

文章编号: 1000-5692(2005)04-0375-05

土壤干旱胁迫对 3 个杏树品种 生理生化特性的影响

蒲光兰^{1,2}, 袁大刚³, 胡学华², 周兰英², 邓家林¹, 刘永红¹

(1. 四川省农业科学院 四川省南方丘区节水农业研究重点实验室, 四川 成都 610066; 2. 四川农业大学
林学院园艺学院, 四川 雅安 625014; 3. 中国科学院 南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 以 3 年生杏树 *Armeniaca vulgaris* 叶片为试材, 采用田间试验的方法, 研究土壤干旱胁迫对 3 个杏树品种生理生化特性的影响。结果表明: ①土壤干旱胁迫下, 叶绿素荧光参数 (F_v/F_m)、叶片相对含水量和吲哚乙酸质量分数下降; 叶片相对电导率、可溶性糖质量分数和脯氨酸质量分数和超氧化物歧化酶活性上升。②随土壤水分的降低, 因子间相关性逐渐减弱。③3 个品种的抗旱性随土壤水分的不同而有异。胁迫程度较轻时, 抗旱性依次为: 金太阳> 香白> 金皇后; 随胁迫的加剧, 抗旱性则为: 香白> 金太阳> 金皇后。表 9 参 8

关键词: 植物生理学; 杏; 土壤干旱胁迫; 生理生化特性

中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A

干旱已成为世界性问题。世界上干旱、半干旱区面积约占陆地总面积的三分之一, 我国干旱区面积也逐年增加, 严重影响果树的品质和产量。因此, 对果树抗旱性的研究, 筛选出抗旱性强的品种已成为当前研究的热点。近年来, 国内外学者就干旱胁迫对果树生理生化特性的影响研究较多, 而杏树 *Armeniaca vulgaris* 这方面的研究则少见报道。杏树系蔷薇科 Rosaceae 杏属 *Armeniaca* 植物, 是我国原生经济树种, 也是世界性水果树种之一。本文通过设置不同水分处理, 对 3 个杏树品种生理生化特性及其抗旱性进行讨论, 以期对杏树抗旱性品种筛选及节水栽培管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验区设在四川省农业科学院简阳试验站。该区年平均气温 17.4 °C, 年降水量 760 mm, 土壤为紫色土。试验材料为 3 年生杏树, 栽植密度 2.5 m×3.0 m。试验按单株小区设计, 选择生长势一致的植株进行观测, 并设置 A, B, C, D 共 4 个水分处理(即土壤相对含水量分别为 75%±2%, 65%±2%, 55%±2%, 45%±2%), 每个水分处理约 10 d, 达到胁迫要求的第 2 天测定其生理生化指标, 以正常供水为对照(ck), 分别对树冠外围中上部发育程度和大小一致的当年夏梢功能叶进行相应指标的测定(试验前灌足水, 让其自然落干, 为防止雨水渗漏, 树下覆地膜)。每处理选取 40~50 片叶, 5 次重复。

1.2 测定方法

土壤相对含水量: 用烘干法测定^[1]; **叶绿素荧光:** 用便携式植物效能分析仪测定叶绿素荧光参

收稿日期: 2004-12-20; 修回日期: 2005-03-28

基金项目: 国家“863”项目(2002AA2Z43261)

作者简介: 蒲光兰, 硕士研究生, 从事经济林木栽培研究。E-mail: guanglan2002@sohu.com

数,测定前,叶片暗处理 18~20 min,测定时根据环境光照选择相应模式;叶片相对含水量:按张宪政法测定^[3];质膜透性:按四川农业大学熊庆娥编写的《植物生理学实验指导》测定;游离脯氨酸:采用磺基水杨酸法测定^[3];可溶性糖:采用蒽酮法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性:采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定^[4~5];吲哚乙酸(IAA):采用白宝璋法测定^[4]。抗旱性综合评定采用模糊数学隶属函数和反隶属函数^[6]定量转换。隶属函数公式: $U_{jk} = (x_{jk} - x_{kmin}) / (x_{kmax} - x_{kmin})$ 。

