

# 外源脱落酸对干旱胁迫下狗牙根幼苗光合特性的影响

李舒琦<sup>1</sup>, 许喆<sup>2</sup>, 吴邦高<sup>3</sup>, 任健<sup>1\*</sup>, 代微然<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学动物科学技术学院, 云南 昆明 650201; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 3. 云南省巧家县崇溪镇农业农村和集体经济发展中心, 云南 昭通 654600)

**摘要:**【目的】研究外源脱落酸(ABA)对干旱胁迫下狗牙根(*Cynodon dactylon*)光合特性的影响, 为缓解狗牙根干旱损伤及抗旱栽培提供参考依据。【方法】利用聚乙二醇(Polyethylene glycol-6000, PEG-6000)模拟中度和重度干旱胁迫, 研究干旱胁迫和外源ABA(200, 500  $\mu\text{mol/L}$ )对狗牙根幼苗光合色素、净光合速率、气孔导度和叶绿素荧光参数等光合指标的影响。【结果】干旱胁迫降低了狗牙根叶绿素含量、净光合速率、最大荧光( $F_m$ )、可变荧光( $F_v$ )、电子传递速率(ETR), 提高了光化学猝灭(qP)和非光化学猝灭(NPQ)( $P < 0.05$ )。外源ABA降低了干旱胁迫对光合的抑制作用, 不过其效应与喷施浓度及干旱程度有关。中度干旱胁迫下, 喷施500  $\mu\text{mol/L}$  ABA使叶绿素含量、PSII最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )、qP显著提高( $P < 0.05$ ); 重度干旱胁迫下, 外源500  $\mu\text{mol/L}$  ABA提高了狗牙根叶绿素含量、净光合速率和水分利用率, 降低了胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $P < 0.05$ ), 但对叶绿素荧光参数影响不显著。【结论】外源ABA可通过提高光合色素含量、水分利用率及光能转化效率等形式缓解干旱胁迫对狗牙根幼苗的伤害, 使植株更好地适应干旱环境, 其中喷施浓度为500  $\mu\text{mol/L}$ 效果较好。

**关键词:**狗牙根; 干旱胁迫; 外源脱落酸; 光合特性

**中图分类号:**S688.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)01-0099-07

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2024.01.011



随着温室效应的持续发生, 全球水资源短缺加剧, 干旱已成为长期存在的全球性问题<sup>[1]</sup>。近些年来, 随着城市绿化的快速发展, 人草争水现象时常发生, 导致草坪不能及时灌溉而枯黄甚至死亡, 影响了草坪的可持续利用, 造成巨大的经济损失<sup>[2]</sup>。故干旱成为草坪草生长的主要限制因素, 如何提高草坪草抗旱性

已成为急需解决的关键问题之一。目前, 植物激素、生长调节剂、渗透调节物质和氨基酸类等外源物质对植物在逆境条件下的生理调控作用日益受到关注<sup>[3-4]</sup>, 脱落酸(Abscisic acid, ABA)是一种常见的应激激素, 逆境条件下在植物体内会迅速积累, 主要通过提高植物体内抗氧化酶活性和逆境蛋白的积累、诱导气孔关闭、降低蒸腾速率及增加渗透调节物质含量, 进而缓解干旱胁迫对植物造成的伤害<sup>[5-6]</sup>。研究表明, 外源ABA能够提高多年生黑麦草(*Lolium perenne*)<sup>[7]</sup>、弥勒苜蓿(*Oreocharis mileensis*)<sup>[8]</sup>、南酸枣(*Choerospondias axillaris*)<sup>[9]</sup>、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、匍匐翦股颖(*Agrostis stolonifera*)和紫花苜蓿(*Medicago sativa*)<sup>[10]</sup>等植物的抗旱性, 但外源ABA对植物抗旱性的影响与施用浓度及植物种类有关。如15  $\mu\text{mol/L}$ 的外源ABA能够有效缓解干旱对玉米

收稿日期:2023-01-03; 修回日期:2023-04-13

基金项目:云南省重点研发计划项目(2018BB001)

作者简介:李舒琦(1998-), 女, 云南嵩明人, 硕士研究生。

E-mail:2249449094@qq.com;

许喆(1992-), 山东泰安人, 博士, 主要从事高寒草地退化机制的研究。

E-mail:496409847@qq.com

\*通信作者。E-mail:renjian172@126.com

(*Zea mays*)幼苗生长的胁迫作用,提高玉米幼苗耐旱能力<sup>[11]</sup>。50  $\mu\text{mol/L}$  ABA 能够有效地抑制柴胡(*Bupleurum chinense*)叶绿素含量,降低叶片含水量,促进渗透调节物质的积累,增强其抗旱性<sup>[12]</sup>。而孔雀草(*Tagetes patula*)施用 100 mg/L ABA 后植株的抗旱效果最好<sup>[13]</sup>。

