

# 外源褪黑素对不同品种雪茄烟生长和光合生理特性的影响

黄港庆<sup>1</sup>, 张友杰<sup>2\*</sup>, 云菲<sup>1\*</sup>, 王以慧<sup>2</sup>, 李志<sup>3</sup>, 侯冰清<sup>2</sup>, 张明哲<sup>1</sup>, 刘鹏飞<sup>1</sup>, 时向东<sup>1</sup>  
(1.河南农业大学烟草学院/国家烟草栽培生理生化研究基地/烟草行业烟草栽培重点实验室, 郑州 450046; 2.山东中烟工业有限责任公司, 济南 250000; 3.河南省烟草公司西峡县分公司, 河南 南阳 474550)

**摘要:** 为探明外源褪黑素对不同品种雪茄烟生长和光合生理特性的影响, 以 CX80 和德雪 5 号为试验材料, 设置喷施 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素(MT)和喷施清水(CK)两个处理, 研究外源褪黑素对两个雪茄烟品种光合色素、光合气体交换参数、光合作用关键酶活性、根系构型参数、干物质积累量等的影响。结果表明, 外源褪黑素显著提高了两个品种雪茄烟叶片的叶绿素含量、磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(PEPC)和核酮糖-1, 5-二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)活性, CX80 和德雪 5 号的净光合速率( $P_n$ )分别较对照组提高 26.39% 和 26.19%, 光能利用率(LUE)分别提高 31.64% 和 26.43%, 气孔限制值( $L_s$ )分别降低 33.70%、47.79%; 两个品种雪茄烟褪黑素处理的总根长、根系表面积、根系体积、根系平均根直径、总根尖数、株高、叶面积、比根长、根冠比均不同程度提高, 并且 CX80 的地上部和根系生物量增加比例更高, 分别较对照提高 24.59% 和 41.89%; 褪黑素与品种互作效应对地下部根长、根体积、根系表面积的影响达到显著水平。综上所述, 叶面喷施外源褪黑素对雪茄烟的生长发育和光合生理特性具有显著促进作用, 尤其对地下部根系的生长和构型起到正向调节的作用, 因此, 可以通过施用外源褪黑素提高其对环境适应能力。

**关键词:** 褪黑素; 雪茄; 光合特性; 根系构型

中图分类号: S572.01

文献标识码: A

文章编号: 1007-5119 (2024) 04-0074-09

## Effects of Exogenous Melatonin on Growth and Photosynthetic Physiological Characteristics of Different Varieties of Cigar Tobacco

HUANG Gangqing<sup>1</sup>, ZHANG Youjie<sup>2\*</sup>, YUN Fei<sup>1\*</sup>, WANG Yihui<sup>2</sup>, LI Zhi<sup>3</sup>, HOU Bingqing<sup>2</sup>,  
ZHANG Mingzhe<sup>1</sup>, LIU Pengfei<sup>1</sup>, SHI Xiangdong<sup>1</sup>

(1. College of Tobacco, Henan Agricultural University/National Research Base of Tobacco Cultivation Physiology and Biochemistry/Key Laboratory of Tobacco Cultivation of Tobacco Industry, Zhengzhou 450046, China; 2. Shandong China Tobacco Industry Co., Ltd., Jinan 250000, China; 3. Xixia Branch of Henan Province Tobacco Company, Nanyang 474550, Henan, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of exogenous melatonin on the growth and photosynthetic physiological characteristics of different cigar varieties in this study. CX80 and Dexue No. 5 were used as the experimental material. Two elements including variety and melatonin were conducted to study the effects of exogenous melatonin on photosynthetic pigments, photosynthetic gas exchange parameters, key enzyme activities, root architecture parameters and material accumulation of different varieties. The results showed that exogenous melatonin significantly increased the chlorophyll content, PEPC and Rubisco activity of the leaves of both varieties, and the net photosynthesis rate ( $P_n$ ) of CX80 and De Xue 5 were 26.39% and 26.19% higher than the control group, respectively. Meanwhile the light energy utilization rate (LUE) was 31.64% and 26.43% higher, the stomatal limitation value ( $L_s$ ) was 33.70% and 47.79% lower. The total root length, root surface area, root volume, average root diameter, total root tip number, plant height, leaf area, root-to-shoot ratio, and root crown ratio of the melatonin treatment of both varieties were increased to varying degrees. The aboveground and root biomass of CX80 increased by 24.59% and 41.89% compared with the control, respectively. The interaction effect of melatonin and variety on the underground root length, root volume, and root surface area reached a significant level. The results showed that the application of exogenous melatonin can significantly promote the growth and development, as well as photosynthetic physiological characteristics of cigars, especially the growth and configuration of the underground root system. Therefore, exogenous melatonin can be applied to improve the adaptability of cigar to the environment.

**Keywords:** melatonin; cigar; photosynthetic characteristics; root conformation

基金项目: 山东中烟工业有限责任公司科技项目(2022370000340624)

第一作者: 黄港庆(1997—), 男, 在读硕士, 研究方向为烟草栽培生理。E-mail: 1191532943@qq.com

\*通信作者: 张友杰(1985—), 男, 硕士, 农艺师, 研究生方向为雪茄烟质量评价与配方验证。E-mail: 254107833@qq.com

云菲(1984—), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为烟草栽培生理。E-mail: yunfeifei55@126.com

收稿日期: 2024-02-28

修回日期: 2024-07-26

雪茄烟属于晒烟的一种，具有香气浓郁、吃味浓、劲头大、烟气呈碱性等特点<sup>[1]</sup>，按其在雪茄产品中的用途可分为茄衣、茄套和茄芯<sup>[2]</sup>。茄衣决定了雪茄的外观，需要满足燃烧性好、颜色均匀、叶片薄、叶脉细的质量特征<sup>[3-4]</sup>。茄芯是雪茄的核心部分，决定着雪茄的味道和吸食过程中的香气层次<sup>[5]</sup>。近年来，我国雪茄生产和消费总量呈爆发式增长，对优质雪茄烟叶的需求与日俱增<sup>[6]</sup>。优质雪茄烟叶的生长发育离不开适宜的生态环境，国产雪茄烟主要种植在温度适宜、光照充足、雨水充沛、土壤肥沃的四川、云南、海南和湖北等省份，但与国外优质雪茄烟叶产地相比，生长季仍存在光热资源不足、湿度不够等限制因子，导致雪茄烟叶出现油分偏少、香气不足、内含物积累不丰富、组织致密、柔韧性差等问题<sup>[7-8]</sup>。因此，生产上可以利用适当的化学调控剂，改善雪茄烟生长过程中光热不充足造成的生长发育不良、光合碳同化产物积累受阻的现象，缓解胁迫条件或者亚适环境对雪茄烟生长的抑制，增强其在逆境下的自身调节能力，从而提高其质量。

