

# 基于多元统计评价毛白杨无性系的抗旱性

王青宁<sup>1,2</sup>, 唐 静<sup>1</sup>, 衣学慧<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 杨凌职业技术学院 林学系, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**采用主成分分析等多元统计方法,通过对有关叶片形态结构和水分生理的 13 项指标及其相互联系的分析,综合地得出了 30 个毛白杨无性系的抗旱性强弱顺序。结果表明,无性系 25、7、30、98、72、85 号抗旱性较强。评价的主要指标有 10 项,可以不包括蒸腾效率、气孔密度和表皮层厚。形态结构和生理功能指标相结合进行抗旱性评价是必要的,在观察形态结构的同时,更应重视生理功能的测定。

**关键词:**毛白杨;无性系;指标;抗旱性;主成分分析

**中图分类号:**S792.117.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2005)04-0021-06

## Evaluation on Drought Resistance of *Populus tomentosa* Clones by Multivariate Statistics

WANG Qing-ning<sup>1,2</sup>, TANG Jing<sup>1</sup>, YI Xue-hui<sup>1,2</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Department of Forestry, Yangling Vocational College of Technology, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Using such multivariate statistiscal methods as principal component analysis and canonical correlation analysis, drought resistant order of 30 Chinese white poplar clones was comprehensively presented by analyzing 13 indices of leaf morphology, anatomy and water physiology as well as correlations among them. It was showed that No. 25, No. 7, No. 30, No. 98, No. 72, No. 85 of 30 clones would be with high drought resistance. 10 main indices for evaluation were gotten except transpiration efficiency, stomatal density and epidermal thickness. Combining indices for leaf morphology and anatomy with those for water physiology to evaluate drought resistance would be necessary. Accompanied by observation of morphological and anatomical characteristics, determination of physiological functions should be even valuable. Relation between drought resistance of plants and growth was also discussed.

**Key words:** *Populus tomentosa*; clone; index; drought resistance; principal component analysis

树木抗旱性研究是认识干旱、半干旱地区树种生物学特性的一项重要内容。种间比较有利于造林树种的选择,而种内比较则有利于深入发掘利用树种资源。多年来,有关前者的研究较多<sup>[1~4]</sup>,而对后者同一树种内的不同无性系、品种或类型间的比较研究并不多见。毛白杨(*Populus tomentosa*)是我国特产树种,良种选育是其长期栽培历史的特点。为了对毛白杨优良无性系的选择提供可靠的依据,通过观察形态结构及测定水分生理指标,进行抗旱性综合研究是必要的。然而对树木抗旱性的评价,进行某个或某些指标的比较研究较容易,但当涉及到多种

树木、多个指标的情况时,因各指标所表达的树木抗旱性顺序往往不一致,利用一般的简单方法很难得出确切结果。鉴于有关多元统计方法可以较好地解决这类问题,本文以此为据,试图揭示更多信息和达到合理评价毛白杨无性系抗旱性的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

供试无性系有毛白杨 6、7、8、14、19、23、25、30、33、34、37、43、51、54、58、63、70、71、72、84、85、92、93、95、96、97、98、99、100 号以及易县毛白杨,共 30

收稿日期:2004-07-07

基金项目:西北农林科技大学科研专项(04Zm062)

作者简介:王青宁(1968-),女,陕西凤翔人,讲师,在读硕士,从事森林培育及数理统计研究与教学工作。

个。测定指标有叶片栅栏组织厚度、海绵组织厚度、木质部厚度、韧皮部厚度、厚角组织厚度、主脉厚度、叶片厚度、角质层厚度、气孔密度、栅栏细胞密集度、表皮层厚度、单位面积干重、光合速率、蒸腾速率、气孔阻力、临界饱和亏、叶片含水量等。各指标测定方法详见参考文献 5。试验材料取自原陕西省林科所渭河试验站(周至县富仁乡)营造的 5 a 生无性系对比试验林。

1.2 数据处理

相对指标一般具有较好的比较效果,所以将上述有关指标取其比值进行统计处理。综合分析指标选取 13 项,包括叶片厚度、角质层厚度、气孔密度、栅栏细胞密集度、表皮层厚度、单位面积干重、栅栏组织厚度与海绵组织厚度之比(简称栅/海)、木质部厚度与韧皮部厚度之比(简称木/韧)、厚角组织厚度