狗牙根(*Cynodon dactylon*)是禾本科狗牙根属多年生草本植物,耐干旱、耐践踏、繁殖能力及再生能力强,是世界 3 大暖季型草坪草之一,被广泛用于公路护坡、足球场和高尔夫球场等各种草坪的建植<sup>[14]</sup>。尽管狗牙根在经济和生态方面具有较高的利用价值,但其利用仍然受到干旱的限制。据研究,干旱胁迫导致狗牙根叶片相对含水量下降,过氧化氢含量和抗氧化酶活性上升,对生长和坪用质量产生不利影响<sup>[2,15]</sup>。喷施一定浓度 ABA 可以提高狗牙根的叶片相对含水量、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶活性<sup>[16]</sup>,降低了狗牙根细胞膜的损伤程度,减少活性氧积累,并通过诱导相关抗旱基因的表达进而提高其抗旱性<sup>[17]</sup>。目前,外源 ABA 对狗牙根抗旱性的影响主要集中于抗氧化酶活性变化、膜脂氧化等方面,而针对干旱胁迫下狗牙根幼苗光合特性的研究尚不多。因此,本研究以狗牙根幼苗作为试验材料,在水培条件下利用聚乙二醇(Polyethylene glycol-6000, PEG-6000)模拟干旱胁迫,探究外源 ABA 对干旱胁迫下狗牙根光合特性的影响,以探寻干旱胁迫下狗牙根幼苗喷施 ABA 的适宜浓度,为缓解狗牙根干旱胁迫损伤及抗逆栽培提供理论基础,同时为进一步应用 ABA 调控植物抗旱性提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

狗牙根种子(品种:普通)由北京绿冠公司提供;供试脱落酸(ABA)和聚乙二醇(PEG-6000)分别来源于国药集团化学试剂有限公司、上海纪宁实业有限公司。

### 1.2 试验设计

选取饱满、无病虫害的狗牙根种子用 0.1% 氯化汞溶液消毒 10 min,无菌水冲洗干净后点播于蛭石量相同的 6 孔育苗盆(19 cm $\times$ 15 cm $\times$ 6 cm),每盆种 30 粒。所有育苗盆放置于光照强度为 4 000 lx、昼/夜温

度为 25  $^{\circ}\text{C}$ /20  $^{\circ}\text{C}$ 、光照和黑暗均 12 h/d 的人工气候箱,前期用蒸馏水培养发芽,待发芽后换为 Hoagland 营养液培养 15 d,幼苗平均株高 10 cm 时每盆定苗 24 株(长势一致),进行干旱胁迫处理。

利用 PEG-6000 溶液进行干旱胁迫,设置浓度 10%(中度干旱,P1)和 30%(重度干旱,P3),模拟田间不同程度的干旱。以 PEG-6000 浓度 0% 的 Hoagland 营养液为对照(P0)。试验中,不同浓度 PEG-6000 营养液 250 mL 直接浇灌于育苗盘,每 3 d 更换 1 次。ABA 浓度梯度为 0、200 和 500  $\mu\text{mol/L}$ ,分别记为 A0, A2, A5;采用叶面喷施,对照为等量蒸馏水(15 mL),每 2 d 喷施 1 次。试验共 9 个处理(表 1),每个处理重复 3 次,1 盆为 1 次重复,共 27 盆,胁迫 30 d 后测定各项指标。

表 1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理	聚乙二醇/%	脱落酸/( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )
1	CK	A0(0)
2	P0A2	P0(0) A2(200)
3	P0A5	A5(500)
4	P1A0	A0(0)
5	P1A2	P1(10) A2(200)
6	P1A5	A5(500)
7	P3A0	A0(0)
8	P3A2	P3(30) A2(200)
9	P3A5	A5(500)

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 叶绿素含量测定 称取 0.1 g 叶片,剪碎后加入 20 mL 的 N,N-二甲基酰胺,放置在阴暗处 3~4 d,每天摇动震荡,待其浸泡至叶片变白后在波长 647 nm、664.5 nm 和 674 nm 下测定吸光度值,计算叶绿素含量<sup>[18]</sup>,公式如下:

$$Ca=12.70D_{664.5\text{ nm}}-2.79D_{647\text{ nm}}$$

$$Cb=20.70D_{674\text{ nm}}-4.62D_{664.5\text{ nm}}$$

$$Cx=17.90D_{647\text{ nm}}+8.08D_{664.5\text{ nm}}$$

1.3.2 光合指标测定 选取狗牙根中部完全成熟的健康叶片进行光合作用的测定,每个处理选取 3 株长势一致幼苗,每株测定 1 个叶片。利用 LI-6400XT 光合-荧光测定仪(美国 LI-COR 公司)测定净光合速率(Net photosynthetic rate,  $P_n$ )、气孔导度(Stomatal conductance,  $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度(Intercellular carbon diox-

ide concentration,  $C_i$ )、蒸腾速率(Transpiration rate,  $T_r$ )等,计算水分利用效率(Water use efficiency,  $WUE = P_n/T_r$ )<sup>[7]</sup>。仪器使用开放式气路,  $CO_2$ 浓度为400  $\mu\text{mol/mol}$ ,光强为1 800  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,叶室温度25  $^\circ\text{C}$ ,测定时光照强度稳定2~3 min进行记录<sup>[19]</sup>。测定时间为9:00~11:00。

