

肉苁蓉寄生对梭梭幼苗保护酶活性及渗透调节物质的影响^{*}

李霞¹ 马永清^{1,2,*} 宋玉霞³ 税军峰² 李秀维²

(¹ 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100; ² 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100;

³ 宁夏农业生物技术重点实验室, 银川 750002)

摘 要 以寄生和未寄生肉苁蓉的梭梭为对象, 分别测定其同化枝的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性及丙二醛(MDA)含量, 同时测定了2种条件下梭梭的渗透调节物质(可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸)含量, 并采用隶属函数法对各个指标进行综合评定。结果显示 2种处理的梭梭在6—9月3种保护酶活性的变化趋势均为先升后降, 且寄生肉苁蓉梭梭的保护酶活性在前期均高于未寄生的梭梭。梭梭在被肉苁蓉寄生后, MDA含量显著增加, 且植株体内的主要渗透调节物质——可溶性蛋白质及脯氨酸含量均有不同程度的升高, 但可溶性糖含量却有所降低。各指标的相关分析和综合评定结果表明, 肉苁蓉的寄生给寄主梭梭造成了胁迫的环境, 对寄主保护酶系统及渗透调节系统产生了明显的伤害, 并降低了寄主梭梭的抗旱性。

关键词 梭梭; 肉苁蓉; 寄生; 抗旱性

中图分类号 S718.43 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)08-1531-06

Effects of *Cistanche deserticola* parasitization on *Haloxylon ammodendron* seedlings protective enzyme activities and osmotic adjustment substance contents. LI Xia¹, MA Yong-qing², SONG Yu-xia³, SHUI Jun-feng², LI Xiu-wei²(¹ College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ² Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; ³ Ningxia Agricultural Biotechnological Key Laboratory, Yinchuan 750002, China). Chinese Journal of Ecology 2009 28(8) : 1531-1536.

Abstract : In order to understand the effects of *Cistanche deserticola* parasitization on *Haloxylon ammodendron* growth, the activities of protective enzymes (SOD, POD and CAT) and the contents of osmotic adjustment substances (soluble protein, soluble sugar and free proline) in *H. ammodendron* assimilating branches were measured, and the comprehensive drought-resistant capability of *H. ammodendron* under parasitized and un-parasitized conditions was evaluated by subordinate function values analysis. During the whole measurement period (from June to September), the test enzyme activities in *H. ammodendron* assimilating branches all decreased after an initial increase, and were lower in parasitized than in un-parasitized *H. ammodendron* in early period. After parasitized by *C. deserticola*, the MDA content in *H. ammodendron* increased significantly, soluble protein and free proline contents increased in different degrees, while soluble sugar content decreased. The parasitization of *C. deserticola* gave the host plant a stress environment, making an obvious damage on host's protective enzyme system and osmotic adjustment system and the decrease of host's drought resistance.

Key words : *Haloxylon ammodendron*; *Cistanche deserticola*; parasitization; drought resistance.

* 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD09B08)和宁夏自治区科技攻关资助项目(KGX-09-06-03)。

* * 通讯作者 E-mail : mayongqing@ms.iswc.ac.cn

收稿日期 : 2008-12-11 接受日期 : 2009-03-27

肉苁蓉(*Cistanche deserticola*),习称苁蓉、大芸,属列当科(Orobanchaceae)肉苁蓉属,为多年生专性全寄生草本植物,营养生长全部在地下进行,只有生殖生长阶段出土,主要寄生于梭梭(*Haloxylon ammodendron*)的根部。肉苁蓉是我国西北荒漠半荒漠地区的珍贵植物资源,具有补肾壮阳、滋阴活血、润肠通便等功效,在《神农本草经》中列为上品,属国家珍稀植物(马育泉,1977)。其寄主梭梭(*H. ammodendron*)是藜科(Chenopodiaceae)梭梭属植物,为多年生超旱生灌木或小乔木,主要生长在流动沙丘、盐渍土及砾质戈壁。梭梭是荒漠的优势种,在我国的西北荒漠、半荒漠地区分布较为普遍,抗逆性很强,对荒漠区防风固沙、保护生态平衡有重要意义。梭梭与肉苁蓉合称为“荒漠之宝”(盛晋华等,2003)。

