

水分胁迫下不同抗旱类型胡麻苗期 生理生化指标变化

赵利¹, 党占海¹, 牛俊义², 张建平¹,
王利民¹, 赵玮¹, 党照¹

(1. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州 730070)

摘要: 采用盆栽人工控水方法, 研究了不同水分处理对苗期胡麻叶片相对含水量(RWC)、过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性以及过氧化产物丙二醛(MDA)含量和游离脯氨酸(Pro)含量的影响。结果表明: 在干旱胁迫下, 不同抗旱类型的胡麻品种 RWC 均有不同程度的降低, 在中度和重度胁迫下, RWC 平均比 CK 降低 4.36% 和 13.74%, 即随胁迫强度的增加 RWC 下降幅度变大, 强、弱抗旱性品种平均比 CK 降低 7.67% 和 10.42%, 即抗旱性强的品种 RWC 下降幅度相对较小; 抗旱性强的品种其 CAT 和 POD 活性在中度和重度胁迫下平均比 CK 升高 12.46%、15.14% 和 65.01%、156.01%, 均随胁迫的增强而增加, 但抗旱性弱的品种却为 46.84%、29.85% 和 58.73%、38.20%, 呈现先增后减的趋势; MDA 含量均随胁迫加剧呈上升趋势, 但抗旱性强的品种 MDA 含量随胁迫的增强增幅较小, 为 2.99%; Pro 含量随水分胁迫程度的加剧不断增加, 且抗旱性强的品种体内游离脯氨酸积累量较高, 平均升高 108.64%。RWC 和 Pro 可作为胡麻苗期抗旱性鉴定的生理指标。

关键词: 胡麻; 水分胁迫; 苗期; 生理生化指标

中图分类号: S563.201 **文献标志码:** A

Physiological and biochemical characteristics of drought resistance for oil flax at seedling stage under water stress

ZHAO Li¹, DANG Zhan-hai¹, NIU Jun-yi², ZHANG Jian-ping¹, WANG Li-min¹, ZHAO Wei¹, DANG Zhao¹

(1. Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: This article reports the influence of water on oil flax leaf relative water content(RWC), activity of catalase (CAT) and peroxidase (POD), content of lipid peroxidation products malondialdehyde (MDA) and free proline (Pro) at the seedling stage, using pot experiments with three water treatments. The results showed that the RWC of different drought resistance varieties have different degrees of reduction. Under the moderate and severe water stress, the average RWC decreased by 4.36% and 13.74% compared with CK, the average RWC of drought-resistant and drought-sensitive varieties respectively decreased by 7.67% and 10.42% compared with CK, the drought-resistant varieties decreased less; and the average CAT and POD activity of drought-resistant varieties increased by 12.46%, 15.14% and 65.01%, 156.01%, respectively. The CAT and POD activity enhanced with the increasing of the stress, but the drought-sensitive varieties increased by 46.84%, 29.85% and 58.73%, 38.20% compared with CK; it appears increasing at first and then decreasing. The content of MDA increased with the increasing of the stress, while that of drought-resistant had a smaller increase (2.99%) than that of drought-sensitive. The content of Pro increased with the increasing of the water stress, and the drought-resistant varieties had a higher accumulation of the proline; average increase 108.64% compared with CK. Overall, RWC and Pro content can be regarded as physiological and biochemical indexes of drought resistance for oil flax at seedling stage.

Keywords: oil flax; water stress; seedling stage; physiological and biochemical characteristics

收稿日期: 2014-06-14

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADA8B04); 兰州市人才创新创业科技计划项目(2014-RC-44)

作者简介: 赵利(1973—), 女, 陕西武功人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事亚麻遗传育种、种质资源及生理生化研究。E-mail: zhyj0801@126.com。

干旱已成为全球范围内面临的重大资源和环境问题,也是我国北方农业可持续发展的主要限制因素。据报道,干旱造成的农作物减产在非生物因素中占首位,仅次于病虫害^[1],严重影响着农业生产的发展。干旱不仅可促使幼叶向老叶吸水,加速老叶枯萎死亡;而且可使蒸腾强烈的功能叶向分生组织和其它幼嫩组织夺水,使一些幼嫩组织严重失水,导致其发育不良。更深入的研究表明,在干旱胁迫下,植物的根系结构、叶片的组织含水量、叶绿素及类胡萝卜素含量、渗透势和参与渗透调节的脯氨酸、膜脂过氧化保护体系、脱落酸(ABA)及甜菜碱含量、渗透调节蛋白等均会产生变化^[2-3]。关于干旱胁迫对作物生理生化指标的影响,前人已在小麦、玉米、大豆、黄瓜、川芎等作物中进行了大量的研究^[4-8]。