近年来，植物生长调节剂如褪黑素在改善作物品质、提高作物抗逆性等方面的作用日益受到关注。褪黑素(Melatonin)又名N-乙酰-5-甲氧基色胺(N-acetyl-5-methoxytryptamine)，是松果腺合成的一种吲哚杂环类化合物<sup>[9]</sup>。褪黑素作为一种广谱性的生长调节剂及生物刺激剂<sup>[10]</sup>，参与光合作用、种子萌发、根系发育等多种生理过程<sup>[11]</sup>，能够提高线粒体内部氧化磷酸化，进行抗氧化调节<sup>[12]</sup>，增加胁迫条件下渗透调节物质含量、抗氧化酶活性以及叶绿素含量等<sup>[13-14]</sup>。余雨繁<sup>[15]</sup>研究发现，外源褪黑素能够增加烤烟的株高、茎围、最大叶面积；刘领等<sup>[16]</sup>研究发现，外源褪黑素能够显著增加烤烟幼苗的总根长、总根表面积、根平均直径、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率；陈剑等<sup>[17]</sup>研究发现，外源褪黑素能够增加烤烟上部烟叶的产量、产值。

Dubbels等<sup>[18]</sup>利用气相色谱-质谱联用技术证实烟草的叶片组织中含有褪黑素，但是相同材料中褪黑素含量差别很大。以往有关褪黑素的研究<sup>[19-23]</sup>多集中在对作物地上部器官的影响，而对地下部根系形态特征的关注较少。有关褪黑素对不同品种雪茄烟地上部与地下部物质积累、光合生理特性等方面的研究鲜见报道。因此，本研究选择我国湖北、四川的雪茄烟主栽品种CX80和德雪5号为试验材料，比较外源褪黑素对两个不同用途雪茄烟品种光合生理特性、生长发育、根系构型、物质积累等的调控效应，旨在揭示不同品种雪茄烟对外源褪黑素的响应程度，进而通过外界干预提高不同生态条件下雪茄烟的品种适应性，为优质雪茄烟烟叶原料生产提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试品种为雪茄烟CX80和德雪5号。两品种特性如表1所示。供试土壤采自大田耕层，土壤类型为潮土，质地为砂壤土，有机质含量为18.73 g/kg，碱解氮78.62 mg/kg，速效磷23.10 mg/kg，速效钾212.50 mg/kg，全碳184.00 mg/g，全氮1.62 mg/g，pH 7.50。采用盆栽试验，盆高25.00 cm，盆口直径16.50 cm，盆底直径12.00 cm。褪黑素购置于北京Solarbio公司。

### 1.2 试验设计

试验于2023年5月在河南农业大学许昌科教园区(北纬34°01′，东经113°49′)人工气候室进行。采用二因素完全随机试验，纯氮的施用量控制在3.50 g/盆，氮磷钾质量比为1:1.5:3，添加硝酸铵(分析纯AR)9.88 g/盆，硫酸钾(分析纯AR)12.98 g/盆，磷酸氢二钾(分析纯AR)10.07 g/盆。CX80、德雪5号两个品种分别设置喷施100 μmol/L褪黑素溶液处理(MT)和喷施蒸馏水处理(CK)。褪黑素喷施浓度由预试验筛选确定：首先通过查阅小

表1 品种特性

Table 1 Variety characteristics

品种 Variety	来源 Source	目标用途 Target purposes	品种特性 Characteristic
CX80	湖北省烟草研究院	茄衣	株型腰鼓形，叶形长椭圆形，叶色深绿，茎叶角度小，主脉粗细中等。
德雪5号	四川省烟草公司德阳市公司	茄芯	株型筒形，叶形宽椭圆形，叶色黄绿，茎叶夹角中等，叶面较平，主脉较细。

麦、玉米、大豆、黄瓜、烤烟等作物<sup>[19-23]</sup>上的相关研究,初步筛选了4个浓度梯度,测定了相关生理指标和植物学性状,根据整体表现选择100 μmol/L用于本试验。于移栽后15 d,在8:00和18:00分2次均匀喷施叶片正反面,以叶面布满水珠且将要滴落为准,每株用量约15 mL。所有处理每隔5 d喷施1次,共3次。喷施结束后第5天开始测定各项指标。每个处理20盆,所有处理栽培管理方法保持一致。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 光合色素含量的测定 每处理选取3株生长健康、均匀一致的烟株,采用乙醇提取比色法测定自上而下第5片功能叶的叶绿素a、叶绿素b与类胡萝卜素含量<sup>[24]</sup>。

1.3.2 光合参数的测定 采用LI-6400型光合测定仪(美国Li-COR公司)于上午9:00—11:00进行。选择Li-6400-02B红蓝光源叶室,温度为25℃,采用开放式气路,空气相对湿度为50%~70%,设定有效光合辐射(PAR)为1000 μmol/(m<sup>2</sup>·s),CO<sub>2</sub>浓度(C<sub>a</sub>)为400 μmol/mol。净光合速率(P<sub>n</sub>)、气孔导度(G<sub>s</sub>)、蒸腾速率(T<sub>r</sub>)和胞间CO<sub>2</sub>浓度(C<sub>i</sub>)由光合仪直接测定,并计算气孔限制值(L<sub>s</sub>)和光能利用率(LUE)。

$$L_s = 1 - C_i / C_a \quad (1)$$

$$LUE = P_n / PAR^{[25]} \quad (2)$$

1.3.3 光合酶Rubisco和PEPC活性测定 每处理选取生长一致且受光方向相同的第5片功能叶(自上而下),参照杨志晓等<sup>[26]</sup>的样本预处理方法得到酶提取液,采用微量法测定核酮糖1,5-二磷酸羧化酶(Rubisco)和磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶(PEPC)酶活性,每个处理重复3次。

