

外源物浸种对苗期遭遇冷害棉花生长发育、 产量及品质的影响

潘喜鹏^{1,2,3}, 李军宏^{2,3}, 张要朋^{2,3}, 刘晓成⁴, 潘占磊^{2,3}, 张正贵^{2,3},
翟梦华^{2,3}, 陆明昆⁴, 赵文琪^{2,3}, 汤秋香¹, 王占彪^{2,3}

(1. 新疆农业大学农学院/棉花教育部工程研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 中国农业科学院棉花研究所, 棉花生物育种与综合利用全国重点实验室, 河南 安阳 455000;

3. 中国农业科学院西部农业研究中心, 新疆 昌吉 831100; 4. 河北农业大学农学院, 河北 保定 071001)

摘要:以‘中棉 113’为试验品种, 施用海藻糖、褪黑素和抗坏血酸对棉花进行浸种预处理, 在棉花出苗期间遭受低温冷害后, 比较 3 种外源物处理的棉花成苗情况、主要农艺性状、生物量积累、产量及其构成因素及纤维品质性状间的差异。结果表明: 与 CK 处理相比, 外源物处理的棉花成苗率显著提高 1.3%~6.1%; 株高、茎粗和果枝台数分别显著提高 8.1%~9.2%、10.1%~14.6%和 13.7%~22.2%; 生物量显著增加 1.6%~20.9%, 生物量在库(蕾、花、铃)的分配比例提高 3.3%~16.4%; 籽棉产量显著提高 11.7%~18.4%; 棉花纤维品质表现较好, 棉花纤维上半部平均长度和断裂比强度均达到 29 mm 以上和 29 cN·tex⁻¹以上, 马克隆值为 B 级。综上所述, 外源物浸种处理可以显著提高受灾棉花的成苗率, 促进棉花植株的生长发育和生物量的积累与分配, 提高产量, 其中, 100 μmol·L⁻¹褪黑素浸种的效果优于其余 2 种外源物浸种。

关键词:棉花; 外源物浸种; 冷害; 生长发育; 产量; 品质

中图分类号:S562; S351; Q945.78 **文献标志码:**A

Effects of seed soaking with exogenous substances on the growth, development, yield and quality of cotton exposed to cold damage at the seedling stage

PAN Xipeng^{1,2,3}, LI Jun Hong^{2,3}, ZHANG Yaopeng^{2,3}, LIU Xiaocheng⁴,
PAN Zhanlei^{2,3}, ZHANG Zhenggui^{2,3}, ZHAI Menghua^{2,3}, LU Mingkun⁴,
ZHAO Wenqi^{2,3}, TANG Qiuxiang¹, WANG Zhanbiao^{2,3}

(1. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Engineering Research Center of cotton, Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830052, China; 2. Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, National Key Laboratory of Cotton Biological Breeding and Comprehensive Utilization, Anyang, Henan 455000, China; 3. Western Agricultural Research Center of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji, Xinjiang 831100, China; 4. College of Agriculture, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: In this experiment, ‘Zhongmian 113’ was used as the test variety. After the cotton was soaked with trehalose, melatonin and ascorbic acid, the differences of seedling formation, main agronomic traits, biomass accumulation, yield, constituent factors and main fiber quality traits of cotton treated with the three exogenous substances were compared. The results showed that compared with CK treatment, the seedling formation rate of cotton treated with exogenous substances was significantly increased by 1.3%~6.1%. Plant height, stem diameter and

收稿日期:2024-03-14

修回日期:2024-06-21

基金项目:新疆维吾尔自治区上海合作组织科技伙伴计划及国际科技合作计划项目(2022E01061);政府间国际科技创新合作重点专项(2022YFE0125700)

作者简介:潘喜鹏(1999-),男,吉林四平人,硕士研究生,研究方向为棉花抗逆减灾栽培技术。E-mail: 2533946293@qq.com

通信作者:王占彪(1986-),男,河北巨鹿人,博士,研究员,主要从事作物栽培理论与技术研究。E-mail: wang_zhanbiao@126.com

汤秋香(1980-),女,河南开封人,博士,教授,主要从事农田生态环境、作物高产栽培及高效生理机制和耕作制度研究。E-mail:790058828@qq.com

branch number were significantly increased by 8.1%~9.2%, 10.1%~14.6% and 13.7%~22.2%. The biomass increased by 1.6%~20.9%, and the distribution ratio of biomass in the reservoir increased by 3.3%~16.4%. The yield of seed cotton was significantly increased by 11.7%~18.4%. The average length and breaking strength of the upper half of the cotton fiber were above 29 mm and above 29 cN·tex⁻¹, and the Micronaire was grade B. In summary, seed soaking treatments with exogenous substances significantly improved the seedling formation rate, promoted the growth and development of cotton plants, enhanced biomass accumulation and distribution, and increased yield, with the 100 μmol·L⁻¹ melatonin treatment having the most pronounced effect.

Keywords: cotton; seed soaking with foreign substances; cold damage; growth and development; yield; quality

棉花是我国主要的经济作物,在国民经济中占有举足轻重的地位^[1]。新疆气候干燥、昼夜温差大且光照充足,有效积温高,具有得天独厚的植棉优势,是我国最大的棉花产区。2023 年新疆棉花播种面积为 2.47×10⁶ hm²,棉花总产量为 5.394×10⁶ t,排名全国第一,占全国棉花产量的 91.0%^[2],在全国棉花产区占主导地位。新疆棉花在播种至幼苗期间,会经常遭受早春“倒春寒”以及寒潮等低温气象灾害的侵袭。当地表温度远低于棉花幼苗的最低生长温度,甚至低于 0℃ 以下时,棉花幼苗会受到生理和形态上的损伤,进而影响棉花的生长发育、产量形成以及生产效益^[3-4]。在 2023 年 5 月 4 日,新疆库勒遭受大雪寒潮天气,严重影响了棉花的生长发育,而如何降低低温冷害对棉花生产带来的损失,寻找行之有效的防治和救灾措施成为目前急需解决的问题。

国内外学者对于相关外源物在逆境下的调控效应进行了大量研究。海藻糖 (TRE) 是一种应激代谢物质,通常在植物遇到逆境条件时产生^[5],具有抗脱水、抗冷冻和抗高渗等功能^[6],是逆境条件下稳定生物膜的一种重要渗透调节物质,既能保护抗氧化酶系统,又能介导渗透调节和清除活性氧^[7],能够很好地保护生物大分子活性^[8],参与调控植物对低温环境胁迫的应答过程^[9]。褪黑素 (MT) 在植物体内含量极低,可以在植物组织内自由移动,高效清除自由基,是植物抵御氧化胁迫的重要防线^[10]。此外,褪黑素也可以促进植物种子萌发及幼苗生长^[11],提高植物对干旱、盐碱、紫外辐射、低温、高温等非生物胁迫以及病菌、害虫等生物胁迫的耐受性,缓解逆境对植物造成的伤害^[12]。抗坏血酸 (AsA) 作为一种强抗氧化剂,是广泛存在于植物体内的抗氧化物质,它在植物的光合作用、抗氧化作用、生长代谢方面起着重要作用,可直接参与植物体内活性氧 (ROS) 的清除,从而保护植物免受氧化胁迫造成的伤害^[13]。

