

364-370

28558(4)

第17卷第4期

生态学报

Vol. 17, No. 4

1997年7月

ACTA ECOLOGICA SINICA

Jul., 1997

水分胁迫对毛白杨杂种无性系苗木维持膨压和渗透调节能力的影响

杨敏生 裴保华 于冬梅

(河北农业大学林学院, 保定, 071000)

S792.117

A 摘要 在不同土壤干旱胁迫条件下,应用PV技术测定了6个毛白杨双杂交选生无性系多项水分参数(Ψ° 、 Ψ_r^{100} 、 RWC° 、 $ROWC^{\circ}$ 、 $\epsilon^{\max}$ 等)的变化,并对各无性系渗透调节和维持膨压能力进行了综合评定。结果表明,随着土壤干旱胁迫的发展,各无性系均有一定的提高渗透调节和维持膨压能力,但不同无性系存在显著差异, B432和B430在各水分胁迫程度均表现较好, B429、B433和B414表现一般,亲本毛白杨表现最差。

关键词: 毛白杨, 杂种无性系, 水分胁迫, 维持膨压, 渗透调节。

INFLUENCE OF WATER STRESS ON THE ABILITIES TO MAINTAIN TURGOR AND ADJUST OSMOSIS IN SEEDLINGS OF HYBRID CLONES OF *Populus tomentosa*

Yang Minsheng Pei Baohua Yu Dongmei

(Forestry College of Hebei Agricultural, Baoding, 071000, China)

Abstract The water parameters (Ψ° , Ψ_r^{100} , RWC° , $ROWC^{\circ}$, $\epsilon^{\max}$ etc.) in the hybrid clone seedlings of *Populus tomentosa* were studied under the conditions of soil water stresses using Pressure-Volume technique. The abilities to maintain turgor and adjust osmosis in the clones were comprehensively evaluated. The results showed that all clones examined had the abilities to increase turgor maintaining and osmotic adjustment during the water stress, but the distinction among the clones was considerable. B432 and B430 showed a better performance in Turgor Maintaining and osmotic adjustment, B429, B433 and B414 performed normally and parental *P. tomentosa* performed worst.

Key words: *Populus tomentosa*, hybrid clones, water stress, Turgor Maintaining, osmotic adjustment.

渗透调节和维持膨压能力是植物在低水势状态抗干旱的一种重要方式。水分胁迫下,植物细胞中溶质

• 河北省自然科学基金(395237)资助项目。参加本工作的还有丛金山,王春荣。

收稿日期:1995-10-11,修改稿收到日期:1996-06-24。

主动积累,渗透势降低,并从外界水势降低的介质中继续吸水,保持一定膨压,维持较正常的代谢活动称为渗透调节。目前已知,许多植物都有渗透调节能力,但不同植物品种其渗透调节能力的大小不同,渗透调节能力与抗旱性相关。压力-容积曲线(P-V 曲线)是研究植物渗透调节能力的重要方法之一。通过 PV 技术可获得多项水分参数。对这些水分参数进行综合分析,可较好地反映出植物渗透调节和维持膨压的能力。

毛白杨是深受群众欢迎的用材树种,毛白杨抗旱品选育对于扩大毛白杨适应性,提高生产力具有重要作用。采用具有较强抗旱性树种与毛白杨进行双杂交,是创造遗传变异,提供抗旱性育种资源的重要方式。对这些杂种抗旱能力的早期鉴定,对毛白杨抗旱品种选育具有重要意义。本文在不同土壤干旱胁迫条件下,研究了 6 个毛白杨双杂交杂种无性系水分参数的变化,并对各无性系渗透调节和维持膨压能力进行了比较,为毛白杨抗旱品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

选用 5 个毛白杨双杂交无性系为材料,无性系杂交组合为(毛白杨×新疆杨)×(银白杨×欧洲山杨)。以毛白杨为对照。参试无性系由北京林业大学提供。

采集各无性系嫩枝,4 月下旬扦插于塑料盆中,每盆插 2 株,塑料盆高 25cm,内径 23cm。培养土为 2 份苗圃熟土和 1 份沙混合而成,田间持水量为 160g/kg。7 月上旬苗木生根,苗高达到 40~60cm 时,试验开始。