1.3.4 根系形态指标的测定 利用(Epson Expression1200xl, USA)扫描仪对根系进行扫描,并用Win RHIZO(Canada)软件对总根长、总表面积、平均根直径、根体积、根尖数等根系形态指标进行分析,每处理重复3次,取平均值。

1.3.5 植物学性状及生物量测定 处理结束后第5天,每处理选取均匀一致的3株烟,测量株高及相同叶位的叶长、叶宽,并计算叶面积。将烟株的根、茎、叶分别置于105℃杀青15 min,60℃恒温烘干至恒质量,使用电子天平测定其干质量,计算根冠比。

### 1.4 数据分析

数据采用Microsoft Excel 2021整理及汇总,采用SPSS 26.0软件进行方差分析、显著性检验(Duncan,  $p < 0.05$ )和相关性分析,使用Origin 2022软件绘图。

## 2 结果

### 2.1 外源褪黑素对雪茄烟叶光合色素含量的影响

由表2可知,叶面喷施褪黑素后两品种雪茄烟的光合色素含量较对照均有显著增加,CX80对外源褪黑素更为敏感,叶绿素含量和类胡萝卜素含量分别较对照增加44.92%和66.67%。其中,叶绿素a和叶绿素b分别比对照增加42.16%和51.43%,叶绿素b含量增幅更高。

### 2.2 外源褪黑素对雪茄烟叶光合参数的影响

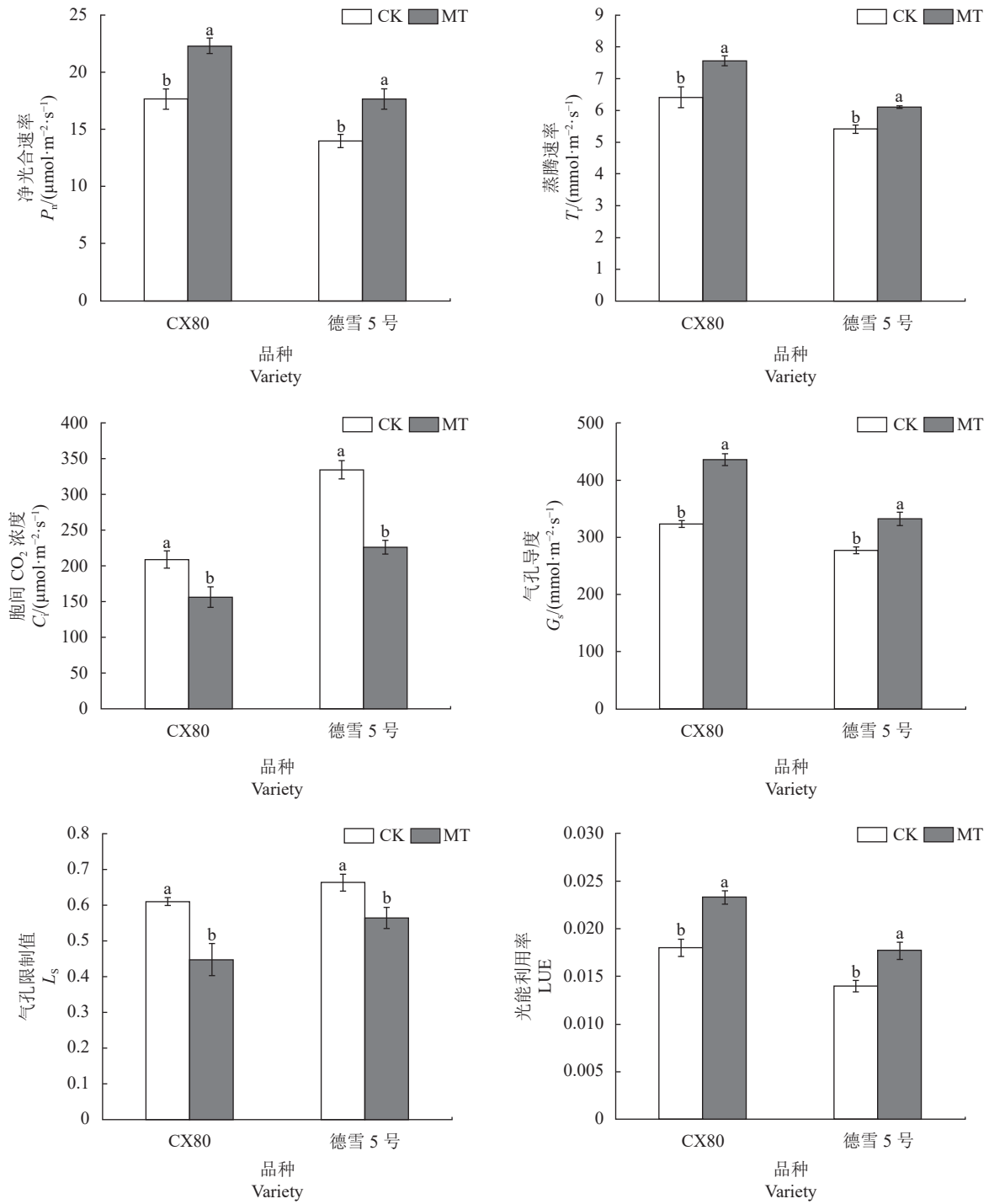
由图1可知,外源褪黑素显著提高了两个品种的P<sub>n</sub>、T<sub>r</sub>、G<sub>s</sub>和LUE,其中CX80的增幅更大。此外,外源褪黑素显著降低了C<sub>i</sub>和L<sub>s</sub>,CX80和德雪5号分别降低33.33%、33.70%和19.85%、47.79%。这表明外源褪黑素可以促进雪茄烟叶光合作用。两品种在外源褪黑素处理下G<sub>s</sub>升高,C<sub>i</sub>、

表2 外源褪黑素对雪茄烟叶光合色素含量的影响

品种 Variety	处理 Treatment	叶绿素a Chlorophyll a	叶绿素b Chlorophyll b	总叶绿素 Chlorophyll	类胡萝卜素 Carotenoid
CX80	CK	0.83±0.09b	0.35±0.02b	1.18±0.10b	0.09±0.06b
	MT	1.18±0.05a	0.53±0.02a	1.71±0.06a	0.15±0.02a
德雪5号	CK	0.74±0.06b	0.34±0.02b	1.08±0.08b	0.12±0.04a
	MT	1.00±0.01a	0.49±0.01a	1.49±0.08a	0.13±0.02a

注:表中不同字母表示同一品种不同处理间差异显著( $p < 0.05$ ),下同。

Note: Different letters indicate the significant difference between the two treatments of the same variety ( $p < 0.05$ ). The same as below.