1.3.3 叶绿素荧光测定 与光合作用测定的是同一组叶片,将叶片暗适应一昼夜后,利用LI-6400XT型配备的荧光叶室测定初始荧光(Basic fluorescence,  $F_0$ )、最大荧光(Maximum fluorescence,  $F_m$ )和可变荧光(Variable fluorescence,  $F_v$ ),光适应20 min后进行光化学猝灭(Photochemical quenching coefficient,  $qP$ )和非光化学猝灭(Non-photochemical quenching, NPQ)等荧光参数的测定,并计算PSII最大光化学量子产量(PSII Maximum photochemical quantum yield,  $F_v/F_m$ )、PSII潜在活性(PSII potential activity,  $F_v/F_0$ )<sup>[7]</sup>。

#### 1.4 数据分析

采用Excel 2010整理数据,利用SPSS17.0软件进行两因素方差分析(Two-way ANOVA),并采用Duncan法在0.05显著水平上进行多重比较。利用

sigmaplot14.0绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源ABA对干旱胁迫下狗牙根叶绿素含量的影响

外源ABA和干旱胁迫存在交互作用,对狗牙根幼苗叶绿素含量影响显著( $P < 0.05$ ),其中外源ABA对光合色素的影响与干旱程度、喷施浓度存在很大的联系。在中度干旱胁迫下,狗牙根幼苗的叶绿素a、b和总叶绿素含量均随外源ABA浓度的增加呈先降低后升高趋势。与未喷施ABA相比,喷施200  $\mu\text{mol/L}$  ABA后叶绿素含量有所降低,但喷施500  $\mu\text{mol/L}$  ABA后,叶绿素a、b和总叶绿素含量分别增加了19.0%、20.2%、18.6% ( $P < 0.05$ ) (图1)。在重度干旱胁迫下,喷施500  $\mu\text{mol/L}$  ABA时叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量达到最大值(18.99、8.24和23.37  $\text{mg/g}$ ),较未喷施ABA处理增加23.7% ( $P < 0.05$ )、22.5% ( $P > 0.05$ )、23.2% ( $P < 0.05$ )。干旱胁迫下,浓度500  $\mu\text{mol/L}$  ABA对增加叶绿素含量的效果优于浓度200  $\mu\text{mol/L}$ 。

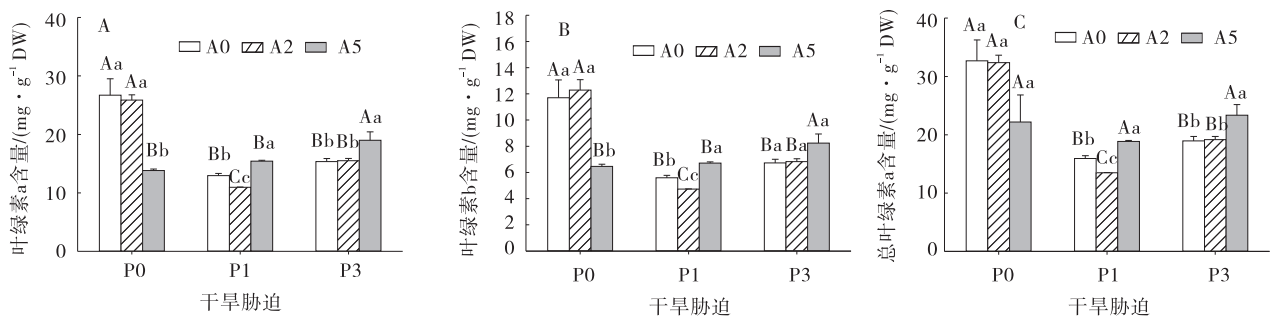


图1 干旱胁迫下外源ABA对狗牙根叶绿素a、b及叶绿素总量的影响

Fig. 1 Effects of exogenous ABA application on chlorophyll a, b and total chlorophyll content in bermudagrass under drought stress

注:不同小写字母表示相同干旱胁迫下不同浓度ABA之间差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示相同浓度ABA下不同干旱胁迫之间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