目前,关于外源物浸种对低温冷害下棉花的研究主要集中于对棉花种子和幼苗阶段生长和生理

的影响^[14-15],而对于后续棉花生长发育和产量品质的影响研究较少。新疆棉区在 4—5 月温度较低,低温冷害和倒春寒始终是威胁棉花苗期生长发育的主要限制因素,对棉花的生长发育及产量和品质影响极大。此外,播种前对种子的预处理是增强植物适应不利环境的重要措施之一,并且这种处理方式成本较低、操作方便。因此,本试验针对新疆棉花生产实践中存在的早春低温冷害问题,对棉花进行外源物浸种预处理,研究不同外源物浸种对低温冷害下棉花生长发育、产量品质的影响,筛选出利于棉花逆境高产的外源物以及最适的外源物浓度,以期对棉花抗逆减灾技术提供参考依据。

1 材料与amp;方法

1.1 研究区概况

试验地位于中国农业科学院库勒综合试验基地 (86.15°E, 41.76°N),地处天山南部和塔里木盆地北缘,属于大陆性干旱荒漠气候,年平均降水量 58.6 mm,年最大蒸发量 2 788.2 mm,无霜期 209~216 d,全年总日照数 2 873~3 051 h,年平均气温 10.5℃~11.5℃,最低为-28℃,有效积温 3 996℃~4 280℃。试验土壤为沙壤土。试验开始前 0~20 cm 土层土壤全氮 0.73 g·kg⁻¹,全磷 0.96 g·kg⁻¹,全钾 23.05 g·kg⁻¹,速效磷 49.63 mg·kg⁻¹,速效氮 44.44 mg·kg⁻¹,速效钾 179.33 mg·kg⁻¹,有机质 15.03 g·kg⁻¹,PH 值 8.64。

1.2 试验设计

试验地于 2023 年 4 月 18 号播种,从 5 月 3 日开始遭受低温寒潮侵袭,导致气温连续 5 d 持续下降,其最低温度由最高的 14℃ 骤降至 5 月 7 日的 0℃,5 月 8 日气温开始逐渐上升但低于 5℃,10 日后气温逐渐稳定在 5℃ 以上,后续温度达到 15℃ 左右。棉花播种后一个月期间温度和降水量的变化如图 1 所示。棉花受灾情况如图 2 所示 (见 154 页)。试验供试品种为‘中棉 113’。供试药剂为海藻糖、褪黑素和抗坏血酸,由北京酷来搏科技有限公司生产。

在播种前选择饱满健康、胚完整的棉花种子对其进行消毒后,分别施用海藻糖溶液、褪黑素溶液和抗坏血酸溶液浸种 24 h,随后在通风处晾干,恢复初始含水量(浸种前后种子质量无明显差异)。

试验采取双因素裂区设计,以 3 种外源物浸种处理为主区,分别为海藻糖(TRE)、褪黑素(MT)、抗坏血酸(AsA);以外源物浓度为副区,未浸种处理为对照 CK,每种外源物设置 3 个浓度梯度:(1)海藻糖^[16]:10(T1)、15(T2)、20 mmol·L⁻¹(T3);(2)褪黑素(MT)^[17]:50(M1)、100(M2)、150 mmol·L⁻¹(M3);(3)抗坏血酸(AsA)^[18]:25(A1)、50(A2)、75 mg·L⁻¹(A3),设 3 组重复,共计 10 个处理,30 个小区。采用一膜六行(66 cm+10 cm)的棉花机采种植模式,试验地施肥、灌水及其他田间管理措施均按照当地棉花田间管理要求进行。

1.3 测定方法

1.3.1 农艺性状 在棉苗受灾后第 10 天从每个小区随机选取 15 株苗调查棉苗的成苗率。分别在棉花的苗期、蕾期、花期、铃期,从每小区选取长势均匀连续 15 株(第 3~6 行)进行标记定点考查,记录棉花的株高、茎粗、果枝台数,蕾花铃数等农艺指标。

1.3.2 生物量积累 在棉花的蕾期、花期、铃期和吐絮期 4 个生育时期,从每个小区选取具有代表性且长势均匀一致的 5 株棉花,并将棉花植株的根、茎、叶和蕾花铃等不同器官分离后放入烘箱 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干至恒重,记录各器官生物量重量。

1.3.3 产量和品质 棉花完全吐絮后,每小区随机选取 6.67 m²的样点,实测样点内的全部棉株数和单株结铃数,计算单位面积收获株数和单株结铃数。并选取长势均匀一致的棉株,分别选取上部(第 7 果枝及以上)棉铃 30 个、中部棉铃(第 4~6 果枝)棉铃 40 个、下部(第 1~3 果枝)棉铃 30 个,共计 100 个,风干后称量籽棉质量并计算单铃质量,并于轧花后称量皮棉质量、计算衣分。将采集的棉纤维样品送至新疆农业科学院棉纤维检测中心检测主要品质性状指标,包括纤维上半部平均长度、长度整齐度指数、断裂比强度、断裂伸长率和马克隆值。

1.4 数据处理

试验数据用平均值±标准误差表示,采用 SPSS 27.0 统计软件进行方差分析比较显著性($P < 0.05$)和相关性分析,多重比较采用 LSD 检验法,对数据用 Microsoft Excel 整理分析后采用 GraphPad Prism 10.1.2 作图。

2 结果与分析

2.1 不同外源物浸种对棉花生长发育的影响

2.1.1 成苗率 由图 3 可知,棉株成苗率在海藻糖、褪黑素和抗坏血酸处理之间存在显著差异,褪黑素处理的平均成苗率最高为 91.8%,较 CK 处理和海藻糖、抗坏血酸处理显著高出 1.3%~6.1%。正如图 2 中,经过外源物浸种处理的棉花在受灾后第 10 天整体的成苗情况较受灾当天有明显的提升。同时,随着外源物浓度的增加,棉株成苗率呈现先增高后降低的趋势,以褪黑素 M2 处理的成苗率最高为 94.2%,较 CK 处理显著高出 5.3%;褪黑素的 M1 处理和海藻糖的 T1 处理的成苗率也分别较 CK 处理显著高出 4.0%和 3.3%。