试验开始前,苗木充足灌水 5d,以后不再供应水分,使其自然干燥,每隔 2~3d 测定土壤含水量并进行指标测定。应用压力室测定各无性系小枝 P-V 曲线,计算各项水分参数。测定方法是选取健壮苗木,截取 15cm 左右长的枝端,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 曲线可以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(RWC⁰)和相对渗透含水量(ROWC⁰)、组织细胞最大弹性模量(ϵ^{max})及膨压与水势的线性方程等指标。在测定 P-V 曲线的同时,于当日清晨 5:00~6:00 测定同一盆中另一苗木的小枝水势。全部计算在计算机上完成,计算程序由北京林业大学提供。

2 结果分析

2.1 水分胁迫对渗透势的影响

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)是反映植物渗透调节能力的重要指标。 Ψ_{π}^{100} 的大小说明了树木保持最大膨压的能力,而 Ψ_{π}^0 的大小则说明树木维持最低膨压的极限渗透势。 Ψ_{π}^0 值越低表明树木维持膨压的能力越强。只有当渗透势在 Ψ_{π}^{100} 和 Ψ_{π}^0 变化范围内,树木才具有渗透调节功能,超出这一变化范围,树木渗透调节功能便消失。由图 1 可以看出,各无性系 Ψ_{π}^{100} 和 Ψ_{π}^0 值随着水分胁迫的发展而下降,但二者下降的幅度不同, Ψ_{π}^{100} 的变化幅度明显小于 Ψ_{π}^0 的变化。因此,随着 7 清晨叶水势的降低, Ψ_{π}^{100} 和 Ψ_{π}^0 的差值逐渐增大,这表明各无性系随着水分胁迫的发展,叶片渗透调节和维持膨压能力得到提高。但是,各无性系在水分胁迫下的变化模式不同,除 B414 外,各无性系 Ψ_{π}^{100} 与清晨叶水势间均呈显著的直线相关关系,而 B414 在叶水势达到 -2.5MPa 以后, Ψ_{π}^{100} 变化的幅度减小,呈 S 型变化。各无性系中 B430 和 B433 的 Ψ_{π}^{100} 下降幅度最大,直线斜率分别为 0.276 和 0.231,另外 4 个无性系则变幅较小。 Ψ_{π}^0 的变化在无性系间差异较大,B430 和 B432 的 Ψ_{π}^0 值与清晨叶水势呈显著直线相关,且 B430 变幅较大,直线斜率达到 0.544;B429、B433、和毛白杨的 Ψ_{π}^0 值呈显著指数变化,在清晨叶水势为 -1.5~-2.0MPa 之前, Ψ_{π}^0 值下降缓慢,如毛白杨在 -2.0MPa 之前仅下降了 0.69MPa,叶水势低于这一界限后, Ψ_{π}^0 值则迅速下降。B414 Ψ_{π}^0 值变化与 Ψ_{π}^{100} 值变化一致,均呈 S 型变化趋势。从 Ψ_{π}^{100} 与 Ψ_{π}^0 差值来看,B430 和 B432 最大,而其它无性系只在 -1.5~-2.0MPa 以后才逐渐增大,以毛白杨差值最小。根据 Ψ_{π}^0 值的大小及其随清晨叶水势下降幅度、 Ψ_{π}^{100} 与 Ψ_{π}^0 差值可对无性系渗透调节能力做出判断,即 B430 和 B414 的渗透调节能力最强,其它 4 个无性系则表现一般。