与主脉厚度之比(简称厚/主)9 项形态和解剖结构指标,光合速率与蒸腾速率之比或蒸腾效率、气孔阻力、临界饱和亏、叶片含水量 4 项生理功能指标。

主成分分析可将原有指标构造为新的互不相关的指标,即主成分,而各主成分反映原有指标信息的程度不同。主成分分析的这些特点能够使原有指标组合成为一个综合指标,即抗旱性指数,可避免指标间由于相关而产生的重叠性,同时还体现了有关指标在综合评价中的重要性程度。所以,数据处理采用主成分分析方法,并配合相关关系(包括典型相关)分析。统计结果均由 SAS 软件<sup>[6]</sup>计算得出。

2 结果与分析

2.1 指标的变异程度

由表 1 可见,13 项指标在不同无性系之间存在

表 1 原始数据简单统计  
Table 1 Simple statistics of initial data

指标	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数/%
万方数据栅/海	1.347 5	1.029 4	1.185 2	0.080 7	6.81
木/韧	3.797 2	1.831 7	2.663 9	0.518 1	19.45
厚/主	0.157 3	0.058 4	0.084 8	0.021 2	25.00
叶厚/ $10^{-2}$ mm	27.96	20.77	24.31	1.76	7.24
角质层厚/ $10^{-2}$ mm	0.36	0.15	0.23	0.04	18.11
气孔密度/个 $\cdot$ mm $^{-2}$	379	224	304	32	10.58
栅栏细胞密集度/个 $\cdot$ mm $^{-1}$	995	745	863	61	7.13
表皮层厚/ $10^{-2}$ mm	2.12	1.59	1.79	0.12	6.69
蒸腾效率/ $\mu$ mol $\cdot$ mol $^{-1}$	2 546.53	1 542.06	1 914.78	279.32	14.59
气孔阻力/s $\cdot$ cm $^{-1}$	0.384 3	0.099 2	0.199 6	0.079 7	39.93
临界饱和亏/%	95.3	72.23	87.74	4.02	4.59
单位面积干重/mg $\cdot$ cm $^{-2}$	14.1	9.1	11.9	1.2	10.31
叶片含水量/%	150.92	106.88	126.33	11.91	9.42

着不同程度的幅动,变异系数为 4.59%~39.93%,其中气孔阻力最大,厚/主、木/韧、角质层厚、蒸腾效率次之。种内形态结构及生理功能方面的变异,说明选择优良无性系是可行的。关于植物水分利用效率(WUE),王韶唐分析指出<sup>[7]</sup>,它是一个由基因控制的可遗传性状,虽然种内变异比种间变异小,但也常是显著的。

2.2 指标间的相关性

由表 2 可见,在 13 项指标中,气孔阻力与蒸腾效率、气孔密度之间的相关关系均达到极显著水平

( $\alpha=0.01$ );角质层厚与木/韧、单位面积干重与表皮层厚、叶片含水量与表皮层厚,以及气孔密度与叶厚、蒸腾效率之间的相关关系均达到显著水平( $\alpha=0.05$ )。气孔密度与气孔阻力、蒸腾效率之间的关系为负相关,其余为正相关。显著的相关关系表明部分指标之间存在重叠性,在一定的情况下,可以以较少的指标对无性系的抗旱性进行评价。研究表明<sup>[2,3,5,7]</sup>,除气孔密度与树木抗旱性联系的趋势相反外,其余指标均一致。负相关关系进一步定量说明了气孔密度的这种抗旱特点。

表 2 指标之间的相关系数<sup>①</sup>  
Table 2 Inter-index correlation coefficients

指标	栅/海	木/初	厚/主	叶厚	角质层厚	气孔密度	栅栏细胞 密集度	表皮层厚	蒸腾效率	气孔阻力	临界 饱和亏	单位面积 干重
木/初	0.299 3											
厚/主	0.109 1	-0.041 9										
叶厚	0.099 0	0.107 9	-0.256 7									
角质层厚	0.346 0	0.361 8* (0.049 4)	-0.089 5	0.231 3								
气孔密度	-0.111 4	0.230 0	-0.225 9	0.419 8* (0.020 9)	0.055 6							
栅栏细胞 密集度	-0.095 4	-0.057 9	0.089 8	-0.310 4	-0.055 4	-0.317 4						
表皮层厚	0.057 3	0.106 2	0.078 0	0.069 7	0.145 3	-0.115 8	0.212 7					
蒸腾效率	0.244 6	0.185 9	0.318 7	0.112 4	0.157 1	-0.378 4* (0.039 2)	0.184 8	0.132 5				
气孔阻力	0.170 7	0.005 9	0.163 4	-0.038 1	-0.021 7	-0.509 9** (0.004 0)	0.203 1	0.111 2	0.812 3** (0.000 1)			
临界饱和亏	0.098 3	0.055 6	0.264 7	-0.165 8	-0.058 0	0.220 9	0.120 3	-0.077 2	0.279 6	0.054 7		
单位面积 干重	-0.030 1	0.006 9	0.076 1	0.257 4	0.102 8	0.297 6	0.245 9	0.427 1* (0.018 6)	0.215 8	0.109 6	0.209 0	
叶片含水量	0.050 2	0.005 3	0.040 5	0.259 7	0.267 2	0.112 0	-0.020 8	0.395 9* (0.030 4)	0.000 4	-0.020 1	-0.079 1	-0.030 7