近年来,国内外有关梭梭和肉苁蓉的研究大都是将肉苁蓉和梭梭分开进行研究(谭德远等,2004),且对于梭梭的研究集中在沙漠地区的多年生梭梭群落,很少对梭梭幼苗进行研究,而有关肉苁蓉寄生对梭梭幼苗抗旱能力影响的研究更是较少。寄生植物能识别寄主并与之建立稳定的寄生关系,所依靠的化学信号物质从种类上看大都是寄主植物与其他植物竞争而释放的抑制性的化感物质,这也是寄生植物与寄主植物在长期进化过程中形成的独特现象(Callaway & Aschehoug,2000)。而在长期的适应过程中,寄生物和寄主共同进化到一种平衡状态,具有很强适应性的寄生物只带给寄主很小的损害,使寄主不仅可以忍受而且能较好地生存下去,这样寄生物本身的延续也就有了保障。寄生物与寄主之间这种协同进化将导致一种彼此干扰最小的平衡状态(尚玉昌,2002)。植物在受到逆境胁迫时,通常会通过调节体内保护酶活性及渗透调节物质的含量来响应,尽量保护植物体免受伤害。有研究表明,植物体所具有的保护酶体系及渗透调节功能是某些抗旱植物在长期进化过程中所演化出的适应干旱的机制和策略,是其能够忍耐长期干旱胁迫的重要物质基础(刘建新等,2005),因此,植物保护酶活性及渗透调节物质含量是反映植物抗旱能力的重要指标。本研究采用盆栽试验,以寄生和未寄生肉苁蓉梭梭幼苗为对象,通过探讨肉苁蓉寄生对梭梭幼苗保护酶活性及渗透调节物质含量的影响,为揭示二者间的相互关系提供理论依据,进一步明确肉苁蓉寄生对寄主梭梭生理代谢及抗旱能力的影响,为我国梭梭属植物资源的保护和肉苁蓉资源的合理开发

利用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验地点位于陕西省杨凌示范区西北农林科技大学水土保持研究所院内。梭梭苗为苗龄2年生的实生苗,来自宁夏农林科学院梭梭苗种植基地,于2006年11月15日种植。供试土壤为细沙、黄褐土、蚯蚓粪的混合物以2:2:1的体积比混合均匀(黄褐土取自水土保持研究所试验田耕层,有机质含量为 $14.8\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),装入育苗容器火箭盆(直径20 cm,高25 cm,混合物总质量为4 kg),每盆1株。定植后放置于可移动式遮雨大棚内,防止降雨,晴天正常照光,各处理充分供水,以保证成活和正常生长。2007年春天,待梭梭地上部长出1~1.5 cm新生芽后,打开火箭盆,将肉苁蓉的种子用滤纸包裹在梭梭的根部,2007年秋天再次打开火箭盆,如果寄生上肉苁蓉,即可以获得寄生实生苗。

1.2 测定方法

定点选取寄生和未寄生肉苁蓉且生长状况一致的梭梭幼苗各5株,从2008年6月下旬—9月中旬,每隔20 d取样1次,分别从梭梭树体的各个部位摘取梭梭的肉质同化枝,取样后迅速用液氮处理保存备用,供室内测定分析用。测定时各样品均平行测定3次。

1.2.1 酶液的制备 采用Rajinder和Wandekayi(1981)的方法,略有改变。准确称取1 g梭梭幼苗同化枝,剪碎,加少量石英砂和5 ml预冷的提取介质($0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ pH 7.8磷酸缓冲液,内含1%的PVP)冰浴研磨,定容至10 ml,4℃下10000×g离心20 min。取上清液于4℃冰箱中保存备用,24 h内测定酶活性。

