

白杨无性系秋季水分参数与冬季抗寒性指标关系研究

王进茂, 梁海永, 杨敏生

(河北农业大学, 保定 071000)

摘要:选用7个白杨杂种无性系1年生苗为材料,采用P-V技术于秋季落叶前测定各无性系枝叶水分参数 Ψ_{π}^0 、 Ψ_{π}^{100} 、 RWC^0 、 $ROWC^0$ 、 ε^{max} ,并于冬季不同时期测定了各无性系相对电导率、钾离子渗漏率、SOD酶活性和POD酶活性的动态变化,对无性系抗寒性进行了综合评定。无性系各项生理指标存在一定变化模式,相对电导率、钾离子渗漏率在12月份降至最低,以后逐步提高,无性系间在2月份变异最大;SOD酶活性和POD酶活性在各时期无性系间差异均较大;无性系抗寒能力评价结果表明,从落叶开始,抗寒能力逐渐提高,12月至翌年1月达到最大,2月份又迅速下降,此时无性系间抗寒能力差异也达到最大。将水分参数与抗寒性指标进行相关分析表明,大部分水分参数与冬季不同时期的抗寒性指标存在不同程度的相关性,特别是与春季指标相关更加显著,其中 Ψ_{π}^0 是相关性最为显著的指标, Ψ_{π}^{100} 相关不明显。

关键词:白杨无性系;水分参数;抗寒性;相关性

The Study on Relationship between Water Parameters in Autumn and Cold Resistances in Winter of White Poplar Hybrid Clones

WANG Jin-mao, LIANG Hai-yong, YANG Min-sheng

(Agricultural University of Hebei, Baoding 071000)

Abstract: Seven one-year-old white poplar hybrid clones were selected as the experimental materials and the cold resistance characters had been comprehensively assessed according to the analysis of the water parameters (Ψ_{π}^0 , Ψ_{π}^{100} , RWC^0 , $ROWC^0$ and ε^{max}) by P-V technology before leaf abscission in autumn and the dynamic changes of relative conductivity, potassium leakage rate, SOD and POD activities in winter. The results showed that there was a certain changing pattern existed in the physiological indexes of the clones. Relative conductivity and potassium leakage rate had decreased to the minimum in December, then gradually increased and the largest variation in clones was in February. The activities of SOD and POD had significant difference in different periods among clones. Therefore, the cold resistances gradually increased from the beginning of defoliation and achieved its maximum in December and January of the next year and then decreased rapidly in February. The difference of cold resistances among the clones was the maximum in February. The data revealed that the most of water parameters and the cold resistances index had different correlation degree in different periods of winter. The correlation was most evident in spring, in which the Ψ_{π}^0 was a most significantly index while Ψ_{π}^{100} was not.

Key words: White poplar hybrid clones; Water parameters; Cold resistance; Relationship

杨树是我国北方平原地区主要造林树种,但其分布范围和栽培区域受寒冷、干旱气候条件的

制约。为充分发挥杨树的优良特性,扩大其栽培范围,在良种培育和引种驯化过程中,品种的抗寒

收稿日期:2008-09-10

修回日期:2009-02-28

基金项目:科技部“十一五”科技支撑计划(2006BAD03A0106)