注：图中不同字母表示处理间差异显著( $p\leq 0.05$ )，下同。

Note: Different letters in the figure indicate the significant difference between treatments ( $p\leq 0.05$ ). The same as below.

图 1 外源褪黑素对雪茄烟叶光合参数的影响

Fig. 1 Effects of exogenous melatonin on photosynthetic parameters cigar tobacco leaves

$L_s$  下降，表明叶片气孔导度增大，进入细胞的  $\text{CO}_2$  增多，参与光合作用进行光化学反应的底物  $\text{CO}_2$  增多，促进了净光合速率和光能利用率的增高。

### 2.3 外源褪黑素对雪茄烟光合作用关键酶活性的影响

由图 2 可知，叶面喷施外源褪黑素显著提高了两品种叶片 PEPC 酶和 Rubisco 酶的活性( $p<0.05$ )，

CX80 和德雪 5 号叶片中 PEPC 酶活性分别增加了 23.39%、38.95%，Rubisco 活性分别增加了 95.88%、

52.31%。整体来看，MT 处理的 CX80 两种酶活性更高。

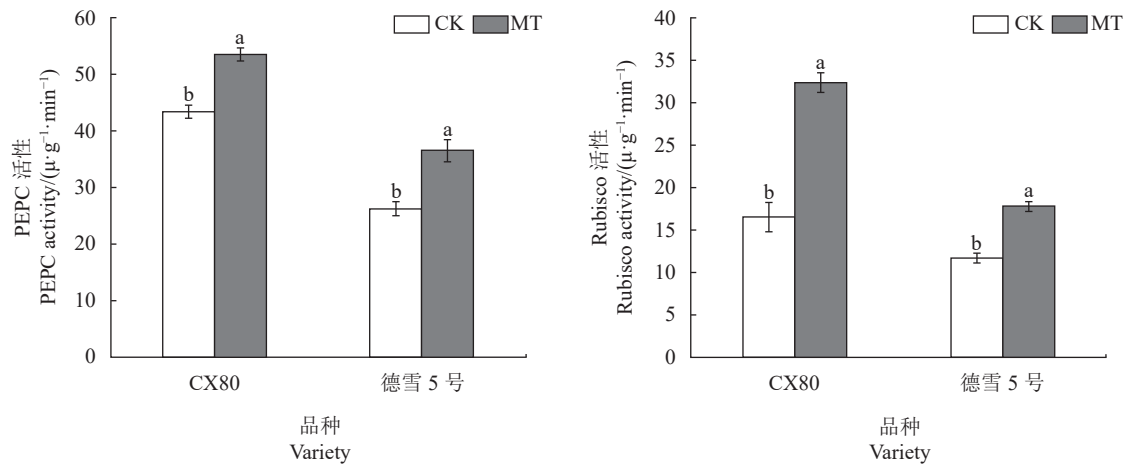


图 2 外源褪黑素对雪茄烟光合作用关键酶活性的影响

Fig. 2 Effects of exogenous melatonin on the activity of key enzymes for photosynthesis of cigar tobacco

## 2.4 外源褪黑素对雪茄烟地下部根系生长的影响

### 2.4.1 外源褪黑素对雪茄烟根系形态特征的影响

由图 3 可以看出，外源褪黑素处理的两品种根系更为发达。由表 3 可知，喷施褪黑素后 CX80 和德雪 5 号的根系特征参数较对照均有不同程度的增加，对 CX80 的促进效果更加显著，其总根长、根系总



图 3 不同处理下两品种根系形态特征比较

Fig. 3 Comparison of root morphological characteristics of two varieties under different treatments

表面积、根系总体积、根系平均根直径、总根尖数分别较对照增加 1.04、0.87、0.74、0.13、0.22 倍。品种和褪黑素对雪茄烟根系形态特征的影响均达到了显著水平，品种与处理的交互作用对总根长、根系总表面积、根系总体积有显著影响。

2.4.2 外源褪黑素对雪茄烟比根长和根系干物质量的影响 比根长(SRL)是根长和生物量的比值，能够反映根系吸收水分和养分的能力，衡量根系的消耗与效益<sup>[27]</sup>。由图 4 可知，外源褪黑素处理的 CX80、德雪 5 号比根长分别较对照增加 23.40%、8.33%，根系干物质量分别比对照增加 41.89% 和 34.48%，说明外源褪黑素促进了雪茄烟根系对土壤水肥资源的吸收利用，以及根系干物质量的积累。

