

黄土高原主要造林树种的抗旱性研究^{*}

刘淑明¹, 陈海滨², 孙长忠³, 孙丙寅⁴

(1 西北农林科技大学 生命科技学院; 2 林学院, 陕西 杨陵 712100; 3 中国林科院 林业研究所, 北京 100091;

4 杨凌职业技术学院 林学系, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 对黄土高原主要造林树种油松、侧柏、刺槐根际进行包埋处理, 形成持续干旱环境, 测定干旱胁迫条件下树木生理特性的变化和对树木生长的影响。结果表明, 在相同的干旱条件下, 侧柏的净光合速率始终大于油松, 而蒸腾速率则相反; 在干旱胁迫的第2年, 油松净光合速率比第1年降低了51.1%, 侧柏降低了41.2%, 刺槐降低了54.4%。侧柏水分利用效率较油松高约34%。中度水分胁迫1年后, 油松、侧柏、刺槐的叶量分别为对照的76.1%, 81.7%和79.3%, 2年后分别为55.2%, 61.3%和24.2%, 第3年刺槐叶面积已缩小为对照的75%, 并出现大量落叶, 油松、侧柏也有此现象。同时, 持续干旱1年后, 油松、侧柏的枝长分别为对照的64.4%和66.7%; 持续2年后, 分别为对照的37.6%和40.9%。试验表明, 各树种忍耐长期干旱的能力不同, 侧柏最强, 油松次之, 刺槐最差, 表明各树种林分抗旱稳定性不同。

[关键词] 林木; 水分胁迫; 生理反应; 抗旱性

[中图分类号] S718.43

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)04-0149-05

在干旱半干旱地区, 由于环境供水不足, 树木的耐旱性强弱常常是限制其分布和正常生长的主要因素。衡量耐旱性的指标较多^[1~7], 常用的有形态指标、生长指标、生理指标、生化指标、标记基因等。以往的研究主要以幼苗幼树为对象, 通过盆栽控水处理来研究树木的抗旱性, 而对成年林木的研究较少。本研究对自然条件下生长的中幼龄林木进行干旱处理, 研究成年林木的抗旱能力, 这对于进一步认识各树种成林抗旱稳定性, 提高造林成效及避免或降低自然灾害对人工林的危害, 加快黄土高原植被恢复的进程具有一定的理论意义和实际应用价值。

1 试验地概况

试验地设在西北农林科技大学西林校区内, 年均温12.9℃, 1月均温-1.2℃, 7月均温26.0℃, 年干燥度1.1, 年降水量631.0 mm, 且集中于7~9月, 土壤为垆土, 土层深厚, 田间持水量为21%。

供试树种为油松、侧柏、刺槐, 其中, 油松和侧柏树龄约20年, 刺槐树龄约8年, 林分均已郁闭, 生长良好。油松平均胸径11.3 cm, 平均高5.5 m; 侧柏平均胸径6.8 cm, 平均高5.1 m; 刺槐平均胸径7.0 cm。

2 材料与方法

处理方法 以测定单株为中心, 四周开沟, 深达1.2 m, 再用塑料薄膜包埋, 回填土壤, 使测定树木处于相对独立的土体中, 形成干旱的土壤环境, 每个树种分别做2个重复并设有对照。

测定方法 光合、蒸腾、气孔阻力采用Li-6200便携式光合测定仪测定。土壤含水量采用烘干法测定。油松、侧柏的叶干重测定采用标准枝法, 刺槐的叶干重测定是每株树选取标准复叶, 各重复3次, 取下叶子烘干后称重。

3 结果与分析

3.1 干旱胁迫下树木生理特性的变化

3.1.1 净光合速率 (1)油松。1998年测定结果表明, 油松在中度水分胁迫下净光合速率降低(表1), 整个生长季平均降低 $34.94 \times 10^{-4} \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{s})$ 。从表1可以看出, 1998年土壤含水量保持在92.6 g/kg左右, 为田间持水量的45%, 已低于萎蔫系数(9.4%), 但油松在持续干旱8个月的情况下仍能正常生长, 维持一定的净光合速率, 平均为 $244.68 \times 10^{-4} \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{s})$, 说明该树种能够忍耐长期干旱。