作者简介:王进茂,在读博士,主要从事林木抗逆性与林业生物技术方面研究

通讯作者:杨敏生,博士生导师,主要从事林木遗传育种和林业生物技术科研工作。E-mail:deu100@yahoo.com.cn

性是考虑的重要因素之一。目前国内外评定林木抗寒性的主要指标很多,包括形态指标、理化指标、生化指标等,这些指标均从不同角度反映了植物抗寒能力^[1-5]。植物抗寒性与其体内代谢及生理过程有密切关系,而这些生理代谢活动都是在水分参与下进行的,因而,研究植物枝叶水分状况的变化特点,对于研究植物抗寒性具有重要意义^[6-7]。水分参数一般是用来研究植物抗旱性的重要指标,已得到广泛应用^[8],但用水分参数研究植物抗寒性的报道则比较少。本文以白杨杂种无性系为材料,研究了无性系秋季枝叶水分参数与冬季抗寒性关系,以期对植物抗寒性鉴定提供一条新的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用7个白杨杂种无性系为主要试验材料,其中B429、B430、B431、B432、B433、B414 6个无性系为双杂交杂种,杂交组合为(毛白杨×新疆杨)×(银白杨×欧洲山杨[(*Populus tomentosa* × *P. bolleana*) × (*P. alba* × *P. tremula*)]),另外1个为毛白杨×新疆杨单杂交无性系(毛新)。这些无性系均经过初选,具有较明显的杂种优势,生长量较大。同时以生产上广泛应用的亲本毛白杨(*P. tomentosa*)为对照。将参试各无性系1年生苗木截干,3月下旬栽于条件一致的苗圃地中,苗圃地土壤为轻壤土,肥力中等,正常管理,每个无性系栽植500株。以当年生苗木顶芽或顶梢为材料用于秋季水分参数测定和冬季抗寒性生理指标测定。

1.2 指标测定

1.2.1 水分参数测定

10月中旬,应用压力室测定各无性系小枝P-V曲线(压力-容积曲线),计算各项水分参数。随机选取各无性系健壮苗木3株,分别截取15cm左右的带叶枝端,立即用电子天平称其鲜重,然后将小枝插入盛有清水的烧杯中,置于密闭阴暗高湿条件下,饱和吸水24h。当小枝达到饱和状态时取出,迅速称饱和鲜重并立即装入压力室中,用逐渐升压法测定并绘制P-V曲线。借助P-V曲线计算出每个供试小枝充分膨胀时的渗透势(Ψ_{π}^{100})、膨压为0时的渗透势(Ψ_{π}^0)、膨压为0时的相对含水量(RWC^0)和相对渗透含水量($ROWC^0$)、组织细胞最大弹性模量(ε^{max})^[8]。

1.2.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定 于10月至翌年2月下旬每月进行指标测定。随机从10株苗木上取10个顶芽作为一个样本,重复3次,称取鲜重,经蒸馏水冲洗后加入6ml pH 7.8磷酸缓冲液,在冰浴中研磨。匀浆以离心力15000g冷冻离心10min,上清液即为SOD提取液。酶液活性测定参照朱广廉^[9]和王荣富^[10]方法。

1.2.3 过氧化物酶(POD)活性测定 随机从10株苗木上取10个顶芽作为一个样本,重复3次,称取鲜重。经蒸馏水冲洗后加入适量pH6.0磷酸缓冲液,用研钵研碎,以离心力3000g离心10min,上清液转入20ml容量瓶中,定容至刻度。酶活性测定参照朱广廉^[9]方法。

1.2.4 原生质膜透性测定 从各无性系随机抽取10株苗木,分别取枝条顶梢20cm,截成2cm小段混合,用蒸馏水反复冲洗,最后再用无离子水冲洗3遍,然后包于聚乙烯薄膜中,置于低温冰箱中,以每12h降低5℃的速度降温至-30℃。每无性系随机取小枝段2g作为一个样本,每g加入25ml无离子水,真空渗入10min,静置10h,然后将样品在97℃中加热1h,静置10h后用DDS-11A型电导仪测定电导值,并以此作为总电导值。以相对电导率表示原生质膜透性大小。用6400A型火焰光度计测定煮沸前后的钾离子浓度,以钾离子外渗率表示原生质膜透性的大小。