2.2 水分胁迫对叶片含水量的影响

叶片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)是判断植物耐旱性

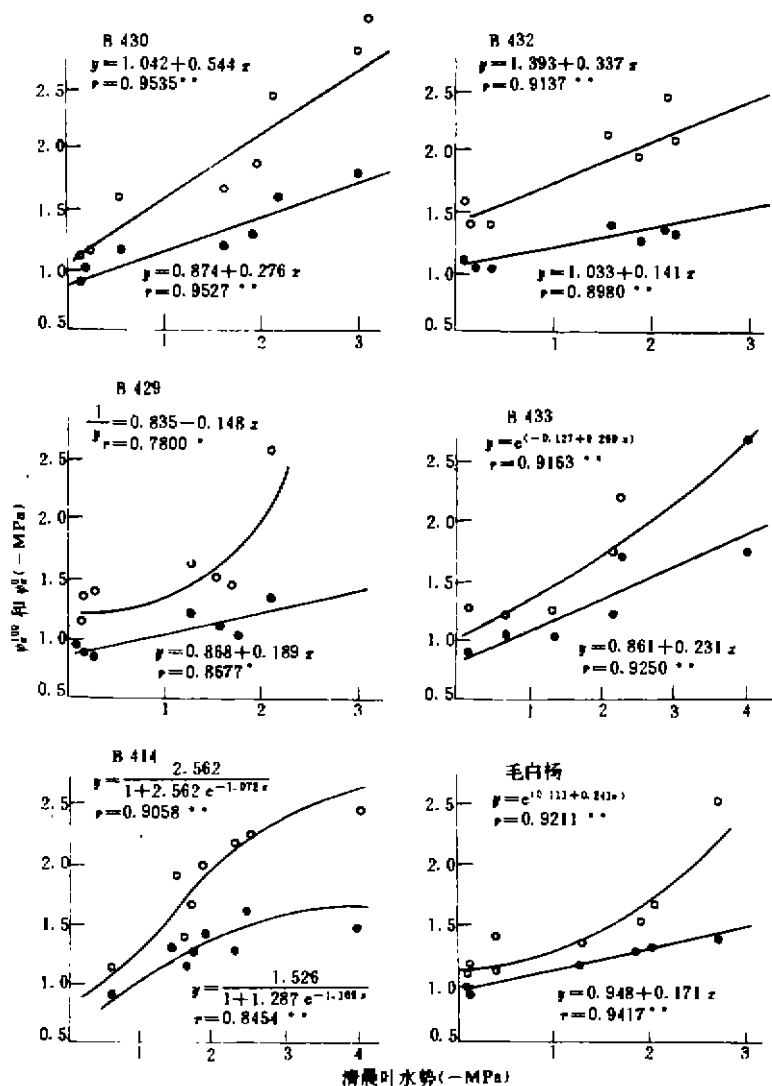


图1 各无性系清晨叶水势与 Ψ_e 和 Ψ_{100} 的关系 (●— Ψ_e — Ψ_{100})

Fig1 Relationship between predawn leaf water potential and Ψ_e or Ψ_{100} in the clones

的重要指标。一般认为, RWC^* 和 $ROWC^*$ 值越低, 表明植物组织细胞在很低的含水量下才发生质壁分离, 因此, 可以在一定程度上反映植物组织细胞忍耐脱水的能力。由图2可见, 随着水分亏缺的发展, 各无性系 RWC^* 和 $ROWC^*$ 均呈下降趋势, 但 $ROWC^*$ 下降幅度更大, 表明随着土壤干旱胁迫的发展, 无性系忍耐脱水的能力得到提高。各无性系中 B432、B430 和 B414 的 RWC^* 值与清晨叶水势呈直线相关关系, 且这 3 个无性系下降幅度较大, 直线斜率 b 值分别为 -6.445、-2.462 和 -2.824, 而 B429、B433 和毛白杨的 RWC^* 变化与叶水势直线相关不明显, 随着水分胁迫的发展 RWC^* 降幅很小, 特别是毛白杨, 在不同水分胁迫条件下, RWC^* 值基本不变, 保持在 86% 左右。无性系间 $ROWC^*$ 的变化差异也很大, B430、B432 和 B414 $ROWC^*$ 值与清晨叶水势均呈显著直线相关, 以 B430 和 B414 斜率最大, 分别为 6.686 和 6.776, B432 和 B433 斜率相对较小, 但 B432 在各干旱程度 $ROWC^*$ 值均较小。B429 和毛白杨变化模式一致, 即在清晨叶水势为 -1.5 ~ -2.0 MPa 以前, $ROWC^*$ 值下降幅度很小, 但低于这一值后则迅速下降。根据各干旱程度 RWC^* 和 $ROWC^*$ 值的大小, 可对无性系忍耐脱水能力做出判断, 6 个无性系中, 以 B432、B430 和 B414 表现较好, 毛

白杨表现最差。

2.3 水分胁迫对叶水势与膨压关系的影响

通过 P-V 曲线可计算出膨压和叶水势关系,在不同土壤干旱胁迫程度下,各无性系膨压与叶水势均呈极显著直线相关关系($\Psi_p = a + b \Psi_w$),即随着叶水势下降膨压降低,各直线方程相关系数均在 0.99 以上。在叶水势下降时,组织细胞维持一定的膨压对维持其生存、生长及正常生理功能具有非常重要的作用。在直线方程中 a 值表示树木充分膨胀时叶片细胞所能达到的最大膨压,而 b 值表示随叶水势下降,膨压下降的速度, b 值越小,表示膨压下降速度越慢,因此,可用其反映植物渗透调节能力的大小。图 3 表示随着土壤干旱胁迫的发展,膨压与叶水势直线关系的变化。由图 3 可看出,随着水分胁迫的加剧, a 值逐渐提高,表明各无性系都有提高一定幅度膨压的能力。这里 a 与 Ψ_p^{100} 所代表的意义相同,所以二者的变化趋势基本一致。随着水分胁迫的发展,各无性系 b 值逐渐降低, B430、B414、B432 和 B433 的 b 值与不同干旱强度清晨