1.2.2 保护酶活性的测定 超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定,以抑制50% NBT反应为一个酶活性单位(Stewart & Bewley,1980)。过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚显色法测定,以每1 min内 A_{470} 变化0.01为一个酶活性单位。过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定,以每1 min内 A_{240} 减小0.1为一个酶活力单位(Chance & Maehly,1955)。

1.2.3 丙二醛(MDA)含量的测定 采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定(Heath & Packer,1968)。

1.2.4 渗透调节物质含量的测定 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250显色法测定(Bradford,

1976) ;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定(Fairbairn ,1953) ,脯氨酸(Pro)含量采用磺基水杨酸提取酸性茚三酮显色法测定(Bates *et al.* ,1973)。

1.3 数据处理

用 SAS 软件 One-way ANOVA 进行方差分析和多重比较进行显著性检验。采用隶属函数法对各个指标进行综合评定(龚明 ,1989) ,计算公式为 : $R(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$ 。式中 X 为各处理的某一指标测定值 , X_{max} 、 X_{min} 分别为所有处理中某一指标的最大值和最小值。如某一个指标与抗性为负相关 ,则用反隶属函数值 $R(X_i)=1-(X_i-$

$X_{min})/(X_{max}-X_{min})$)进行计算 ,最后把每一个生态型各指标的抗旱隶属值进行累加 ,求平均数 ,平均数越大 ,表示抗旱性越强。

2 结果与分析

2.1 肉苁蓉寄生对梭梭苗保护酶活性的影响

2 种处理的梭梭在测定时期内 3 种保护酶活性的变化趋势是基本一致的 ,均为先升高后下降 ,但达到最大酶活性的时间不同。其中 SOD、POD 活性均在 8 月中下旬达到最大值 ,CAT 活性在 7 月底达到最大值。在肉苁蓉寄生后 ,梭梭苗的 SOD 活性在前