## 2.5 外源褪黑素对雪茄烟地上部生长发育的影响

由图 5、6 可知，外源褪黑素显著促进了两品种雪茄烟地上部的生长，对 CX80 的促生效果更好。

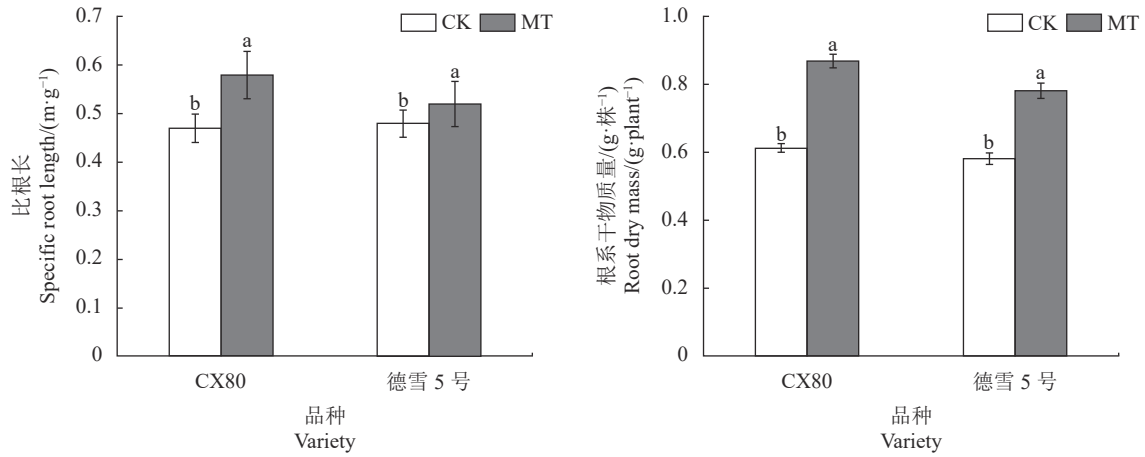
表 3 外源褪黑素对雪茄烟根系形态特征的影响

Table 3 Effects of exogenous melatonin on morphological characteristics of cigar tobacco roots

品种 Variety	处理 Treatment	总根长 Total root length/cm	根系总表面积 Total root surface area/cm <sup>2</sup>	根系总体积 Total root volume/cm <sup>3</sup>	根系平均直径 Mean root volume/mm	总根尖数 Total number of root tips
CX80	CK	552.48bc	119.38b	1.98c	0.62c	1883.00b
	MT	1125.88a	223.47a	3.44a	0.70b	2294.00a
德雪5号	CK	357.94c	113.77b	2.04bc	0.66bc	1263.00c
	MT	642.45b	139.02b	2.39b	0.74a	1376.00c
显著性Significance						
品种		**	**	**	**	**
处理		**	**	**	**	**
品种×处理		**	**	**	NS	NS

注: \*\*,  $p < 0.01$ ; NS, 不显著。

Note: \*\*,  $p < 0.01$ ; NS indicates no significance.



注：比根长 (m/g)=根长 (m)/生物量 (g)。

Note: Specific root length (m/g)=root length (m)/biomass (g).

图 4 外源褪黑素对雪茄烟比根长和根系干物质质量的影响

Fig. 4 Effects of exogenous melatonin on specific root length and root dry matter mass in cigar tobacco

CX80 的株高、叶面积、地上部干质量分别较对照增加 36.85%、20.03%、24.59%。叶面喷施外源褪黑素显著增加了两品种的根冠比，CX80 和德雪 5

号分别增加 17.64%、5.50%，根冠比的增加促进了根系发育，增大了根系吸收面积，进而影响地上部生长发育。

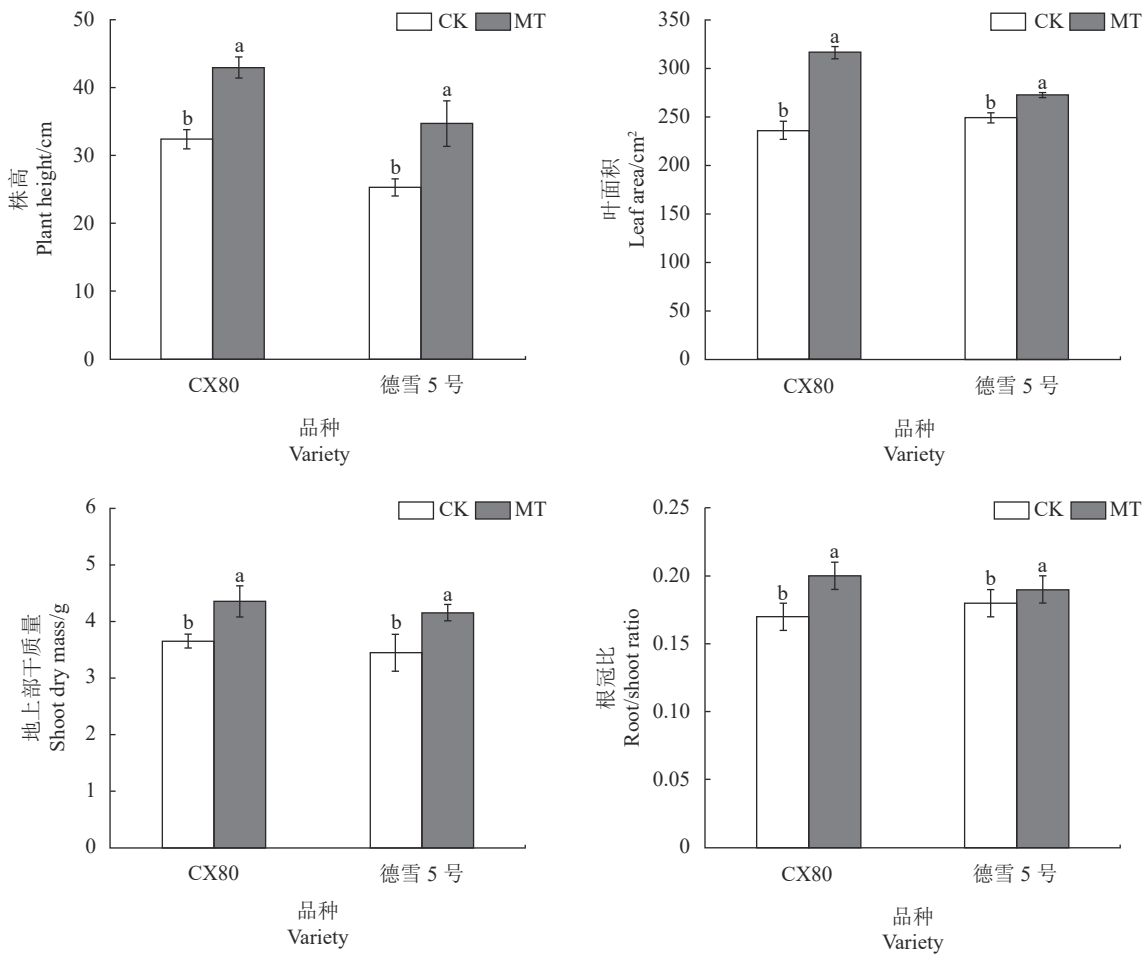


图 5 外源褪黑素对雪茄烟地上部生长发育的影响

Fig. 5 Effects of exogenous melatonin on aboveground growth and development of cigar tobacco

