林业科学研究 1999, 12(1): 103～107
Forest Research

金沙江干热河谷造林树种游离脯氨酸含量与抗旱性关系*

李 昆[1)] 曾觉民[2)] 赵 虹[1)]
(1) 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 650216, 昆明; 2) 西南林学院, 650224, 昆明; 第一作者 40 岁, 男, 副研究员)

摘要 金沙江干热河谷地区的主要造林树种中, 以马占相思、山毛豆、真珠相思、大叶相思、台湾相思、绢毛相思、坡柳在旱季游离脯氨酸累积较多; 赤桉、泰国赤桉、柠檬桉、尾叶桉、大叶桉、新银合欢、苏门答腊金合欢、滇刺枣无明显差异。无论从种属间或种源地, 还是不同生态类型, 都看不出游离脯氨酸的累积与抗旱性之间有明显的相关关系。作者认为, 用游离脯氨酸作为植物抗旱性指标有一定局部性, 但用它作为某些树种在干旱胁迫时植物体发生变化的一个比较敏感的参数或指标则比较适合。

关键词 干热河谷; 造林树种; 游离脯氨酸; 抗旱性
分类号 S718.43

植物在生长发育过程中, 可能受到多种环境因子的胁迫, 其中干旱胁迫最为普遍, 也是研究得最多的一种。处于干旱胁迫下的植物, 内部会产生一系列物质代谢上的变化, 大多数植物当组织中或细胞中水势降低时, 就有环状的亚胺基脯氨酸积累[1～3]。这一现象早就引起广泛关注和研究。至今, 对游离脯氨酸累积与抗旱性之间是否存在相关关系研究较多, 争论也较大。而且, 对较大型林木和不同生态类型的木本植物研究比较少, 报道不多。本文针对这一问题, 以金沙江干热河谷地区的主要造林树种为研究对象, 探讨这些树种在旱季的水分状况变化和游离脯氨酸的累积变化与抗旱性的关系并讨论在林业上把它作为植物抗旱性强弱的生理生化指标的可能性。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在云南元谋盆地进行。该地位于 25°40′N, 110°55′E, 是我国西南金沙江干热河谷地区的典型代表。其气候炎热干燥, 干、湿季明显。全年降水 613.8 mm, 雨季(6～10 月) 降水量占 92%, 年蒸发量 3 944 mm, 年平均相对湿度 53%, 年平均干燥度 2.08; 月平均最高气温 28.9 ℃, 月平均最低气温 16.5 ℃, 年平均气温 21.9 ℃。土壤为燥红土。植被为以扭黄茅(*Heteropogon contoruts* (L.) P.) 为主, 杂以灌木坡柳(*Dodonaea viscosa* Jacg.) 的稀树灌草丛。试验地距县城西北 4 km, 东南坡中下部, 海拔 1 170 m, 坡度 14°, 土壤为燥红土, 土层深厚。试验林于 1992 年营造, 撩壕整地(规格 0.6 m×0.6 m), 容器苗造林。

* 本文为 1995～1997 年第一作者硕士研究生学位论文的部分内容, 研究得到中国林业科学研究院人材培养基金的资助。1998-05-24 收稿。

1.2 测试内容和方法

测试材料于 1997～1998 年干季(03-27) 和雨季(08-02) 取自云南省元谋县苴林乡苓庄试验地。采样部位在树冠中上部, 取向阳面的功能叶, 每个季节每种树称取 3 个平行样, 每个样测定 3 次。