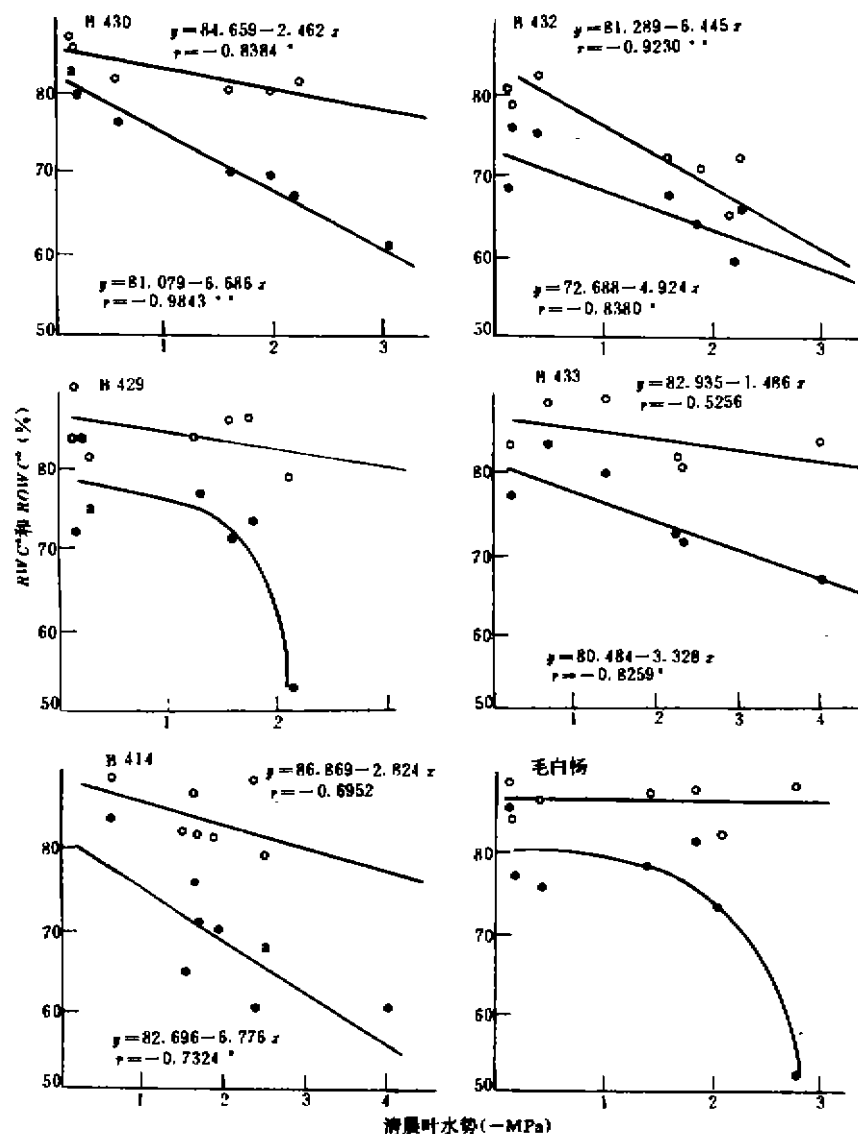


图 2 各无性系清晨叶水势与 RWC^* 、 $ROWC^*$ 的关系 (○— RWC^* ●— $ROWC^*$)

Fig. 2 Relationship between predawn leaf water potential and RWC^* or $ROWC^*$ in the clones