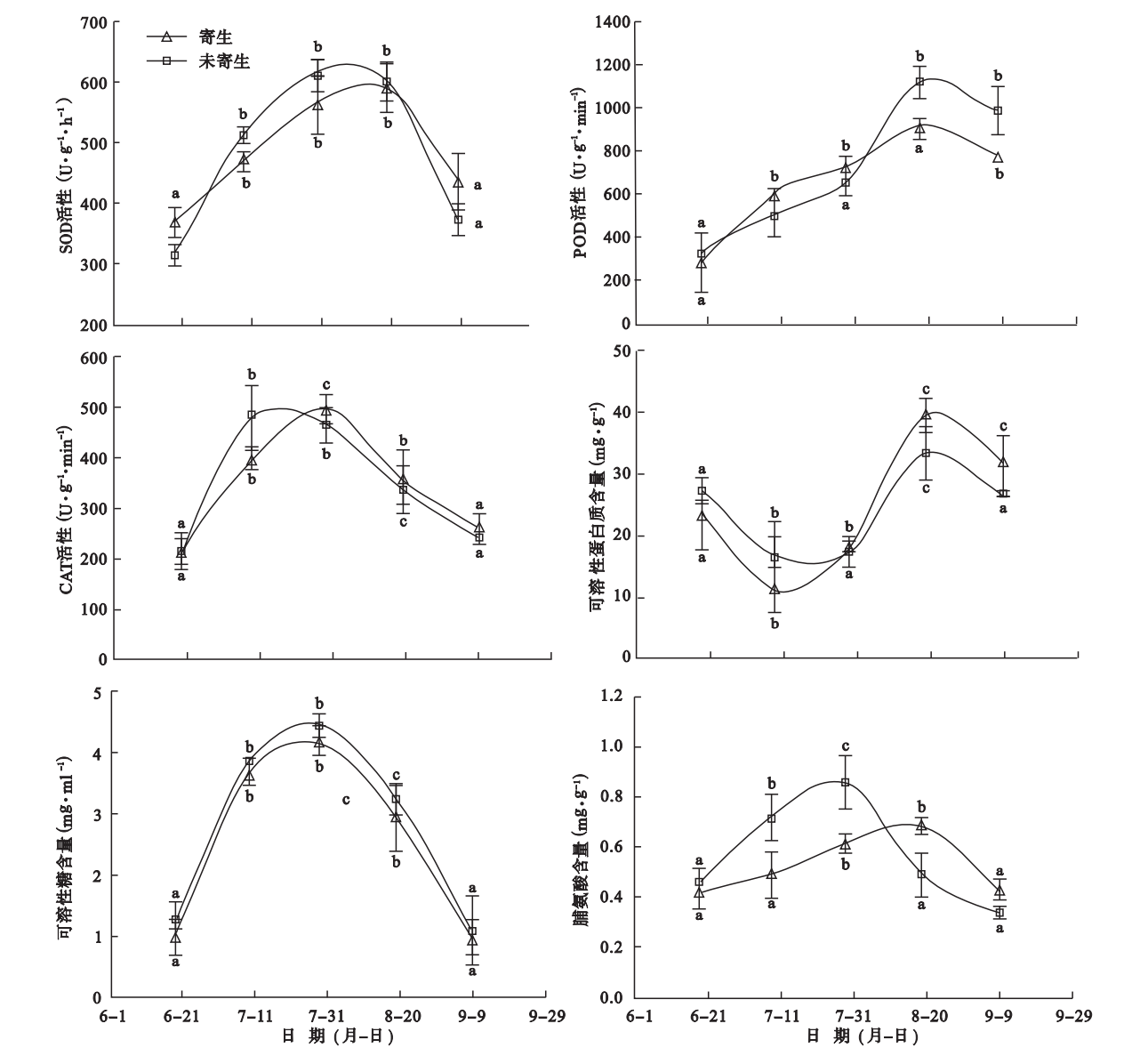


图 1 肉苁蓉寄生对梭梭苗保护酶活性和渗透调节物质含量的影响
Fig.1 Effect of *Cistanche deserticola* parasitizing on the protective enzyme activities and osmotic adjustment content of *Haloxylon ammodendron* seedlings
不同小写字母为差异显著 ($P < 0.05$) ,数值为平均值 \pm 标准误。

期低于未寄生肉苕蓉的梭梭,6—8 月随着大气温度升高,梭梭苗同化枝内 SOD 活性持续增高,但在 8 月后生长季末期 2 种处理梭梭的 SOD 活性均迅速降低,且寄生肉苕蓉的梭梭降低幅度较大。与 SOD 相反,在 6—8 月高温持续时期,寄生肉苕蓉梭梭苗的 POD 活性高于未寄生的梭梭,而在 8 月后 POD 活性均明显下降,且未寄生肉苕蓉梭梭的 POD 活性高于寄生肉苕蓉的梭梭。CAT 活性,同样是呈现出先升后降的趋势,但寄生肉苕蓉梭梭的 CAT 活性几乎都高于未寄生的梭梭(7 月 11 日除外)。2 种处理的梭梭其保护酶活性在前期(6 月)与后期(9 月)无显著性差异,但与中期(7—8 月)均具有显著性差异(图 1)。