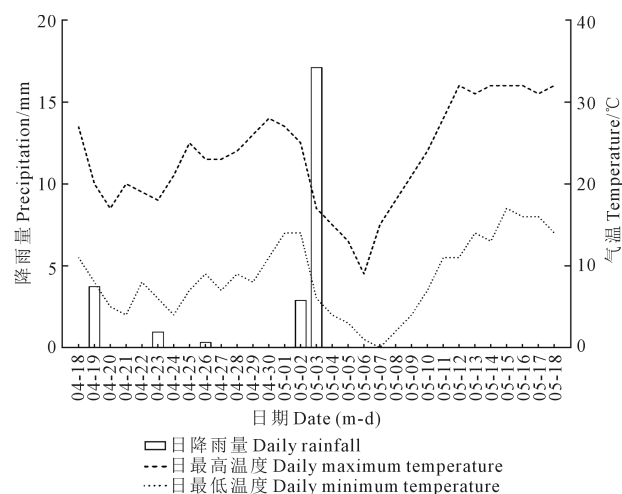
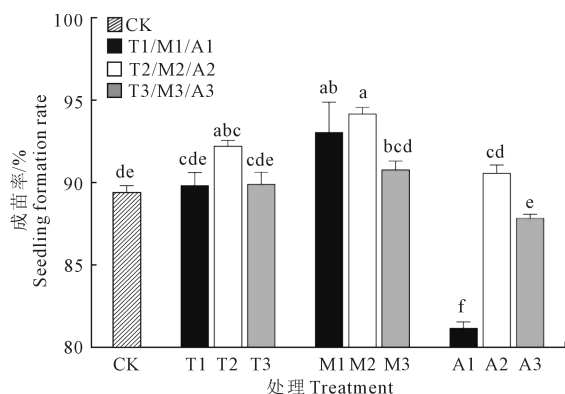


图 1 2023 年棉花 4 月 18 日—5 月 18 日日气温及降雨量
Fig.1 Daily temperature and rainfall of cotton from April 18 to May 18, 2023



注:图中不同小写字母表示外源物浓度处理与 CK 处理之间差异显著($P < 0.05$)。下同。

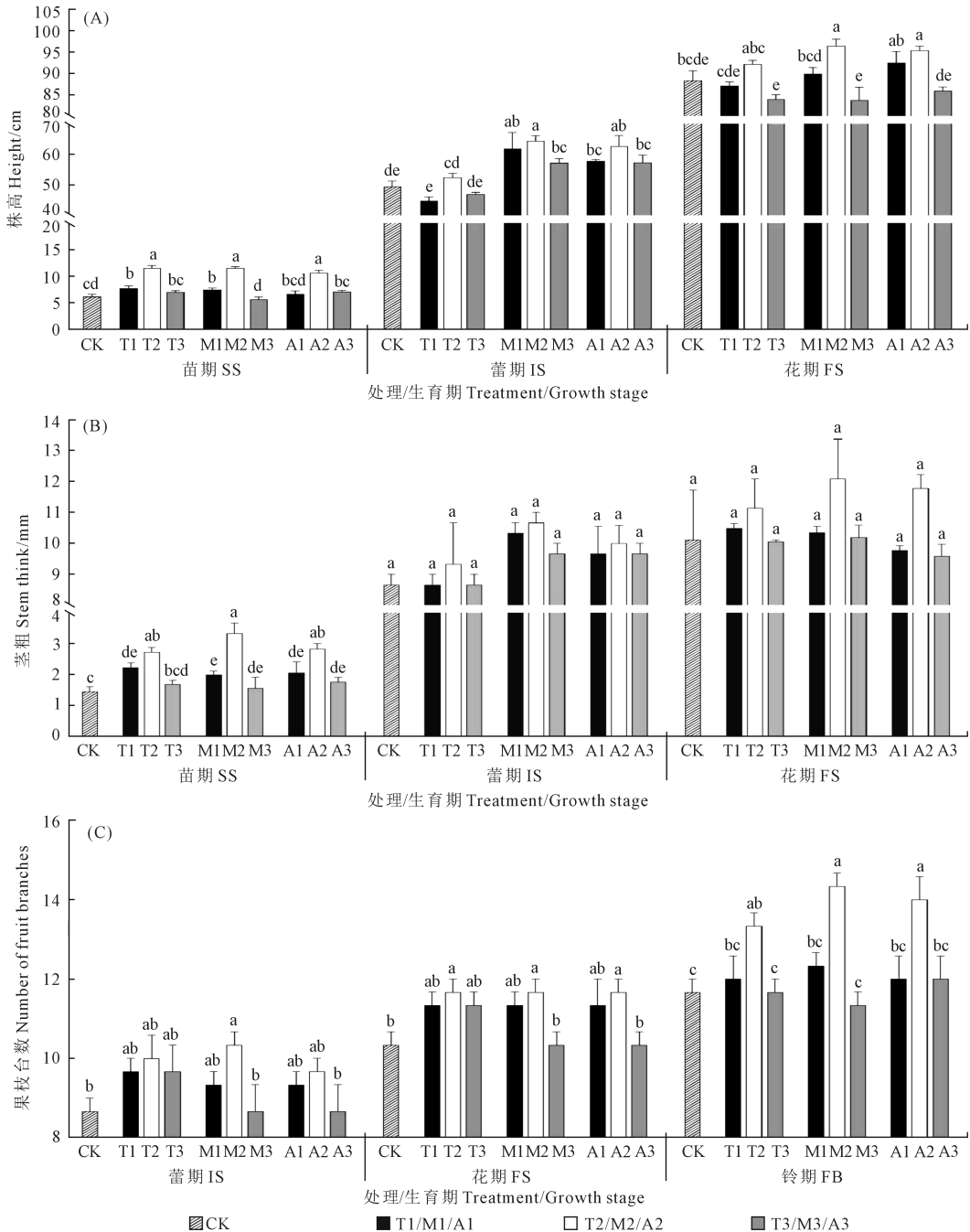
Note: The different lowercase letters in the figure indicate that the differences between the concentration of exogenous substances treatment and CK treatment is significant ($P < 0.05$). The same below.