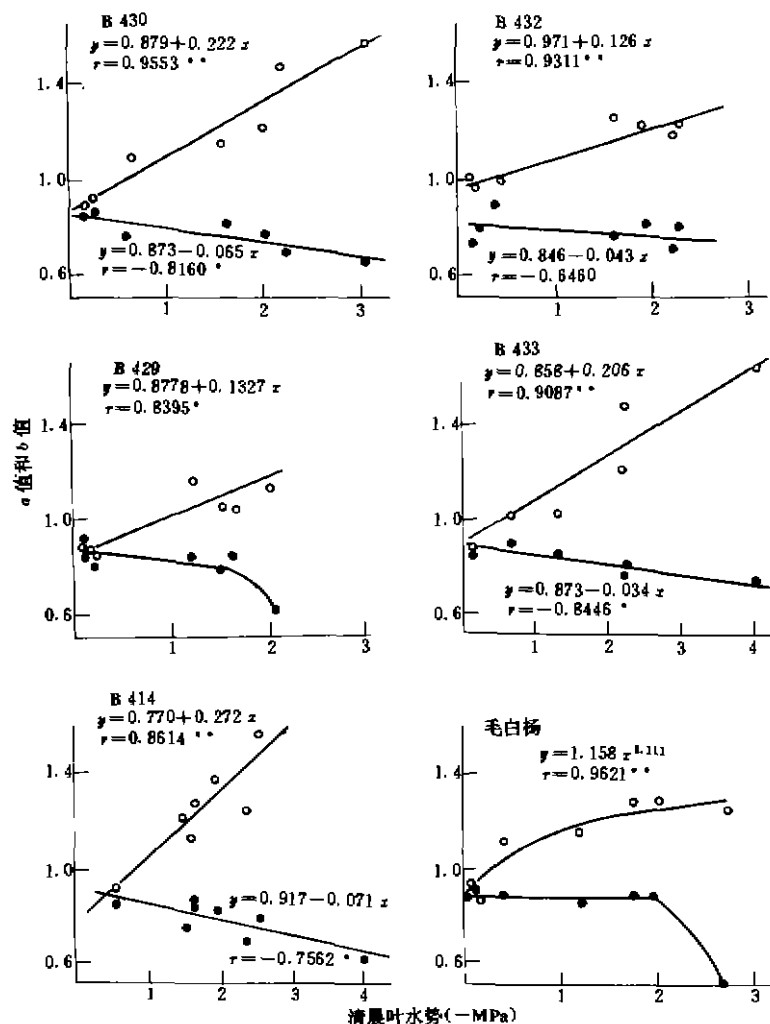


图3 各无性系清晨叶水势与 a 和 b 值的关系 (○)— a 值 (●)— b 值

Fig. 3 Relationship between predawn leaf water potential and a of b in the clones

叶水势呈直线相关关系,其中,B430和B414下降幅度较大,B429和毛白杨 b 值变化趋势基本一致,在叶水势高于 $-1.5 \sim -2.0$ MPa时,下降幅度很小,低于这一值后,则迅速下降,这一现象可能是由于这两个无性系对水分胁迫的敏感性较低,在轻度水分胁迫下,水分胁迫对维持膨压和渗透调节影响较小所造成的,这还有待于进一步研究。 b 值变化和 Ψ_w^{100} 与 Ψ_w^0 差值变化具有一致性,这一点可从直线方程 $\Psi_w = a + b\Psi_w$ 中得到解释。若令 $\Psi_w = 0$ 则 $b = -a/\Psi_w$,此时 a 表示树木充分膨胀时的最大膨压即 Ψ_w^{100} ,而 Ψ_w^0 则代表膨压为0时的渗透势,即 Ψ_w^0 , b 值越小,表明 Ψ_w^{100} 与 Ψ_w^0 差值越大。因此, b 值可用来解释树木渗透调节能力的大小。但仅以 b 值表示树木渗透调节能力有一定局限性,因为它不能反映出 Ψ_w^0 和 Ψ_w^{100} 的绝对值变化,应将这3个指标综合考虑。

2.4 水分胁迫对组织细胞最大弹性模量的影响

细胞弹性模量(ϵ)反映了细胞膨压随体积而变化的速率。由于 ϵ 不是一个常数,因此一般在分析中以最大体积弹性模量 ϵ^{max} 来表示细胞壁的物理性质。 ϵ^{max} 值越高表示细胞壁越坚硬,弹性越小,当组织含水量和叶水势下降时,其维持膨压能力减小。由图4可看出,各无性系受到土壤干旱胁迫时, ϵ^{max} 均有不同程度的提高, ϵ^{max} 与清晨叶水势的关系可较好地用指数方程拟合。无性系间 ϵ^{max} 的变化有较大差异,B430、B429和

