文章编号:1000-7601(2025)06-0039-08 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2025.06.04

复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵光合特性及产量的影响

赵长延[1],贾秀苹[3],柳延涛[2],刘胜利[2],雷中华[4],王 鹏[2],
朱志锋[5],董红业[2],吕增帅[2],段 维[2],万素梅[1]

(1.塔里木大学农学院,新疆 阿拉尔 843300; 2.新疆农垦科学院作物研究所,新疆 石河子 832000; 3.甘肃省农业科学院作物研究所,甘肃 兰州 730000; 4.新疆农业科学院经济作物研究所,新疆 乌鲁木齐 830003; 5.中国种子集团有限公司,海南 三亚 572024)

摘 要:以盐碱敏感型('YE988')、不耐盐碱型('S2102')、耐盐碱型('龙葵杂 4 号')和强耐盐碱型('出油至尊 909S')油葵为试验材料,在 0.6%复合盐碱浓度下设置 0(CK)、1(K1)、10(K2)、100 μmol·L^{-1}(K3)4 个褪黑素浓度,探索不同褪黑素浓度处理对复合盐碱胁迫下油葵光合特性及产量的影响。结果表明:与 CK 相比,K1、K2、K3 处理均可改善盐碱胁迫下油葵光合特性,开花期净光合速率呈先增后减趋势,'YE988'、'S2102'、'龙葵杂 4 号'和'出油至尊 909S'在 K2 处理达到最大值,分别为 49.38、39.47、38.64、43.16 μmol·m^{-2}·g^{-1},较 CK 提高 2.9%~53.9%;产量在 K2 处理分别达到 5 700.77、5 855.45、6 005.65、6 171.96 kg·hm^{-2},较 CK 提高 6.6%~22.3%。综上,褪黑素能够缓解盐碱胁迫对油葵光合作用的不利影响,提高其耐盐碱特性,本试验条件下 10 μmol·L^{-1}处理效果最佳。

关键词:油葵;褪黑素;盐碱胁迫;光合特性;产量
中图分类号:S565.5 **文献标志码**:A

Effects of exogenous melatonin on photosynthetic characteristics and yield of oil sunflower under compound saline-alkali stress

ZHAO Changyan[1], JIA Xiuping[3], LIU Yantao[2], LIU Shengli[2], LEI Zhonghua[4], WANG Peng[2], ZHU Zhifeng[5], DONG Hongye[2], LV Zengshuai[2], DUAN Wei[2], WAN Sumei[1]

(1. *College of Agriculture, Tarim University, Alar, Xinjiang* 843300, *China*;
2. *Crop Research Institute of Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi, Xinjiang* 832000, *China*;
3. *Institute of Crops Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*;
4. *Xinjiang Institute of Agricultural Sciences and Economic Crops, Urumqi, Xinjiang* 830003, *China*;
5. *China Seed Group Co., Ltd., Sanya, Hainan* 572024, *China*)

Abstract: The saline-alkaline sensitive type ('YE988'), saline-alkaline intolerant type ('S2102'), saline-alkaline tolerant type ('Longkuiza No.4'), and strong saline-alkaline tolerant type ('Chuyouzhizun 909S') were used as experimental materials. Four melatonin concentrations of 0 (CK), 1 (K1), 10 (K2), and 100 μmol·L^{-1} (K3) were set at 0.6% compound saline-alkaline concentration to explore the effects of different melatonin concentrations on photosynthetic characteristics and yield of oil sunflower under compound saline-alkaline stress. The results showed that compared with CK treatment, K1, K2, and K3 treatments could improve the photosynthetic characteristics of oil sunflower under saline-alkali stress, and the net photosynthetic rate at the flowering stage increased

收稿日期:2024-12-24 **修回日期**:2025-01-15
基金项目:新疆生产建设兵团科技创新人才项目(2023CB007-06);新疆生产建设兵团重点领域科技攻关项目(2024AB014);新疆生产建设兵团英才青年项目;新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A02008-5);新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2023B02008-1)
作者简介:赵长延(2000-),男,山东聊城人,硕士研究生,研究方向为油葵高产栽培和水肥高效利用。E-mail:zhao03116@163.com
通信作者:柳延涛(1979-),男,河南荥阳人,研究员,主要从事向日葵抗逆育种及高产栽培机理研究。E-mail:ziheng1979@126.com
段维(1968-),女,新疆库尔勒人,研究员,主要从事向日葵新品种选育、高产栽培技术研究及推广工作。E-mail:condydw@126.com

first and then decreased. 'YE988', 'S2102', 'Longkuiza No.4', and 'Chuyouzhizun 909S' reached the maximum under K2 treatment, which were 49.38, 39.47, 38.64, and 43.16 μmol · m^{-2} · g^{-1}, respectively, which were 2.9%~53.9% higher than CK. The yield of K2 treatment reached 5700.77, 5 855.45, 6 005.65, and 6 171.96 kg · hm^{-2}, respectively, which was 6.6%~22.3% higher than that of CK. In summary, melatonin can alleviate the adverse effects of saline-alkali stress on photosynthesis of oil sunflower and improve its saline-alkali tolerance. Under the conditions of this experiment, the 10 μmol · L^{-1} treatment had the best effect.