1.2.5 抗寒性综合评定 对各项指标测定值用模糊数学隶属度公式进行定量转换^[8]。具体方法是对SOD酶活性和POD酶活性采用下列公式:

$$U(X_i) = \frac{X_{ij} - X_{\min i}}{X_{\max i} - X_{\min i}} \quad (1)$$

X_{ij} 表示第*j*个无性系第*i*个测定指标, $U(X_i) \in [0, 1]$ 。

对电导率和钾离子外渗率采用反隶属函数的方法计算,即

$$U(X_i) = 1 - \frac{X_{ij} - X_{\min i}}{X_{\max i} - X_{\min i}} \quad (2)$$

综合评判结果为每项指标5次测定的平均值,即 $\Delta = 1/5 \sum U(X_i)$ (3)

2 结果与分析

2.1 无性系秋季枝叶水分参数变化

P-V曲线是研究植物渗透调节能力的重要方法之一。通过P-V技术可获得多项水分参数。表1是采用P-V技术于秋季落叶前测定的各无性系枝叶水分参数。

表 1 各无性系秋季枝叶水分参数

Table 1 Water parameters of poplar hybrid clones in autumn

无性系 Clone	Ψ_{π}^{100} (-MPa)	Ψ_{π}^0 (-MPa)	RWC ⁰ (%)	ROWC ⁰ (%)	ε^{max} (MPa)
B432	1.578	2.686	66.24	57.88	24.21
B430	1.566	2.521	69.83	62.13	20.32
毛新	1.681	2.487	75.67	67.58	20.66
B431	1.696	2.479	75.65	68.44	20.29
B433	1.609	2.216	77.54	72.57	19.79
B429	1.391	2.073	74.54	65.72	15.38
B414	1.482	2.096	76.89	68.45	14.58
毛白杨	1.536	2.087	78.05	71.18	18.14

充分膨胀时的渗透势(Ψ_{π}^{100})和膨压为 0 时的渗透势(Ψ_{π}^0)是反映植物水分状况的 2 个重要指标。 Ψ_{π}^{100} 说明了植物保持最大膨压的能力,而 Ψ_{π}^0 则反映了植物保持最低膨压的极限渗透势。由表 1 可

表 2 各个无性枝条冬季电导率和 K⁺外渗率变化

Table 2 Variation pattern of relative electrolyte and K⁺ leakage of winter among the clones

无性系 Clone	相对电导率(%) Relative leakage of electrolytes					钾离子外渗率(%) Relative leakage of K ⁺				
	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.
毛新	77.3	33.5	27.7	33.2	30.1	70.2	23.2	15.1	20.1	21.4
B431	86.1	40.1	25.2	29.9	30.2	80.5	25.6	15.8	23.3	18.8
B432	74.2	35.4	22.4	26.9	25.9	71.1	25.1	12.0	19.0	16.1
B429	80.9	47.8	28.8	40.1	43.1	75.0	32.3	27.9	33.1	30.2
B430	80.2	31.7	21.2	28.0	32.2	75.9	26.8	14.2	20.9	25.7
毛白杨	80.0	44.4	29.3	35.8	61.8	74.2	34.0	14.5	25.2	40.0
B433	72.7	47.1	26.8	32.5	38.8	80.8	43.3	18.1	25.8	26.3
B414	81.1	37.7	29.1	32.7	56.1	80.1	31.5	18.7	22.1	30.9
平均	79.1	39.7	26.3	32.4	39.8	76.0	30.2	17.0	23.7	26.2

由表 2 可见,各无性系电导率冬季变化模式基本相同,即从 10 月至 12 月电导率逐渐降低,以后又逐渐提高。在 -30℃ 冷冻条件下,所有供试无性系均超过 50% 的半致死温度。10 月各无性系的相对电导率平均为 79.1%,此时各无性系的抗寒性最弱,这可能是由于 10 月份植物开始落叶,枝条尚未充分木质化,细胞尚未进入越冬状态,含水量较高所造成的。随着气温下降,枝条抗寒性逐渐提高,相对电导率值下降,无性系间抗寒性逐渐出现差异。进入 12 月各无性系抗寒能力均达到最强,此时相对电导率最低,均在 30% 以下。以后相对电导率又逐渐提高,2 月份各无性系之间电导率存在较大差异,相对电导率变化在 30% ~ 60% 之间。无性系电导率存在较