2.2 肉苕蓉寄生对梭梭苗渗透调节物质含量的影响

寄生和未寄生肉苕蓉的梭梭苗其可溶性蛋白质含量在 6—9 月均呈现先降低后增加的趋势,其中寄生肉苕蓉的梭梭苗在前期可溶性蛋白质含量低于未寄生的梭梭,但在 8 月后,寄生肉苕蓉的梭梭苗中的可溶性蛋白质含量迅速升高,其最大值为 $39.5\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比未寄生梭梭苗的最大值($33.3\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)高 18.6%。而可溶性糖含量的变化则不同,在生长季中 2 种处理梭梭苗的可溶性糖含量的变化均为先升后降,且在 7 月底达到最高;未寄生肉苕蓉的梭梭苗中可溶性糖含量均稍高于寄生肉苕蓉的梭梭。这可能是因为可溶性糖作为一种原料,为寄生植物肉苕蓉对合成体内的许多物质所必须。对于另一种重要的渗透调节物质——脯氨酸,其变化趋势同样为先升后降,但未寄生梭梭的最大值出现的较寄生梭梭的早,同时前者的最大值($0.857\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)大于后者的最大值($0.685\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)。但在 8 月后,未寄

生肉苕蓉梭梭中的脯氨酸含量迅速降低,并比寄生肉苕蓉梭梭中的脯氨酸含量低(图 1)。

2.3 肉苕蓉寄生对梭梭苗丙二醛(MDA)含量的影响

在 6—8 月高温胁迫下,两种处理的梭梭同化枝中的 MDA 含量都呈上升趋势(图 2),但 8 月后梭梭 MDA 含量开始降低。其中,寄生肉苕蓉梭梭同化枝的 MDA 含量始终高于未寄生肉苕蓉的梭梭,且前者的最大值($1.349\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$)是后者最大值($0.823\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$)的 1.6 倍。说明肉苕蓉的寄生导致梭梭苗同化枝中活性氧累积,加速了膜脂过氧化过程,并表现为 MDA 含量升高。

2.4 肉苕蓉寄生对梭梭苗保护酶活性及渗透调节物质含量影响的相关性

对寄生和未寄生肉苕蓉梭梭苗的保护酶活性及渗透调节物质含量进行相关性分析,结果表明:寄生肉苕蓉的梭梭苗中,其 SOD 活性与 POD 活性、POD 活性与可溶性蛋白质含量及脯氨酸含量,可溶性蛋白质含量与可溶性糖含量之间呈极显著负相关, SOD 活性与可溶性糖含量、可溶性糖含量与脯氨酸含量之间呈显著负相关;SOD 活性与脯氨酸含量、POD 活性与可溶性糖含量呈极显著正相关, SOD 活性与可溶性蛋白质含量、可溶性蛋白质含量与脯氨酸含量呈显著正相关。而对于未寄生肉苕蓉的梭梭苗,其 SOD 活性与 POD 活性、POD 活性与 MDA 活性、可溶性蛋白质含量与脯氨酸含量呈显著负相关,MDA 含量与 SOD 活性呈显著正相关。可以看出,未寄生肉苕蓉梭梭苗中的各生理指标之间互相影响的程度较小,其中 SOD 和 MDA 与其他指标的相关性最强。由上可知, SOD 活性的变化可以作为梭梭抗旱性检测的一个重要指标(表 1)。

表 1 梭梭苗保护酶活性及渗透调节物质含量的相关性
Tab.1 Correlation analysis on the protective enzyme activities and osmotic adjustment substance content of *Haloxylon ammodendron* seedlings

处理	相关系数	SOD	POD	CAT	MDA	可溶性蛋白质	可溶性糖	脯氨酸
寄生	SOD	1						
	POD	-0.99**	1					
	CAT		0.65	-0.74	1			
	MDA	0.90	-0.83	0.24	1			
	可溶性蛋白质	0.97*	-0.99**	0.80	0.77	1		
	可溶性糖	-0.98*	1.00**	-0.78	-0.80	-1.00**	1	
未寄生	脯氨酸	1.00**	-1.00**	0.68	0.88	0.98*	-0.99*	1
	SOD	1						
	POD	-0.99*	1					
	CAT	-0.29	0.15	1				
	MDA	0.99*	-0.96*	-0.43	1			
	可溶性蛋白质	0.42	-0.55	0.75	0.27	1		
	可溶性糖	-0.83	0.75	0.77	-0.91	0.15	1	
	脯氨酸	-0.67	0.77	-0.52	-0.55	-0.96*	0.15	1

