著高于其他处理,分别为 394.39、486.90 和 510.99 mg·g⁻¹。这表明随干旱时间延长低浓度的海藻糖促进干旱胁迫下谷子幼苗可溶性糖的合成,而高浓度则抑制可溶性糖的合成。

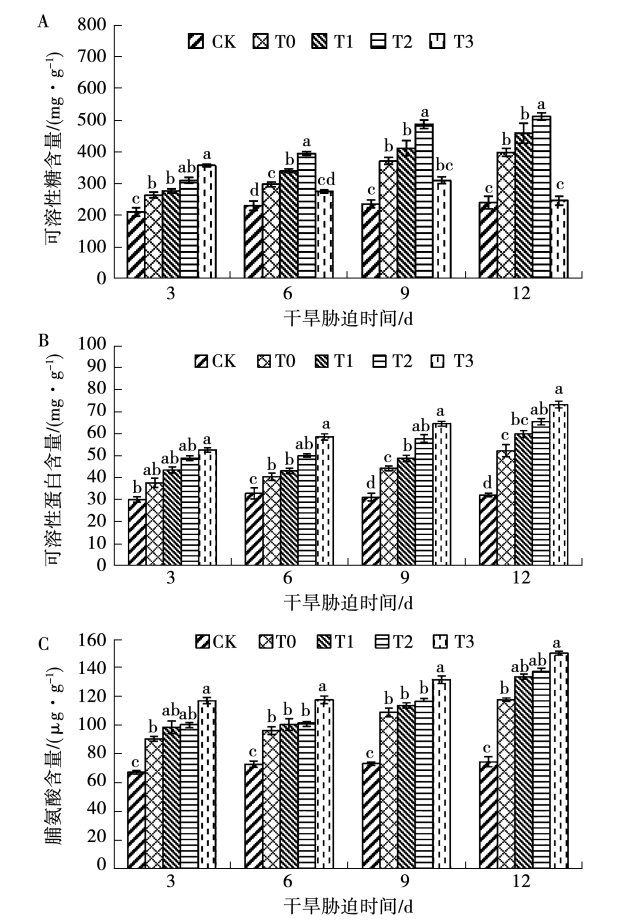


图 1 海藻糖对干旱胁迫下谷子幼苗渗透调节物质含量的影响
注:不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.1.2 可溶性蛋白和脯氨酸 由图 1B 和 C 可知,干旱胁迫下谷子幼苗叶片的可溶性蛋白和脯氨酸含量均显著高于 CK 处理,随胁迫时间的延长,各处理的可溶性蛋白和脯氨酸含量均呈递增趋势,均在胁迫 12 d 时达到最大值。且随着海藻糖浓度的增加,可溶性蛋白和脯氨酸含量均呈上升趋势,在胁迫 12 d 时,T3 处理的可溶性蛋白和脯氨酸含量分别达到 $73.16 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $149.86 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与 T0 处理相比,分别显著提高了 39.94% 和 27.46%。说明海藻糖对于干旱胁迫下谷子幼苗的可溶性蛋白和脯氨酸含量均有促进作用。

2.2 海藻糖对于干旱胁迫下谷子幼苗相对含水量(RWC)的影响

由图 2 可知,与 CK 处理相比,干旱胁迫使谷子幼苗叶片的 RWC 显著下降,在胁迫 3~12 d 时 T0 处理分别下降了 17.97%、17.08%、20.33% 和 22.01%。随干旱胁迫天数的增加,各处理的 RWC 均呈下降趋势。而喷施海藻糖可以显著提升干旱胁迫下 RWC,并且随海藻糖浓度的增加呈先上升后下降的趋势,在干旱胁迫 3~12 d 时 T2 处理下 RWC 最高,分别为 76.12%、73.85%、69.36% 和 66.78%,与 T0 处理相比,分别显著提高了 9.05%、9.65%、9.13% 和 9.40%。这表明海藻糖显著提高谷子幼苗叶片的 RWC,且 $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的效果最好。

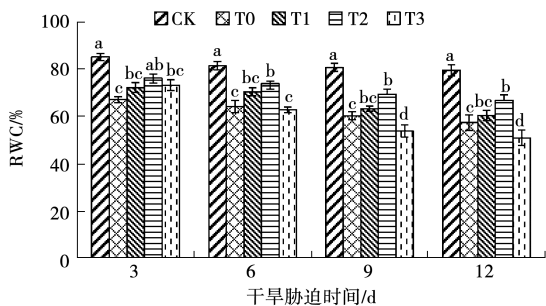


图 2 海藻糖对于干旱胁迫下谷子幼苗相对含水量(RWC)的影响

2.3 海藻糖对于干旱胁迫下谷子幼苗 MDA 含量的影响

由图 3 可知,与 CK 处理相比,T0 处理下谷子幼苗叶片的 MDA 含量显著升高,在干旱胁迫 3 d 时,与 T0 处理相比,各海藻糖处理 MDA 含量均下降,随海藻糖浓度的增加呈下降趋势,且 T2 和 T3 显著低于 T0。干旱胁迫后 6~12 d 时,与 T0 处理相比,MDA 含量随海藻糖浓度的增加