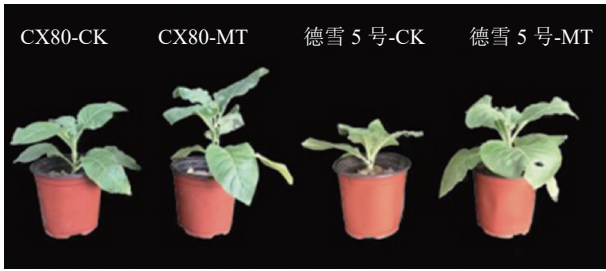


图6 不同处理下两品种烟株长势对比

Fig. 6 Comparison of tobacco plant growth of two varieties under different treatments

### 3 讨论

#### 3.1 外源褪黑素对不同品种雪茄烟光合特性的影响

植物通过光合作用, 提供同化力形成所需能量, 活化参与光合作用的关键酶等, 而叶片中叶绿体的光合色素含量直接影响光合作用的进行<sup>[28]</sup>。本研究发现, 叶面喷施外源褪黑素能够提高两品种雪茄烟叶的叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量, 这与于郑娇等<sup>[29]</sup>、陈素玉<sup>[30]</sup>的研究结果一致。两个品种相比, 外源添加褪黑素对 CX80 的促进效果更加显著。生产上想要产出更多的茄衣, 种植过程中需要适当的弱光环境, 而褪黑素处理后 CX80 的叶绿素 b 含量较叶绿素 a 含量增加比例提高, 有利于其在光强降低的条件下, 吸收更多的漫射光, 减少光能的损失, 这是植物对环境的一种适应。

PEPC 和 Rubisco 作为光合作用中羧化阶段的关键酶, 其活性高低与植物的光合作用效率密切相关<sup>[31-32]</sup>。本研究中, 叶面喷施褪黑素后, 两品种雪茄烟的 PEPC 和 Rubisco 活性显著增加, 这与郭艳阳<sup>[33]</sup>、万丽婧等<sup>[34]</sup>、刘昆<sup>[35]</sup>的研究结果相似。这是由于褪黑素本身具有良好的抗氧化性, 在外界环境变化对烟株生长不利时, 能够保护叶绿素和光合蛋白不受破坏, 提高光合关键酶基因的表达, 从而保证 PS II 光合传递链组分发挥更好的功能, 提高电子传递效率, 增强同化力(即 ATP 和 NADPH)的供应能力, 进而促进光化学反应的进行<sup>[36]</sup>。CX80 的 PEPC 和 Rubisco 活性高于德雪 5 号, 表现出更高的碳同化能力。这可能是由于其叶面积(即光合面积)较大, 在同一环境条件下, 单位时间

内所吸收利用的光合作用原料  $\text{CO}_2$  更多, 光合碳同化速率更高。

#### 3.2 外源褪黑素对雪茄烟根系构造的影响

褪黑素对根系生长具有调控作用, 介导根系形态与构型发生变化。本研究发现, 喷施外源褪黑素促进了两品种雪茄烟根系生长发育, 表现在总根长、根系总表面积、总体积、平均根直径和总根尖数显著增加, 这与姜瑛等<sup>[37]</sup>的研究结果相似。比根长(SRL)是表征根系生理活性的核心指标, 它决定了根系吸收水分和养分的能力<sup>[27]</sup>。通常比根长(SRL)较大的根系, 养分与水分吸收效率相对较高, 且能正向调节叶片的生长。本研究中褪黑素处理的比根长显著高于对照, 根系干物质积累量也表现为褪黑素处理的较高, CX80 与德雪 5 号分别较对照增加 41.89% 和 34.48%, 这与其叶面积及地上部干质量的变化规律相一致。

#### 3.3 外源褪黑素对雪茄烟地上部生长的影响

物质积累是衡量植物生长发育的重要指标, 适宜浓度的褪黑素能够增加植物干物质量。何佶弦等<sup>[38]</sup>、蒋朝伟等<sup>[39]</sup>和吕怡颖等<sup>[40]</sup>研究发现, 喷施褪黑素可显著提高胁迫条件下烤烟叶片干质量, 本试验也得到了相似的结果。叶面喷施褪黑素后 CX80 与德雪 5 号株高、叶面积、地上部干物质量显著增加, CX80 的增加比例更高。生产上, 一些烟区采用“荫植法”模拟云层覆盖的光照环境, 以产出更多符合茄衣要求的烟叶, CX80 的这种特性, 使其能够更加适应这种环境, 降低对自身生长的不利影响。

### 4 结论

叶面喷施 100  $\mu\text{mol/L}$  褪黑素能够显著提高两品种雪茄烟叶片叶绿素含量, 增强 Rubisco 和 PEPC 关键光合酶活性, 使叶片维持较高的气孔开度及较高的光能利用率, 提高烟株的光合碳同化能力, 最终促进了叶片的干物质积累量。此外, 外源褪黑素对根系具有正向调节作用, 使根系吸收外界营养物质的能力大幅度提升, 从而进一步促进地上部叶片的生长。不同品种间比较, 外源褪黑素对 CX80 的正向调节作用更加显著。在实际生产过程中, 可以通过外源褪黑素的施用提高其在亚适环境