形态结构是抗旱的内在因素,生理功能是抗旱的外在表现。由表 2 可以看出,一些形态结构(气孔密度、表皮层厚)与生理功能(气孔阻力、蒸腾效率、叶片含水量)之间的某种联系,显示一定的旱性形态结构,有利于保水和节水,从而增强抗旱能力。但多数形态结构与生理功能之间并不存在紧密的关联(表 2)。典型相关分析第一个典型相关系数的  $F$  检验<sup>[6]</sup>显著概率水平为 0.122 2,表明两类指标之间的相关关系没有达到显著程度。一般而言,结构是功能的基础,而功能是结构的反映<sup>[8]</sup>。结构相同,功能相同;结构不同,功能有可能相同,也有可能不同,关键在于结构要素的性质及组合状态。形态结构与生理功能相对独立,说明尚有未揭示出的与生理功能相关的结构特点或与形态结构相关的生理功能特点。因此,两类指标相结合进行无性系的抗旱性评价是适宜的,二者相互补充,有利于评价的完整性。

2.3 无性系的抗旱性排序

由表 3 所列特征向量(PC)可以看出各主成分的主要影响因子。第 1 主成分主要影响因子为蒸腾效率、气孔阻力(以系数大小排列),其系数(表示作用大小)较大且都为正值。根据主要影响因子与抗旱性的联系,以及其系数取值的正负(表示作用方向),可以得出 13 个主成分的抗旱性关系。当主要影响因子的作用不完全一致时,以系数最大的关键因子的

正负取值为主。由此可见,第 1、2、3、4、6、7、10 主成分与抗旱性大小一致,第 5、8、9、11、12、13 主成分与抗旱性大小相反。

由主成分的特征向量可计算出每个无性系的主成分分量值  $PC_i$ (从略)。由于主成分之间相互独立且有着不同的贡献率(表 3),因此,无性系的抗旱性指数可通过主成分的加权平均而得,其中权重( $W$ )就是主成分对应的方差贡献率。用公式表示抗旱性指数( $I$ ),即为:

$$I = \sum_{i=1}^k (\pm PC_i) W_i \tag{1}$$

式中: $i=1、2、\cdots、k$ , $k$  为所取主成分个数。显然,计算  $I$  时,各个主成分所表示的抗旱性必须具有一致性。当主成分与抗旱性一致时取正值,与抗旱性相反时取负值。式中正负号就是这种表达。

为尽可能全面,将 13 个主成分都参与计算抗旱性指数,按抗旱性强弱进行排序(表 4、表 5)。若由  $I=0.5$  和  $I=-0.5$  为分界点,抗旱性较强的无性系为 25、7、30、98、72、85 号等,较弱的无性系为 8、33、43 号等,其余无性系抗旱性居中。可见与采用指标累加平均值法<sup>[5]</sup>所得结果有较大的差异。在 30 个无性系中,抗旱性较强的无性系类似外,其余出入较大(表 4)。