Keywords: oil sunflower; melatonin; saline-alkali stress; photosynthesis; yield

向日葵作为一年生植物,具有很高的经济价值[1],也是重要的油料作物之一,具有抗盐碱和抗旱特性,主要在西北、华北和东北等盐碱地区种植[2]。2022年我国向日葵种植面积达到62.32万hm^2,产量为174.1万t;内蒙古自治区种植面积约42.3万hm^2,占全国总种植面积的67.8%,产量达115.44万t,占全国总产量的66.3%[3]。

盐碱地是土壤盐碱化的一种土地类型,其土壤碱化层的碱化度超过5.0%[4]。盐碱地土壤含盐量高、碱度大,阻碍植物正常生长,严重影响农林业生产发展[5]。在世界盐碱地分布中,亚洲盐碱地分布较多,且我国盐碱地面积较大[6]。我国耕地面积约13 499万hm^2,而盐渍化土地总面积高达9 913万hm^2[7]。新疆是我国盐碱地分布面积最广的地区,占我国盐渍化土壤总面积的36.8%[8]。

褪黑素是一种由色氨酸合成的吲哚胺类激素,近年来在作物中发挥着重要的生理调节作用,尤其是在作物应对逆境胁迫方面表现出显著效果。盐碱胁迫抑制作物生长,盐碱胁迫下Na^+、Cl^-等离子含量高,影响作物对其他离子的吸收,抑制其光合作用,阻碍作物的生长发育[9]。左月桃等[10]发现小麦采用褪黑素浸种可提高水分利用率,降低根系损伤程度,增加根系生物量;刘婷婷[11]研究表明,黄瓜幼苗在褪黑素处理下其株高、茎粗、叶长和叶宽明显增加;李荣等[12]研究表明,喷施100 μmol · L^{-1}褪黑素的黄瓜幼苗对盐胁迫的缓解效应最佳,对黄瓜幼苗生长的促进效果较好。目前,褪黑素对盐碱胁迫下油葵的影响尚不清晰,本研究拟从盐碱胁迫油葵光合特性及产量等方面探究褪黑素对盐碱胁迫下油葵生长发育的作用。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验于2024年在新疆拜城县国家土壤质量阿克苏观测试验站进行。试验地土壤类型为砂壤土,土壤有机质含量13.1 g · kg^{-1},氮、磷、钾含量分别为600、16、142 mg · kg^{-1}。研究区属温带大陆性干旱气候,年均气温7.6℃,最高气温38.3℃,最低气温-28℃,无霜期133~163 d,年均日照时数约2 790 h,年均降水量约171 mm。经团队前期对国内外收集的164个油葵品种进行耐盐碱种质资源筛选,选取盐碱抗性不同的油葵品种'YE988'(盐碱敏感)、'S2102'(不耐盐碱)、'龙葵杂4号'(耐盐碱)和'出油至尊909S'(强耐盐碱),采用适当的复合盐碱浓度梯度进行试验(表1、2)。褪黑素由北京索莱宝科技有限公司提供,纯度99.0%。

表1 不同盐碱浓度对油葵发芽率的影响

Table 1 Effects of different saline-alkali concentrations on germination rate of oil sunflower

品种 Variety	盐碱浓度 Saline-alkali concentration /(g · L^{-1})	发芽率 Germination rate/%
出油至尊909S Chuyouzhizun 909S	0	100
	3	100
	6	85
	9	70
龙葵杂4号 Longkuiza No.4	0	96
	3	92
	6	76
	9	44
S2102	0	92
	3	84
	6	40
	9	20
YE988	0	92
	3	76
	6	16
	9	0

表2 不同浓度褪黑素对油葵发芽率的影响

Table 2 Effects of different concentrations of melatonin on germination rate of oil sunflower

盐碱浓度 Saline-alkali concentration /(g · L^{-1})	褪黑素浓度 Melatonin concentration /(μmol · L^{-1})	发芽率 Germination rate/%
6	0	28
6	1	32
6	10	40
6	50	36
6	100	32
6	150	30
6	200	30

1.2　试验设计

采用完全随机区组设计,试验小区为 30 m^2(6 m×5 m),株距 0.25 m、行距 0.5 m。按照 20 cm 耕层深度,播种前使用施肥罐加 46.8 kg NaCl 和 Na_2CO_3 按 1∶1 混匀进行灌水,播种前测土壤 0~20 cm 土层含盐量 0.6%,pH 为 8.5。采用膜下加压滴灌,全生育期滴水 6~8 次,底肥主要以有机肥、重过磷酸钙、尿素等为主,追肥以磷酸一铵肥、尿素、硫酸钾、硼肥和微肥为主。在苗期和蕾期进行喷施褪黑素处理。按照当地栽培管理方式进行管理。设置 4 种褪黑素浓度,即 0(清水,CK)、1(K1,0.00023 g 褪黑素+4.6 μL 无水乙醇溶解,定容至 1 L)、10(K2,0.00023 g 褪黑素+4.6 μL 无水乙醇溶解,定容至 1 L)、100 μmol·L^{-1}(K3,0.023g 褪黑素+460 μL 无水乙醇溶解,定容至 1 L),各处理设 3 个重复。

1.3　测定项目及方法

1.3.1　叶绿素　选择长势一致的植株并在天气晴朗时段 12∶00—14∶00 测定叶绿素 SPAD 值。SPAD 仪使用 SPAD-502(柯尼卡美能达公司,日本)进行测定。

1.3.2　光合特性　分别在油葵生育苗期、蕾期、开花期、成熟期进行测定。选择晴朗天气时段 12∶00—14∶00 进行油葵功能叶光合特性测定。光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)及水分利用效率(*WUE*)用 Li-6400 光合仪(LI-COR,美国)进行测定,*WUE*=净光合速率/蒸腾速率。

1.3.3　荧光参数　在油葵开花期进行测定。先将叶片暗适应 30 min,3 000 μmol^{-2}·s^{-1}设定光强下测定叶片叶绿素荧光参数,用 FP-100MAX-D 手持式荧光仪(易科泰,北京)进行测定。