* 显著水平为 0.05,差异显著; ** 显著水平为 0.01,差异极显著。

表 2 肉苁蓉寄生对梭梭抗旱性综合指标的影响
Tab. 2 Effect of *Cistanche deserticola* parasitizing on the comprehensive evaluation of drought resistance of *Haloxylon ammodendron* seedlings

隶属函数值	SOD	POD	CAT	MDA	可溶性蛋白质	可溶性糖	脯氨酸	综合评价
寄生	0.420	0.636	0.564	0.525	0.508	0.397	0.654	0.529
未寄生	0.453	0.695	0.628	0.615	0.604	0.486	0.632	0.588

隶属函数值由公式计算得出,为平均值,故未进行显著性检验。

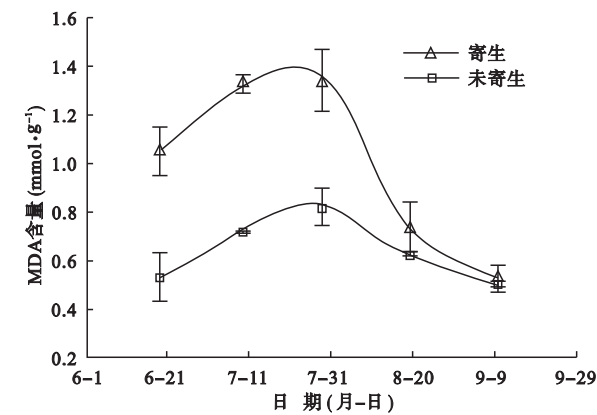


图 2 肉苁蓉寄生对梭梭苗丙二醛含量的影响
Fig. 2 Effect of *Cistanche deserticola* parasitizing on the MDA content of *Haloxylon ammodendron* seedlings

2.5 肉苁蓉寄生对梭梭抗旱性综合指标的影响

梭梭主要生长在沙漠地区,为超旱生植物,因此研究肉苁蓉寄生对梭梭抗旱性是否具有影响及其影响的大小具有实际意义。通常植物抗旱能力的大小是多种代谢的综合表现,因此植物抗旱性鉴定时应采用多指标进行综合评价。本研究选取保护酶(SOD、POD、CAT)活性、MDA 含量、及渗透调节物质(可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸)含量等生理指标对梭梭苗抗旱性进行初步评价。采用隶属函数法对两种处理梭梭的抗旱性进行综合评价,隶属函数值越大,表明其抗旱能力越强。寄生肉苁蓉梭梭的各抗旱性指标的隶属函数值均不同程度的小于未寄生的梭梭,且由抗旱性综合评价值也可得到结论:寄生肉苁蓉梭梭的抗旱能力弱于未寄生的梭梭(表 2)。

3 讨 论

植物在遭受胁迫时,细胞内会产生大量活性氧,导致活性氧和自由基在细胞内的积累。在此过程中,植物将主动调动抗氧化酶类来保护细胞膜不受活性氧的伤害。SOD、POD、CAT 是生物体内清除自由基的重要保护酶。一般认为,当植物处在逆境条件下,3 种保护酶协同作用,防御活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害,且 SOD、POD、CAT 的活性与抗氧化能力呈正相关(李雪梅等,