B433 在水分胁迫较轻时, $\epsilon^{\max}$ 提高较慢, 当干旱进一步加剧时, 即叶水势达到 $-1.5 \sim -2.0 \text{ MPa}$ 时, $\epsilon^{\max}$ 迅速提高, 表明这 3 个无性系在干旱胁迫较轻时, 细胞壁弹性受影响较小, 具有较强的维持膨压能力。另外 3 个无性系随着水分胁迫的发展, $\epsilon^{\max}$ 持续提高, 几乎呈直线增长, 但 B432 和 B414 在各胁迫强度 $\epsilon^{\max}$ 值均相对较低。根据 $\epsilon^{\max}$ 大小及其变化趋势综合来看, B430、B432、B414 和 B433 值在各干旱强度较小, 表明这 4 个无性系细胞壁弹性较大, 具有较强的维持膨压能力。

2.5 无性系渗透调节和维持膨压能力综合评价

根据以上对各水分参数分析可以看出, 当受到土壤干旱胁迫时, 各无性系都有提高一定幅度渗透调节和维持膨压能力, 从而使树木在一定叶水势下降范围内维持膨压基本稳定, 但无性系间存在较大差异。需要说明的是, 由于植物的渗透调节能力都有一定限度, 上述各水分参数的变化趋势, 仅是在试验范围内的结论, 当水分胁迫超过一定限度时, 其变化趋势可能会发生改变。为了对无性系渗透调节和维持膨压能力进行准确比较, 选用 Ψ° 、 Ψ_s^{pot} 、 RWC° 、 ROWC° 、 $\epsilon^{\max}$ 及膨压与叶水势直线方程中的 b 值作为参评指标, 将这 6 个指标分别在不同水分胁迫强度范围内进行比较, 即在 -0.5 、 -1.0 、 -1.5 、 -2.0 MPa 等 4 个等级进行综合评定。评定方法采用模糊数学反隶属度公式进行定量转换, 计算公式为:

$$U_{ijk} = 1 - X_{ijk} - X_{\min} / X_{\max} - X_{\min}$$

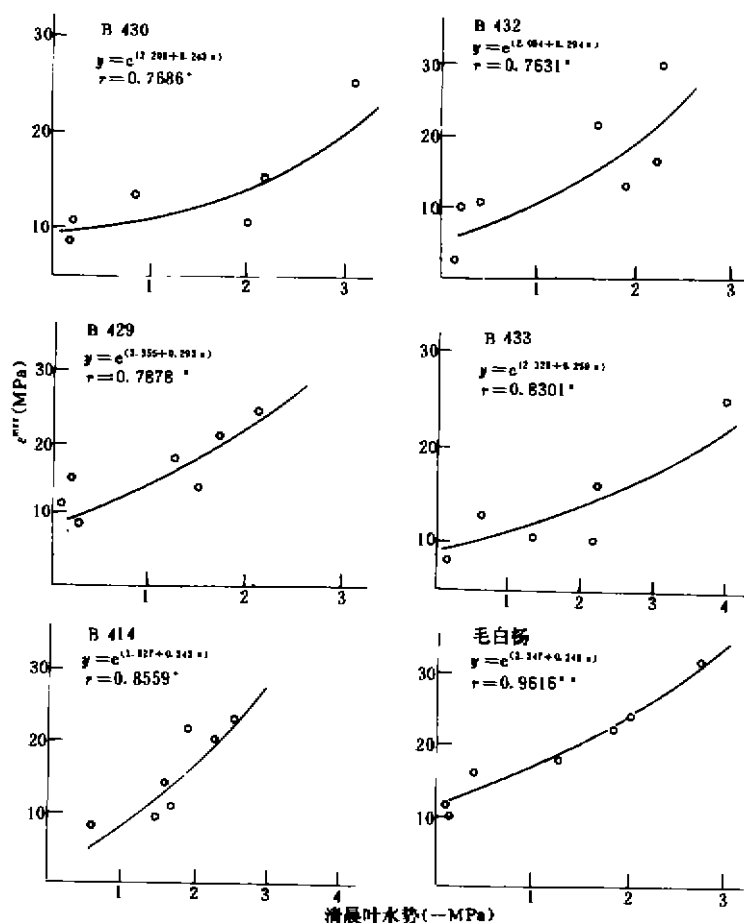


图 4 各无性系清晨叶水势与 $\epsilon^{\max}$ 的关系

Fig. 4 Relationship between predawn leaf water potential and $\epsilon^{\max}$ in the clones