1.3.4　产量　籽粒成熟时,收取籽粒进行测产并重复 3 次,并通过人工考种,测定百粒重、结实率、单盘粒重、籽仁率等数据。

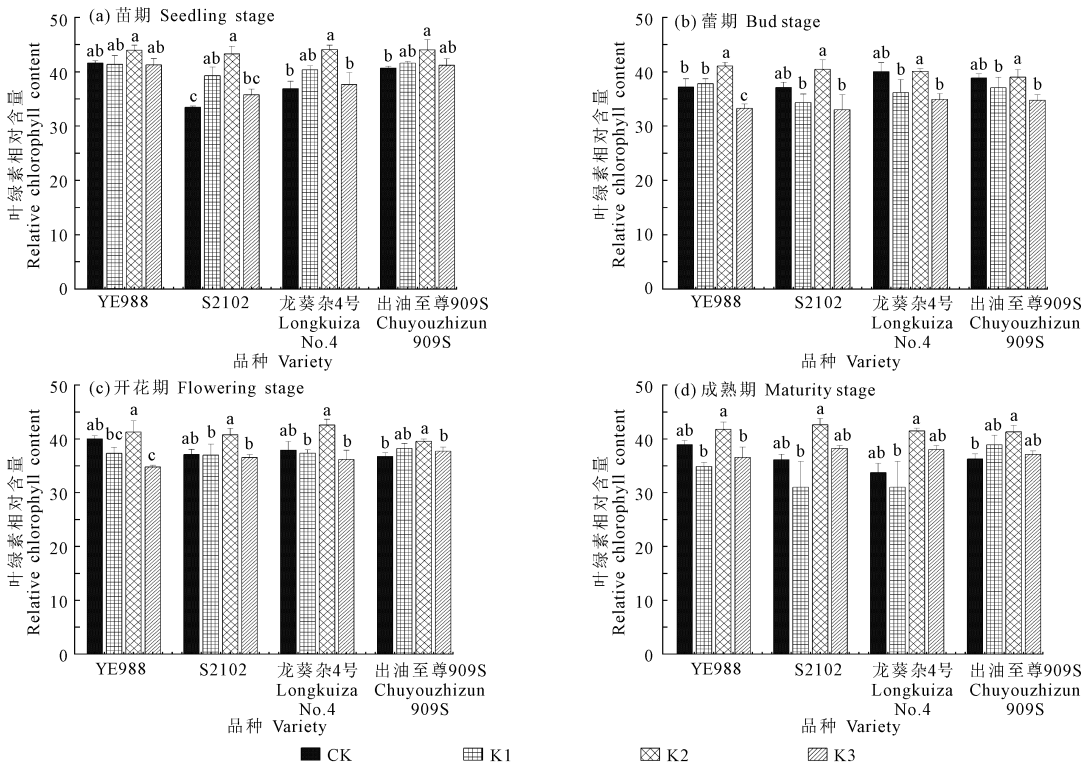
1.4　数据分析

使用 Excel 2019 进行分析统计采集数据,使用 SPSS 23.0 软件进行方差分析,使用 Origin 2024b 软件作图。

2　结果与分析

2.1　复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵相对叶绿素含量的影响

叶绿素含量是评估作物健康和生长速度的重要指标之一,从图 1 可知,在复合盐碱胁迫下不同外源褪黑素处理中油葵叶绿素相对含量均在 K2 处理



注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments (P<0.05), the same below.

图 1　外源褪黑素对油葵相对叶绿素含量的影响

Fig.1　Effects of exogenous melatonin on relative chlorophyll content of oil sunflower

下达到最大值。在苗期,‘YE988’和‘出油至尊 909S’在 K2 处理下最高,分别为 43.96 和 44.02,较 CK 分别提高 5.6%和 10.0%;‘S2102’在 K1 和 K2 处理显著高于 CK;‘龙葵杂 4 号’在 K2 处理显著高于 CK 和 K3 处理,分别提高 22.2%和 18.9%。在蕾期,‘YE988’在 K2 处理显著高于 CK、K1、K3 处理,分别显著提高 10.5%、6.9%、24.2%;‘S2102’在 K2 处理下最高,显著高于 K1 和 K3 处理,分别提高 8.1%和 21.2%;‘龙葵杂 4 号’在 K2 处理较 K1 和 K3 处理分别提高 11.1%和 17.6%;‘出油至尊 909S’在 K2 处理较 K1 和 K3 处理分别提高 5.4% 和 14.7%。在开花期,‘YE988’在 K2 处理显著高于 K1 和 K3 处理,分别提高 10.8%和 20.6%;‘S2102’在 K2 处理显著高于 K1 和 K3 处理,分别提高 8.4%和 9.6%;‘龙葵杂 4 号’在 K2 处理显著高于 K1 和 K3 处理,分别提高 13.3% 和 16.7%;‘出油至尊 909S’在 K2 处理显著高于 CK 和 K3 处理,分别提高 7.6%和 4.8%。综上,添加外源褪黑素可以有效提高油葵叶绿素含量,但是较高褪黑素浓度也可能抑制叶绿素的生成,因此,生产中需要选取合适的褪黑素浓度来提高油葵叶绿素含量。