图 3 不同外源物浸种对受灾棉花成苗率的影响
Fig.3 Effects of different exogenous substances on the seedling formation rate of disaster-stricken cotton

2.1.2 主要农艺性状 由图 4 可知,随着生育时期的推进,棉花株高、茎粗、果枝台数呈现先快速增长后逐渐趋于平稳的趋势。外源物浓度对棉花株高、茎粗和果枝台数有显著影响,随着外源物浓度的增加,表现出先升高后下降的趋势。

苗期海藻糖处理的平均棉花株高与抗坏血酸处理的无显著差异(图 4A),较褪黑素处理显著高出 7%,棉花株高以褪黑素的 M2 处理影响最为显著,海藻糖的 T2 处理和抗坏血酸的 A2 处理株高也

有显著提升,较 CK 处理显著提高了 72.6%~85.5%;蕾期褪黑素处理的平均棉花株高与抗坏血酸处理的无显著差异,较海藻糖处理显著高出 23.3%~27.3%,棉花株高蕾期开始增长迅速,以褪黑素 M2 处理的增幅最大,依次是褪黑素的 M1 处理、M2 处理以及抗坏血酸的 A1 处理、A2 处理,较 CK 处理显著提高了 16.0%~30.4%;花期抗坏血酸处理的平均棉花株高与褪黑素处理的无显著差异,较海藻糖处理显著提高 2.6%~4.1%,株高增长趋于平稳,褪黑



注:不同小写字母表示同一时期处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments during the same period ($P<0.05$).

图 4 不同外源物浸种对棉花株高、茎粗和果枝台数的影响

Fig.4 Effects of different exogenous substances on cotton plant height, stem diameter and number of fruit branches

素的 M2 处理和抗坏血酸的 A2 处理对棉花株高影响显著,较 CK 处理显著提高 8.1%~9.2%,并以褪黑素的 M2 处理下达到最高,为 95.9 cm。

外源物种类对苗期和花期棉花茎粗的影响无显著差异(图 4B)。苗期棉花茎粗以褪黑素的 M2 处理增幅最为显著,海藻糖的 T2 处理和抗坏血酸的 A2 处理的茎粗也较 CK 显著提升,较 CK 处理显著提高了 80%~120%;蕾期褪黑素处理的平均棉花茎粗与抗坏血酸处理的无显著差异,较海藻糖处理显著提高 10.1%~14.6%,棉花茎粗增长迅速,以褪黑素 M2 处理的影响最显著,较 CK 处理显著提高了 23.0%;花期棉花茎粗增长放缓,在褪黑素的 M2 处理下达到最高,为 13.22 mm。

与 CK 处理相比,外源物种类对棉花果枝台数有显著影响(图 4C)。苗期棉花果枝台数以褪黑素的 M2 处理影响显著,较 CK 处理显著提高 18.3%;花期棉花果枝台数以褪黑素 M2 处理、海藻糖的 T2 处理和抗坏血酸的 A2 处理的增幅最大,较 CK 处理显著提高了 13.6%;铃期棉花果枝台数的增长趋于平稳,以褪黑素的 M2 处理差异最为显著,其次是海藻糖 T2 处理和抗坏血酸 A2 处理,较 CK 处理显著高出 13.7%~22.2%,在褪黑素的 M2 处理下达到最高,为 11 个。

2.2 不同外源物浸种对棉花生物量积累与分配的影响

由图 5 可知,随着生育时期的推进,棉花的生物量整体呈现逐渐增加的趋势,生物量在库(蕾花铃)中的分配比例逐渐增加,在源(根、叶)和流(茎)中的分配比例逐渐减少。现蕾后棉株进入源、库和流积累并进阶段,但还是以源和流积累为主,3 种外源物处理的生物量积累量差异不显著。进入花期,棉株的源和流积累逐渐缓慢,库的积累逐渐占据优势。在铃期,棉株库的积累迅速上升,生物量在库的分配比例不断增加。吐絮后棉株主要以库的积累为主,生物量在库的分配比例达到最高。棉花的生物量受外源物浓度的影响,随着外源物浓度的增加,棉花的生物量呈现先增加后下降的趋势。从蕾期到吐絮期,海藻糖 T2 处理、褪黑素 M2 处理和抗坏血酸的 A2 处理的生物量积累总量以及库、源和流在生物量中的分配比例高于 CK 处理。其中,褪黑素 M2 处理的生物量积累高于其他处理,其库在生物量中的分配比例在吐絮期达到最高,为 56.7%。

2.3 不同外源物浸种对棉花产量及其构成因素的影响

由表 1 可知,外源物种类对棉花的产量及其构成因素无显著影响,除单株结铃数之外均在褪黑素

处理下达到最大。外源物浓度对棉花的收获株数和籽棉产量均有显著影响,以浓度二处理最高,分别较其余浓度处理显著高出 17.1%~18.4%和 11.7%~17.7%。由此可以看出,外源物浸种具有浓度效应。外源物浸种可能对棉花的收获株数具有一定的促进作用。进而提高受灾棉花的籽棉产量,其中 M2 处理的提升效果最好,其籽棉产量最高,为 6 663.5 kg·hm⁻²。

2.4 不同外源物浸种对棉花纤维品质的影响

由表 2 可知,外源物处理的棉花纤维上半部平均长度均达到 29 mm 以上,褪黑素处理的棉花纤维上半部平均长度高于海藻糖和抗坏血酸处理;浓度一处理高于 CK 和其他浓度处理,为 29.6 mm;海藻糖和抗坏血酸处理的棉花断裂比强度大于褪黑素处理,均达到了 29 cN·tex⁻¹以上,而 CK、浓度二和浓度三处理的断裂比强度也达到了 29 cN·tex⁻¹以上,其中 T3 处理最高,为 29.7 cN·tex⁻¹。褪黑素处理的马克隆值显著低于海藻糖和抗坏血酸处理,为 5.0。

2.5 不同外源物浸种处理下棉花生长指标与产量性状间的相关性分析

由图 6 可知,籽棉产量与收获株数呈极显著正相关,与成苗率、株高、茎粗、果枝台数、生物量以及单株结铃数、单铃重呈正相关。生物量与收获株数呈极显著正相关,与成苗率、株高、茎粗、果枝台数、单铃重呈正相关,与单株结铃数呈显著负相关。成苗率与株高、茎粗、收获株数、单株结铃数、单铃重呈正相关,与果枝台数呈负相关。

成苗率、株高、茎粗和果枝台数对生物量的影响结果较大;果枝台数和收获株数对单株结铃数影响结果较大;成苗率、茎粗和生物量对单铃重影响较大;成苗率和生物量对收获株数影响结果较大;成苗率、生物量、收获株数和单株结铃数对籽棉产量的影响结果较大,收获株数的影响结果最大。

T3、A1 处理对籽棉产量的影响显著高于其他外源物浓度处理,且 T3 处理($P<0.01$)对籽棉产量的影响大于 A1 处理($P<0.05$)。收获株数主要受 T2 和 T3 处理的影响($P<0.05$)。果枝台数主要受 M1 处理的影响($P<0.01$)。茎粗主要受 M1 和 M3 处理的影响($P<0.05$)。M1、M2、A1、T2 处理对成苗率的影响显著高于其他外源物浓度处理,M1、M2 和 A1 处理($P<0.01$)的影响大于 T2 处理($P<0.05$)。M2、M3、T2 和 A2 处理对株高的影响显著高于其他外源物浓度处理,M2 和 M3 处理影响($P<0.01$)高于 T2 和 A2 处理($P<0.05$)。