大差异,各无性系 Ψ_{π}^{100} 变化在 -1.696 ~ -1.391MPa; Ψ_{π}^0 变化在 -2.686 ~ -2.073MPa 之间。枝叶组织细胞初始质壁分离时的相对含水量(RWC⁰)和相对渗透含水量(ROWC⁰)是判断植物忍耐脱水的重要指标。各无性系间 RWC⁰ 和 ROWC⁰ 值均存在较大差异,变化在 66.24% ~ 78.05% 和 57.88% ~ 72.57% 之间,RWC⁰ 和 ROWC⁰ 之间的相关系数为 0.973,达到极显著相关。植物组织失去一部分水分后,其组织内部压力势的变化就定义为弹性模量(ε),一般取最大体积弹性模量(ε^{max})来表示细胞壁的物理特性。各无性系之间 ε^{max} 存在较大差异,变异幅度为 14.58 ~ 24.21MPa。

2.2 无性系抗寒性指标的冬季变化

冬季各月测定了各无性系在 -30℃ 冷冻条件下枝条电导率和钾离子外渗率,以了解植物细胞原生质膜透性的变化,结果见表 2 和表 3。

大差异,12 月份,各无性系电导率变异系数为 11.83%,2 月份变异更大,变异系数达到 32.88%。冬季钾离子外渗率变化模式与电导率变化基本一致,但数值较相对电导率低,如在 10 月份,各无性系钾离子外渗率平均达到 76% 左右,但从 10 月至 12 月钾离子外渗率迅速降低至 15% ~ 30% 之间,之后虽有上升,与电导率相比,数值也维持在较低水平。

在冬季低温条件下,SOD 酶活性可作为植物抗寒指标。表 3 结果表明,各无性系 SOD 酶活性具有基本一致的变化模式,多数在 11 月酶活性达到最强或接近最强,B430 SOD 酶活性最强出现在 1 月,以后又缓慢降低或维持不变,但各无性系酶活性差异明显,在各个时期 SOD 酶活性变异幅度均较大。冬

季各无性系 POD 酶活性变化模式基本相同,从 10 月开始酶活性逐渐提高,在 12 月至翌年 1 月均达到最强,以后又逐渐降低。但不同无性系的 POD 酶活性差异悬殊。

表 3 各个无性系冬季 SOD、POD 酶活性变化

Table 3 Variation pattern of SOD and POD activity of winter among the clones

无性系 Clone	SOD 酶活性(U/mgFW · min) SOD activity					POD 酶活性(U/gFW · min) POD activity				
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
B432	0.88	1.25	0.8	1.1	1.17	210.2	259.5	349.5	379.5	250.3
B429	0.5	0.75	0.7	0.72	0.68	46.2	50.7	90.3	84.7	81.4
B430	0.45	0.65	0.72	1	0.74	129.5	239.5	269.7	234.8	259.5
毛新	0.32	1.11	1.42	1	0.77	35.1	49.2	68.2	66.4	65.8
B431	0.43	0.82	0.92	1.22	0.58	62.5	68.1	80.9	100.2	81.2
毛白杨	0.57	0.83	0.6	0.79	0.58	55.8	50.2	70.2	61.4	52.1
B433	0.56	0.72	0.6	0.65	0.62	15	18	22	30.1	27.2
B414	0.4	0.53	0.61	0.48	0.5	52.5	91.7	104.5	127.7	70.1
平均	0.51	0.83	0.80	0.87	0.71	75.9	103.4	131.9	135.6	111.0

2.3 无性系抗寒能力的综合评价

植物受到逆境胁迫后,生理变化是错综复杂的,并受多种因素影响,孤立地用某一指标表示这一复杂的生理过程,很难真实地反映植物的抗寒性本质。为综合评价无性系抗寒能力,对各项指标测定值用