2.2 复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵光合速率的影响

光合速率是反映作物光合作用强弱的重要指标之一,在复合盐碱胁迫下随着生育进程油葵光合速率呈先升高后下降趋势。在复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵光合速率的影响如图 2 所示,苗期‘YE988’、‘S2102’、‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’在 K2 处理下显著高于 CK、K1、K3 处理。蕾期‘YE988’和‘S2102’在 K2 处理显著高于 CK、K1、K3 处理,分别提高 64.1%、31.3%、48.1%和 63.7%、22.5%、25.9%;‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’在 K2 处理下最高,分别为 39.39 μmol · m^{-2} · g^{-1} 和 36.83 μmol · m^{-2} · g^{-1}。开花期‘YE988’和‘S2102’在 K2 处理显著高于 CK、K1、K3 处理,分别提高 53.9%、30.2%、29.3%和 13.9%、13.3%、21.3%;‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’在 K2 处理下最高。成熟期‘YE988’和‘S2102’在 K2 处理下最高,分别为 26.2 μmol · m^{-2} · g^{-1} 和 29.6 μmol · m^{-2} · g^{-1};‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’在 K2 处理显著高于 CK、K1、K3 处理,分别提高 24.9%、24.8%、24.5%和 58.7%、39.6%、25.7%。综上,复合盐碱胁迫下添加外源褪黑素为 10 μmol · L^{-1}时(K2 处理)各生育期光合速率能达到最大值,在开花期分别达到 49.38、39.47、38.64、43.16 μmol · m^{-2} · g^{-1},因此,生产中需添加适量浓度褪黑素来提高油葵光合速率。

2.3 复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵叶片相对水分利用效率的影响

水分利用效率是衡量作物产量与用水量关系的一种指标。从图 3 可以看出,在油葵整个生育期复合盐碱胁迫下不同外源褪黑素对油葵水分利用效率表现为先升高再降低。苗期‘YE988’在 K2 处理最高,‘S2102’、‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’在 K2 处理显著高于 CK、K1、K3 处理,分别提高 87.2%、21.1%、74.0%,67.1%、22.1%、78.9%和 27.9%、

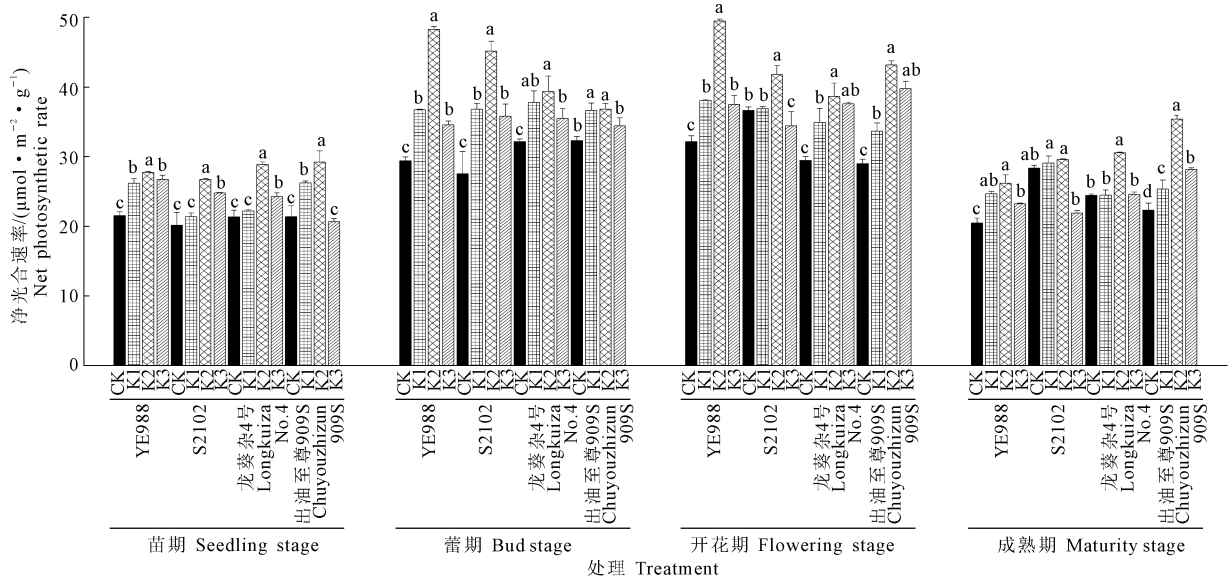


图 2 外源褪黑素对油葵叶片净光合速率的影响

Fig.2 Effects of exogenous melatonin on net photosynthetic rate of oil sunflower leaves