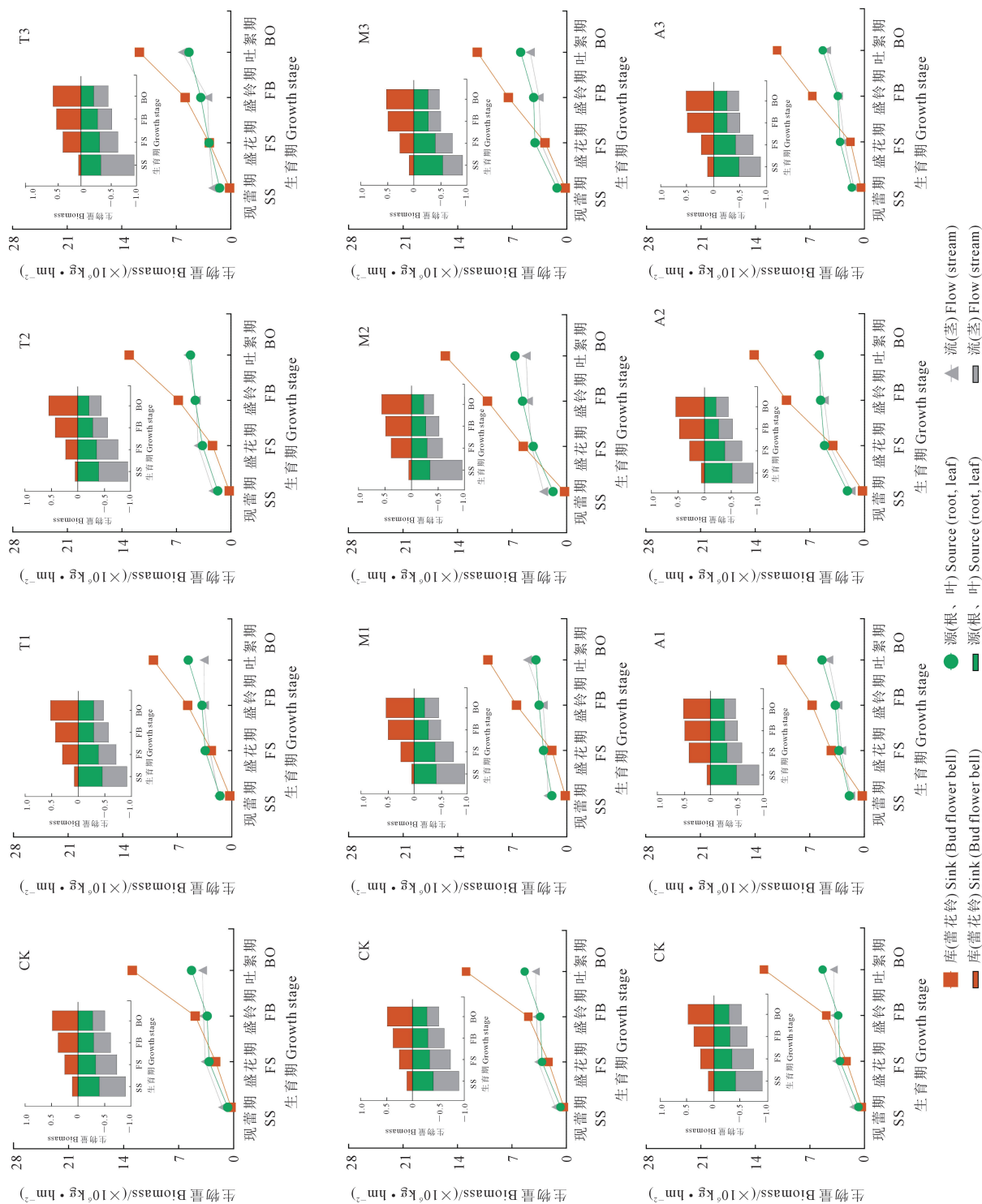


图5 不同外源物质对不同生育时期棉花生物量的影响
Fig.5 Effects of different exogenous substances on cotton biomass at different growth stages

表1 不同外源物浸种对棉花产量及产量构成因素的影响

Table 1 Effects of different exogenous substances on cotton yield and yield components

因素 Factor	处理 Treatment	收获株数 Number of harvested plants ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	单株结铃数 Boll number per plant	单铃重 Single boll weight/g	衣分 Lint percentage /%	籽棉产量 Seed cotton yield /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
外源物种类 Type (T)	海藻糖 Trehalose	17.633±0.592A	5.392±0.107A	6.425±0.058A	0.426±0.003A	6028.633±168.4A
	褪黑素 Melatonin	18.942±0.592A	5.117±0.107A	6.367±0.058A	0.416±0.003B	6141.950±168.4A
	抗坏血酸 Ascorbicacid	18.300±0.592A	5.250±0.107A	6.283±0.058A	0.423±0.003AB	6008.450±168.4A
	CK	17.411±0.684b	5.167±0.124a	6.267±0.067a	0.423±0.003a	5962.167±194.5b
外源物浓度 Concentration (C)	浓度一 Concentration 1	17.556±0.684b	5.300±0.124a	6.433±0.067a	0.423±0.003a	5949.422±194.5b
	浓度二 Concentration 2	20.633±0.684a	5.67±0.124a	6.422±0.067a	0.419±0.003a	6663.467±194.5a
	浓度三 Concentration 3	17.567±0.684b	5.178±0.124a	6.113±0.067a	0.421±0.003a	5663.656±194.5b
因素 Factor		P 值 P value				
T		ns	ns	ns	ns	ns
C		0.006	ns	ns	ns	0.009
T×C		ns	ns	ns	ns	ns

注:同列大写字母表示外源物种类之间的差异显著($P<0.05$)。同列小写字母表示外源物浓度之间的差异显著($P<0.05$)。ns表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

Note: Capital letters in the same column indicate significant differences between alien species classes ($P<0.05$), and lowercase letters indicate significant differences between concentrations of exogenous substances ($P<0.05$). ns means that the difference is not significant ($P>0.05$). The same below.