模糊数学隶属度公式进行定量转换。用每一无性系各项指标隶属度的平均值作为无性系抗寒能力综合鉴定标准进行比较。表 4 为各项指标的隶属度值和综合评定结果。

表 4 无性系各指标隶属度平均值及抗寒性综合评定结果

Table 4 Average values of jurisdiction and the results of comprehensive comparison on cold resistance

无性系	相对电导率	钾离子外渗率	SOD 酶活性	POD 酶活性	平均值	位次
Clone	Relative leakage of electrolytes	Relative leakage of K ⁺	SOD activity	POD activity	Average value	Precedence
B432	0.888	0.934	0.878	0.991	0.923	1
B430	0.776	0.728	0.417	0.792	0.678	2
毛新	0.737	0.896	0.559	0.130	0.581	3
B431	0.634	0.659	0.541	0.245	0.520	4
B433	0.529	0.335	0.284	0.000	0.287	5
B429	0.238	0.316	0.338	0.184	0.269	6
B414	0.350	0.449	0.029	0.238	0.267	7
毛白杨	0.258	0.297	0.292	0.139	0.247	8

由表 4 可以看出,B432 和 B430 隶属度平均值最大,均在 0.6 以上,分别为对照毛白杨的 273.68%和 174.49%,其次是 B431 和毛新,数值在 0.5 以上。另外 3 个无性系平均值较小,且较接近,均在 0.3 以下,因此可以认为这 3 个无性系为一类,抗寒能力与亲本对照基本一致。

2.4 枝叶水分参数与抗寒性相关分析

将各项水分参数与不同月份抗寒指标进行相关分析,结果列于表 5。由表 5 可以看出,各项水分参数与抗寒性指标存在一定相关性。充分膨胀时的渗透势(Ψ_{π}^{100})与相对电导率、钾离子外渗率、SOD 酶

活性和 POD 酶活性虽存在一定的相关趋势,但均未达到显著相关水平。而膨压为 0 时的渗透势(Ψ_{π}^0)与相对电导率、钾离子外渗率、SOD 酶活性相关较为紧密,除在 10 月份无相关关系外,从 11 月份开始相关性逐渐增强,在 2 月份达到最高,各项指标均达到显著和极显著水平,其中与电导率的相关性最为紧密。 Ψ_{π}^0 与抗寒性的相关性表现为膨压为 0 时的渗透势负值越大抗寒能力越强,表明无性系渗透调节能力与冬季抗寒性有关,特别是与第 2 年春季抗寒能力紧密相关。枝叶组织细胞初始质壁分离时的相对含水量(RWC⁰)和相对渗透含水量(ROWC⁰)

与各项抗寒性指标相关不紧密,绝大部分未达到显著水平。但从总的趋势看,仍然表现为从秋季到翌年春季相关性逐渐加强的趋势,表明无性系忍耐脱水能力与抗寒性存在一定相关关系,即组织细胞初始质壁分离时的相对含水量(RWC^0)和相对渗透含

水量($ROWC^0$)越低抗寒性越强。最大体积弹性模量(ε^{max})与相对电导率、钾离子外渗率、SOD 酶活性有较高相关性,特别是 12 月份以后相关均达到显著水平。 ε^{max} 值越高表示细胞壁越坚硬,弹性越小,越有利于植物提高抗寒性。

表 5 无性系秋季枝叶水分参数与冬季抗寒指标的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between water parameters and index of cold resistance for the clones