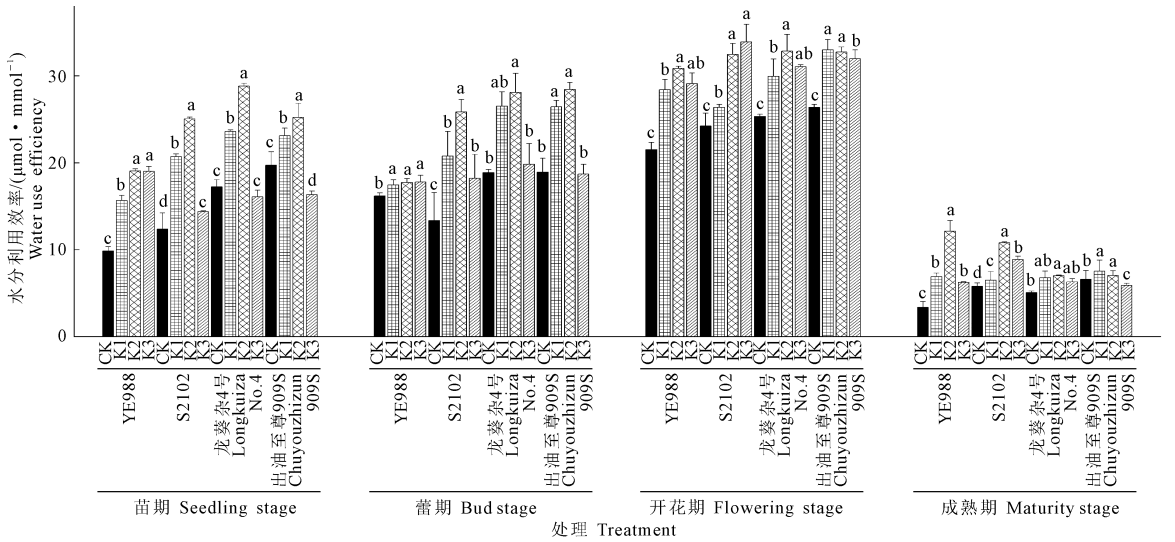


图 3　外源褪黑素对油葵叶片相对水分利用效率的影响

Fig.3　Effects of exogenous melatonin on relative water use efficiency of oil sunflower leaves

9.1%、54.5%;蕾期‘YE988’、‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’在 K2 处理下最高,‘S2102’在 K2 处理显著高于 CK、K1、K3 处理,分别提高 93.6%、24.4%、41.9%。开花期‘YE988’、‘龙葵杂 4 号’在 K2 处理最高;‘S2102’在 K3 处理最高,‘出油至尊 909S’在 K1 处理最高,但与 K2 处理无显著差异。成熟期‘YE988’和‘S2102’在 K2 处理显著高于 CK、K1、K3 处理,分别提高 96.5%、76.1%、94.2%和 86.2%、65.7%、21.3%;‘龙葵杂 4 号’在 K2 处理最高,‘出油至尊 909S’在 K1 处理最高,但与 K2 处理无显著差异。综上,K2 处理下叶片水分利用效率较高,K3 处理下叶片水分利用效率有所降低,即褪黑素浓度过高会影响叶片光合作用。

2.4　复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵荧光参数的影响

荧光参数是评估作物光合作用强弱的重要指标之一,开花期是油葵光合作用最强的生育时期,所以在开花期对不同处理下油葵荧光参数进行测定(图 4)。初始荧光(F_0)在光系 PSⅡ反应中心处于完全开放时测定,最大荧光(F_m)是光系 PSⅡ反应中心处于完全关闭时的荧光产量,PSⅡ光化学效率反映 PSⅡ在黑暗中最大光化学效率。油葵荧光参数在 CK、K1、K2、K3 处理下 F_0和 F_m呈先降低再升高趋势,最大光化学效率在 CK、K1、K2、K3 处理下呈先升高再降低趋势。F_0在不同处理下表现为 K2<K1<CK<K3,K2 处理‘YE988’、‘S2102’、‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’的 F_0较 CK、K1、K3 处理分别降低 8.9%、5.8%、24.7%,9.0%、3.7%、13.7%,8.6%、6.0%、15.8%和 5.6%、3.2%、17.3%。F_m在不同处理下表现为 K2<K1<CK<K3,K2 处理‘YE988’、‘S2102’、‘龙葵杂 4 号’和‘出油至尊 909S’的 F_m较 CK、K1、K3 处理分别降低 10.0%、9.4%、29.6%,10.6%、5.0%、11.5%,11.9%、7.5%、19.3%和 10.5%、1.7%、24.0%。不同处理下‘YE988’和‘龙葵杂 4 号’的最大光化学效率表现为 K2>K1>CK>K3,K2 处理与 CK、K1、K3 处理相比分别提高 7.8%、3.8%、15.3%和 1.2%、0.6%、7.5%;不同处理下‘S2102’和‘出油至尊 909S’的最大光化学效率表现为 K2>K1>K3>CK,K2 处理与 CK、K1、K3 处理相比分别提高 4.8%、1.2%、2.4%和 37.1%、32.8%、30.7%。综上,不同油葵品种在 K2 处理下 F_0和 F_m最低,随着褪黑素浓度升高 K3 处理下 F_0和 F_m最高,最大光化学效率在 K2 处理下最高,故该处理最有利于提高光合作用;另外,初始荧光与叶片净光合速率呈负相关关系。

2.5　复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵产量的影响

产量与作物生长发育密切相关,可以充分反映褪黑素是否可以缓解盐碱胁迫对油葵的影响。从表 3 可知,在盐碱胁迫下 4 个品种油葵产量均在 K2 处理下达到最大值,其中‘YE988’和‘龙葵杂 4 号’产量分别为 5 700.77 kg·hm^{-2}和 6 005.05 kg·hm^{-2},较 CK、K1、K3 处理分别显著提高 17.3%、6.6%、15.2%和 13.4%、12.5%、14.6%,不同处理下产量表现为 K2>K1>K3>CK;‘S2102’和‘出油至尊 909S’产量分别为 5 855.45 kg·hm^{-2}和 6 171.96 kg·hm^{-2},较 CK、K1、K3 处理分别显著提高 18.4%、10.9%、17.9%和 22.8%、13.3%、16.4%,不同处理下产量表现为 K2>K3>K2>CK。