胡麻(*Linum usitatissimum* L.)即油用亚麻,具有耐旱、耐寒、耐瘠薄的特性,是我国西北和华北旱作农业区重要的油料作物和经济作物,特别在干旱、瘠薄的高原、丘陵、沟壑旱作区更具有不可替代的作用。胡麻虽具有抗旱性,然而有关水分胁迫对胡麻生理生化指标的影响研究少见报道。因此研究不同抗旱类型的胡麻品种对水分胁迫的响应,进而挖掘影响胡麻抗旱性的生理指标,对揭示胡麻抗旱机理具有重要意义。另外,由于胡麻苗期抗旱性对后期群体构成有重要影响,因此,开展水分胁迫下不同抗旱类型胡麻苗期生理生化指标的变化研究,对揭示胡麻苗期抗旱机理具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验材料为田间抗旱性鉴定中抗旱性表现不同的胡麻品种:庆阳老、灵台五星、齐胡麻和镇远胡麻,其中庆阳老和灵台五星为强抗旱性品种,齐胡麻和镇远胡麻为弱抗旱性品种。种子由甘肃省农业科学院作物研究所品种资源室提供。

1.2 试验方法

采用盆栽试验,用塑料花盆(高23 cm,底径22 cm,口径35 cm),每盆装6 kg大田过筛(1 cm孔径)干土(含二胺2.5 g、尿素2.0 g)。每盆播80粒种子,出苗后7~8片真叶时,间苗,每盆留苗35株。间苗后开始控制土壤水分(称重法),土壤水分设3个处理:(1)适宜水分处理(CK),为田间最大持水量的75%;(2)中度水分胁迫(MD),为田间最大持水量的55%;(3)重度水分胁迫(SD),为田间最大持水量的40%。田间最大持水量(用环刀法测定)为23.45%。每个水分处理均重复3次。于每天下午4

点向盆中补充所需水分,胁迫3周后取每株上部幼嫩功能叶片测定理化指标。

1.3 测定指标与测定方法

1.3.1 叶片相对含水量(RWC) 叶片相对含水量,按邹琦^[9]的方法测定。相对含水量 = $(W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100\%$,其中: W_f 为叶片鲜重(g); W_d 为叶片干重(g); W_t 为叶片饱和鲜重(g)。

1.3.2 过氧化氢酶和过氧化物酶 粗酶提取液按刘祖祺等^[10]的方法提取。

(1) 过氧化氢酶(CAT)测定

参照 Jiang 等^[11]的方法,采用紫外吸收法测定,以每分钟吸光度减少0.1所需酶量为1个酶活力单位(U),酶活性以 $U \cdot g^{-1}(FW)$ 表示。

(2) 过氧化物酶(POD)测定

参照高俊凤^[12]的方法,采用愈创木酚氧化比色法测定。以每分钟吸光度变化值表示酶活性大小,即以 $\Delta A_{470} \cdot \min^{-1} \cdot mg^{-1}$ 蛋白质来计算 POD 活性。

1.3.3 丙二醛和脯氨酸含量

(1) 丙二醛(MDA)含量测定

参照高俊凤^[12]的方法,采用硫代巴比妥酸(TBA)法测定,沸水浴后显色反应物分别在450 nm, 532 nm 和 600 nm 下测定吸光度,根据公式计算 MDA 含量。 $MDA (\mu mol \cdot g^{-1} FW) = 6.45 \times (D_{532} - D_{600}) - 0.56 \times D_{450}$

(2) 脯氨酸含量测定

参照张志良^[13]的方法。采用磺基水杨酸提取,茚三酮显色法测定。

1.4 统计分析

各指标所测数值采用抗胁迫系数来确定品种在干旱胁迫下的抗旱性强弱。

抗胁迫系数 = 胁迫处理下选定指标测定值/对照处理下指标测定值。

试验数据处理由 Excel 和 DPS 软件完成。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫下不同抗旱类型胡麻苗期叶片相对含水量(RWC)的变化