呈先下降后上升的趋势。干旱胁迫 9~12 d 时,与其他海藻糖处理相比 T2 处理的 MDA 含量最低,分别为 2.32 和 $2.36 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。而 T3 处理随干旱胁迫天数的增加呈递增趋势,在胁迫 12 d 时达到了 $3.91 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。这表明 $15 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的海藻糖能够缓解干旱胁迫对谷子幼苗膜脂过氧化伤害,而 $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的海藻糖则在干旱前期时 MDA 有一定控制作用,胁迫 12 d 时反而促进 MDA 含量,达到相反的作用。

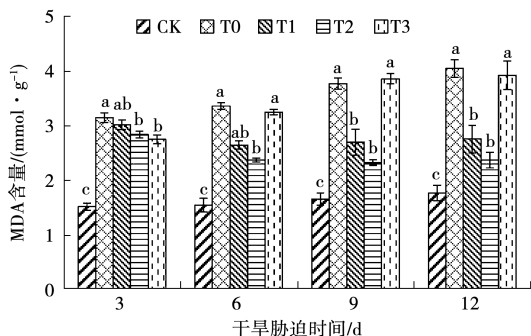


图 3 海藻糖对于干旱胁迫下谷子幼苗 MDA 含量的影响

2.4 海藻糖对于干旱胁迫下谷子幼苗抗氧化酶活性的影响

由图 4 可知,各海藻糖处理下的 SOD、POD 和 CAT 活性显著高于 CK 处理,随干旱胁迫天数的延长各处理均呈上升趋势,在胁迫 12 d 时,各处理的 SOD、POD 和 CAT 活性均为最大值。与 T0 处理相比,随海藻糖浓度的增加 SOD、POD 和 CAT 活性均呈上升趋势。胁迫 12 d 时 T3 处理的 SOD、POD 和 CAT 活性最大,分别为 309.88 、 1079.37 和 $145.51 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,较 T0 处理分别上升了 38.36%、33.11% 和 28.79%。这表明喷施海藻糖能够提高干旱胁迫下谷子幼苗的抗氧化酶活性,从而提高谷子幼苗的抗旱性。

2.5 海藻糖对于干旱胁迫下谷子千粒重和穗部性状的影响

由表 1 可知,T0 处理会显著抑制穗长、穗粗、穗重和千粒重,与 CK 处理相比,分别降低了 9.54%、4.82%、9.02% 和 16.35%。与 T0 处理相比,喷施不同浓度的海藻糖均可使千粒重和穗部性状指标显著增加,随海藻糖浓度增加穗粗、穗重和千粒重均呈现先升高后降低的趋势,在 T2 处理下穗粗(33.18 mm)、穗重(25.91 g)和千粒重(3.59 g)达到最大值,T3 处理的穗长(22.68 cm)则最长。T1、T2、T3 处理间,穗长、穗粗、穗重和千粒重差异均不显著。