水分参数 Water parameter	抗寒指标 Index of cold resistance	相关系数 Correlation coefficient				
		10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
Ψ_{π}^{100}	相对电导率	-0.063	-0.438	-0.340	-0.608	-0.561
	钾离子外渗率	-0.039	-0.323	-0.679	-0.635	-0.584
	SOD 酶活性	-0.138	0.421	0.608	0.654	0.126
	POD 酶活性	0.507	0.509	0.567	0.575	0.573
Ψ_{π}^0	相对电导率	-0.198	-0.744 *	-0.833 **	-0.835 **	-0.875 **
	钾离子外渗率	-0.411	-0.691	-0.656	-0.725 *	-0.854 **
	SOD 酶活性	0.304	0.653	0.522	0.841 **	0.739 *
	POD 酶活性	0.170	0.074	0.145	0.172	0.154
RWC^0	相对电导率	0.267	0.561	0.841 **	0.621	0.637
	钾离子外渗率	0.464	0.543	0.342	0.418	0.589
	SOD 酶活性	-0.607	-0.488	-0.068	-0.530	-0.874 **
	POD 酶活性	0.251	0.337	0.311	0.293	0.283
$ROWC^0$	相对电导率	0.147	0.587	0.732 *	0.502	0.570
	钾离子外渗率	0.527	0.648	0.236	0.377	0.541
	SOD 酶活性	-0.513	-0.469	-0.128	-0.486	-0.833 **
	POD 酶活性	0.290	0.430	0.384	0.343	0.396
ε^{max}	相对电导率	-0.446	-0.489	-0.736 *	-0.757 *	-0.751 *
	钾离子外渗率	-0.430	-0.403	-0.740 *	-0.624	-0.712 *
	SOD 酶活性	0.527	0.762 *	0.385	0.774 *	0.766 *
	POD 酶活性	0.259	0.273	0.302	0.298	0.334

*、** 分别表示 0.05、0.01 水平显著相关。下同
* and ** indicate $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$. The same as below

为进一步了解无性系枝叶水分状况与冬季抗寒指标的相互关系,将各项水分参数与表 4 抗寒性综合评定结果进行相关分析,结果表明(表 6), Ψ_{π}^0 、 RWC^0 、 $ROWC^0$ 、 ε^{max} 与相对电导率、钾离子外渗率、SOD 酶活性和 POD 酶活性的综合隶属函数值均存

在显著或极显著相关,而且与抗寒性综合评定结果也存在极显著相关。表明这些参数可在一定程度上反映无性系抗寒能力。 Ψ_{π}^{100} 与各项指标相关不显著。

表 6 无性系水分参数与抗寒性综合评定结果相关分析

Table 6 Correlation coefficient between water parameters and result of comprehensive comparison to cold resistance for the clones

水分参数 Water parameter	相对电导率 Relative leakage of electrolytes	钾离子外渗率 Relative leakage of K ⁺	SOD 酶活性 SOD activity	POD 酶活性 POD activity	综合评定结果 Comprehensive comparison
Ψ_{π}^{100}	0.663	0.576	0.468	-0.006	0.435
Ψ_{π}^0	0.974 **	0.934 **	0.860 **	0.713 *	0.963 **
RWC^0	-0.713 *	-0.888 **	-0.728 *	-0.962 **	-0.888 **
$ROWC^0$	-0.622	-0.842 **	-0.675	-0.935 **	-0.842 **
ε^{max}	0.879 **	0.750 *	0.885 **	0.580	0.850 **

3 讨论

枝条或叶片相对电导率、钾离子外渗率、SOD 酶活性和 POD 酶活性是鉴定植物抗寒或抗旱性的重要指标,在农林业已得到广泛应用^[3,5,11-15]。本研究对 4 个指标在冬季各时期综合分析表明,苗木的抗寒能力有明显的变化模式,即从落叶开始,在低温诱导下,苗木抗寒能力逐渐提高,到 12 月至翌年 1 月达到最大,以后随着休眠的解除,树液开始流动,到 2 月抗寒能力又迅速下降,此时无性系间抗寒能力差异也达到最大。苗木抗寒能力的冬季变化与温度的季节变化一致,这也是植物适应低温的自然反应。根据 4 项抗寒性指标对杂种无性系进行综合评价结果,基本上反映出杂种抗寒性差异,与实际情况相符,并与杂种起源有关。参试的 6 个双交杂种无性系的亲本大部分具有较强的抗寒能力,如亲本欧洲山杨可耐 -30℃ 以下低温,银白杨和新疆杨是我国西北地区广泛栽植的树种,具有较强的耐寒和耐旱特性,毛白杨为华北地区速生造林树种,耐寒性较差。根据评价结果,2 个杂种无性系 B432 和 B430 继承了亲本抗寒特性,抗寒性最强,高于杂种亲本毛新(毛白杨 × 新疆杨)和单交亲本毛白杨,其余 4 个无性系抗寒能力介于毛新和毛白杨之间。