叶片相对含水量是反映植物组织水分状况的一个重要指标,常作为比较不同植物保水能力、需水程度和抗旱性相对大小的生理指标^[14]。本试验结果表明,经水分胁迫后,参试品种的叶片相对含水量均有不同程度的减少,降幅为0.26%~17.98%。其中,抗旱性强的庆阳老和灵台五星在中度胁迫处理下叶片相对含水量分别比CK降低0.26%、3.27%,而抗旱性弱的齐胡麻和镇远胡麻则分别比CK降低

6.38%和7.51%,平均降低4.36%;在重度胁迫处理下庆阳老和灵台五星的叶片相对含水量分别比CK降低7.93%和12.92%,而齐胡麻和镇远胡麻则分别比CK降低16.12%和17.98%,平均降低13.74%。两种胁迫下,抗旱性强的庆阳老和灵台五星平均比CK降低7.67%,而抗旱性弱的齐胡麻和镇远胡麻则比CK降低10.42%。可见,无论是在中度胁迫还是重度胁迫下,抗旱性强的庆阳老和灵台五星的叶片相对含水量均比抗旱性弱的齐胡麻和镇远胡麻高,保水性强,抗胁迫系数大,说明抗旱性强的品种具有较高的RWC特征。而且,重度胁迫处理下各品种叶片相对含水量相比中度胁迫处理下降更多,但同一胁迫处理下抗旱性强的品种相比抗旱性弱的品种叶片相对含水量下降的较少。各品种在不同处理下叶片相对含水量变化见表1。

2.2 水分胁迫下不同抗旱类型胡麻苗期 POD 酶活性的变化

POD酶在逆境胁迫初期表达,可清除 H_2O_2 ,表现为保护效应;在逆境胁迫或衰老后期表达,参与活性氧的生成、叶绿素的降解,并引发膜脂过氧化作

用,表现为伤害效应^[15]。本研究结果表明,经水分胁迫后,4个品种的POD活性均有不同程度的升高。其中在中度胁迫处理下,抗旱性强的庆阳老和灵台五星的POD活性分别比CK升高79.35%和50.66%,平均升高65.01%,而抗旱性弱的齐胡麻和镇远胡麻则分别比CK升高84.84%和32.61%,平均升高58.73%;而在重度胁迫下,庆阳老和灵台五星POD酶活性均随着胁迫程度的加大而升高,分别比CK升高238.98%、73.03%,平均升高156.01%,而齐胡麻和镇远胡麻随着胁迫程度的加剧其POD酶活性反而降低,分别为69.15%和7.25%,平均升高38.20%。表明抗旱性强的品种在两种胁迫下,其POD均表现保护效应,而抗旱性弱的品种在中度胁迫下,其POD表现保护效应,而在重度胁迫下其体内部分POD可能已参与活性氧的生成、叶绿素的降解,并引发膜脂过氧化作用,表现为伤害效应。另外,只有在重度胁迫下,庆阳老和灵台五星的叶片POD抗胁迫系数才高于齐胡麻和镇远胡麻,而在中度胁迫下齐胡麻的抗胁迫系数最高(表2)。

表 1 水分胁迫下胡麻叶片相对含水量的变化/%

Table 1 Variation of leaf relative water content under water stress

品种 Variety	重度胁迫 Severe stress		中度胁迫 Moderate stress		CK
	处理 Treatment(T)	T/CK	处理 Treatment(T)	T/CK	
庆阳老 Qingyanglao	73.37 aA(aA)	0.92	79.48aA(aA)	1.00	79.69aA(aA)
灵台五星 Lingtaiwuxing	71.36bB(aA)	0.87	79.27aAB(aA)	0.97	81.95aA(aA)
齐胡麻 Qihuma	67.09 cB(bAB)	0.84	74.88 bA(aA)	0.94	79.98 aA(aA)
镇远胡麻 Zhenyuanhuma	64.68 bA(bB)	0.82	72.94 abA(aA)	0.92	78.86 aA(aA)

注:同一行中不同字母表示在 $P < 0.01$ (大写字母)和 $P < 0.05$ (小写字母)下差异显著;同一列中括弧内不同字母表示在 $P < 0.01$ (大写字母)和 $P < 0.05$ (小写字母)时差异显著(Duncan氏新复极差法),下同。

Note: The different letter in each row indicates significant difference at $P < 0.01$ (capital letters) and $P < 0.05$ (lower cases)(Duncan, s). The different letter in brackets in each column indicates significant difference at $P < 0.01$ (capital letters) and $P < 0.05$ (lower cases). The same below.