### 2.2 外源ABA对干旱胁迫下狗牙根光合特性的影响

外源ABA与干旱胁迫的交互作用对净光合速率( $P_n$ )和水分利用率(WUE)影响显著( $P < 0.05$ ) (图2)。干旱胁迫下,喷施ABA提高了 $P_n$ 和WUE,降低了 $C_i$ ,有利于干旱胁迫下狗牙根幼苗光合作用的恢复。在中度干旱胁迫下,喷施200、500  $\mu\text{mol/L}$  ABA后,净光合速率和水分利用率有增加的趋势,胞间 $CO_2$ 浓度和气孔导度有降低的趋势,但变化均未达到差异

水平。重度干旱胁迫下,与没有喷施ABA的处理相比,喷施500  $\mu\text{mol/L}$  ABA使净光合速率、水分利用率分别上升了98.3%、154.2%,胞间 $CO_2$ 浓度降低了28.5%;喷施200  $\mu\text{mol/L}$ 的作用不显著。

### 2.3 外源ABA对干旱胁迫下狗牙根叶绿素荧光参数的影响

外源ABA和干旱胁迫对狗牙根幼苗 $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 和 $F_v/F_0$ 有着明显的交互作用( $P < 0.05$ ) (表2,3)。在中

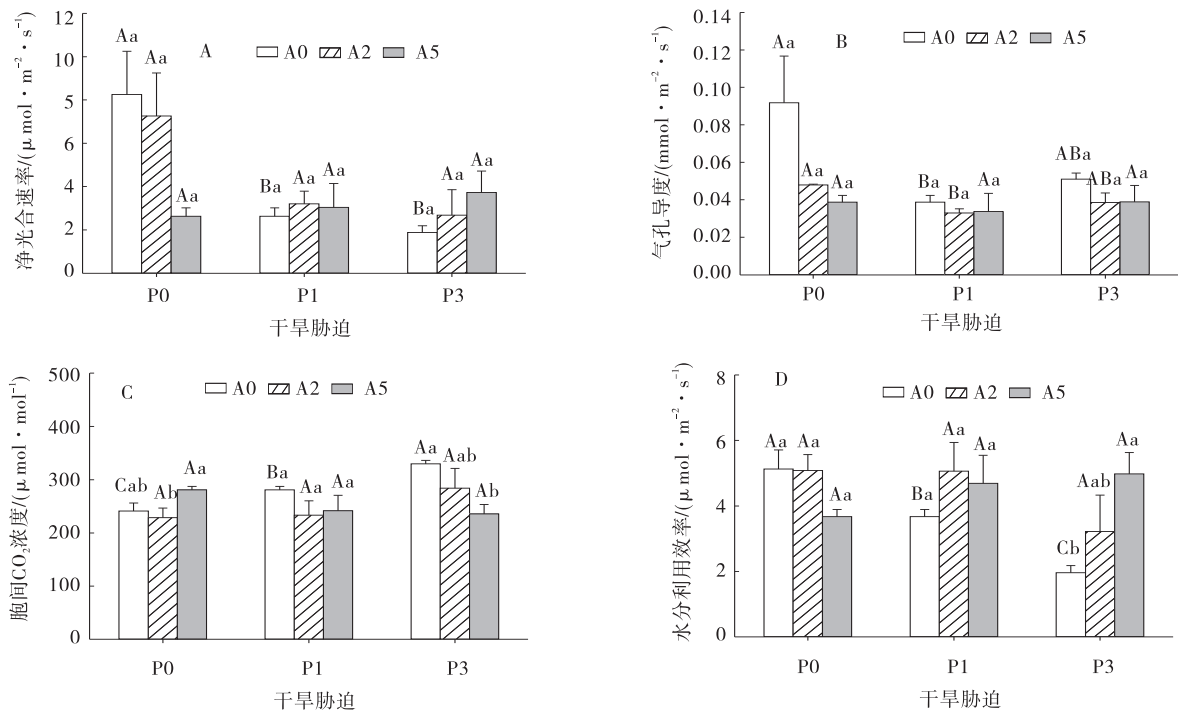


图2 干旱胁迫下ABA对狗牙根净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )和水分利用效率(WUE)的影响

Fig. 2 Effects of exogenous ABA application on Net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ) and water use efficiency (WUE) in bermudagrass under drought stress

度干旱胁迫下,与没有喷施ABA相比,喷施200  $\mu\text{mol/L}$  ABA后  $F_m$ 、 $F_v$ 和 $qP$ 呈上升趋势,NPQ降低,但未达差异水平( $P > 0.05$ );相反,喷施ABA 500  $\mu\text{mol/L}$ 使 $F_o$ 降低20.5%, $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $qP$ 和

ETR分别提高2.7%( $P < 0.05$ )、4.0%、31.0%( $P < 0.05$ )和13.6%。在重度干旱胁迫下,喷施外源ABA后,狗牙根幼苗的 $F_o$ 、NPQ降低, $F_v/F_m$ 和ETR有所升高,但差异不显著。