脯氨酸提取采用磺基水杨酸干样法[4], 然后吸取提取液 2 mL 装入另外试管中, 再加入 2 mL 蒸溜水, 2 mL 冰乙酸, 4 mL 质量浓度为 25 $g \cdot L^{-1}$的酸性茚三酮(以体积比为 3∶2 的冰乙酸和 6 $mol \cdot L^{-1}$磷酸为溶剂进行配制) 置沸水浴中显色 60 min。冷却后加入 4 mL 甲苯, 手工振荡, 萃取红色物质, 静置数分钟后, 吸取甲苯层于 751 GW 分光光度计 520 nm 波长处比色, 用标准曲线计算其脯氨酸含量。标准曲线制作: 配制 2～40 $\mu g \cdot mL^{-1}$10 个系列的脯氨酸标准溶液, 然后取标准液 2 mL(参比液为 2 mL 蒸溜水和 2 mL 为 3% 的磺基水杨酸溶液, 代替样品测定中的 2 mL 提取液及 2 mL 水), 按上述程序进行显色、萃取和比色, 最后绘制标准曲线。

采用实验室法测定植物相对含水量和水分自然饱和亏缺。然后按下式进行计算: 自然饱和亏缺= $(m_{自} - m_{饱})(m_{自} - m_{干}) \times 100\%$, 相对含水量(%) = 1- 自然饱和亏缺(%)。

2 结果与讨论

2.1 游离脯氨酸含量变化

云南省元谋一般于 6 月初雨季来临, 到 8 月份水分状况已得到了根本改善, 这时干旱胁迫已经解除。1996～1997 年 3 月底和 8 月初, 试验林地的土壤和空气水分平均状况见表 1。

表 1 试验林地土壤、空气水分状况 %

土层/cm	3 月		8 月	
	土壤含水量	空气相对湿度	土壤含水量	空气相对湿度
0～10	1.72		8.43	
15～25	5.20	31.0	13.32	56.1
35～45	7.78		13.54	

旱季和雨季试验林地表层土壤含水量相差 4.9 倍, 中层相差 2.5 倍, 第 3 层相差 1.7 倍。在环境条件差异明显的情况下, 对 16 个树种分别于旱季、雨季测定它们的游离脯氨酸含量。以雨季游离脯氨酸含量为常量(基数), 考察干季各树种游离脯氨酸的情况, 其结果见表 2。从总

表 2 各树种游离脯氨酸含量测定结果 $\mu g \cdot g^{-1}$

树 种	3 月	8 月	3 月与 8 月之比	树 种	3 月	8 月	3 月与 8 月之比
马占相思	2 950.87	261.99	11.26	柠檬桉	79.54	52.79	1.50
坡 柳	835.43	88.66	9.42	赤桉	200.38	189.50	1.06
绢毛相思	926.68	106.51	8.70	滇刺枣	245.97	235.20	1.05
山毛豆	2 111.17	273.46	7.72	新银合欢	248.79	245.72	1.01
木 豆	1 106.71	259.75	4.26	金合欢	187.29	217.51	0.86
真珠相思	1 032.75	249.07	4.13	泰国赤桉	12.71	51.03	0.25
大叶相思	975.08	245.54	3.97	尾叶桉	29.61	143.93	0.21
台湾相思	959.62	267.24	3.59	大叶桉	11.26	67.71	0.17

的含量和旱季的累积增多趋向, 可把这些树种分为干旱胁迫对游离脯氨酸累积有显著影响和没有影响两大类。前一类树种依次有马占相思(*Acacia manguim* Willd.)、坡柳、绢毛相思(*A. holosericea* A. Cunn. ex G. Don.)、山毛豆(*Tephrosia candida* DC.)、木豆(*Cajanus cajan* (L.)

Millsp.)、真珠相思(*A. podalyriifolia* A. Cunn.)、大叶相思(*A. auriliformis* A. Cunn. ex Benth.)、台湾相思(*A. confusa* Merr.)。另一类树种有柠檬桉(*Eucalyptus citriodora* Hook.)、赤桉(*E. camaldulensis* Dehn.)、新银合欢(*Leucaena leucocephala* (Lam.) De-Wit)、滇刺枣(*Zyziphus mauritiana* Lam.), 该 4 个树种旱季和雨季游离脯氨酸的含量差异很小。苏门答腊金合欢(*A. glauca* (L.) Moench)、泰国赤桉(与赤桉同名)、尾叶桉(*E. urophylla* S. T. Blake)、大叶桉(*E. Robusta* Smith) 4 个树种则出现旱季的含量比雨季还少的逆差现象。这反映出柠檬桉等 8 个树种的游离脯氨酸累积与干旱胁迫的相关关系不明显。在雨季游离脯氨酸累积较多的 8 个树种, 及旱季和雨季的赤桉、新银合欢、苏门答腊金合欢、滇刺枣 4 个树种, 两者的游离脯氨酸含量一般均在每克干物质 100～300 $\mu g \cdot g^{-1}$之间, 与有关的研究结果相同[3,5]; 而柠檬桉、泰国赤桉、大叶桉、尾叶桉(雨季除外) 含量较少, 低于 100 $\mu g \cdot g^{-1}$。