表 2 水分胁迫下胡麻叶片 POD 酶活性的变化/($U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)

Table 2 Variation of leaf POD activity under water stress

品种 Variety	重度胁迫 Severe stress		中度胁迫 Moderate stress		CK
	处理 Treatment(T)	T/CK	处理 Treatment(T)	T/CK	
庆阳老 Qingyanglao	22.00 aA(aA)	3.39	11.64 bB(aA)	1.79	6.49 cC(bAB)
灵台五星 Lingtaiwuxing	10.52 aA(bB)	1.73	9.16 bB(bB)	1.51	6.08 cC(cB)
齐胡麻 Qihuma	6.36 bB(cC)	1.69	6.95 Aa(cC)	1.85	3.76 cC(dC)
镇远胡麻 Zhenyuanhuma	7.40 bB(cC)	1.07	9.15 aA(bB)	1.33	6.90 cC(aA)

2.3 水分胁迫下不同抗旱类型胡麻苗期 CAT 酶活性的变化

CAT酶与SOD酶协同作用可消除体内的 O_2^- 和

H_2O_2 ,从而最大限度地减少了体内 $\cdot OH$ 的形成^[15]。在不同程度水分胁迫下,4个品种的CAT含量和抗胁迫系数均有不同程度的升高。其中庆阳老在中度

胁迫下 CAT 活性比 CK 升高了 22.50%, 在重度胁迫下升高了 22.75%, 两种胁迫下其 CAT 酶基本没有变化; 灵台五星在中度胁迫下 CAT 活性比 CK 升高了 2.42%, 在重度胁迫下升高了 7.52%, 两种胁迫下, CAT 平均比 CK 升高 12.46% 和 15.14%, 均有小幅升高, 但差异不显著。这 2 个品种虽然均为强抗旱性品种, 但可能还有抗旱和耐旱的区别。这个还需要进一步深入研究。而齐胡麻和镇远胡麻在 2 种处理下均随着胁迫程度的加剧 CAT 酶活性呈先升

高后降低的趋势, 在中度胁迫下平均比 CK 升高 46.84%, 而在重度胁迫下则比 CK 升高 29.85%, 且均与对照间差异达极显著水平。同时, 无论是在中度胁迫还是重度胁迫下, 与 CK 相比, 抗旱性弱的齐胡麻和镇远胡麻的 CAT 活性升高值均高于抗旱性强的庆阳老和灵台五星, 另外, 在 2 种胁迫下, 庆阳老和灵台五星的叶片 CAT 抗胁迫系数均低于齐胡麻和镇远胡麻(表 3)。

表 3 水分胁迫下胡麻叶片 CAT 酶活性的变化/(U·g⁻¹·min⁻¹)

Table 3 Variation of leaf CAT activity under water stress

品种 Variety	重度胁迫 Severe stress		中度胁迫 Moderate stress		CK
	处理 Treatment(T)	T/CK	处理 Treatment(T)	T/CK	
庆阳老 Qingyanglao	24.33 aA(bB)	1.23	24.28 aA(cB)	1.23	19.82 bB(cC)
灵台五星 Lingtaiwuxing	37.75 aA(aA)	1.08	35.96 aA(bA)	1.02	35.11 aA(aA)
齐胡麻 Qihuma	35.05 aA(bA)	1.27	38.28 aA(aA)	1.38	27.66 bB(bB)
镇远胡麻 Zhenyuanhuma	36.46 bA(aA)	1.33	42.58 aA(aA)	1.55	27.42cB(bB)

2.4 水分胁迫下不同抗旱类型胡麻苗期 MDA 含量的变化

丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最终产物, 其含量的高低可以反映植物膜质伤害的程度^[16]。水分胁迫下 MDA 积累越多, 表明其抗旱性越弱^[17]。从表 4 可以看出, 干旱胁迫下, 参试品种 MDA 水平均有升高, 其中在中度水分胁迫时, 庆阳老和灵台五星的 MDA 含量分别比 CK 升高 18.42%、10.64%, 平均升高 14.53%, 在重度水分胁迫时, 分别比 CK 升高 31.58% 和 27.66%, 平均升高 29.62%; 而齐胡麻和镇远胡麻在中度水分胁迫时分别升高 21.82% 和 13.21%, 平均升高 17.52%, 在重度水分胁迫时分别比 CK 升高 43.64% 和 54.72%, 平均升高 49.18%,