表2 外源ABA对干旱胁迫下狗牙根 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v$ 和 $F_v/F_m$ 的影响

Table 2 Effects of exogenous ABA on  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  and  $F_v/F_m$  of bermudagrass under drought stress

处理	基础荧光( $F_o$ )			最大荧光( $F_m$ )		
	对照	中度干旱	重度干旱	对照	中度干旱	重度干旱
A0	112.36 ± 5.31 <sup>Aa</sup>	60.43 ± 8.56 <sup>Ba</sup>	84.76 ± 12.29 <sup>Ba</sup>	404.37 ± 33.74 <sup>Ab</sup>	262.8 ± 39.05 <sup>Ba</sup>	358.61 ± 55.12 <sup>ABa</sup>
A2	128.59 ± 6.98 <sup>Aa</sup>	74.18 ± 9.05 <sup>Ba</sup>	78.99 ± 5.9 <sup>Ba</sup>	574.94 ± 31.79 <sup>Aa</sup>	295.32 ± 36.28 <sup>Ba</sup>	321.49 ± 24.51 <sup>Ba</sup>
A5	125.77 ± 10.82 <sup>Aa</sup>	50.15 ± 3.77 <sup>Ba</sup>	69.23 ± 7.26 <sup>Ba</sup>	491.89 ± 51.85 <sup>Ab</sup>	219.33 ± 19.08 <sup>Ba</sup>	266.99 ± 30.36 <sup>Ba</sup>
处理	可变荧光( $F_v$ )			PSII最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )		
	对照	中度干旱	重度干旱	对照	中度干旱	重度干旱
A0	292.01 ± 29.55 <sup>Ab</sup>	202.37 ± 30.52 <sup>Aa</sup>	273.85 ± 43.04 <sup>Aa</sup>	0.74 ± 0.003 <sup>Ac</sup>	0.75 ± 0.006 <sup>Ab</sup>	0.73 ± 0.016 <sup>Aa</sup>
A2	446.35 ± 24.92 <sup>Aa</sup>	221.14 ± 27.29 <sup>Ba</sup>	242.49 ± 19.36 <sup>Ba</sup>	0.78 ± 0.002 <sup>Aa</sup>	0.75 ± 0.003 <sup>Bb</sup>	0.75 ± 0.008 <sup>Ba</sup>
A5	366.12 ± 41.8 <sup>Ab</sup>	169.18 ± 15.46 <sup>Ba</sup>	197.76 ± 23.52 <sup>Ba</sup>	0.76 ± 0.005 <sup>ABb</sup>	0.77 ± 0.004 <sup>Aa</sup>	0.75 ± 0.006 <sup>Ba</sup>

注:不同小写字母表示相同干旱胁迫下不同浓度ABA之间差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示相同浓度ABA下不同干旱胁迫之间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

### 3 讨论

叶绿素是叶绿体的重要构成成分,其含量的高低会直接影响植物的光合能力,对植物的抗旱性产生间接和直接的影响<sup>[20]</sup>。试验中,干旱胁迫显著降低了狗牙根幼苗叶绿素a、b和总叶绿素含量,这与梁文斌

等<sup>[21]</sup>的研究成果相一致,原因是干旱胁迫下叶绿体膜结构被破坏,抑制了叶绿素的合成,同时加速已合成叶绿素的降解<sup>[22]</sup>。外源500  $\mu\text{mol/L}$  ABA施用后,显著提高了干旱胁迫下狗牙根幼苗的叶绿素含量,这与多年生黑麦(*Lolium perenne*)<sup>[7]</sup>、非洲紫罗兰(*Sainpaldiaionantha*)<sup>[23]</sup>研究发现的結果一致,表明一定浓度

表3 外源ABA对干旱胁迫下狗牙根 $F_v/F_o$ 、qP、NPQ和ETR的影响Table 3 Effect of exogenous ABA on  $F_v/F_o$ , qP, NPQ & ETR of bermudagrass under drought stress