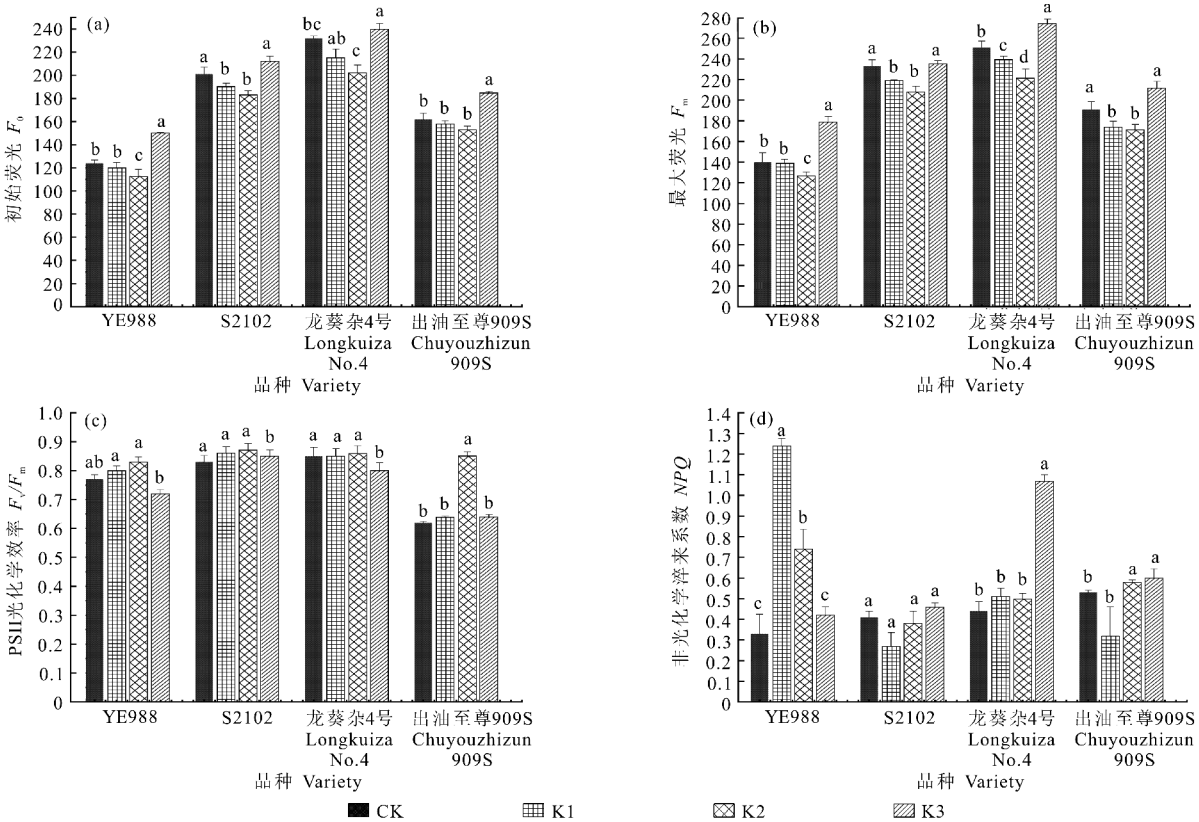


图 4 复合盐碱胁迫下外源褪黑素对油葵荧光参数的影响

Fig.4 Effects of exogenous melatonin on fluorescence parameters of oil sunflower under compound saline-alkali stress

表 3 外源褪黑素对油葵产量的影响

Table 3 Effects of exogenous melatonin on yield of oil sunflower

品种 Variety	处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm^{-2})	品种 Variety	处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm^{-2})
YE988	CK	4862.00±25.96c	龙葵杂 4 号 Longkuiza No.4	CK	5298.07±35.10b
	K1	5347.29±33.65b		K1	5338.75±26.30b
	K2	5700.77±28.12a		K2	6005.65±35.74a
	K3	4947.98±30.57c		K3	5240.93±19.35b
S2102	CK	4972.54±22.67b	出油至尊 909S Chuyouzhizun 909S	CK	5025.89±31.88b
	K1	5278.75±17.70ab		K1	5447.28±28.34ab
	K2	5855.45±30.50a		K2	6171.96±43.46a
	K3	4967.83±24.35ab		K3	5302.68±32.74ab

注:不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments (P<0.05).

3 讨 论

SPAD 值是表征植物光合变化的重要指标,通过 SPAD 值可对植物光合利用特征进行评估,从而了解其生长状况[13]。本研究表明,苗期不同品种在 K2 处理下显著高于 CK 处理,同时在不同生育时期 K2 处理下 SPAD 值最高,K2 处理更有利于油葵进行光合作用。郭远航[14]研究表明,外施褪黑素处理大豆叶片 SPAD 增大,这与本研究结果相同。叶绿素参与植物光合作用并且对植物生长和作物产量具有重要影响,叶片 SPAD 值反映了叶绿素含量。大量研究表明,褪黑素可增加非生物胁迫下植物叶片中光合色素含量,延缓叶片衰老,促进植物对光能的吸收和转化,保证植物有机物的积累[15]。

光合作用是植物吸收光能、合成碳水化合物的重要生理过程,对盐碱胁迫环境极为敏感。Zhang 等[16]发现,盐碱胁迫显著降低了小麦叶片的光合参数,抑制其光合能力。本研究表明,添加褪黑素可以提高盐碱胁迫下油葵光合速率,同时在 K2 处理下显著提高净光合速率。刘佳奇等[17]使用 150

μmol · L^{-1}褪黑素处理盐胁迫小麦幼苗研究表明,褪黑素处理显著促进叶绿素合成,这与本研究结果相似。苏立娜等[18]发现,褪黑素显著提高了盐胁迫下紫花苜蓿幼苗光合效率。盐碱胁迫会抑制作物光合作用,降低光合速率。褪黑素可以通过保护叶绿体的结构完整性提高光合色素的含量和稳定性,增强光合电子传递链的活性,改善光合作用[19]。此外,褪黑素还可以调节气孔的开闭,优化气体交换,提高光合碳同化能力。