式中, U_{ijk} 为第 i 无性系在第 j 个水分胁迫强度对于第 k 项指标的隶属度; X_{ijk} 为第 i 个无性系第 j 个水分胁迫强度第 k 个指标测定值; $X_{\max k}$ 、 $X_{\min k}$ 为全部无性系第 k 项指标的最大值和最小值。表 1 为各无性系在不同干旱胁迫强度 6 个水分参数隶属度平均值。

随着水分胁迫强度的增加, 苗木渗透调节和维持膨压能力加强(表 1), 清晨叶水势由 -0.5MPa 降到 -2.0MPa , 无性系隶属度总平均值由 0.276 提高到 0.550。方差分析表明, 无性系间存在显著差异, B432 和 B430 在各水分胁迫强度隶属度平均值均较高, 总平均值分别为 0.597 和 0.474, 表明这 2 个无性系渗透调节和维持膨压能力最强, B429、B433、B414 在各胁迫强度均表现一般, 总平均值在 0.372~0.379 之间, 亲本毛白杨表现最差, 总平均值仅为 0.239。不同水分胁迫强度无性系的表现与无性系总的综合评定结果基本一致, 以各水分胁迫强度隶属度平均值与总平均值做相关分析, 相关系数均达到极显著水平。

表 1 各无性系 6 个水分参数在不同水分胁迫强度隶属度平均值

Table 1 Average values of jurisdiction of six water parameters at different water stress stages

水分胁迫强度(清晨叶水势,MPa)						
无性系	Intensity of water stree				总平均	位次
Clone	(Predawn leaf water potential)				Average	Precedence
	-0.5	-1.0	-1.5	-2.0		
B430	0.299	0.418	0.533	0.644	0.474 ^{ab}	2
B432	0.479	0.561	0.638	0.710	0.597 ^a	1
B429	0.216	0.291	0.364	0.643	0.379 ^b	5
B433	0.278	0.341	0.404	0.465	0.372 ^b	4
B414	0.186	0.317	0.447	0.546	0.374 ^b	3
毛白杨 <i>P. tomentosa</i>	0.197	0.222	0.245	0.291	0.239 ^c	6
总平均 Mean	0.276	0.358	0.439	0.550	0.406	
相关系数 Coefficient	0.899 ^{**}	0.991 ^{**}	0.962 ^{**}	0.880 ^{**}	1	

注: 字母相同者无显著差异。

参 考 文 献

- 李德全等. 植物渗透调节研究概况. 植物抗性生理研究. 济南, 山东科学技术出版社, 1992. 5~9
- 黎裕. 植物的渗透调节与其它生理过程的关系及其在作物改良中的应用. 植物生理学通讯, 1994, 30(5): 377~385
- 王万里. 压力室(PRESSURE CHAMBER)在植物水分状况研究中的应用. 植物生理学通讯, 1984, (3): 52~57
- 李吉跃. 太行山区主要造林树种耐旱特性的研究(Ⅱ)——水分参数. 北京林业大学学报, 1991, (增 2): 230~239
- 郭连生等. 几种阔叶树种的耐旱性生理指标的研究. 林业科学, 1989, 25(5): 389~394
- 田有亮、郭连生. 应用 PV 技术对 7 种针阔叶幼树抗旱性的研究. 应用生态学报, 1990, 1(2): 114~119
- 张建国等. 兴安落叶松和樟子松苗木水分关系的研究(Ⅱ)——PV 曲线水分参数的季节变化. 北京林业大学学报, 1993, 15(增刊): 24~37
- Jones M M and Turner N C. Osmotic adjustment in expanding and full-expanded leaves of sunflower in response to water stress. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1980, (7): 187~192
- Tyree M T and Hammel H T. The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure-bomb technique. *J. Exp. Bot.*, 1972, (23): 267~282
- Tschaplinski T J and Blake T J. Water-stress tolerance and late season organic solute accumulation in hybrid poplar. *Can. J. Bot.*, 1989, 67: 1681~1688
- Melick D R. Relative drought resistance of *Tristanopsis laurina* and *Acmena smithii* from riparian warm temperate rainforest in Victoria. *Aust. J. Bot.*, 1990, 38: 361~370
- Ranney T G, Whitlow T H and Bassuk N L. Response of five temperate deciduous tree species to water stress. *Tree Physiology*, 1990, 6: 439~440