中的适应能力, 从而促进雪茄烟地上部和地下部的生长。

### 参考文献

- [1] 闫克玉, 赵铭钦. 烟草原料学[M]. 北京: 科学出版社, 2008.  
YAN K Y, ZHAO M Q. Raw materials of tobacco[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [2] 王琰琰, 刘国祥, 向小华, 等. 国内外雪茄烟主产区及品种资源概况[J]. 中国烟草科学, 2020, 41(3): 93-98.  
WANG Y Y, LIU G X, XIANG X H, et al. Overview of main cigar production areas and variety resources at domestic and overseas[J]. Chinese Tobacco Science, 2020, 41(3): 93-98.
- [3] 林智慧, 赵云飞, 王以慧, 等. 遮荫率对福建雪茄烟生长和晾制后烟叶质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2023, 44(3): 92-98.  
LIN Z H, ZHAO Y F, WANG Y H, et al. Effects of shading rate on growth and leaf quality after air-curing of Fujian cigar wrapper tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2023, 44(3): 92-98.
- [4] 吴晓颖, 高华军, 王晓琳, 等. 光照强度对雪茄烟叶片组织结构及内源激素含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2021, 42(2): 37-42.  
WU X Y, GAO H J, WANG X L, et al. Effects of light intensity on growth and development and endogenous hormone content of cigar leaves[J]. Chinese Tobacco Science, 2021, 42(2): 37-42.
- [5] 陈栋, 李猛, 王荣浩, 等. 国产雪茄烟叶研究进展[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2019, 40(1): 83-90.  
CHEN D, LI M, WANG R H, et al. Progress of the domestic cigar filler tobacco[J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2019, 40(1): 83-90.
- [6] 刘利平, 王剑, 陈宸, 等. 海南雪茄烟叶外观质量与化学成分的关系研究[J]. 中国烟草科学, 2022, 43(2): 71-76.  
LIU L P, WANG J, CHEN C, et al. Study on the relationship between appearance characters and chemical composition of cigar leaves in Hainan[J]. Chinese Tobacco Science, 2022, 43(2): 71-76.
- [7] 李爱军, 秦艳青, 代惠娟, 等. 国产雪茄烟叶科学发展刍议[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(1): 112-114.  
LI A J, QIN Y Q, DAI H J, et al. On scientific development of China's cigar leaf[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2012, 18(1): 112-114.
- [8] 蔡斌, 耿召良, 高华军, 等. 国产雪茄原料生产技术研究现状[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(6): 110-119.  
CAI B, GENG Z L, GAO H J, et al. Research progress of production technologies of cigar tobaccos in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(6): 110-119.
- [9] 崔凯东, 张雪, 顾开元, 等. 干旱胁迫下外源褪黑素对旺长期烤烟生理特性的影响[J]. 烟草科技, 2024, 57(4): 42-52.  
CUI K D, ZHANG X, GU K Y, et al. Effects of exogenous melatonin on physiological characteristics of drought-stressed, flue-cured tobacco at fast-growing stage[J]. Tobacco Science & Technology, 2024, 57(4): 42-52.
- [10] KIM M, SEO H, PARK C, et al. Examination of the auxin hypothesis of phyto-melatonin action in classical auxin assay systems in maize[J]. Journal of Plant Physiology, 2016, 190: 67-71.
- [11] 张昭, 聂宇婷, 崔凯伦, 等. 褪黑素调控草类植物生长发育及抗逆性功能研究进展[J]. 草地学报, 2023, 31(9): 2571-2581.  
ZHANG Z, NIE Y T, CUI K L, et al. Research progress on the function of melatonin in regulating growth, development and stress resistance in herbaceous species[J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(9): 2571-2581.
- [12] PARDO-HERNÁNDEZ M, LÓPEZ-DELACALLE M, RIVERO R M. ROS and NO regulation by melatonin under abiotic stress in plants[J]. Antioxidants, 2020, 9(11): 1078.
- [13] 王春林, 王凤琴. 褪黑素在植物抵御逆境胁迫过程中的作用[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(21): 11-13.  
WANG C L, WANG F Q. Physiological functions of melatonin in plant defense against adversity stress[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(21): 11-13.
- [14] 马成, 裴子琦, 白雪, 等. 植物褪黑素功能及其作用机制的研究进展[J]. 寒旱农业科学, 2023(10): 883-888.  
MA C, PEI Z Q, BAI X, et al. Advances in functions and action mechanisms of phyto-melatonin[J]. Journal of Cold-Arid Agricultural Sciences, 2023(10): 883-888.
- [15] 余雨繁. 有机肥与褪黑素赤和霉素互作对烤烟上部叶发育和品质的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2023.  
YU Y F. Effects of organic fertilizer and melatonin erythromycin on the growth and quality of upper leaves of flue-cured[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2023.
- [16] 刘领, 李冬, 马宜林, 等. 外源褪黑素对干旱胁迫下烤烟幼苗生长的缓解效应与生理机制研究[J]. 草业学报, 2019, 28(8): 95-105.  
LIU L, LI D, MA Y L, et al. Alleviation of drought stress and the physiological mechanisms in tobacco seedlings treated with exogenous melatonin[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(8): 95-105.
- [17] 陈剑, 刘少辉, 谢恒多, 等. 褪黑素、赤霉素与油菜素内酯对烤烟上部烟叶发育及产质量的影响[J]. 智慧农业导刊, 2023, 3(18): 36-39.  
CHEN J, LIU S H, XIE H D, et al. Effects of melatonin and gibberellin brassinolide on development and yield quality of upper leaves of flue-cured tobacco[J]. Journal of Smart Agriculture, 2023, 3(18): 36-39.
- [18] DUBBELS R, REITER R J, KLENKE E, et al. Melatonin in edible plants identified by radioimmunoassay and by high performance liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Journal of Pineal Research, 1995, 18(1): 28-31.
- [19] 张珂, 李依, 厉萌萌, 等. 外源褪黑素对钵钵胁迫下小麦幼苗生长生理特征及镉含量的影响[J]. 轻工学报, 2022, 37(4): 111-117.  
ZHANG K, LI Y, LI M M, et al. Effects of exogenous melatonin on growth and physiological characteristics and Cd content of wheat seedling under Cd stresses[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(4): 111-117.
- [20] 赵成凤, 杨梅, 李红杰, 等. 叶面喷施褪黑素对干旱及复水下玉米光合特性和抗氧化系统的影响[J]. 西北植物学报, 2021, 41(9): 1526-1534.  
ZHAO C F, YANG M, LI H J, et al. Effect of foliar spraying melatonin on photosynthesis and antioxidant system of maize leaves under drought stress and rewatering[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41(9): 1526-1534.
- [21] 褚霏宇, 王欢, 贾景瑞, 等. 根施褪黑素对低温胁迫下大豆幼苗根系形态和生理的影响[J/OL]. 分子植物育种, 2023 (2023-12-21). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231220.1404.006.html>.
- [22] CHU P Y, WANG H, JIA J R, et al. Effects of root application of melatonin on root morphology and physiology of soybean seedlings under low temperature stress[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2023 (2023-12-21). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20231220.1404.006.html>.
- [22] 吴鹏, 吕剑, 郁继华, 等. 褪黑素对盐碱复合胁迫下黄瓜幼苗光合特性和渗透调节物质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(7): 1901-1910.  
WU P, LÜ 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.
- [23] 李冬, 王艳芳, 申洪涛, 等. 外源 MT 和 EBR 对干旱胁迫下烤烟幼苗的缓解效应[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(5): 77-85.  
LI D, WANG Y F, SHEN H T, et al. Alleviation effects of exogenous melatonin and 2, 4-epibrassinolide on flue-cured tobacco seedlings