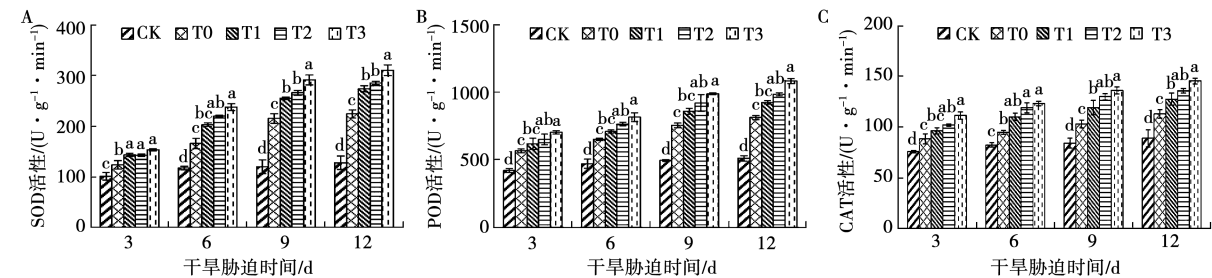


图 4 海藻糖对干旱胁迫下谷子幼苗 SOD(A)、POD(B)、CAT(C)活性的影响

表 1 海藻糖对干旱胁迫下谷子穗部性状和千粒重的影响

处理	穗长/cm	穗粗/mm	穗重/g	千粒重/g
CK	23.37±0.03 a	28.43±0.15 b	23.84±0.12 b	3.18±0.11 b
T0	21.14±1.12 b	27.06±0.79 c	21.69±0.11 c	2.66±0.09 c
T1	22.14±1.63 a	31.75±0.94 ab	25.48±0.62 a	3.59±0.07 a
T2	22.46±0.85 a	33.18±0.41 a	25.91±0.57 a	3.59±0.13 a
T3	22.68±0.43 a	32.79±0.33 ab	25.24±0.19 a	3.57±0.16 a

注:不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

3 讨论

植物受到干旱胁迫后会产生大量活性氧物质,不仅造成膜质过氧化、破坏膜的完整性,还可以保护抗氧化酶的活性。许多国内外学者研究表明 PEG 模拟干旱胁迫效果较好,并且应用广泛^[22],因此本研究选用 18% 的 PEG-6000 模拟干旱胁迫。渗透调节是植物应对干旱胁迫的重要机制之一,其含量的大小也反映了植物受伤害的程度^[23]。而海藻糖作为优良的渗透调节剂,具有保护抗氧化酶系统和参与细胞渗透调节的作用,有利于提高植物的抗旱性^[24]。叶玉秀等^[25]对糯玉米的研究表明,外施海藻糖可通过提高可溶性糖和可溶性蛋白的含量来缓解干旱胁迫对植株的伤害,并且对叶片缓解的效果要优于根系。张钰钦等^[26]研究认为,低温胁迫下外源海藻糖能够提高渗透调节能力,增强油菜种子耐寒性。本研究中,干旱胁迫下谷子幼苗的可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量显著增加,说明谷子幼苗对干旱胁迫响应的表现是渗透调节物质含量的增加。而海藻糖处理后,渗透调节物质含量进一步增加,脯氨酸和可溶性蛋白含量随着海藻糖浓度的增加呈递增趋势,而可溶性糖含量在 20 mmol·L⁻¹ 处理时显著下降,说明海藻糖浓度过高,植物体内代谢紊乱,抑制渗透调节物质的合成与积累,这与王志恒等^[17]关于甜高粱的研究结果一致。因此,在谷

子的生产实践中,要明确海藻糖的适宜浓度,提高使用效果。

干旱胁迫下植物的抗氧化酶活性会增强,这与徐田军等^[27]在玉米上的研究一致。前人研究发现,高温胁迫条件下外施海藻糖能有效提高小麦 SOD、POD、CAT 活性,降低 MDA 含量^[28-30]。与本研究结果一致。田礼欣等^[31]研究发现海藻糖在盐碱胁迫下可有效提高玉米幼苗的 RWC 含量,降低 MDA 含量,有利于维持正常的生理代谢和细胞膜的稳定性。本研究发现,在干旱胁迫下谷子幼苗的 SOD、POD、CAT 活性明显提升,喷施海藻糖后 SOD、POD、CAT 活性均有不同程度上升,且随浓度的增加呈上升趋势。这可能是高浓度海藻糖处理会导致谷子幼苗积累大量的活性氧(ROS),因此对抗氧化酶活性的需求也较多。而关于海藻糖缓解谷子幼苗抗旱能力是否与诱导抗氧化酶基因表达有关,还需要进一步研究。

在谷子幼苗期间遭受干旱胁迫会降低谷子产量,并导致籽粒品质变劣^[32]。前人研究发现,施用适量的海藻糖可以促进小麦^[33]、水稻^[34]等作物增产。本研究中,喷施 15 mmol·L⁻¹ 的海藻糖处理显著提高了谷子穗长、穗粗、穗重和千粒重,外源喷施海藻糖存在浓度效应,干旱条件下施加 15 mmol·L⁻¹ 的海藻糖最有利于谷子生长,浓度过低或过高则促进效果下降,同时,高浓度海藻糖会抑制甘蔗^[35]的生长,这可能是由于高浓度海藻

糖会产生许多呼吸代谢中间产物,进而抑制植株的生长。由于本研究只进行了一年试验,海藻糖能否在大批量谷子大田种植中继续保持对谷子抗旱性的促进作用还有待进一步的研究。未来,将进一步探究干旱胁迫下外源海藻糖对谷子抗旱相关基因的挖掘以及调控规律,揭示海藻糖调控谷子响应干旱胁迫的潜在机制。