可见, 随着干旱胁迫程度的加剧, 所有参试品种的 MDA 含量明显上升。说明抗旱胁迫对各品种抗氧化酶活性均有抑制。

同一水分胁迫下, 抗旱性较弱的齐胡麻和镇远胡麻 MDA 含量增幅明显高于两个抗旱性强的品种, 说明抗旱性强的品种在干旱胁迫下膜脂过氧化水平低, 膜系统伤害较轻, MDA 含量增加较慢, 抗旱性弱的品种膜脂过氧化水平高, 膜系统伤害较重, MDA 含量增加的速度较快。同时, 中度水分胁迫下 MDA 含量增幅较小, 说明此时膜系统受到的伤害较轻, 自由基清除系统活性较高, 能有效地减少膜脂过氧化伤害。

表 4 水分胁迫下胡麻叶片 MDA 含量的变化/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 4 Variation of leaf MDA content under water stress

品种 Variety	重度胁迫 Severe stress		中度胁迫 Moderate stress		CK
	处理 Treatment(T)	T/CK	处理 Treatment(T)	T/CK	
庆阳老 Qingyanglao	0.50 aA(bB)	1.32	0.45aA(cC)	1.18	0.38 aA(bB)
灵台五星 Lingtaiwuxing	0.60 aA(bAB)	1.28	0.52 abA(bcBC)	1.11	0.47 bA(abAB)
齐胡麻 Qihuma	0.79 aA(aA)	1.44	0.67bAB(aA)	1.22	0.55cB(aA)
镇远胡麻 Zhenyuanhuma	0.82 aA(aA)	1.55	0.60 bAB(abAB)	1.13	0.53 bB(aA)

2.5 水分胁迫下不同抗旱类型胡麻苗期游离脯氨酸含量的变化

脯氨酸(Pro)是水溶性最大的氨基酸(162.3 g·100g⁻¹水, 25℃), 在逆境条件下(旱、盐碱、热、冷、冻), 植物体内脯氨酸的含量显著增加。植物体内脯

氨酸含量在一定程度上反映了植物的抗逆性, 抗旱性强的品种往往积累较多的脯氨酸。因此测定脯氨酸含量可以作为抗旱育种的生理指标。从表 5 可以看出, 在中度胁迫时, 庆阳老和灵台五星体内的脯氨酸积累量分别比 CK 高 82.47% 和 51.12%, 平均升

高66.80%，而齐胡麻和镇远胡麻体内的脯氨酸积累量分别比 CK 高 22.24% 和 39.46%，平均升高 30.85%，较 2 个抗旱性强的品种积累量小。在重度胁迫时各品种体内脯氨酸含量继续增加，庆阳老和灵台五星的叶片脯氨酸积累量分别比 CK 升高 169.46%、131.50%，平均升高 150.48%，齐胡麻和镇远胡麻的叶片脯氨酸积累量分别比 CK 升高

72.93% 和 61.38%，平均升高 67.16%。说明在两种干旱胁迫下，植物体内游离脯氨酸积累，且随着水分胁迫程度的加剧，脯氨酸含量增高，且存在品种差异。抗旱能力强的胡麻品种在水分胁迫时，大量积累脯氨酸来维持细胞水分，调节渗透压，抵抗逆境。而且在两种胁迫下，庆阳老和灵台五星的叶片 Pro 抗胁迫系数均明显高于齐胡麻和镇远胡麻。

表 5 水分胁迫下胡麻叶片脯氨酸含量的变化/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$

Table 5 Variation of leaf free proline content under water stress

品种 Variety	重度胁迫 Severe stress		中度胁迫 Moderate stress		CK
	处理 Treatment(T)	T/CK	处理 Treatment(T)	T/CK	
庆阳老 Qingyanglao	821.56 aA (aA)	2.69	556.34 bB (bA)	1.82	304.89 cC (cC)
灵台五星 Lingtaiwuxing	394.39aA (dD)	2.32	257.45 bB (dC)	1.51	170.36 cC (dD)
齐胡麻 Qihuma	642.00 aA (cC)	1.73	453.82Bb(cB)	1.22	371.24cB (bB)
镇远胡麻 Zhenyuanhuma	695.56 aA (bB)	1.61	601.09 bB (aA)	1.39	431.00 cC (aA)