2.2　游离脯氨酸累积与树种的关系

根据参试的 16 个树种在元谋干热河谷地区引种栽培多年的观察, 在旱季的生长表现, 可分为下列 3 个类型: (1) 落叶或大部分落叶: 新银合欢、苏门答腊金合欢、滇刺枣; (2) 易出现萎蔫, 部分或较多叶片脱落: 马占相思、绢毛相思、大叶相思、台湾相思、木豆、山毛豆、坡柳; (3) 无明显萎蔫, 叶子脱落不明显: 赤桉、泰国赤桉、柠檬桉、尾叶桉、大叶桉、珍珠相思。

分析 3 类树种与游离脯氨酸含量的关系, 发现旱季游离脯氨酸含量增加较多的树种多集中在第 2 类树种中(真珠相思除外); 第 1 类树种在元谋以落叶渡过旱季, 第 3 类树种在旱季基本看不出有明显的萎蔫或落叶现象。目前, 多数学者认为用游离脯氨酸累积作为抗旱性指标对各种植物进行量度有局部性, 即在干旱胁迫下, 累积脯氨酸不是各种植物的普遍反应。汤章城引用 Boggess 的研究结果指出[1~3], 正常叶片中脯氨酸确实抑制了它自身的合成, 即反馈抑制作用; 萎蔫叶片中的脯氨酸并不抑制自身的合成。由于萎蔫引起的脯氨酸合成对脯氨酸抑制作用的敏感性消失, 所以萎蔫叶片中脯氨酸易于积累。实验还证实干旱胁迫会抑制植物叶片中脯氨酸的氧化而导致积累。Stwart 等[6] 还发现萎蔫的大麦叶片中脯氨酸氧化的中间产物还会逆转为脯氨酸, 反而增加脯氨酸含量。Hanson 等[7] 的研究也认为, 在干旱胁迫下对干旱敏感的禾谷类品种比不敏感的品种水势下降得更快, 累积脯氨酸也更快和更多。还有研究得出有些植物在干旱胁迫下并无游离脯氨酸累积变化[8]。本试验测定结果也反映出在干旱胁迫下易出现萎蔫或落叶现象的植物更易累积游离脯氨酸这一现象。从亲缘关系分析, 脯氨酸累积较多的 8 个树种中, 只有坡柳(无患子科 Sapindaceae) 是非豆科(Leguminosae) 植物, 但同属豆科植物的新银合欢和苏门答腊金合欢, 在干旱胁迫下却无累积较多游离脯氨酸的反应。从树种来源看, 坡柳为乡土树种, 台湾相思原产我国华南一带; 山毛豆原产印度、缅甸等国低海拔河谷阶地, 木豆原产中美洲半干湿润南亚热带, 苏门答腊金合欢来自中美洲半干旱热带; 绢毛相思、真珠相思原产澳大利亚炎热半干旱半湿润热带, 尾叶桉、大叶相思、马占相思来自炎热湿润热带; 柠檬桉来自半湿润热带; 赤桉来自干热亚热带; 大叶桉来自温暖湿润亚热带。来自较干旱地区树种仅坡柳、真珠相思、绢毛相思在旱季累积较多的游离脯氨酸; 苏门答腊金合欢、赤桉、柠檬桉、滇刺枣无此反应; 马占相思、山毛豆、木豆、大叶相思、台湾相思都来源于较为湿润的热带或亚热带。因此, 从种属间或种源地或是不同生态类型植物的角度, 都看不出植物累积游离脯氨酸与抗旱性之间的相关关系。