4 结论

综上所述,干旱胁迫下,谷子幼苗的 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖和 MDA 含量均显著上升,RWC 明显下降。干旱胁迫下喷施外源海藻糖进一步提高了抗氧化酶活性和渗透调节物质含量,在干旱胁迫 12 d 时,15 mmol·L⁻¹ 处理 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性较干旱处理分别提高了 27.11%、21.33% 和 20.15%,丙二醛(MDA)含量则显著降低了 41.58%,叶片的持水能力明显提高,缓解干旱胁迫对谷子幼苗的抑制作用,保护了生物膜的完整性,提高了谷子幼苗的抗旱性。此外,外源喷施海藻糖存在浓度效应,干旱胁迫下谷子幼苗的最适喷施浓度为 15 mmol·L⁻¹,20 mmol·L⁻¹ 的海藻糖喷施会加重干旱胁迫对谷子幼苗的伤害。

参考文献:

- [1] 刁现民. 育种创新造就谷子种业新发展[J]. 中国种业, 2022 (4): 4-7.
- [2] 严加坤, 张宁宁, 张岁岐. 谷子对干旱胁迫的生理生态响应[J]. 生态学报, 2021, 41(21): 8612-8622.
- [3] 何凤, 刘攀峰, 王璐, 等. 干旱胁迫及复水对杜仲苗生理特性的影响[J]. 植物生理学报, 2021, 57(3): 661-671.
- [4] 张明飞, 迟悦, 王慧颖, 等. 干旱和复水对不同抗旱型谷子品种苗期生理指标的影响[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2023, 39(9): 39-42.
- [5] 张海燕, 汪宝卿, 冯向阳, 等. 不同时期干旱胁迫对甘薯生长和渗透调节能力的影响[J]. 作物学报, 2020, 46(11): 1760-1770.
- [6] 秦岭, 陈二影, 杨延兵, 等. 干旱及复水对谷子苗期根系形态特征及叶片解剖结构的影响[J]. 山东农业科学, 2024, 56(1): 50-57.
- [7] 柯贞进, 尹美强, 温银元, 等. 干旱胁迫下聚丙烯酰胺浸种对谷子种子萌发及幼苗期抗旱性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(3): 563-570.
- [8] 张笑, 宋敏丽. 外源脱落酸对干旱胁迫下谷子生长及生理特性的影响[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2020, 19(4): 91-96.
- [9] 申洁, 王玉国, 郭平毅, 等. 腐植酸对干旱胁迫下谷子幼苗叶

- 片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响[J]. 作物杂志, 2021(2): 173-177.
- [10] 罗正英, 胡鑫, 刘新龙, 等. 外源海藻糖提高甘蔗幼苗抗旱能力并促进植株生长[J]. 中国农业科学, 2023, 56(21): 4208-4218.
- [11] 刘旋, 田礼欣, 佟昊阳, 等. 低温胁迫下玉米幼苗根系受外源海藻糖调控的生理表现[J]. 生态学杂志, 2018, 37(8): 2354-2361.
- [12] 郝晓华, 王晓洁, 刘可心. 外源海藻糖对干旱胁迫下藜麦生理特性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(5): 739-745.
- [13] NAWAZ M, HASSAN M U, CHATTHA M U, et al. Trehalose: a promising osmo-protectant against salinity stress-physiological and molecular mechanisms and future prospective[J]. Molecular Biology Reports, 2022, 49(12): 11255-11271.
- [14] MacINTYRE A M, MELINE V, GORMAN Z, et al. Trehalose increases tomato drought tolerance, induces defenses, and increases resistance to bacterial wilt disease[J]. PLoS One, 2022, 17(4): e0266254.
- [15] MOHANAN A, KODIGUDLA A, RAMAN D R, et al. Trehalose accumulation enhances drought tolerance by modulating photosynthesis and ROS-antioxidant balance in drought sensitive and tolerant rice cultivars [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2023, 29(12): 2035-2049.
- [16] KOSAR F, ALSHALLASH K S, AKRAM N A, et al. Trehalose-induced regulations in nutrient status and secondary metabolites of drought-stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants[J]. Plants, 2022, 11(20): 2780.
- [17] 王志恒, 赵延蓉, 黄思麒, 等. 外源海藻糖影响甜高粱幼苗抗旱性的生理生化机制[J]. 植物生理学报, 2022, 58(4): 654-666.
- [18] 李佳馨, 李霞, 谢寅峰. 外源海藻糖增强高表达转玉米 C₄ 型 PEPC 水稻耐旱性的机制[J]. 植物学报, 2021, 56(3): 296-314.
- [19] 徐向丽, 易克, 蒋红梅, 等. 外源海藻糖对干旱胁迫下烟草幼苗抗旱性的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(33): 18675-18677.
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [21] 潘莹, 巩文婷, 廖伟彪. 外源海藻糖对盐胁迫下番茄幼苗生长及抗氧化能力的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 58(1): 69-76.
- [22] 龚子端, 李高阳. PEG 干旱胁迫对植物的影响[J]. 河南林业科技, 2006, 26(3): 21-23.
- [23] KOSAR F, AKRAM N A, SADIQ M, et al. Trehalose: a key organic osmolyte effectively involved in plant abiotic stress tolerance[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2019, 38(2): 606-618.