表 3 主成分的特征向量、特征值及贡献率

Table 3 Eigenvectors , eigenvalues and proportions of principal components

指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
栅/海	0.189	0.268	-.400	0.143	0.220	0.002	-.346	0.481	0.470	0.256	0.139	0.017	-.080
木/韧	0.047	0.354	-.246	0.230	0.249	-.379	0.038	-.667	0.047	0.160	-.003	-.223	0.175
厚/主	0.298	-.101	0.085	0.201	0.324	0.524	-.365	-.173	-.436	0.290	-.015	0.150	0.120
叶厚	-.141	0.455	0.002	-.054	-.506	0.167	-.015	0.076	-.058	0.391	-.505	0.035	0.262
角质层厚	0.057	0.439	-.240	-.080	0.240	-.186	0.151	0.335	-.597	-.346	-.018	0.180	0.073
栅栏细胞密集度	0.288	-.142	0.345	-.132	0.213	-.452	0.323	0.195	-.055	0.570	-.083	0.183	-.015
表皮层厚	0.197	0.276	0.357	-.394	0.225	-.020	-.294	-.208	0.326	-.323	-.313	0.332	-.059
蒸腾效率	0.528	0.138	-.096	0.131	-.298	0.075	0.157	-.123	-.091	-.036	-.131	-.095	-.712
气孔阻力	0.505	-.013	-.129	-.062	-.399	0.017	0.137	-.112	0.116	-.102	0.411	0.357	0.463
临界饱和亏	0.160	0.018	0.233	0.614	0.175	0.169	0.384	0.175	0.249	-.280	-.317	-.060	0.251
单位面积干重	0.142	0.285	0.566	0.127	-.186	-.183	-.336	0.161	-.133	-.068	0.340	-.460	0.083
叶片含水量	0.001	0.315	0.085	-.404	0.246	0.494	0.468	-.026	0.126	0.128	0.289	-.301	-.003
气孔密度	-.388	0.313	0.246	0.357	-.042	0.053	0.102	-.101	0.038	0.120	0.367	0.556	-.284
特征值	2.618	2.219	1.556	1.454	1.155	1.025	0.722	0.683	0.587	0.484	0.294	0.121	0.083
方差贡献率	0.201	0.171	0.120	0.112	0.089	0.079	0.056	0.053	0.045	0.037	0.023	0.009	0.006
累积方差贡献率	0.201	0.372	0.492	0.603	0.692	0.771	0.827	0.879	0.925	0.962	0.984	0.994	1.000

万方数据

表 4 抗旱性不同评价方法比较<sup>①</sup>

Table 4 Comparison of two methods for evaluation on drought resistance

抗旱位次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
主成分	25	7	30	98	72	85	19	14	易县	93	95	70	84	92	54	37	51	100	34	58	23	63	6	97	71	99	96	8	33	43
累加平均 <sup>[5]</sup>	7	25	98	30	85	14	37	93	72	70	易县	34	95	19	100	23	6	43	8	92	97	58	84	63	51	33	96	71	99	34

①表中数字为无性系代号。

2.4 主要指标分析

由表 3 可见,前 8 个主成分的累计方差贡献率为 87.94%,超过了一般的标准(85%)<sup>[9]</sup>。若仅考虑前 8 个主成分,根据前述抗旱性指数公式计算(其中权重为主成分对应方差贡献率的归一化值),30 个无性系的抗旱性大小(表 5)由高到低的顺序为:25、7、98、30、72、85、14、19 号、易县毛白杨、93、95、70、84、37、92、54、51、34、58、100、23、97、63、6、71、96、99、8、33、43 号,此顺序与前述 13 个主成分计算结果相比,除最大值与最小值相同外,中间部分有出入。显然,这是由于前 8 个主成分反映原 13 个指标,损失了部分信息(12.06%)。但是,由前 9~12 个主成分依次计算和排序,可以发现(表 5),前 11 或 12 个主成分的无性系抗旱性排列与以 13 个主成分的计算结果完全相同,只是同一无性系抗旱性指数值

略有差异。可见,以前 11 个主成分计算足以反映无性系的抗旱性顺序。表 3 表明,前 11 个主成分累计方差贡献率已达 98.44%。所以,以一般标准选取主成分,有时会导致结果失真。

主成分的特征向量表明,第 12 和 13 主成分的关键影响因子(系数最大)分别为气孔密度和蒸腾效率。由上述知,由于这 2 个主成分在抗旱性指数计算中可以忽略不计,13 项抗旱性评价指标可以不包括气孔密度和蒸腾效率。此外,由于表皮层厚在 13 个主成分的特征向量中的作用相对较小,都不表现为主要影响因子,抗旱性评价也可考虑将其去除。由相关分析可以看出,有 3 项指标(表皮层厚、气孔密度和蒸腾效率)与其他指标存在显著的相关关系,指标间的重叠性进一步说明减少评价指标是适宜的。