2.3　游离脯氨酸累积与植物水分状况关系

一般植物体或细胞水势下降后, 游离脯氨酸才会迅速积累[1~3]。从所测定的这 16 个树种植物体在两个季节中的水分状况看(表 3), 除乡土树种坡柳外, 其它 7 个游离脯氨酸累积量大的树种, 旱季与雨季的水分自然饱和亏缺比值都大于 2.0; 5 种桉树的比值均小于 2.0, 也没有大量游离脯氨酸累积现象; 只有滇刺枣、新银合欢、苏门答腊金合欢的比值大于 2.0, 但无游离脯氨酸大量累积现象。从以上结果分析, 游离脯氨酸的累积与有些树种的水分自然饱和亏缺大小有联系, 本次研究的许多树种旱季游离脯氨酸累积较多, 其水分自然饱和亏缺也比较大; 但不是所有水分自然饱和亏缺大的树种就一定迅速、大量地积累游离脯氨酸, 有的树种水分自然饱和亏缺虽然不大, 但植物体内累积的游离脯氨酸却并不少(如坡柳)。

表 3 各树种旱季、雨季水分状况测定 %

树 种	3 月		8 月		树种排序(由大到小)	水分自然饱和亏缺 3 月与 8 月之比
	相对含水量	水分自然饱和亏缺	相对含水量	水分自然饱和亏缺		
台湾相思	90.70	9.30	95.97	4.03	滇刺枣	9.64
泰国赤桉	90.04	9.96	93.98	6.02	大叶相思	9.14
马占相思	89.08	10.92	98.55	1.45	马占相思	7.53
大叶桉	88.36	11.64	93.67	6.33	绢毛相思	7.46
柠檬桉	87.70	12.30	91.67	8.33	木 豆	3.84
新银合欢	85.75	14.25	95.97	4.21	山毛豆	3.44
山毛豆	84.64	15.36	95.64	4.46	新银合欢	3.38
赤 桉	83.85	16.15	91.37	8.63	金合欢	2.73
金合欢	83.78	16.22	94.06	5.94	真珠相思	2.69
尾叶桉	83.26	16.74	86.32	13.68	台湾相思	2.31
坡 柳	81.29	18.71	85.48	14.52	赤 桉	1.87
绢毛相思	79.88	20.21	97.29	2.71	大叶桉	1.84
木 豆	78.94	21.06	94.54	5.49	泰国赤桉	1.65
大叶相思	72.91	27.06	97.04	2.96	柠檬桉	1.48
滇刺枣	67.91	32.09	96.67	3.33	坡 柳	1.29
真珠相思	67.86	32.14	88.05	11.95	尾叶桉	1.22

3 结 论

综上所述, 在所测定的 16 个元谋干热河谷主要造林树种中, 马占相思、山毛豆、木豆、真珠相思、大叶相思、台湾相思、绢毛相思、坡柳 8 个树种在旱季游离脯氨酸累积较多; 赤桉、泰国赤桉、柠檬桉、尾叶桉、大叶桉、新银合欢、苏门答腊金合欢、滇刺枣 8 个树种则无明显的变化。所研究观测的 16 个树种, 除乡土树种外, 其它树种有旱季比雨季累积游离脯氨酸多的反而有抗旱性较弱的趋势, 这些树种对干旱胁迫较为敏感, 易于出现萎蔫和落叶现象, 长势也比较差。