[24] FERNANDEZ O, BÉTHENCOURT L, QUERO A, et al. Trehalose and plant stress responses: friend or foe? [J]. Trends in Plant Science, 2010, 15(7): 409-417.

[25] 叶玉秀,陆大雷,王飞兵,等. 干旱胁迫下外源海藻糖对糯玉米幼苗生理特性的影响[J]. 玉米科学,2020,28(3):80-86.

[26] 张钰钦,杨之帆,李越,等. 外源海藻糖浸种对低温胁迫油菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报, 2022,44(2):376-384.

[27] 徐田军,董志强,兰宏亮,等. 低温胁迫下聚糖茶合剂对玉米幼苗光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 作物学报, 2012,38(2):352-359.

[28] 王迪,罗音,高亚敏,等. 外施海藻糖对高温胁迫下小麦幼苗膜脂过氧化的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(7): 925-932.

[29] 李宇星,马亮亮,张月,等. 外源海藻糖对灌浆期高温胁迫下小麦旗叶生理特性和产量的影响[J]. 作物学报,2023, 49(8):2210-2224.

[30] 胡慧芳. 外源海藻糖对黄瓜幼苗抗冷性的影响[J]. 北方园艺,2008(2):11-13.

[31] 田礼欣,李丽杰,刘旋,等. 外源海藻糖对盐胁迫下玉米幼苗根系生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业学报,2017, 33(4):754-759.

[32] 岳鹏莉,王晨阳,卢红芳,等. 灌浆期高温干旱胁迫对小麦籽粒淀粉积累的影响[J]. 麦类作物学报,2016,36(11): 1489-1496.

[33] 王彝,李宇星,李哲,等. 海藻糖处理对花后高温胁迫弱筋小麦生选 6 号产量形成及品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2023,35(1):1-9.

[34] 黄亚茹,徐鹏,王乐乐,等. 外源海藻糖对梗稻品系 W1844 籽粒灌浆特性及产量形成的影响[J]. 中国水稻科学, 2023,37(4):379-391.

[35] 罗正英,胡鑫,刘新龙,等. 外源海藻糖提高甘蔗幼苗抗旱能力并促进植株生长[J]. 中国农业科学,2023,56(21): 4208-4218.

Effects of Trehalose on Physiological Characteristics of Foxtail Millet Seedlings Under Drought Stress

HOU Xiaomin¹, YAN Feng¹, DONG Yang¹, ZHAO Fuyang¹, LI Qingquan¹, LI Yongping², WANG Bingxue¹

(1. Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China; 2. Qiqihar Agricultural Technology Extension Center, Qiqihar 161000, China)

Abstract: In order to screen the optimal concentration of trehalose that can effectively improve the drought resistance of foxtail millet seedlings, pot experiments were carried out in this study. The foxtail millet seedlings of ‘Nenxuan 20’ were used as experimental materials, and 18% PEG-6000 solution was used to simulate drought stress. The effects of different concentrations of trehalose (10, 15 and 20 mmol·L⁻¹) on antioxidant enzyme activity, osmotic adjustment substances, membrane lipid peroxidation and yield components of foxtail millet seedlings under drought stress were studied. The results showed that the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) were significantly increased after spraying trehalose under drought stress. On the 12th day of drought stress, the most obvious effect of T2 treatment was 27.11%, 21.33% and 20.15% higher than that of T0, respectively. The content of malondialdehyde (MDA) was significantly reduced by 41.58%, and the content of osmotic adjustment substances (proline, soluble sugar, soluble protein) and relative water content (RWC) were increased, which alleviated the damage of drought stress to millet seedlings. In addition, it was found that there was a concentration effect of trehalose on the improvement of drought resistance of millet seedlings under drought stress. High concentration of trehalose treatment inhibited RWC and soluble sugar content, and promoted the accumulation of MDA content. The optimum concentration of trehalose treatment was 15 mmol·L⁻¹, which could maximize the drought resistance of millet seedlings.

Keywords: millet; trehalose; drought stress; antioxidant enzymes