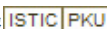
通过 P-V 技术可获得多项水分参数,这些水分参数能够反映出植物渗透调节和维持膨压的能力,是植物在低水势状态下抵御水分缺失的一种重要方式。水分参数一般是用来研究植物抗旱性的重要指标^[16],已得到广泛应用。但用水分参数研究植物抗寒性的报道则比较少。在我国北方漫长的冬季,干旱寒冷,导致植物严重的水分亏缺,特别是植物经过一个冬天后,生物膜受到一定伤害,导致春季枝条水分丧失,从而对一些植物造成伤害。因此,在秋末冬初组织水分状态对组织木质化、干物质的积累、诱导抗寒力的发育及冬春枝条忍耐脱水能力紧密相关。本项研究结果表明,白杨杂种无性系秋季枝叶水分参数 Ψ_w^0 、 RWC^0 、 $ROWC^0$ 和 ε^{max} 与冬季不同时期的抗寒性指标存在不同程度的相关性,特别是与春季无性系抗

寒性指标相关更加显著,其中 Ψ_w^0 是相关性最为明显的指标。同时,各无性系秋季枝叶水分参数与无性系的抗寒性综合评定指标均存在显著相关。由此说明,秋季枝叶水分参数反映了植物渗透调节能力和枝条木质化水平,从而与冬春季抗寒性存在一定相关关系,因此可以考虑以秋季枝叶水分参数作为鉴定树木抗寒性的一个参考性指标。

参考文献

- [1] DelHayes D H, Waite C E, Ingle M A. Storage temperature and duration influence cold tolerance of red spruce foliage[J]. Forest Science, 1990, 36: 1153-1158
- [2] Sutinen M L, Paltta J P, Reich P B. Seasonal differences in the freezing stress resistance of needles of *Pinus nigra* and *Pinus resinosa*: evaluation of the electrolyte leakage method[J]. Tree Physiology, 1992, 11: 241-254
- [3] 彭筱娜, 易自力, 蒋建雄. 植物抗寒性研究进展[J]. 生物技术通报, 2007(4): 16-18
- [4] 张钢. 国外木本植物抗寒性测定方法综述[J]. 世界林业研究, 2005, 18(5): 14-20
- [5] Odum K D, Blake T J. A comparison of analytical approaches for assessing freezing damage in black spruce using electrolyte leakage methods[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1996, 74: 952-958
- [6] Wisniewski M, Bassett C, Gusta L V. An overview of cold hardiness in woody plants: seeing the forest through the trees[J]. Hort Science, 2003, 38(5): 952-959
- [7] 吴娜, 周怀军, 肖芳. 3 种常绿阔叶植物越冬期间叶片水分及可溶性糖的动态变化[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(4): 36-39
- [8] 李吉跃. P-V 技术在油松侧柏苗木抗旱特性研究中的应用[J]. 北京林业大学学报, 1989, 11(1): 3-11
- [9] 朱广廉. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990
- [10] 王荣富. 植物抗寒指标的种类及其应用[J]. 植物生理学通讯, 1987(3): 49-55
- [11] 史清华, 高建社, 王军, 等. 5 个杨树无性系抗寒性的测定与评价[J]. 西北植物学报, 2003, 23(11): 1937-1941
- [12] 张文娥, 潘学军, 王飞. 葡萄枝条水分含量变化与抗寒性鉴定[J]. 中国果树, 2007(1): 14-15
- [13] 王晓楠, 付连双, 李卓夫, 等. 低温驯化及封冻后不同抗寒性小麦品种的形态建成及生理基础分析[J]. 作物学报, 2009, 35(7): 1313-1319
- [14] 史莹华, 王成章, 张伟毅, 等. 苜蓿秋眠型与其超氧化物歧化酶和过氧化物酶关系的研究[J]. 草业科学, 2009, 26(8): 128-131
- [15] 白志英, 李存东, 吴同燕, 等. 干旱胁迫条件下小麦旗叶酶活性和丙二醛含量的染色体定位[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(2): 255-261
- [16] 宋丽华, 张凯. 应用 PV 技术评价银川市 7 种针叶绿化树种抗旱性[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2): 225-229