表2 不同外源物浸种对棉花纤维品质的影响

Table 2 Effects of different exogenous substances on cotton fiber quality

因素 Factor	处理 Treatment	纤维上半部 平均长度 Fiber length/mm	长度整齐度 指数 Length neatness Index/%	断裂比强度 Specific breaking strength /($\text{cN} \cdot \text{tex}^{-1}$)	断裂伸长率 Elongation at break/%	马克隆值 Micronaire	成熟度系数 Maturity coefficient
外源物种类 Type (T)	海藻糖 Trehalose	29.492±0.167A	86.425±0.201A	29.508±0.318A	10.692±0.253A	5.125±0.049AB	0.852±0.003A
	褪黑素 Melatonin	29.558±0.167A	86.000±0.201A	28.775±0.318A	10.767±0.253A	4.992±0.049B	0.848±0.003A
	抗坏血酸 Ascorbicacid	29.325±0.167A	86.367±0.201A	29.200±0.318A	10.817±0.253A	5.217±0.049A	0.852±0.003A
	CK	29.500±0.193a	85.833±0.232a	29.333±0.368ab	11.167±0.292a	5.067±0.057a	0.847±0.003a
外源物浓度 Concentration (C)	浓度一 Concentration 1	29.567±0.193a	86.311±0.232a	28.422±0.368b	11.044±0.292a	5.122±0.057a	0.849±0.003a
	浓度二 Concentration 2	29.233±0.193a	86.433±0.232a	29.222±0.368ab	10.333±0.292a	5.178±0.057a	0.854±0.003a
	浓度三 Concentration 3	29.533±0.193a	86.478±0.232a	29.667±0.368a	10.489±0.292a	5.078±0.057a	0.851±0.003a
因素 Factor		P 值 P value					
T		ns	ns	ns	ns	0.013	ns
C		ns	ns	ns	ns	ns	ns
T×C		ns	ns	ns	ns	ns	ns

由此可看出,株高等农艺性状与生物量、产量及其构成因素彼此之间既相互促进,又相互抑制。结果表明,外源物浸种可能通过提高棉花的成苗率,进一步促进棉花植株的生长、增加生物量的积累,进而影响棉花的产量。

3 讨论

温度是影响作物生长发育的重要环境因素之一,而低温则会导致棉花生长发育延缓以及生理机能受到损伤^[19-20]。苗期遭受低温胁迫会影响种子的正常萌发、出苗率和出苗质量^[21]。我们的研究显示了类似的结果,例如在遭受低温冷害后,棉花的成苗情况、株高和茎粗以及生物量积累等受到不同程度的损害和抑制。在本试验中,施用外源物浸种处理后受灾棉花的成苗率、株高、茎粗和果枝台数均有所增加,分别较其他处理提高1%~8%、3%~

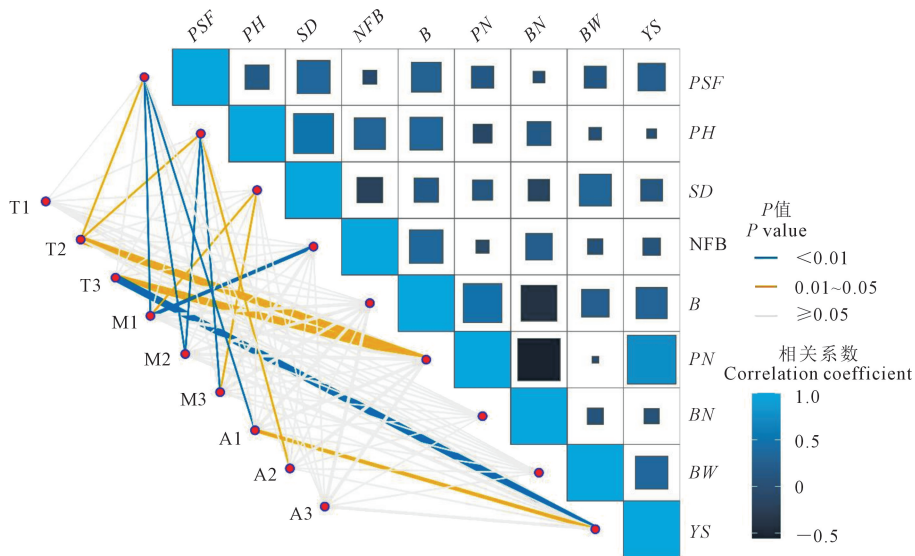
15%、2%~26%和4%~27%。这与采用50 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 外源褪黑素能显著促进大豆植株生长发育且增产^[22]以及施用海藻糖浸种处理油菜种子可以有效缓解低温对种子萌发的抑制作用,促进根系生长,提高幼苗鲜质量^[15]的作用效果相似。此外,A1处理的成苗率远低于其他处理,其主要原因可能是其浸种对于缓解低温冷害对棉苗所造成的损伤效果不大,也可能是其浓度较低对棉苗的生长有所抑制,其主要原因还有待探究。

同时,生物量是作物光合作用的最终产物,其合理的积累与分配是提高作物产量的关键^[23]。合理利用外源物质可以促进作物的光合作用生产更多的光合产物来增加生物量的积累^[24]。在本试验中,施用海藻糖、褪黑素和抗坏血酸浸种处理,棉花的生物量积累以及库(蕾花铃)在生物量中的比例均有所提升,其中褪黑素处理的增加幅度最大,较其



图 2 棉苗受灾情况对比

Fig.2 Comparison of cotton seedling disaster conditions



注: PSF:成苗率;PH:株高;SD:茎粗;NFB:果枝台数;B:生物量;PN:收获株数;BN:单株结铃数;BW:单铃重;YS:籽棉产量。T1、T2、T3:0、15、20 mmol · L⁻¹海藻糖处理;M1、M2、M3:50、100、150 μmol · L⁻¹褪黑素处理;A1、A2、A3:25、50、75 mg · L⁻¹抗坏血酸处理。图中正方形的大小表示影响结果大小。

Note: PSF: Seedling rate; PH: Plant height; SD: Stem thickness; NFB: Number of fruit branches; B: Biomass; PN: Number of harvested plants; BN: Number of bell sets per plant; BW: Single bell weight; YS: Seed cotton yield. T1, T2, T3: Treat with 0, 15, 20 mmol · L⁻¹ trehalose; M1, M2, M3: Treat with 50, 100, 150 μmol · L⁻¹ melatonin; A1, A2, A3: Treat with 25, 50, 75 mg · L⁻¹ ascorbic acid. The size of the square in the figure represents the size of the impact on the results.