3 结论与讨论

干旱对植物的影响是多方面的，它不仅可以通过减弱植物的生长，甚至可以使植物失水、衰老而导致死亡。水分胁迫严重影响胡麻体内生理生化物质的含量。

3.1 干旱胁迫对叶片相对含水量的影响

干旱胁迫下，植物首先表现出来的是体内含水量的下降^[18-19]。徐兴^[20]等研究表明，RWC 在渗透胁迫下下降的快慢与植物的抗旱性密切相关，唐连顺等^[6]、董兴月等^[7]、周虹等^[8]在玉米、大豆和川芎上的研究表明，在干旱胁迫下，RWC 均下降，本研究中不同抗旱类型的胡麻叶片相对含水量在不同水分胁迫下均有不同程度的降低，研究结果与前人研究结果一致。而且随胁迫强度的增加 RWC 下降幅度加大，但抗旱性强的品种(庆阳老和灵台五星)RWC 下降幅度明显小于抗旱性弱的品种(齐胡麻和镇远胡麻)。可见抗旱性强的品种具有保水力强的特点，叶片相对含水量可以较好地反映胡麻品种的抗旱性。

3.2 干旱胁迫对 POD、CAT 活性和 MDA 含量的影响

正常情况下，植物体内的活性氧产生与消除系统处于平衡状态，对植物不会产生伤害，而当植物处于干旱、低温、高盐等逆境胁迫时，体内的活性氧产生与清除的平衡会遭到破坏，活性氧大量积累导致植物细胞的损伤，引起膜脂过氧化，丙二醛含量增加^[21]。本研究表明，中度干旱胁迫下，4 个品种的 POD、CAT 活性和 MDA 含量均有小幅度的升高，但

随着胁迫程度的加大，庆阳老、灵台五星的 POD、CAT 酶活性和抗胁迫系数、MDA 含量继续升高，而齐胡麻和镇远胡麻的 POD、CAT 酶活性和抗胁迫系数反而降低，MDA 含量大幅升高。说明在中度胁迫时各品种膜系统伤害较轻，胡麻叶片中酶保护体系清除自由基活性高，可有效防止干旱对细胞的损伤，这与唐连顺等^[6]对玉米幼苗叶片的研究结论一致；但随着干旱程度的加深(重度胁迫)，抗旱性强的品种——庆阳老、灵台五星的 POD、CAT 酶活性在增加，而抗旱性弱的品种——齐胡麻和镇远胡麻的 POD、CAT 酶活性反而降低，这说明抗旱性强的品种随着干旱程度的加深这些酶的功能在增加以抵御干旱，而抗旱性弱的胡麻品种叶片酶保护体系被破坏，酶的功能受抑制，活性氧大量积累，膜脂过氧化加剧，MDA 含量大幅增高，作物进而表现为干旱伤害，因此开始下降。即抗旱性强的品种的 CAT 和 POD 活性均随胁迫的增强而增加，但抗旱性弱的品种却呈现先增后减的趋势；MDA 含量随胁迫强度的增加均升高，且抗旱性强的品种 MDA 含量随胁迫的增大增幅较小。而周虹等^[8]对川芎的研究表明，干旱胁迫下，随着处理天数的增加，叶片 MDA 含量明显增加，POD 活性呈现上升趋势，而 CAT 活性呈现先上升后下降的趋势。本研究结果除 MDA 变化趋势一致外，POD、CAT 变化与此研究结论不同，这可能与研究的植物种类和抗旱性分类不同有关。

3.3 干旱胁迫对脯氨酸含量的影响

在干旱胁迫下，植物体内会迅速积累脯氨酸，通过渗透调节作用维持细胞一定的含水量和膨压，从而增强植物的抗旱能力和抗逆性^[22-23]。本研究表

明,不同水分胁迫处理后胡麻幼苗都有明显累积游离脯氨酸现象,随着水分胁迫程度的加深,游离脯氨酸的积累量增大,且抗旱性强的品种体内游离脯氨酸积累量较高。这与蔡昆争等^[24]、朱维琴等^[25]、董兴月等^[7]、张瓊等^[8]在水稻、大豆和黄瓜上的研究结果一致。表明抗旱性强的品种通过体内积累较高的游离脯氨酸,以抵御干旱对品种的伤害。干旱胁迫后,植物体内游离脯氨酸成倍增加是不同胡麻品种适应干旱逆境的重要生理机制之一。