若有一项指标与综合评定指标呈负相关,则用反隶属函数进行转换,即: $U_{jk} = 1 - (x_{ijk} - x_{kmin}) / (x_{kmax} - x_{kmin})$ 。其中: U_{ijk} 为第*i*品种第*j*个水分处理对第*k*项指标的隶属函数值; x_{ijk} 为第*i*品种第*j*个水分处理第*k*项指标测定值; x_{kmin} , x_{kmax} 为某个品种第*k*项指标的最小值和最大值。 U_{jk} 值越大,耐旱性越强。

2 结果与分析

2.1 土壤干旱胁迫对植物效能的影响

F_v/F_m 值是反映 PS II 光化学效率的一个常用指标,值降低,其光化学效率下降^[7]。试验可知(表 1):胁迫条件下,3 个杏树品种的 F_v/F_m 值总体呈下降趋势,其中,金太阳和香白先升后降。总的看来,3 个品种 F_v/F_m 值降幅较小,表明其 PS II 受以上几个水分处理影响较少,即杏树耐旱能力强。

2.2 土壤干旱胁迫对叶相对含水量的影响

叶片相对含水量是指示叶片保水力的一个常用指标。一般认为:叶片相对含水量越大,下降速率越小,则品种抗旱性越强。试验得知:杏叶片含有较高的相对含水量(表 2),表明杏叶具有较强的保水力。胁迫初期(处理 A),相对含水量下降较缓;胁迫至末期(处理 D),下降速率开始加快,与 ck 相比,金皇后、香白和金太阳分别下降了 11.2%, 12.9%和 13.7%。

2.3 土壤干旱胁迫对细胞膜透性的影响

细胞膜是细胞感受环境胁迫最敏感的部位,其选择透性是最重要的功能之一,各种逆境伤害都会造成细胞膜选择透性的改变或丧失,通常以相对电导率来描述细胞膜透性。表 3 可知:干旱胁迫下,杏叶片相对电导率上升,胁迫初期,上升速率较缓,金皇后、香白、金太阳分别上升了 5.6%, 3.2%, 3.0%;随胁迫程度的加深(处理 D),上升速率增加,分别上升了 29.2%, 26.8%, 7.5%,其中,金皇后上升较明显,香白次之,金太阳趋于稳定,但金太阳的相对电导率始终处于最高。

表 1 土壤干旱胁迫对 F_v/F_m 的影响

品种	F_v/F_m				
	ck	A	B	C	D
金皇后	0.795	0.794	0.789	0.789	0.781
香白	0.806	0.808	0.806	0.795	0.788
金太阳	0.805	0.806	0.798	0.785	0.783

表 2 土壤干旱胁迫对叶片相对含水量的影响

品种	叶片相对含水量/%				
	ck	A	B	C	D
金皇后	86.397 6	85.748 8	84.716 5	82.455 2	76.748 3
香白	85.548 6	83.573 9	83.349 7	80.957 0	74.520 1
金太阳	82.949 4	81.944 6	81.762 1	77.426 8	71.618 5

表 3 土壤干旱胁迫对相对电导率的影响

品种	相对电导率/%				
	ck	A	B	C	D
金皇后	40.949 1	43.231 8	48.775 5	50.027 3	52.895 6
香白	46.390 0	47.870 8	51.744 9	52.656 1	58.816 5
金太阳	55.271 0	56.955 1	57.189 1	58.221 8	59.390 0

表 4 土壤干旱胁迫对脯氨酸质量分数的影响

品种	脯氨酸质量分数/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)				
	ck	A	B	C	D
金皇后	30.721 2	31.736 9	29.408 8	34.938 0	37.557 1
香白	35.546 9	32.027 9	38.721 2	45.123 4	57.054 8
金太阳	33.197 5	31.736 9	39.303 2	50.070 5	54.726 7

2 4 土壤干旱胁迫对渗透调节物质的影响

2.4.1 脯氨酸 脯氨酸是植物体内一种重要渗透调节物质，可反映植物受胁迫状况。试验可知：胁迫条件下，杏叶片中脯氨酸质量分数呈现出先减少后增加的趋势(表 4)，胁迫至 D 处理，香白、金太阳脯氨酸质量分数明显增加，金皇后积累量相对较小，分别比 ck 增加了 65.2%，64.9%，22.3%。由此可见，干旱胁迫有利于脯氨酸的累积。