从前人大量的研究, 结合本研究测定结果分析, 脯氨酸的累积速度和数量与抗旱性之间不存在一个简单的相关关系。从脯氨酸在干旱逆境条件下累积的途径看, 它既有适应逆境的意义, 又可能是细胞结构和功能受损伤后的表现[3,9]。植物抗旱性的形成, 是长期在形态、结构、生理和生化等方面适应环境形成的遗传性, 各种植物的抗旱能力可以是其中一种, 或是几种特性综合的结果, 脯氨酸含量的变化只是一些植物适应这种环境条件的方式之一。在所测定的 16 个树种中, 新银合欢、苏门答腊金合欢、滇刺枣主要(或大都)以落叶渡过旱季; 桉属树种和真珠相思在元谋干热河谷地区叶子萎蔫和落叶现象均不明显; 另外 7 个树种旱季萎蔫现象则比较

明显, 或伴有部分或大部分落叶, 坡柳虽无萎蔫现象, 但旱季落叶明显。有人发现[10], 脯氨酸累积多, ABA(脱落酸) 积累也多, 而且在植物体内呈正相关关系。从本研究测定的结果看, 用游离脯氨酸作为植物抗旱性指标显然有一定的局限性, 但用它作为某些树种在干旱胁迫时植物体发生变化的一个比较敏感的参数或指标还是比较适合的。

参 考 文 献

1 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应性. 植物生理学通讯, 1983(4) : 1～7.

2 汤章城, 吴亚华. 高粱苗对干旱的反应和调节适应能力. 植物生理学与地植物学丛刊, 1984, 8(1) : 15～23.

3 汤章城. 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能的意义. 植物生理学通讯, 1984(1) : 15～17.

4 张殿忠, 汪沛洪, 赵会贤. 测定小麦叶片中的游离脯氨酸的方法. 植物生理学通讯, 1990(4) : 62～65.

5 王邦锡, 黄久常. 不同植物在水分胁迫条件下脯氨酸的累积与抗旱性的关系. 植物生理学报, 1989, 15(1) : 46～51.

6 Dashek W V, Erickson S S. Isolation, assay, biosynthesis, metabolism, uptake and translocation and function of proline in plant cells and tissues. Bot Rew., 1989, 47: 349～385.

7 Hanson A D. Interpreting the metabolic responses of plants to water stress. Hortscience, 1980, 15: 623～629.

8 Singh T N, Aspinall D, Paleg L G. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in bareley, a potential metabolic measure of drought resistance. Nature New Biol., 1972, 236: 188～190.

9 高玉葆. 植物对水分胁迫的适应性反应及其生态学意义. 现代生态学讲座. 北京: 科学出版社, 1995. 10～23.

10 曹仪植, 吕忠恕. 水分胁迫下植物体内游离脯氨酸的累积及 ABA 在其中的作用. 植物生理学报, 1985, 11(1) : 9～16.

Drought Resistace in Relation to Free Proline in the Major Tree Species in Dry and Hot River Valley of Jinsha

Li Kun[1)]　*Zeng Juemin*[2)]　*Zhao Hong*[1)]

(1) The Research Institute of Economic Insects, CAF, 650216, Kunming, China;

2) South-west Forestry College, 650224, Kunming, China)

Abstract　The accumulation of free proline in some major tree species growing in dry and hot river valley of Jinsha during both dry and rainy seasons has respectively been determined. The result shows that the free proline content in *Acacia manguim*, *Tephrosia candida*, *A. podalyriifolia*, *A. auriliformia*, *A. confusa*, *A. holosericea* and *Dodonaea viscosa* increased significantly than in any other species in dry season. No observable changes have been found as for the content of free proline in *Eucalyptus camaldulensia*, *E. camaldlensia* from Thailand, *E. citriodora*, *E. urophylla*, *E. robusta*, *Leucaena leucocephala*, *Acacia glauca*, *Zizyphus mauritiana* in both seasons. There is not obvious interrelation between the accumulation of free proline and drought resistance in the plants whether among different species, or among the same tree species from different area, or from different ecological forms. It seems that there is certain limitation to utilize the content of free proline as the indices as plant drought resistance. However, using the free proline as indices or parameter to determine the physiological change in some plants under water stress is suggested.

Key words　dry and hot river valley; tree species for plantation; free proline; drought resistance