表 5 无性系的抗旱性指数  
Table 5 Synthetical drought resistance indices of clones

无性系	前 8~13 个主成分的计算结果						IS	IF
	I8	I9	I10	I11	I12	I13		
6	-0.436	-0.394	-0.417	-0.390	-0.381	-0.382	-0.219	-0.484
7	0.969	0.914	0.839	0.824	0.817	0.815	0.920	1.655
8	-0.736	-0.701	-0.649	-0.658	-0.649	-0.645	-0.052	0.161
14	0.436	0.434	0.355	0.338	0.333	0.330	0.007	0.795
19	0.276	0.417	0.398	0.388	0.385	0.384	0.840	-0.279
23	-0.291	-0.291	-0.323	-0.339	-0.340	-0.338	-0.573	0.393
25	1.202	1.143	1.142	1.116	1.100	1.094	0.326	1.723
30	0.764	0.752	0.776	0.756	0.749	0.742	0.149	1.071
33	-0.888	-0.828	-0.758	-0.733	-0.728	-0.724	-0.062	-1.064
34	-0.133	-0.176	-0.154	-0.128	-0.123	-0.122	-0.129	-0.198
37	-0.001	-0.065	-0.058	-0.048	-0.046	-0.047	0.341	-0.176
43	-1.025	-0.965	-0.925	-0.912	-0.904	-0.896	0.225	-1.144
51	-0.033	-0.066	-0.079	-0.086	-0.087	-0.085	0.385	-0.894
54	-0.030	-0.025	-0.013	-0.031	-0.026	-0.025	-0.798	-0.372
58	-0.162	-0.137	-0.130	-0.138	-0.137	-0.136	0.001	-0.650
63	-0.417	-0.408	-0.389	-0.362	-0.366	-0.362	0.303	-0.755
70	0.041	0.050	0.061	0.074	0.074	0.076	-0.685	0.661
71	-0.498	-0.459	-0.451	-0.441	-0.435	-0.432	-0.634	-0.397
72	0.628	0.593	0.540	0.539	0.535	0.530	0.239	0.059
84	0.020	0.020	0.018	0.016	0.019	0.019	-0.167	0.014
85	0.611	0.535	0.541	0.525	0.520	0.521	-0.012	0.424
92	-0.008	0.009	-0.022	-0.006	-0.008	-0.008	-0.396	-0.142
93	0.180	0.156	0.145	0.131	0.127	0.124	0.320	0.122
95	0.058	0.073	0.105	0.107	0.104	0.100	0.431	-0.325
96	-0.519	-0.504	-0.481	-0.470	-0.461	-0.456	-0.464	-0.707
97	-0.390	-0.411	-0.402	-0.404	-0.405	-0.405	-0.646	-0.386
98	0.846	0.785	0.763	0.735	0.732	0.726	0.772	0.748
99	-0.530	-0.505	-0.479	-0.451	-0.450	-0.445	-0.806	-0.339
100	-0.164	-0.136	-0.117	-0.116	-0.114	-0.115	-0.279	-0.363
易县杨	0.231	0.191	0.163	0.162	0.166	0.164	0.665	0.848

将 9 项形态结构指标和 4 项生理功能指标分别采用主成分分析方法,与抗旱性指数(*I*)同构,计算形态结构指数(*IS*)和生理功能指数(*IF*)。由表 5 可得,*IF* 与 *IS* 的相关系数为 0.312 7(检验概率水平 0.092 5),其相关关系未达到显著水平( $\alpha=0.05$ )。这与前述典型相关分析是一致的。形态结构指标和生理功能指标都在很大程度上描述各自单独的特征。若仅从形态结构出发,30 个无性系的抗旱性强弱顺序为:7、19、98 号、易县毛白杨、95、51、37、25、93、63、72、43、30、14、58、85、8、33、34、84、6、100、92、96、23、71、97、70、54、99 号;若仅从生理功能出发,抗旱性强弱顺序为:25、7、30 号、易县毛白杨、14、98、70、85、23、8、93、72、84、92、37、34、19、95、99、100、54、97、71、6、58、96、63、51、33、43 号(表 6)。由于缺少必要的抗旱特征,单方面的排序不同于由抗旱性指数所得的结果(表 5)。但生理功能指数与抗旱性指数的排序有相似之处,二者首尾无性系相同。

*IF*、*IS* 与 *I*13 的相关系数分别为 0.802 9\*\* (检验概率水平 0.000 1)和 0.516 8\*\* (检验概率水平 0.003 5),相关关系都达到了极显著水平( $\alpha=0.01$ ),但 *IF* 与 *I*13 的相关系数高于 *IS* 与 *I*13 的相关系数。可见,在无性系抗旱性评价中,生理功能指标比形态结构指标具有更为重要的意义。以蒸腾效率、气孔阻力为主要影响因子的第 1 主成分方差贡献率为 20.14%,在 13 个主成分中最大(表 3)。这也表明生理功能指标具有较大的贡献。生理功能指标能够综合说明形态结构的差异,尤其在一些形态结构特征难以度量的情况下,适宜生理功能指标的测定是不可或缺的。