2.4.2 可溶性糖 可溶性糖是又一重要渗透调节物质。干旱胁迫下可溶性糖大量积累以维持细胞膨压，因此被认为是对干旱忍耐的适应物质。表 5 可知：干旱逆境下，可溶性糖大量积累，胁迫初期，金太阳、香白积累速率较小，金皇后相对较大，表明金皇后对干旱胁迫较为敏感。胁迫至 D 处理，3 个品种的可溶性糖积累量达最高，增幅依次为：金太阳> 香白> 金皇后，分别增加了 93.5%，71.2%，46.5%。可溶性糖的大量积累，是适应逆境的一种表现。

表 5 土壤干旱胁迫对可溶性糖的影响

Table 5 Effect of soil drought stress in apricot leaves on soluble sugar content

品种	可溶性糖质量分数/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)				
	ck	A	B	C	D
金皇后	0 068 7	0 082 1	0 098 6	0 097 1	0 100 7
香白	0 050 9	0 054 5	0 067 9	0 067 9	0 087 2
金太阳	0 050 2	0 054 5	0 073 6	0 083 6	0 097 1

表 6 土壤干旱胁迫对超氧化物歧化酶活性的影响

Table 6 Effect of soil drought stress in apricot leaves on activity of SOD

品种	超氧化物歧化酶活性/ ($\times 10^{-6}\text{kat}$)				
	ck	A	B	C	D
金皇后	9 36	9 64	9 78	10 09	11 06
香白	7 59	8 06	8 61	10 23	10 48
金太阳	7 90	8 81	9 67	10 03	10 26

2 5 土壤干旱胁迫对超氧化物歧化酶活性的影响

超氧化物歧化酶是植物细胞中最重要的活性氧清除酶之一，具有消除自由基，降低膜脂过氧化及维持细胞膜稳定性的功能。试验可得(表 6)，胁迫条件下，超氧化物歧化酶活性上升，胁迫初期，上升速率较为平缓。金皇后、香白和金太阳分别上升了 3.0%，6.1%和 11.5%；持续胁迫下(处理 D)，上升速率加快，分别上升了 18.2%，38.0%和 30.0%。

2 6 土壤干旱胁迫对吲哚乙酸的影响

表 7 可知：土壤干旱胁迫下，吲哚乙酸质量分数减少，胁迫初期，金太阳吲哚乙酸质量分数变化不明显(下降了 1.7%)，金皇后和香白迅速下降，分别下降了 18.7%和 10.6%；持续胁迫下(处理 B)，金太阳、香白下降速率增加，胁迫至中后期(处理 C)，香白下降速率减缓，金皇后和金太阳仍保持较大的下降速率；当胁迫至 D 处理时，金皇后、香白和金太阳的吲哚乙酸降至最低，分别比对照降低了 46.4%，39.5%和 48.8%。

表 7 土壤干旱胁迫对吲哚乙酸的影响

Table 7 Effect of soil drought stress in apricot leaves on IAA content

品种	吲哚乙酸质量分数/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)				
	ck	A	B	C	D
金皇后	0 145 0	0 121 9	0 113 3	0 091 3	0 080 3
香白	0 161 0	0 143 9	0 103 5	0 106 0	0 097 4
金太阳	0 140 2	0 137 8	0 113 3	0 084 0	0 071 8

2 7 因子相关性分析

由表 8 可以看出：土壤干旱胁迫下，因子间相关性总体呈减弱趋势，ck 和 4 个水分处理下，分别有 53.6%，50.0%，46.4%和 35.7%达显著或极显著水平。可以看出：胁迫程度较轻时，因素间相关性极强，彼此相互作用，共同抵御干旱逆境；随胁迫程度的加剧，其相关性逐渐减弱，开始呈独立作用态势。

2 8 3 个杏品种耐旱性综合评价

植物抗旱性是一个受多基因控制的复杂的数量性状。植物通过多种途径来抵御或忍耐干旱胁迫的影响，因此，单一的抗旱性鉴定指标难以反映植物对干旱适应的综合能力。此外，不同品种就某一具体抗旱指标而言，对干旱胁迫的反应也不一定相同，因此，本试验采用模糊数学隶属函数和反隶属函

表 8 杏树生理生化指标间相关性分析

Table 8 Correlation analysis between characteristics of physiological and biochemical in apricot