处理	PSII潜在活性( $F_v/F_o$ )			表观电子传递速率(ETR)		
	对照	中度干旱	重度干旱	对照	中度干旱	重度干旱
A0	2.91±0.048 <sup>Ac</sup>	3.22±0.08 <sup>Aa</sup>	3.07±0.15 <sup>Aa</sup>	33.13±4.30 <sup>Aa</sup>	26.75±0.88 <sup>Aa</sup>	30.51±2.90 <sup>Aa</sup>
A2	3.47±0.039 <sup>Aa</sup>	2.98±0.04 <sup>Bb</sup>	3.08±0.14 <sup>Ba</sup>	37.25±1.39 <sup>Aa</sup>	26.48±1.07 <sup>Ba</sup>	29.96±3.17 <sup>Ba</sup>
A5	3.13±0.078 <sup>ABb</sup>	3.35±0.09 <sup>Aa</sup>	2.88±0.11 <sup>Ba</sup>	35.94±2.66 <sup>Aa</sup>	30.40±2.41 <sup>Aa</sup>	27.32±4.20 <sup>Aa</sup>
处理	光化学猝灭系数(qP)			非光化学猝灭系数(NPQ)		
	对照	中度干旱	重度干旱	对照	中度干旱	重度干旱
A0	0.184±0.015 <sup>Aa</sup>	0.126±0.004 <sup>Bb</sup>	0.152±0.016 <sup>ABa</sup>	1.31±0.08 <sup>Bab</sup>	1.44±0.03 <sup>ABab</sup>	1.58±0.12 <sup>Aa</sup>
A2	0.177±0.006 <sup>Aa</sup>	0.132±0.004 <sup>Bb</sup>	0.144±0.014 <sup>Ba</sup>	1.4±0.06 <sup>Aa</sup>	1.29±0.06 <sup>Ab</sup>	1.46±0.09 <sup>Aa</sup>
A5	0.165±0.011 <sup>Aa</sup>	0.165±0.006 <sup>Aa</sup>	0.147±0.019 <sup>Aa</sup>	1.17±0.06 <sup>Bb</sup>	1.48±0.09 <sup>Aa</sup>	1.41±0.06 <sup>Aa</sup>

外源ABA能够缓解干旱胁迫对植物的伤害,延缓叶片中叶绿素的降解,从而提高植物抗旱性。

光合作用是植物物质和能量的主要来源,对植株的生长发育有着直接影响<sup>[24]</sup>,对干旱胁迫下维持高的光合效率具有重要意义。ABA作为植物逆境胁迫的重要调控因子,能调节气孔关闭,减少植株蒸腾失水<sup>[25]</sup>。本研究发现中度干旱胁迫下,外源ABA使狗牙根气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度降低,净光合速率和水分利用率上升,而在重度干旱胁迫下喷施一定浓度的ABA则能够有效的降低胞间CO<sub>2</sub>积累,提高了水分利用率,这与陈露露<sup>[26]</sup>和郭金生等<sup>[27]</sup>的研究结论相一致。表明外源ABA可通过降低干旱对叶绿体膜的破坏,促进气孔关闭,提高水分利用效率和光合速率,进而减缓干旱胁迫对植物造成的伤害,提高植物抗旱性<sup>[28-29]</sup>,外源ABA对干旱胁迫下狗牙根幼苗光合作用具有正向促进作用。

叶绿素荧光可以间接反映植物光合能力的强弱,更好地从内部快速灵敏、无损伤地反映PS II的状态,是分析评价植物光合机构的功能以及环境胁迫对植物影响的重要参数,因而可广泛用于干旱胁迫下植物光合作用的研究<sup>[30-31]</sup>。本研究中PSII光合荧光参数的变化进一步说明干旱胁迫导致狗牙根PS II的开放程度降低、光化学电子传递速率减弱、光合作用受抑制,于是植物通过提高NPQ耗散过剩的光能,以保护光合机构<sup>[32]</sup>。研究发现外源ABA提高了狗牙根 $F_m$ 、 $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 和 $F_v/F_o$ ,这与田礼欣等<sup>[33]</sup>研究一致,说明外源ABA可使PS II天线色素吸收的能量更多地流向光化学部分,避免以荧光形式散失,从而使狗牙根幼苗在干旱条件下保持较高的光化学效率,有利于光合作用进行。分析原因主要是外源ABA可促进植物中

psbA基因转录,加快新D1蛋白的合成,增强PS II的修复功能,从而提高植物抵御干旱胁迫的能力<sup>[34]</sup>,同时外源ABA能够促进内源ABA的合成,进而提高植物的抗旱性<sup>[35]</sup>。干旱胁迫使PS II反应中心失活,而ABA可以缓解PS II反应中心受到的伤害,降低干旱胁迫对叶绿体光合机构的破坏,维持较高的光能捕捉能力和同化率,保证植物幼苗叶片的光合能力<sup>[7]</sup>。本研究中,在中度干旱下喷施外源500 μmol/L ABA能够显著提高 $F_v/F_m$ 和qP,说明中度干旱下外源ABA能够提高狗牙根PSII光合反应中心活性,缓解光抑制现象。本试验结果表明,这与喷施500 μmol/L ABA后显著提高狗牙根叶绿素含量有关。相反,在重度干旱下,喷施500 μmol/L ABA对狗牙根叶绿素荧光参数无显著影响,说明干旱胁迫达到一定程度,外源ABA也难以缓解植物光合反应中心受到的伤害,但这方面的研究有待进一步开展。本研究仅在人工气候箱中开展,外源ABA在大田的喷施效果有待进一步验证。另外,ABA在强光下易分解,在田间处理时若遇到强烈的太阳光可能会影响其施用效果,因此在狗牙根草坪田间管理中掌握好喷施浓度的同时也应考虑天气状况。