白杨无性系秋季水分参数与冬季抗寒性指标关系研究

作者: [王进茂](#), [梁海永](#), [杨敏生](#)
作者单位: [河北农业大学, 保定, 071000](#)
刊名: [植物遗传资源学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES](#)
年, 卷(期): 2010, 11(1)

参考文献(16条)

1. [DeHayes D H; Waite C E; Ingle M A](#) [Storage temperature and duration influence cold tolerance of red spruce foliage](#) 1990
2. [朱广廉](#) [植物生理学实验](#) 1990
3. [李吉跃](#) [P-V技术在油松侧柏苗木抗旱特性研究中的应用](#) 1989(01)
4. [吴娜; 周怀军; 肖芳](#) [3种常绿阔叶植物越冬期间叶片水分及可溶性糖的动态变化](#) [期刊论文] - [西北林学院学报](#) 2006(04)
5. [宋丽华; 张凯](#) [应用PV技术评价银川市7种针叶绿化树种抗旱性](#) [期刊论文] - [西北农业学报](#) 2009(02)
6. [白志英; 李存东; 吴同燕](#) [干旱胁迫条件下小麦旗叶酶活性和丙二醛含量的染色体定位](#) [期刊论文] - [植物遗传资源学报](#) 2009(02)
7. [史莹华; 王成章; 张伟毅](#) [苜蓿秋眠型与其超氧化物歧化酶和过氧化物酶关系的研究](#) [期刊论文] - [草业科学](#) 2009(08)
8. [王晓楠; 付连双; 李卓夫](#) [低温驯化及封冻后不同抗寒性小麦品种的形态建成及生理基础分析](#) [期刊论文] - [作物学报](#) 2009(07)
9. [张文娥; 潘学军; 王飞](#) [葡萄枝条水分含量变化与抗寒性鉴定](#) [期刊论文] - [中国果树](#) 2007(01)
10. [史清华; 高建社; 王军](#) [5个杨树无性系抗寒性的测定与评价](#) [期刊论文] - [西北植物学报](#) 2003(11)
11. [王荣富](#) [植物抗寒指标的种类及其应用](#) 1987(03)
12. [Wisniewski M; Bassett C; Gusta L V](#) [An overview of cold hardiness in woody plants: seeing the forest through the trees](#) 2003(05)
13. [Odlum K D; Blake T J](#) [A comparison of analytical approaches for assessing freezing damage in black spruce using electrolyte leakage methods](#) 1996
14. [张钢](#) [国外木本植物抗寒性测定方法综述](#) [期刊论文] - [世界林业研究](#) 2005(05)
15. [彭筱娜; 易自力; 蒋建雄](#) [植物抗寒性研究进展](#) [期刊论文] - [生物技术通报](#) 2007(04)
16. [Sutinen M L; Palta J P; Reich P B](#) [Seasonal differences in the freezing stress resistance of needles of Pinus nigra and Pinus resinosa: evaluation of the electrolyte leakage method](#) 1992

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201001006.aspx