图 6 外源物对棉花生长和产量指标影响的相关性分析

Fig.6 Correlation analysis of exogenous substances on cotton growth and yield indexes

他处理显著高出 5%~40%,使得合理使用植物生长调节剂具有增加干物质积累,合理分配干物质等作用^[25]在本试验中得到很好的验证。类似的研究也表明经过辛酸甲酯处理后,棉花的干物质积累有所

提高^[26],喷施芸苔素甾醇可以增加小麦叶面积,提高其干物质积累量,增加千粒重和穗粒数从而提高产量^[27]以及施用 0.15 mmol · L⁻¹褪黑素处理甘蓝种子可以显著促进幼苗在低温胁迫下的生长以及

生物量的积累^[28],这与本研究结果相似。

产量是作物生产的最终目标,也是评价作物抗逆性最重要最根本的鉴定指标^[29]。棉花产量最终是由收获株数、单株结铃数、单铃重及衣分共同决定的^[30]。在本试验中,籽棉产量均在褪黑素处理下达到最高,并随着浓度的增加呈先增后减的趋势,在褪黑素的 M2 处理达到最高,分别较其他处理高出 12%~17%。其中,收获株数对产量的影响较为显著,可能是褪黑素浸种处理通过提高了棉苗的成苗率进一步增加了棉花的收获株数,进而影响棉花产量。前人类似研究表明,采用 50 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 褪黑素处理小麦可以提高了 5%~11% 的产量^[31];在苗期施用褪黑素以及在大粒期喷施褪黑素都可以提高大豆产量^[22,32],说明褪黑素有提升作物产量的效果,这与本研究结果大致相似。此外,棉花纤维上半部平均长度与断裂比强度是评价棉花品质优劣的重要指标之一^[33]。海藻糖、褪黑素和抗坏血酸处理的纤维长度和断裂比强度均在 29 mm 和 29 $\text{cN} \cdot \text{tex}^{-1}$ 以上。马克隆值是反映棉花纤维细度和成熟度的综合性指标之一,褪黑素处理的马克隆值低于海藻糖和抗坏血酸处理,达到了 B 级。结果表明,外源物浸种处理下的棉花纤维品质无显著差异,整体表现较好。

4 结 论

褪黑素、海藻糖、抗坏血酸浸种对低温冷害下棉花的形态建成和产量的提升具有促进作用,呈现褪黑素>海藻糖>抗坏血酸的效果,且呈现中等浓度促进、低浓度和高浓度抑制的浓度效应。从试验结果来看,外源物浸种使低温冷害中的棉花成苗率显著提高 1.3%~6.1%;株高、茎粗和果枝台数分别显著提高 8.1%~9.2%、10.1%~14.6% 和 13.7%~22.2%;生物量显著增加 1.6%~20.9%,生物量在库(蕾花铃)的分配比例提高 3.3%~16.4%;籽棉产量显著提高 11.7%~18.4%;棉花纤维上半部平均长度和断裂比强度均达到 29 mm 以上和 29 $\text{cN} \cdot \text{tex}^{-1}$ 以上,马克隆值为 B 级。其中,施用 100 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的褪黑素浸种对低温冷害后棉花幼苗恢复、后续生长发育以及产量的提高的综合作用效果较优,可以提高棉花抵御低温冷害的能力,为棉花逆境高产和抗逆减灾技术提供技术依据。

参 考 文 献:

[1] 白燕丹. 褪黑素浸种对干旱胁迫下棉花种子萌发和幼苗生长的影响[D]. 保定:河北农业大学, 2020.
BAI Y D. Effects of seed soaking with melatonin on seed germination

and seedling growth under drought stress in cotton [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2021.

[2] 国家统计局. 2023 年中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023: 10-12.
National Bureau of Statistics. National Bureau of Statistics 2023 China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2023: 10-12.

[3] 辛慧慧, 李防洲, 侯振安, 等. 低温胁迫下棉花幼苗对外源水杨酸的生理响应[J]. 植物生理学报, 2014, 50(5): 660-664.
XIN Huihui, LI Fangzhou, HOU Zhenan, et al. Physiological response of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) seedling to Exogenous salicylic acid under low temperature stress [J]. Plant Physiology Communications, 2014, 50(5): 660-664.

[4] 张西岭, 宋美珍, 王香茹, 等. 新疆“宽早优”植棉模式概述[J]. 中国棉花, 2021, 48(1): 1-4.
ZHANG X L, SONG M Z, WANG X R, et al. Overview of "Wide Zaoyou" cotton planting model in Xinjiang [J]. China Cotton, 2021, 48(1): 1-4.

[5] 丁顺华, 李艳艳, 王宝山. 外源海藻糖对小麦幼苗耐盐性的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(3): 513-518.
DING S H, LI Y Y, WANG B S. Effect of exogenous trehalose on salt tolerance of wheat seedlings [J]. Acta botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(3): 513-518.

[6] 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.
TIAN L X, LI L J, LIU X, et al. Root growth and physiological characteristics of salt-stressed maize seedlings in response to exogenous trehalose [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2017, 33(4): 754-759.

[7] 赵莹, 杨克军, 李佐同, 等. 外源糖浸种缓解盐胁迫下玉米种子萌发[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2735-2742.
ZHAO Y, YANG K J, LI Z T, et al. Alleviation of salt stress during maize seed germination by presoaking with exogenous sugar [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(9): 2735-2742.

[8] 闫道良, 郑炳松. 海藻糖浸种对盐胁迫下扬麦 19 生理特性的影响[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(8): 1271-1276.
YAN D L, ZHENG B S. Effects of soaking seeds in trehalose on physiological characteristics of wheat Yangmai-19 under salt stress [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(8): 1271-1276.

[9] WANG P, SUN X, LI C, et al. Long-term exogenous application of melatonin delays drought-induced leaf senescence in apple [J]. Journal of Pineal Research, 2013, 54(3): 292-302.

[10] 段文静, 孟妍君, 江丹, 等. 外源褪黑素对盐胁迫下棉花幼苗形态及抗氧化系统的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(1): 92-104.
DUAN W J, MENG Y J, JIANG D, et al. Effects of exogenous melatonin on the morphology and antioxidant enzyme activities of cotton seedlings under salt stress [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2022, 30(1): 92-104.

[11] MANCHESTER L C, COTO-MONTES A, BOGA J A, et al. Melatonin: an ancient molecule that makes oxygen metabolically tolerable [J]. Journal of Pineal Research, 2015, 59(4): 403-419.

[12] 王龙, 樊婕, 魏畅, 等. 外源抗坏血酸对铜胁迫菊苣幼苗生长的缓解效应[J]. 草业学报, 2021, 30(4): 150-159.
WANG L, FAN J, WEI C, et al. Mitigative effect of exogenous ascorbic acid on the growth of copper-stressed chicory (*Cichorium intybus*) seedlings [J]. Acta praeagriculturae Sinica, 2021, 30(4): 150-159.