## 4 结论

喷施500 μmol/L ABA能提高干旱胁迫下狗牙根叶片的叶绿素含量、净光合速率、水分利用率,改善光合性能,尤其是提高中度干旱胁迫下PS II最大光能转化效率( $F_v/F_m$ )和光化学猝灭系数(qP)。说明,外源ABA能通过提高光合作用、水分利用效率和光能转化效率来缓解干旱胁迫对狗牙根幼苗的伤害,使其更好地适应干旱环境。

## 参考文献:

- [1] Li X C, Jiang T, Chao Q C, *et al.* The Core Conclusions and Interpretation of Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [J]. Chinese Journal of Urban and Environmental Studies, 2015, 3(1): 53-62.
- [2] 孙晓梵, 张一龙, 李培英, 等. 不同施氮量对干旱下狗牙根抗氧化酶活性及渗透调节物质含量的影响[J]. 草业学报, 2022, 31(6): 69-78.
- [3] 蒋倩, 汪富军, 马晓兰, 等. 外源褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰生理特性的影响[J]. 草原与草坪, 2022, 42(4): 39-46.
- [4] 李硕, 李振松, 苗丽宏, 等. 5-ALA浸种对干旱胁迫下紫花苜蓿种子萌发特性的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(3): 84-90.
- [5] 张迷离, 韩烈保. 植物在寒冷胁迫下 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 ABA 信号分子的应答研究进展[J]. 草原与草坪, 2013, 33(3): 92-96.
- [6] Chen Z F, Wang Z, Yang Y, *et al.* Abscisic acid and brassinolide combined application synergistically enhances drought tolerance and photosynthesis of tall fescue under water stress[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 228: 1-9.
- [7] 许喆, 任健, 田英, 等. 外源 ABA 对干旱胁迫下多年生黑麦草光合特性的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(5): 1243-1249.
- [8] 王爽, 吕霞. 外源 ABA 对干旱胁迫及复水下弥勒苜蓿生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(6): 67-71.
- [9] 张建生. PEG 模拟干旱胁迫下南酸枣幼苗对外源 ABA 的生长生理响应[J]. 安徽林业科技, 2022, 48(3): 3-7.
- [10] 王爽, 赵雁. 外源 ABA 对干旱下 4 种园林地被植物生长及生理特性的影响[J]. 现代园艺, 2022, 45(1): 10-13.
- [11] 王芳, 王铁兵, 李鹏德. 外源 ABA 对干旱胁迫下玉米幼苗氧化损伤的保护作用[J]. 草业科学, 2019, 36(11): 2887-2894.
- [12] 韩晓伟, 严玉平, 贾河田, 等. 外源 ABA 对北柴胡抗旱性的影响[J]. 中药材, 2018, 41(3): 524-530.
- [13] 李素华, 余佳, 韩浩章, 等. 干旱胁迫下外源 ABA 处理对孔雀草幼苗生理特性的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 8-11.
- [14] 顾跃, 赵云, 姬承东. 硅肥对盐胁迫下狗牙根生理生化特性的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 30-37.
- [15] 宋鑫, 徐杉, 熊芹. 狗牙根抗逆研究进展[J]. 草学, 2021(6): 9-14.
- [16] 卢少云, 陈斯曼, 陈斯平, 等. ABA、多效唑和烯效唑提高狗牙根抗旱性的效应[J]. 草业学报, 2003, 12(3): 100-104.
- [17] LU S, SU W, LI H, *et al.* Abscisic acid improves drought tolerance of triploid bermudagrass and involves H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and NO induced antioxidant enzyme activities[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2009, 47(2): 132-138.
- [18] Inskeep W P, Bloom P R. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-dimethylformamide and 80% acetone[J]. Plant physiology, 1985, 77(2): 483-485.
- [19] 焦旭亮, 张振文, 惠竹梅. “Li-6400 光合作用测定仪”在葡萄上应用的商榷[J]. 西北农业学报, 2007, 16(1): 209-212.
- [20] 魏嘉欣, 薛洪云, 董雨欣, 等. 外源 ABA 提高干旱胁迫下植物幼苗抗逆性的光合生理适应机制研究[J]. 农村经济与科技, 2021, 32(14): 50-51.
- [21] 梁文斌, 聂东伶, 吴思政, 等. 水分胁迫对短梗大参生理生化特征的影响[J]. 经济林研究, 2016, 34(3): 99-104.
- [22] 曾继娟, 朱强, 岑晓斐, 等. 胡枝子幼苗对干旱胁迫的生理响应[J]. 北方农业学报, 2022, 50(2): 53-60.
- [23] 武术杰, 张凤瑾, 刘骞, 等. 干旱胁迫下外源 ABA 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 对非洲紫罗兰抗旱性影响[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(10): 36-39.
- [24] 王晓. 水分胁迫对贝壳堤植被杠柳光合效率及其水分生理的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [25] Muhammad A M, Waseem M, Jakada B H, *et al.* Mechanisms of abscisic Acid-mediated drought stress responses in plants[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(3): 1074-1084.
- [26] 陈露露. 干旱胁迫下外源钙与脱落酸对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [27] 郭金生, 曹丽茹, 张新, 等. 外源 ABA 对干旱胁迫下玉米叶片光合能力及气孔开度的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35(13): 31-35.
- [28] 李学才, 常瑜, 白静, 等. 外源 ABA 和钨酸钠对干旱胁迫下白菜型冬油菜 ZEP 表达的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(2): 47-54.
- [29] 张建生. PEG 模拟干旱胁迫下南酸枣幼苗对外源 ABA 的生长生理响应[J]. 安徽林业科技, 2022, 48(3): 3-7.
- [30] 牛改利. 根施乙酰胆碱对模拟干旱下烟草抗旱生理及光合特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [31] Banks J M. Chlorophyll fluorescence as a tool to identify drought stress in Acer genotypes[J]. Environmental and Experimental Botany, 2018, 155: 118-127.
- [32] Li Y B, Song H, Zhou L, *et al.* Tracking chlorophyll fluorescence as an indicator of drought and rewatering across the entire leaf lifespan in a maize field[J]. Agricultural