2006;刘红云等 2007)。本实验中,寄生和未寄生肉苁蓉的梭梭幼苗在测定时期内 3 种保护酶活性的变化趋势均为先升后降,其原因可能是梭梭体内保护酶活性的含量与大气温度有关,温度越高,大气干旱程度越高,使得梭梭的保护酶活性也升高,魏岩等(2007)的研究也说明了这一点。而寄生肉苁蓉梭梭的保护酶活性在前期大于未寄生的梭梭,说明肉苁蓉的寄生使寄主梭梭处于一种胁迫状态,从而导致其保护酶活性升高来保护植物体免受伤害。姚云峰等(1997)研究表明,在轻度渗透胁迫下,梭梭幼苗体内 SOD 活性上升,当渗透势在 -1.5 ~ 0 MPa 时,梭梭幼苗体内保持较高的 SOD 活性;渗透势 < -1.5 MPa,其活性迅速降低。说明梭梭幼苗在较低的渗透胁迫下,可通过保持体内具有较高的保护酶活性来分解由胁迫产生的活性氧来维持体内氧的平衡,过度渗透胁迫使 SOD 活性下降,原因可能是胁迫引起酶蛋白变性失活或生物合成受阻。因此,在 6—7 月出现的未寄生肉苁蓉梭梭的保护酶活性高于寄生梭梭的现象,可能是因为大气过度干旱引起轻度渗透胁迫,使未寄生梭梭体内的保护酶活性升高,而由于寄生肉苁蓉使得梭梭抗胁迫能力下降,使得其保护酶活性反而低于前者。

MDA 是植物细胞膜脂过氧化分解的主要产物,其含量的高低在一定程度上能反应膜脂过氧化水平和膜结构的受害程度及植物的自我修复能力(陈少裕,1991),通常作为膜脂过氧化的指标,反映植物对逆境条件反应的强弱(康恩祥等 2007)。植物在受到胁迫时,体内的丙二醛含量会增加,且含量随着胁迫的加重而升高(汪月霞等 2006)。梭梭在被肉苁蓉寄生后,MDA 含量显著增加,说明梭梭细胞质膜因肉苁蓉的寄生受到了一定程度的伤害。

渗透调节是植物在逆境降低渗透势、抵抗逆境胁迫的一种重要方式,它主要通过植物主动积累各种有机和无机物(包括游离氨基酸特别是脯氨酸以及可溶性糖、可溶性蛋白质等渗透调节物质)来提高细胞液的浓度,降低渗透势,从而降低水势,以从外界继续吸水,维持膨压等生理过程(孙存华等,

2007)。因此,渗透调节物质的含量可以反映植物在逆境下受胁迫的程度。其中脯氨酸是最有效的渗透调节物质之一,能保持膜结构的完整性(李德全等,1989)。肉苁蓉寄生后,寄主梭梭植株体内的主要渗透调节物质——可溶性蛋白质及脯氨酸含量均有不同程度的升高,说明肉苁蓉的寄生对梭梭产生了明显的伤害。多数研究认为,脯氨酸的积累是在水分亏缺严重到阻碍生长和引起气孔关闭时开始的,是植物适应干旱胁迫的一种有利方式(谭德远等,2007)。有研究表明(李霞等,2009),肉苁蓉寄生会导致寄主梭梭同化枝含水量下降,因此梭梭被肉苁蓉寄生后脯氨酸含量的提高,也可以认为是梭梭对水分胁迫的一种适应。

寄生肉苁蓉的梭梭苗中,可溶性蛋白质含量与可溶性糖含量之间呈极显著负相关,SOD活性与可溶性糖含量、可溶性糖含量与脯氨酸含量之间呈显著负相关,出现这种相关关系的原因可能是逆境下大分子碳水化合物和蛋白质的分解加强而合成减弱,也就抑制了脯氨酸掺入蛋白质的过程,相反蔗糖的合成却加快;另外在光合过程中,其产物直接转向低分子量的物质蔗糖等,而不是淀粉,也可从植物体其他部分输入有机溶质糖和氨基酸等。说明在寄生肉苁蓉梭梭中,各个生理指标均存在相互影响、相互制约的关系,其中SOD和脯氨酸与其它指标的相关性最强。而在未寄生肉苁蓉梭梭苗中,各生理指标之间互相影响的程度较小。

参考文献

陈少裕. 1991. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害. 植物生理学通讯, **27**(2): 84-90.