3 结论和讨论

在 13 项研究指标中,气孔阻力、厚/主、木/韧、角质层厚、蒸腾效率等在毛白杨不同无性系之间有着较大的变化,表明种内选择抗旱速生的优良无性

系有其遗传变异基础。

在 13 项研究指标之间,蒸腾效率和气孔密度与气孔阻力存在极显著的相关关系;角质层厚与木/韧、单位面积干重与表皮层厚、叶片含水量与表皮层厚,以及叶厚、蒸腾效率与气孔密度存在显著的相关关系。其中气孔阻力、蒸腾效率与气孔密度的关系为负相关。

抗旱性评价采用一般的指标累加平均值法,将全部指标一视同仁,未考虑各指标的权重大小,同时指标之间由于相关而产生重叠。显然,这有其不当之处。采用主成分分析,由于在方法上可克服这些问题,因而其评价结果较为准确,可信度高。通过构建抗旱性指数,给出了供试的 30 个无性系的抗旱性强弱顺序,表明 25、7、30、98、72、85 号无性系抗旱性较强。

分析表明,13 项抗旱性评价指标主要为气孔阻力、叶厚、角质层厚、单位面积干重、临界饱和亏/厚/主、叶片含水量、栅栏细胞密集度、木/韧、栅/海 10 项,而蒸腾效率、气孔密度、表皮层厚 3 项指标可以不参与评价。

形态结构和生理功能指标对抗旱性评价都有着显著的影响,其中生理功能的作用更为重要,在很大程度上可涵概已知或未知的、易量化或不易量化的形态结构特点。在考察形态结构指标的同时,更要重视生理功能指标的测定。相关分析表明,所研究的二类指标之间整体上相关关系不显著。这为二者结合进行抗旱性评价提供了依据。从结构与功能的关系出发,二类指标相互补充,可使指标体系趋向完整。一般而言,综合二类指标,多特征的评价可靠性程度高。若仅由形态结构或生理功能单方面进行研究,需要尽可能包容多种旱性量化特征。综合评价叶片旱

性解剖结构的相似性,生理功能的辅助研究是必要的。

抗旱性强的植物一般认为不仅抵御缺水干旱的能力强,而且其生长量或产量也要高。但将无性系生长量<sup>[5]</sup>与其抗旱性顺序对照,可以看到,抗旱能力比较强的无性系其生长量并不一定高,反而比较低一些。这与黄土高原主要能源植物种抗旱性研究中的发现类同<sup>[4]</sup>。植物抗旱性是植物各种抗旱特征的综合。这种情况说明,在缺水环境条件下克服干旱影响而生存的能力是植物抗旱性最基本的方面。抗旱性是植物生长或产量的基础之一,是必要条件而不是充分条件。抗旱性弱的植物生长或产量较低,抗旱性强的植物生长或产量有可能比较高,也有可能比较低。

#### 参考文献:

- [1] 郑希伟,赵荣慧,宋秀杰. 辽西地区主要造林树种抗旱性的研究[J]. 林业科学,1990,26(4):353-358.
- [2] 赵翠仙,黄子琛. 腾格里沙漠主要旱生植物旱性结构的初步研究[J]. 植物学报,1981,23(4):278-283.
- [3] 刘家琼,蒲锦春,刘新民. 我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物的水分关系和旱生结构比较研究[J]. 植物学报,1987,29(6):662-673.
- [4] 王哈生,付佐,周泽生,等. 黄土高原主要能源植物种抗旱性研究[J]. 干旱区研究,1992,9(4):51-56.
- [5] 唐 静,高建社,符军,等. 毛白杨优良无性系抗旱性研究[J]. 陕西林业科技,1995(1):6-11.
- [6] 裴喜春,薛河儒. SAS 及应用[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [7] 王韶唐. 植物的水分利用效率和旱地农业生产[J]. 干旱地区农业研究,1987(2):67-80.
- [8] 邹珊刚,黄麟维,李继宗,等. 系统科学[M]. 上海:上海人民出版社,1987.
- [9] 杨维权,刘兰亭,林鸿洲. 多元统计分析[M]. 北京:高等教育出版社,1989.