- Water Management, 2019, 211: 190–201.
- [33] 田礼欣, 杨晔, 左师宇, 等. 脱落酸对低温胁迫下玉米幼苗生长和光合特性的影响[J]. 作物杂志, 2018(6): 76–82.
- [34] 汪月霞, 索标, 赵腾飞, 等. 外源ABA对干旱胁迫下不同品种灌浆期小麦 *psbA* 基因表达的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(8): 1372–1377.
- [35] 贺新蕊, 李清明. CO<sub>2</sub>加富与外源ABA对受旱黄瓜幼苗生长及叶片内源激素含量的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(3): 352–357.

## Effects of exogenous ABA application on the photosynthetic characteristics of bermudagrass seedlings exposed to drought stress

LI Shu-qi<sup>1</sup>, XU Zhe<sup>2</sup>, WU Bang-gao<sup>3</sup>, REN Jian<sup>1\*</sup>, DAI Wei-ran<sup>1</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. Agricultural, Rural and Collective Economic Development Center, Chongxi Town, Qiaojia County, Yunnan Province, Zhaotong 654600, China)

**Abstract:** [Objective] Examine the impact of exogenous abscisic acid (ABA) on the photosynthetic characteristics of bermudagrass (*Cynodon dactylon*) under drought stress. This study aims to establish a theoretical foundation for mitigating drought damage and promoting stress resistant cultivation of bermudagrass. [Method] Bermudagrass seedlings were exposed to moderate and severe drought stress induced by polyethyleneide—6000 (PEG—6000). The determination of photosynthetic pigments, net photosynthetic rate, stomatal conductance and chlorophyll fluorescence parameters was conducted by foliar spraying 200 and 500  $\mu\text{mol/L}$  ABA under drought stress. [Result] The results indicated a significant decrease in chlorophyll content, net photosynthetic rate, maximum fluorescence ( $F_m$ ), variable fluorescence ( $F_v$ ) and electron transport rate (ETR) under drought stress, accompanied by an increase in photochemical quenching (qP) and non-photochemical quenching (NPQ) ( $P < 0.05$ ). However, the application of exogenous ABA mitigated the inhibitory effects of drought on photosynthesis, and this mitigation was closely associated with concentration of applied ABA or severity of drought. Under moderate drought stress, 500  $\mu\text{mol/L}$  ABA significantly increased chlorophyll content, maximum photochemical quantum yield ( $F_v/F_m$ ) and qP of PSII ( $P < 0.05$ ). In the case of severe drought stress, the application of 500  $\mu\text{mol/L}$  ABA resulted in increased chlorophyll content, net photosynthetic rate and water use efficiency, along with a decrease in intercellular CO<sub>2</sub> concentration ( $P < 0.05$ ). However there was no significant effect on chlorophyll fluorescence parameters. [Conclusion] Exogenous ABA demonstrates the ability to mitigate the damage caused by drought stress in bermudagrass seedlings. This mitigation is achieved by enhancing chlorophyll content, water use efficiency and light energy conversion efficiency, contributing to the adaptation of bermudagrass to arid environments. The findings suggest that the application of 500  $\mu\text{mol/L}$  exogenous ABA yields more favorable effects.

**Key words:** bermudagrass; drought stress; exogenous abscisic acid; photosynthetic characteristics