植物叶片水分利用效率充分反映了作物的吸水量及产量,是作物增产的重要体现。本研究表明,K2 处理可以显著提高油葵叶片水分利用效率。水分利用效率与光合作用显著相关,王强[20]研究表明外源褪黑素缓解了盐碱胁迫对燕麦叶片光合作用的抑制效应,叶片的 G_s、C_i、T_r均有所提高,进而提高了叶片 P_n,且对蒸腾速率的影响更为显著。闫瑞阳[21]研究表明在木槿叶面喷施褪黑素可以提高光合速率,提升植株的水分利用效率,有效缓解干旱对植株造成的光合抑制。植株在盐碱胁迫下会出现生理性干旱、叶片气孔关闭,从而使植物的光合能力下降[20]。前人研究发现,褪黑素可有效缓解盐碱胁迫以及干旱胁迫等非生物胁迫环境对水稻[22]和黄瓜[23]叶片造成的抑制作用。说明褪黑素影响叶片净光合速率和蒸腾速率,从而更好地调节了气孔开放,提高叶片水分利用效率,增强对盐碱胁迫的适应能力。

叶绿素荧光参数变化反映逆境对 PSⅡ光系统的影响程度[24]。钟行杰等[25]研究表明喷施褪黑素后大豆幼苗叶片 PSⅡ荧光速率得到显著提升,说明喷施褪黑素有助于增强光合作用,这与本研究结果相似。本研究表明,1 μmol · L^{-1}和 10 μmol · L^{-1}褪黑素可以提高 PSⅡ光化学效率,随着褪黑素浓度升高则产生抑制作用。在水稻的研究上同样发现,外源褪黑素可增加叶绿素含量并加快叶片对光能的吸收和转化,同时提高光合作用关键酶的活性,明显增强了叶片 P_n,缓解了水稻在盐胁迫下的光合抑制效应[22]。

产量是褪黑素对盐碱胁迫下油葵缓解效应的最终结果。本研究表明,10 μmol · L^{-1}褪黑素提高了油葵产量,这与前人研究结果相似,申婉等[26]研究表明外源喷施褪黑素可有效提高盐碱胁迫下大豆的单株产量。宋雪飞[27]研究发现喷施褪黑素可以提高盐胁迫下水稻产量。樊聪等[28]研究表明施加褪黑素显著增加了高温胁迫下棉花的单位面积铃数和籽棉产量。经过褪黑素处理的油葵在盐碱胁迫后其产量较盐碱胁迫处理有所提高,这是由于褪黑素可提高油葵的光合作用,促进碳水化合物合成。外源褪黑素对盐碱胁迫下油葵缓解效应研究还需进一步验证。

4　结　论

盐碱胁迫会抑制油葵幼苗的生长发育,而喷施 10 μmol · L^{-1}褪黑素能够缓解盐碱胁迫对油葵生长的影响。在 0、1、10、100 μmol · L^{-1}褪黑素处理下油葵叶片相对叶绿素含量、净光合速率、水分利用效率和最大光化学效率整体呈先增后减趋势,并在 10 μmol · L^{-1}褪黑素处理下最高,100 μmol · L^{-1}褪黑素则产生抑制作用。10 μmol · L^{-1}褪黑素可以提高叶片 PSⅡ反应中心光能利用效率,提高光合速率和水分利用效率,促进碳水化合物的合成和积累,提高产量,缓解盐碱胁迫对油葵生长和产量的影响。

参 考 文 献:

[1] 葛玉彬, 陈炳东, 卯旭辉, 等. 油用向日葵主要经济性状遗传及其相关分析[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(5): 515-523.
GE Y B, CHEN B D, MAO X H, et al. Genetics and correlation analysis of economic traits in oil sunflower (*Helianthus annuus* L.)[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(5): 515-523.

[2] 梁根生, 卯旭辉, 贾秀苹, 等. 油用向日葵在景泰县品比试验初报[J]. 农业科技通讯, 2019, (11): 108-111.
LIANG G S, MAO X H, JIA X P, et al. Preliminary report on variety comparison test of oil sunflower in Jingtai county[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2019, (11): 108-111.

[3] 鲜祖德. 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴-2005[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005.
XIAN Z D. Rural Social and Economic Survey Department of the National Bureau of Statistics. China Rural Statistical Yearbook -2005[M]. Beijing: China Statistics Press, 2005.

[4] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
WANG Z Q. Saline-alkali soils in China[M]. Beijing: Science Press, 1993.

[5] TAIZ L, ZEIGER E. 植物生理学[M]. 宋纯鹏等译, 北京: 科学出版社, 2009.
TAIZ L, ZEIGER E. Plant physiology[M]. Translated by Song Chunpeng et al., Beijing: Science Press, 2009.

[6] 郗金标, 张福锁, 田长彦. 新疆盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
XI J B, ZHANG F S, TIAN C Y. Halophytes in Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 2006.

[7] 陈林, 阿米娜·胡吉, 孙阳阳. 土壤盐渍化现状和快速检测方法研究[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(3): 90-91.
CHEN L, HUJI A, SUN Y Y. Current situation of soil salinization and research on rapid detection methods[J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2024, 47(3): 90-91.

[8] 朱生堡, 乌尔古丽·托尔逊, 唐光木, 等. 新疆盐碱地变化及其治理措施研究进展[J]. 山东农业科学, 2023, 55(3): 158-165.

ZHU S B, TORSUN U, TANG G M, et al. Research progress on saline-alkali land changes and its treatment measures in Xinjiang[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2023, 55(3): 158-165.

[9] 秦彬, 张明聪, 何松榆, 等. 褪黑素浸种对大豆种子萌发过程中干旱胁迫的缓解效应[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(2): 192-198.
QIN B, ZHANG M C, HE S Y, et al. Alleviating effect of melatonin soaking on drought stress during soybean seed germination[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(2): 192-198.