龚明. 1989. 作物抗旱鉴定方法与指标及其综合评价. 云南农业大学学报, **4**(1): 73-81.

康恩祥, 陈年来, 安翠香, 等. 2007. 低温弱光对西葫芦幼苗抗氧化酶活性和质膜透性的影响. 中国蔬菜, (4): 16-19.

李德全, 邹琦, 程炳嵩. 1989. 植物在逆境下的渗透调节. 山东农业大学学报, (2): 78-83.

李霞, 马永清, 宋玉霞, 等. 2009. 肉苁蓉寄生对梭梭苗水分生理特征及生长的影响. 西北林学院学报, **24**(3): 20-23.

李雪梅, 何兴元, 张利红, 等. 2006. 紫外辐射对菜豆不同叶位叶片光合及保护酶活性的影响. 生态学杂志, **25**(5): 517-520.

刘红云, 梁宗锁, 刘淑明, 等. 2007. 持续干旱及复水对杜仲幼苗保护酶活性和渗透调节物质的影响. 西北林学院学报, **22**(3): 55-59.

刘建新, 王鑫, 王凤琴, 等. 2005. 水分胁迫对苜蓿幼苗

渗透调节物质积累和保护酶活性的影响. 草业科学, **22**(3): 18-21.

马育泉. 1977. 内蒙古肉苁蓉属订正. 内蒙古大学学报(自然科学版), **9**(1): 69-75.

尚玉昌. 2002. 普通生态学. 北京: 北京大学出版社.

盛晋华, 刘宏义, 潘多智, 等. 2003. 梭梭物候期的观察. 中国农业科技导报, **5**(3): 60-63.

孙存华, 李扬, 贺鸿雁, 等. 2007. PEG 6000 渗透胁迫对藜幼苗叶片渗透调节物质的影响. 安徽农业科学, **35**(25): 7784-7786.

谭德远, 郭泉水, 刘玉军, 等. 2007. 梭梭被肉苁蓉寄生后的生理代谢反应. 林业科学研究, **20**(4): 495-499.

谭德远, 郭泉水, 王春玲, 等. 2004. 寄生植物肉苁蓉对寄主梭梭生长及生物量的影响研究. 林业科学研究, **17**(4): 472-478.

汪月霞, 孙国荣, 王建波, 等. 2006. NaCl 胁迫下星星草幼苗MDA含量与膜透性及叶绿素荧光参数之间的关系. 生态学报, **26**(1): 122-129.

魏岩, 王成云, 牟书勇, 等. 2007. 梭梭属植物抗氧化酶活性对荒漠环境的季节性响应. 新疆农业大学学报, **30**(1): 21-24.

姚云峰, 高岩, 张汝民, 等. 1997. 渗透胁迫对梭梭幼苗体内保护酶活性的影响及其抗旱性研究. 干旱区资源与环境, **11**(3): 70-74.

Bates LS, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, **39**: 205-207.

Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive technique to determine protein concentrations. *Analytical Biochemistry*, **72**: 248-254.

Callaway RM, Aschehoug ET. 2000. Invasive plants versus their new and old neighbors: A mechanism for exotic invasion. *Science*, **290**: 521-523.

Chance B, Maehly AC. 1955. Assay of catalase and peroxidase// Colowick SP, Kaplan NO, eds. *Methods in Enzymology*. Vol. 2. New York: Academic Press: 764-775.

Fairbairn NJ. 1953. A modified anthrone reagent. *Chemistry and Industry*, **72**: 86-88.

Heath RL, Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts, kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **125**: 189-198.

Rajinder SD, Wandekayi M. 1981. Drought tolerance in two mosses: Correlated with enzymatic defense against lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*, **126**: 79-91.

Stewart RRC, Bewley JD. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, **65**: 245-248.

作者简介 李霞,女,1984年生,硕士研究生。主要从事寄生植物生理生态研究。E-mail: rainbow_lee@163.com
责任编辑 魏中青