处理	测定指标	叶片相对含水量	F_v/F_m	脯氨酸	可溶性糖	相对电导率	SOD 活性	IAA
ck (左下角)及 处理 A (右上角)	叶片相对含水量	1	0.840 1 **	-0.082 5	-0.904 3 **	-0.964 4 **	-0.595 5 *	0.756 2 **
	F_v/F_m	0.628 7 *	1	-0.610 0 *	-0.991 2 **	-0.666 8 **	-0.936 1 **	0.990 2 **
	脯氨酸	0.395 8	0.963 0 **	1	0.500 0	0.183 8	0.849 8 **	-0.714 6 **
	可溶性糖	-0.714 6 **	-0.993 3 **	-0.925 3 **	1	0.759 4 **	0.881 4 **	-0.963 1 **
	相对电导率	-0.989 2 **	-0.736 0 **	-0.526 3 *	0.809 5 **	1	0.361 9	-0.556 3 *
	SOD	-0.563 5 *	-0.996 7 **	-0.981 7 **	0.980 6 **	0.678 6 **	1	-0.976 0 **
	IAA	0.699 5 **	0.116 0	0.379 3	0.000 0	-0.587 1	-0.196 2	1
ck (左下角)及 处理 A (右上角)	叶片相对含水量	1	0.595 5 *	-0.910 4 **	0.250 3	-0.999 7 **	-0.491 8	0.533 5 *
	F_v/F_m	-0.492 0	1	-0.209 8	-0.628 8 *	-0.575 1 *	-0.992 4 **	0.997 2 **
	脯氨酸	-0.870 7 **	0.856 6 **	1	-0.628 3 *	0.920 6 **	0.087 6	-0.135 8
	可溶性糖	0.736 9 **	-0.951 1 **	-0.974 1 **	1	-0.274 5	0.7199 **	-0.685 4 **
	相对电导率	-0.992 2 **	0.379 6	0.802 5 **	-0.646 8 **	1	0.469 7	-0.512 0
	SOD 活性	0.047 1	-0.892 8 **	-0.532 4 *	0.710 0 **	0.077 9	1	-0.998 8 **
	IAA	-0.043 1	-0.848 6 **	-0.453 9	0.643 6 **	0.167 4	0.995 9 **	1
处理 D	叶片相对含水量	1						
	F_v/F_m	0.203 9	1					
	脯氨酸	-0.759 2 **	-0.492 1	1				
	可溶性糖	-0.178 4	-0.599 7 *	0.775 9 **	1			
	相对电导率	-0.868 1 **	-0.563 0 *	0.982 1 **	0.443 3	1		
	SOD 活性	-0.944 6 **	-0.514 1 *	0.030 8	0.491 6	0.383 0	1	
	IAA	0.397 8	0.817 1 **	-0.295 2	-0.831 8 **	-0.110 1	-0.074 5	1

说明: *和 ** 分别表示显著水平 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。

数将其抗旱性进行多项指标综合评价, 从而全面准确地反映各品种的抗旱性强弱。

由表 9 可以看出: 不同土壤水分处理下, 3 个杏树品种的抗旱性存在较大差异, 金皇后变化趋势呈“M”型, 处理 C 时, 抗旱性最强; 香白随土壤相对含水量的降低, 其抗旱性呈上升趋势, 而金太阳抗旱性则先升后降。因此, 当土壤水分分为 ck 和 A, B,

C 等 3 个处理时, 3 个品种的抗旱性依次为: 金太阳> 香白> 金皇后; 处理 D 条件下, 其抗旱性则为: 香白> 金太阳> 金皇后。表 9 还可以看出: 金皇后抗旱性始终处于最低水平, 而金太阳和香白的抗旱性大小与土壤相对含水量密切相关。

3 讨论

土壤干旱胁迫下, F_v/F_m 值下降, 说明干旱胁迫导致叶片 PS II 系统光能转化受抑, 但总的看来, F_v/F_m 降幅不大, 表明杏叶片 PS II 系统受干旱胁迫的影响较小。叶片相对含水量是反映植物抗旱性强弱的一项重要指标, 胁迫条件下, 叶片树干含水量降幅较小, 且始终处于较高水平, 表明杏叶片具有较强的保水力, 即 3 个品种较耐旱。渗透调节物质(脯氨酸和可溶性糖)大量积累, 说明杏树具有明显的渗透调节作用。渗透调节物质的积累是植物适应逆境的一种积极响应, 从而维持细胞膨压, 使植物组织免遭失水的破坏。但是, 渗透调节也有一定的局限性, 主要表现在: 品种间渗透调节能力存在较大差异(如金太阳和香白的渗透调节物质积累量较大, 而金皇后则较小)。超氧化物歧化酶活性上升, 这对避免或减轻超氧自由基对细胞膜的伤害, 维持细胞膜系统的稳定, 提高杏树抗旱力具有重要