- under drought stress[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2019, 25(5): 77-85.
- [24] 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.  
LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [25] 丁娟娟. 光强变化对番茄幼苗生长和光合特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.  
DING J J. Effects of light intensity change on growth and photosynthetic characteristics of tomato seedlings[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.
- [26] 杨志晓, 侯骞, 刘国权, 等. 不同抗性烟草品系 Rubisco 及其活化酶对赤星病胁迫的响应[J]. *生物技术通报*, 2023, 39(9): 202-212.  
YANG Z X, HOU Q, LIU G Q, et al. Responses of rubisco and rubisco activase in different resistant tobacco strains to brown spot stress[J]. *Biotechnology Bulletin*, 2023, 39(9): 202-212.
- [27] 孙佳慧, 史海兰, 陈科宇, 等. 植物细根功能性状的权衡关系研究进展[J]. *植物生态学报*, 2023, 47(8): 1055-1070.  
SUN J H, SHI H L, CHEN K Y, et al. Research advances on trade-off relationships of plant fine root functional traits[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2023, 47(8): 1055-1070.
- [28] 陈泳伟, 吴永兵, 袁华恩, 等. 光照强度对雪茄烟叶光合特性、抗氧化特性及品质的影响[J]. *西南农业学报*, 2023, 36(10): 2175-2182.  
CHEN Y W, WU Y B, YUAN H E, et al. Effect of light intensity on photosynthesis, antioxidation properties and quality of cigar leaves[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 36(10): 2175-2182.
- [29] 于郑娇, 李书昆, 褚鹏飞, 等. 外源褪黑素对低温胁迫下番茄幼苗光合荧光及生化特性的影响[J]. *山东农业科学*, 2023, 55(8): 48-55.  
YU Z J, LI S K, CHU P F, et al. Effects of exogenous melatonin on photosynthetic, fluorescence and biochemical characteristics of tomato seedlings under low temperature stress[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2023, 55(8): 48-55.
- [30] 陈素玉. 外源褪黑素对盐胁迫下大豆幼苗生长的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2023.  
CHEN S Y. Effects of exogenous melatonin on the growth of soybean plants under salt stress[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2023.
- [31] 叶志谦, 黄腾波, 黄健子. 植物 PEPC 在非生物胁迫响应中的作用[J]. *植物生理学报*, 2023, 59(2): 267-280.  
YE Z Q, HUANG T B, HUANG J Z. The role of plant PEPC in response to abiotic stress[J]. *Plant Physiology Journal*, 2023, 59(2): 267-280.
- [32] 周昱婕, 李霞, 陈根云, 等. 植物 RuBisCO 研究进展[J]. *中国科学: 生命科学*, 2023, 53(9): 1213-1229.  
ZHOU Y J, LI X, CHEN G Y, et al. Research progress in plant RuBisCO[J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 2023, 53(9): 1213-1229.
- [33] 郭艳阳. 外源褪黑素对干旱胁迫下玉米光合及生理特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.  
GUO Y Y. Effects of exogenous melatonin on photosynthesis and physiological characteristics in maize under drought stress[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.
- [34] 万丽婧, 李光达, 和秋兰, 等. 外源褪黑素对 UV-B 辐射下马铃薯光合、荧光特性的影响[J]. *华北农学报*, 2021, 36(4): 116-123.  
WAN L Q, LI G D, HE Q L, et al. Effects of exogenous melatonin on photosynthesis and fluorescence characteristics of potato under UV-B radiation[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2021, 36(4): 116-123.
- [35] 刘昆. 外源褪黑素对黄瓜叶片衰老的调控机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.  
LIU K. Study on regulation mechanism of exogenous melatonin on leaf senescence of cucumber[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2022.
- [36] LAZÁR D, MURCH S J, BEILBY M J, et al. Exogenous melatonin affects photosynthesis in Characeae *Chara australis*[J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2013, 8(3): e23279.
- [37] 姜瑛, 张辉红, 魏畅, 等. 外源褪黑素对干旱胁迫下玉米幼苗根系发育及生理生化特性的影响[J]. *草业学报*, 2023, 32(9): 143-159.  
JIANG Y, ZHANG H H, WEI C, et al. Effects of exogenous melatonin on root development and physiological and biochemical characteristics of maize seedlings under drought stress[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2023, 32(9): 143-159.
- [38] 何信弦, 顾会战, 张启莉, 等. 叶面喷施褪黑素对烤烟产量及化学成分的影响[J]. *现代农业科技*, 2023(8): 35-39.  
HE J X, GU H Z, ZHANG Q L, et al. Effect of foliar spraying with melatonin on yield and chemical components of flue-cured tobacco[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2023(8): 35-39.
- [39] 蒋朝维, 吴俊杰, 姜浩, 等. 低温胁迫下烤烟幼苗对喷施外源褪黑素的生理响应[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(21): 62-66.  
JIANG C W, WU J J, JIANG H, et al. Physiological response of flue-cured tobacco seedlings to exogenous melatonin spray under low temperature stress[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2023, 51(21): 62-66.
- [40] 吕怡颖, 郑元仙, 王继明, 等. 外源褪黑素对镉胁迫烟草幼苗的缓解效应[J]. *中国烟草科学*, 2023, 44(4): 25-32.  
Lǚ Y Y, ZHENG Y X, WANG J M, et al. Alleviative effect of exogenous melatonin on cadmium stress in tobacco seedlings[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2023, 44(4): 25-32.