3.4 干旱胁迫对不同指标抗胁迫系数的影响

从两种处理下的抗胁迫系数来看,本研究涉及的5种指标,只有RWC和Pro的抗胁迫系数呈现抗旱性强的品种大于抗旱性弱的品种,可以较好地反映品种的抗旱性能。而POD、CAT和MDA的抗胁迫系数均没有呈现这种规律性变化。因此,可把RWC和Pro作为胡麻苗期抗旱性鉴定的两种生理指标。

参考文献:

- [1] 黄高峰,王丽慧,方云花,等.干旱胁迫对菊芋苗期叶片保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响[J].西南农业学报,2011,24(2):552-555.
- [2] 姚觉,于晓英,邱收,等.植物抗旱机理研究进展[J].华北农学报,2007,22(增刊):51-56.
- [3] 韩蕊莲,李丽霞,梁宗锁,等.干旱胁迫下沙棘膜脂过氧化保护体系研究[J].西北林学院学报,2002,17(4):1-5.
- [4] 张玉梅,林琪,姜雯,等.渗透胁迫条件下不同抗旱性小麦品种3萌发期生理生化指标的变化[J].麦类作物学报,2006,26(6):125-130.
- [5] 唐连顺,李广敏,商振清,等.水分胁迫对玉米幼苗膜脂过氧化及保护酶的影响[J].河北农业大学学报,1992,15(2):34-40.
- [6] 董兴月,林浩,刘丽君,等.干旱胁迫对大豆生理指标的影响[J].大豆科学,2011,30(1):83-88.
- [7] 张瓊.干旱胁迫对黄瓜幼苗生理指标的影响[J].南方农业学报,2011,42(12):1466-1468.
- [8] 周虹,范巧佳,郑顺林,等.春季水分胁迫对川穹叶片相对含水量及保护酶活性的影响[J].中国中药杂志,2009,34(2):132-137.
- [9] 邹琦主编.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 刘祖奇,张石诚.植物抗逆性生理学[M].第一版.北京:中国农业出版社,1994:369-382.
- [11] Jiang M Y, Zhang J H. Water stress induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant-enzymes in maize leaves[J]. J. Exp. Bot., 2002,53:2401-2410.
- [12] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 张志良,瞿伟著.植物生理学实验指导[M].第三版.北京:高等教育出版社,2004.
- [14] 何海燕,许国辉,马国强,等.青海东部主要造林树种的水分生理研究[J].西北林学院学报,2003,18(2):9-12.
- [15] 闫成仕.水分胁迫下植物叶片抗氧化系统的响应研究进展[J].烟台师范学院学报(自然科学版),2002,18(3):220-225.
- [16] 孙一荣,朱教军,康宏樟.水分处理对沙地樟子松幼苗膜脂过氧化作用及保护酶活性影响[J].生态学杂志,2008,27(5):729-734.
- [17] 宋海鹏,刘君,李秀玲.干旱胁迫对5种景天属植物生理指标的影响[J].草业科学,2010,27(1):11-15.
- [18] 马祎,王彩云.几种引进冷季型草坪草的生长及抗旱性生理指标[J].草业科学,2001,18(2):57-61.
- [19] 孙启忠.四种冰草幼苗抗旱性的研究[J].中国草地,1991,(3):29-32.
- [20] 许兴,郑国琦,邓西平.不同基因型小麦幼苗抗旱抗盐性比较研究[J].西北植物学报,2002,22(5):1122-1135.
- [21] Kendall E J, Mckersie B D. Free radicals and freezing injury to cell membranes of winter wheat[J]. Physiol Plant, 1989,(76):86-94.
- [22] Hakimi A, Monneveux P, Galiba G. Soluble sugars, proline and relative water content(RWC)as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from *T. polanicum* to *T. durum*[J]. Journal of Genetics & Breeding, 1995,49(3):237-243.
- [23] Singh T N, Aspinall F, Paley L G. Proline accumulation and var. i-et al adaptability to drought resistance[J]. Nature NP Bio1, 1972, 236:188-190.
- [24] 蔡昆争,吴学祝,骆世明,等.不同生育期水分胁迫对水稻根叶渗透调节物质变化的影响[J].植物生态学报,2008,32(2):491-500.
- [25] 朱维琴,吴良欢,陶勤南,等.干旱逆境下不同品种水稻叶片有机渗透调节物质变化研究[J].土壤通报,2003,34(1):25-28.