- [13] 徐芬芬, 王爱斌. 抗坏血酸对盐胁迫下水稻叶绿体活性氧代谢的影响[J]. 杂交水稻, 2016, 31(3): 68-70, 75.
XU F F, WANG A B. Effects of ascorbic acid on active oxygen metabolism of rice chloroplast under salt stress[J]. Hybrid Rice, 2016, 31(3): 68-70, 75.
- [14] 徐婷, 王俊强, 韩业辉, 等. 外源甜菜碱浸种对低温胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2023, (8): 8-12.
XU T, WANG J Q, HAN Y H, et al. Effects of exogenous glycine betaine seed soaking on maize seed germination under low temperature stress and seedling growth[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2023, (8): 8-12.
- [15] 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.
ZHANG Y Q, YANG Z F, LI Y, et al. Effect of exogenous trehalose on seed germination and seedling growth of rapeseed under low temperature[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2022, 44(2): 376-384.
- [16] 艾力江·麦麦提, 秦倩, 蒋艳, 等. 海藻糖浸种对不同盐胁迫下甜瓜种子萌发的影响[J]. 北方园艺, 2022, (21): 16-22.
MAI MAI TI A L J, QIN Q, JIANG Y, et al. Effects of seed soaking with exogenous trehalose on the germination of melon under different saline conditions[J]. Northern Horticulture, 2022, (21): 16-22.
- [17] 马鑫颖, 宋晨, 孟妍君, 等. 外源褪黑素对镉胁迫下棉花种子萌发、抗氧化酶活性及渗透调节物质含量的影响[J]. 棉花学报, 2023, 35(4): 313-324.
MA X Y, SONG C, MENG Y J, et al. Effects of exogenous melatonin on germination, antioxidant enzymes activity, and osmotic adjustment substance content of cotton seed under cadmium stress[J]. Cotton Science, 2023, 35(4): 313-324.
- [18] 李艺寒, 陈玉童, 刘芯邑, 等. 外源抗坏血酸对棉花种子萌发耐冷性的影响[J]. 种子, 2019, 38(3): 77-80.
LI Y H, CHEN Y T, LIU X Y, et al. Effect of exogenous ascorbic acid on chilling tolerance of cotton seed germination[J]. Seed, 2019, 38(3): 77-80.
- [19] 赖先齐, 刘月兰, 徐腊梅, 等. 北疆棉区棉花低温冷害的初步分析及对策探讨[J]. 新疆农业科学, 2008, (5): 782-786.
LAI X Q, LIU Y L, XU L M, et al. Preliminary analysis and countermeasures of low temperature chilling injury of cotton in northern Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008, (5): 782-786.
- [20] 赵强, 徐腊梅, 王磊, 等. 2006年5月上旬新疆石河子棉区低温危害分析[J]. 新疆农业科学, 2007, (1): 23-26.
ZHAO Q, XU L M, WANG L, et al. Risk analysis of low temperature in cotton area of Shihezi, Xinjiang in early May 2006[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2007, (1): 23-26.
- [21] WEI W, LI Q T, CHU Y N, et al. Melatonin enhances plant growth and abiotic stress tolerance in soybean plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(3): 695-707.
- [22] 邹京南, 于奇, 金喜军, 等. 外源褪黑素对干旱胁迫下大豆鼓粒期生理和产量的影响[J]. 作物学报, 2020, 46(5): 745-758.
ZOU J N, YU Q, JIN X J, et al. Effects of exogenous melatonin on physiology and yield of soybean during seed filling stage under drought stress[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(5): 745-758.
- [23] 高小丽, 孙健敏, 高金锋, 等. 不同绿豆品种花后干物质积累与转运特性[J]. 作物学报, 2009, 35(9): 1715-1721.
GAO X L, SUN J M, GAO J F, et al. Accumulation and transportation characteristics of dry matter after anthesis in different mung bean cultivars[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(9): 1715-1721.
- [24] 李新宇. 棉花成铃的组合外源调节物质调节效应研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
LI X Y. Effect of combined exogenous regulating substance on cotton bolling[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006.
- [25] SARWAR M, SALEEM M F, ULLAH N, et al. Exogenously applied growth regulators protect the cotton crop from heat — induced injury by modulating and floral bud carbohydrate accumulation [J]. Scientific Reports, 2018, 8: 17086-17100.
- [26] 阿力木江·克来木, 赵强, 占东霞, 等. 外源物质对化学封顶棉花农艺性状及产量形成的调控效应[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(10): 20-29.
KE LAI MU A L M, ZHAO Q, ZHAN D X, et al. Regulatory effects of exogenous substances on agronomic traits and yield formation of chemically capped cotton[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2019, 21(10): 20-29.
- [27] 王学奎, 骆炳山, 屈映兰. 油菜素内酯促进小麦灌浆结实及其生理基础研究[J]. 华中农业大学学报, 1990, (2): 123-128.
WANG X K, LUO B S, QU Y L. The promotion on the milking and formation of grains in wheat and its biological mechanism[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1990, (2): 123-128.
- [28] 唐鸿吕. 外源褪黑素对低温胁迫下甘蓝苗期生长、生理特性及成株产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
TANG H L. Effects of exogenous melatonin on seedling growth, physiological characteristics and adult plant yield of cabbage under low temperature stress[D]. Yang Ling: Northwest A&F University, 2022.
- [29] 冀天会, 张灿军, 杨子光, 等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究Ⅲ综合评价指标的比较研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(10): 422-426.
JI T H, ZHANG C J, YANG Z G, et al. Study on resistance drought identify method and evaluation index of wheat Ⅲ the comparative study on synthesis evaluation index[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(10): 422-426.
- [30] 蔡晓莉, 马丽娟, 逯涛, 等. 不同种植模式和密度对Z1112产量及纤维品质的影响[J]. 中国棉花, 2018, 45(6): 24-26, 42.
CAI X L, MA L J, LU T, et al. Effects of different cultivation patterns and densities on yield and fiber quality of a cotton variety Z1112[J]. China Cotton, 2018, 45(6): 24-26, 42.
- [31] ZAFAR S, HASNAIN Z, ANWAR S, et al. Influence of melatonin on antioxidant defense system and yield of wheat (*Triticum Aestivum* L.) genotypes under saline condition[J]. Pakistan Journal of Botany, 2019, 51(6): 1987-1994.
- [32] 何松榆. 干旱胁迫下外源褪黑素对大豆苗期生理特性和产量的影响[J]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2020.
HE S Y. Effects of exogenous melatonin on seedling physiological characteristics and yield of soybean under drought stress[J]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2020.
- [33] 王聪, 罗宏海, 王明洋, 等. 播种期对不同配置方式杂交棉光合物质生产及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(11): 1961-1968.
WANG C, LUO H H, WANG M Y, et al. Effects of sowing date on photosynthetic production and yield of hybrid cotton material under different plant models[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2015, 52(11): 1961-1968.