[10] 左月桃, 董玲, 任晓松, 等. 外源褪黑素对盐碱胁迫下小黑麦种子萌发幼苗生长、抗氧化能力的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(1): 90-99.
ZUO Y T, DONG L, REN X S, et al. Effect of exogenous melatonin onseed germination, seedling growth and antioxidant ability of triticale under saline-alkali stress[J]. Journal of Triticeae Crops, 2022, 42(1): 90-99.

[11] 刘婷婷. 基于转录组解析外源褪黑素缓解黄瓜盐胁迫的分子机制[D]. 晋中: 山西农业大学, 2022.
LIU T T. Molecular mechanism of exogenous melatonin alleviating salt stress in cucumber based on transcriptome analysis[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2022.

[12] 李荣, 焦志阳, 银珊珊, 等. 喷施褪黑素对黄瓜幼苗耐盐效应研究[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(1): 53-58.
LI R, JIAO Z Y, YIN S S, et al. Effects of melatonin spraying on salt tolerance of cucumber seedlings[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2023, 36(1): 53-58.

[13] 李雪梅, 黄禹翕, 蔡晓婧, 等. 外源氯化钙对铅胁迫下水稻幼苗生长、SPAD值和荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(14): 73-79.
LI X M, HUANG Y X, CAI X J, et al. Effects of exogenous calcium chloride on growth, SPAD value and fluorescence characteristics of rice seedlings under lead stress[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(14): 73-79.

[14] 郭远航. 盐胁迫条件下外源褪黑素对大豆生理和生长特性的调控作用[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2024.
GUO Y H. Regulatory effect of exogenous melatonin on physiological and growth characteristics of soybean under salt stress[D]. Ala'er: Tarim University, 2024.

[15] WU P, MA Y D, AHAMMED G J, et al. Insights into melatonin-induced photosynthetic electron transport under low-temperature stress in cucumber[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13: 1029854.

[16] ZHANG K H, TANG J R, WANG Y, et al. The tolerance to saline-alkaline stress was dependent on the roots in wheat[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2020, 26(5): 947-954.

[17] 刘佳奇, 李丽, 杨红红, 等. 盐胁迫下褪黑素对小麦种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(7): 857-863.
LIU J Q, LI L, YANG H H, et al. Effect of melatonin on seed germination and seedling physiological characteristics of wheat under salt stress[J]. Journal of Triticeae Crops, 2022, 42(7): 857-863.

[18] 苏立娜, 麻冬梅, 李嘉文, 等. 外源褪黑素对盐胁迫下两种紫花苜蓿生理及光合特性的影响[J]. 草地学报, 2023, 31(3): 726-732.
SU L N, MA D M, LI J W, et al. Implications of exogenous melatonin on the physiological and photosynthetic characteristics of the seedlings of two alfalfa varieties[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(3): 726-732.

[19] WANG Y F, GUO Y Y, ZHAO C F, et al. Exogenous melatonin achieves drought tolerance by improving photosynthesis in maize seedlings leaves[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2021, 68: 718-727.

[20] 王强. 外源褪黑素对盐碱胁迫下燕麦种子萌发和幼苗生长的影响[D]. 成都: 成都大学, 2024.
WANG Q. Effects of exogenous melatonin on seed germination and seedling growth of oat under saline-alkali stress[D]. Chengdu: Chengdu University, 2024.

[21] 闫瑞阳. 外源褪黑素和水杨酸对干旱胁迫下木槿生长及光合生理特性的调控作用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
YAN R Y. Regulatory effects of exogenous melatonin and salicylic acid on growth and photosynthetic physiological characteristics of hibiscus syriacus under drought stress[D]. Tyan: Shandong Agricultural University, 2023.

[22] YAN F Y, ZHANG J Y, LI W W, et al. Exogenous melatonin alleviates salt stress by improving leaf photosynthesis in rice seedlings[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2021, 163: 367-375.

[23] WU P, LYU J, YU J H, et al. Effects of melatonin on photosynthetic properties and osmoregulatory substance contents of cucumber seedlings under salt-alkali stress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(7): 1901-1910.

[24] YIN X, WANG H C, WANG C G, et al. Effect of watering gradient on chlorophyll fluorescence parameters of *Prunus domestica* trees[J]. Agronomy, 2024, 14(10): 2373.

[25] 钟行杰, 张明聪, 韩爱平, 等. 外源褪黑素对苏打盐碱胁迫大豆幼苗的缓解效应[J]. 生态学杂志, 2023, 42(12): 2953-2960.
ZHONG X J, ZHANG M C, HAN A P, et al. Alleviating effect of exogenous melatonin on soybean seedlings under soda saline-alkali stress[J]. Chinese Journal of Ecology, 2023, 42(12): 2953-2960.

[26] 申婉筝. 外源褪黑素对大豆盐碱胁迫的缓解效应研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2023.
SHEN W Z. Study on alleviating effect of exogenous melatonin on soybean under saline-alkali stress[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2023.

[27] 宋雪飞. 褪黑素调控番茄幼苗耐盐性的浓度效应及其生理机制的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
SONG X F. Study on the concentration effect of melatonin on salt tolerance of tomato seedlings and its physiological mechanism[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2018.

[28] 樊聪. 褪黑素对高温胁迫下棉花生理特性和产量品质的调控效应[D]. 保定: 河北农业大学, 2023.
FAN C. Regulatory effects of melatonin on physiological characteristics, yield and quality of cotton under high temperature stress[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2023.