表 9 3 个杏品种隶属函数值

Table 9 The subordinate function of 3 apricot cultivars

品种	处 理				
	ck	A	B	C	D
金皇后	0.460 4	0.478 9	0.472 0	0.499 1	0.408 3
香白	0.489 3	0.494 0	0.517 7	0.537 4	0.604 1
金太阳	0.524 1	0.535 9	0.525 9	0.518 2	0.449 0

意义。相对电导率上升, 但上升幅度不明显, 说明细胞膜系统受到轻微损伤, 使细胞膜选择透性发生可逆改变。吲哚乙酸质量分数下降, 从而抑制气孔开放^[8], 降低植物的生长速率以减少蒸腾, 减轻干旱对杏树的伤害, 在一定程度上提高杏树的抗旱性, 利于抗旱。

试验表明: 随土壤水分的减少, 因子间相关性总体呈减弱趋势, 轻度干旱胁迫下, 其相关性极强, 植物通过多途径共同抵御逆境; 随胁迫程度的加剧, 因子间相关性逐渐减弱, 说明严重干旱胁迫下, 杏树因子间抗旱方式趋于独立, 而呈现抗旱的主导因子。

研究还表明: 3 个杏树品种的抗旱性随土壤水分的不同而发生变化。胁迫程度较轻时, 其抗旱性依次为: 金太阳> 香白> 金皇后, 随胁迫程度的加剧, 其抗旱性则为: 香白> 金太阳> 金皇后。因此, 在干旱程度较轻或灌水较方便的地方, 3 个杏树品种都适合栽培, 而在干旱程度较严重或灌水不方便的地地区, 建议选香白。

参考文献:

- [1] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 289.
- [2] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1999. 119—120.
- [3] 邹奇. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [4] 白宝璋. 植物生理学(II)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999. 127—147.
- [5] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 314—315.
- [6] 孙志虎, 王庆成. 应用 PV 技术对北方 4 种阔叶树抗旱性的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 33—38.
- [7] 温国胜, 王林和, 张国盛. 干旱胁迫条件下臭柏的气体交换与荧光特征[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 361—365.
- [8] Eamus D, Wilson J M. A model for the interaction of low temperature, ABA, IAA, and CO₂ in the control of stomatal behaviour[J]. J Exp Bot, 1984, 35: 91—98.

Effect of soil drought stress on physiological and biochemical characteristics in three *Armeniaca vulgaris* cultivars

PU Guang-lan^{1, 2}, YUAN Da-gang³, HU Xue-hua², ZHOU Lan-ying², DENG Jia-lin¹, LIU Yong-hong¹

(1. Key Laboratory for Saving-water Agriculture in the Southern Hilly Area of China, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, Sichuan, China; 2. College of Forestry and Horticulture, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China; 3. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

Abstract: Experiment was conducted with the leaves of 3 cultivars of 3-year-old apricot *Armeniaca vulgaris* under soil drought stress in field conditions. The effects of soil drought stress on physiological and biochemical characteristics of apricot were studied. The results were as follows: (1) Chlorophyll fluorescence parameter (F_v/F_m), leave relative water content (LRWC) and indole-3-acetic acid (IAA) content decreased, and cell membrane permeation, soluble sugar content, proline content (Pro) and superoxide dismutase (SOD) activity increased under stress. (2) With the decrease of soil relative water content (SRWC), correlation among parameters lowered. (3) The drought-resistance of 3 apricot cultivars was different under different water treatments. When the soil drought stress was comparatively low, their drought-resistance could be ranked as follows: Jintaiyang> Xiangbai> Jinhuanghou; it was Xiangbai> Jintaiyang> Jinhuanghou under higher stress. [Ch, 9 tab. 8 ref.]

Key words: plant physiology; *Armeniaca vulgaris*; soil drought stress; physiological and biochemical characteristics