^{*} [收稿日期] 2002-09-04

[基金项目] 陕西省自然科学基金项目(97SM 09)

[作者简介] 刘淑明(1964-), 女, 陕西渭南人, 副教授, 主要从事林业气象研究。

1999 年在相同的试验处理下,生长期净光合速率降为 $119.63 \times 10^{-4} \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{s})$,处理和对照的净光合速率变幅均较大,主要是由于 1999 年降水量较多。据测定,1999 年 3~10 月的降水量为

598.4 mm,略高于同期多年平均值,比 1998 年多 23%,且一次过程降水较多,导致水分变化幅度较大。方差分析表明,处理与对照差异显著。与 1998 年相比,1999 年油松净光合速率降低了 51.1%。

表 1 土壤水分胁迫对油松净光合速率的影响

1998 年				1999 年			
测定日期 Test date	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil water content	净光合速率/ × 10 ⁻⁴ (μmol · g ⁻¹ · s ⁻¹) Net photosynthetic rate		测定日期 Test date	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil water content	净光合速率/ × 10 ⁻⁴ (μmol · g ⁻¹ · s ⁻¹) Net photosynthetic rate	
		处理	对照			处理	对照
		Treatment	Control			Treatment	Control
05-26	92.7	276.41	260.30	04-18	95.0	73.76	89.11
06-12	83.9	323.37	381.25	05-08	90.9	154.10	191.28
06-27	90.4	180.45	221.35	05-23	106.8	104.07	132.05
07-11	89.9	290.30	312.63	06-12	116.9	112.98	166.32
08-29	94.3	192.56	260.72	06-26	114.8	111.04	195.08
09-13	90.2	276.07	291.38	07-12	106.4	139.81	188.92
09-28	99.7	212.36	258.62	08-18	129.4	163.99	256.11
10-18	103.0	205.84	250.69	09-16	114.5	111.82	180.64
平均 Average	92.6	244.68	279.62	10-23	102.4	105.07	193.39
				平均 Average	110.6	119.63	176.99

(2) 侧柏。侧柏在处理后的第 1 年和第 2 年,土壤含水量虽有波动,但与油松的变化基本一致。其光合速率的变化(表 2)表明,1998 年在中度水分胁迫下,侧柏仍维持较高的净光合速率,波动为 $138.40 \times 10^{-4} \sim 334.94 \times 10^{-4} \mu\text{mol}/(\text{g} \cdot \text{s})$ 。在 8~9 月份,当土壤含水量由 91.9 g/kg 上升到 119.7 g/kg 时,其净光合速率值明显高于对照,这种情况与油松的变化非常相似。此现象在其他类似研究中也有报

道^[8],即当干旱胁迫缓解后,再复水时净光合速率迅速提高,甚至高于对照,随着复水时间的后移,净光合速率高于对照的幅度降低。这可能是树木经干旱胁迫后,体内产生大量的中间产物,如游离脯氨酸的积累^[9,10],可以作为一种氮库,在干旱去除后成为蛋白质再合成的原料^[4,9]。在侧柏连续处理的第 2 年(1999 年),其净光合速率与对照相比差异比较显著,与 1998 年相比降低了 41.2%。

表 2 土壤水分胁迫对侧柏净光合速率的影响

1998 年 1998 year				1999 年 1999 year			
测定日期 Test date	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil water content	净光合速率/ × 10 ⁻⁴ (μmol · g ⁻¹ · s ⁻¹) Net photosynthetic rate		测定日期 Test date	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil water content	净光合速率/ × 10 ⁻⁴ (μmol · g ⁻¹ · s ⁻¹) Net photosynthetic rate	
		处理	对照			处理	对照
		Treatment	Control			Treatment	Control
05-26	97.5	302.89	322.15	04-18	114.5	72.38	80.62
06-12	93.2	138.40	160.53	05-08	102.0	151.30	189.38
06-27	94.1	139.82	161.09	05-23	128.5	180.83	215.44
07-11	91.9	238.13	269.75	06-12	119.6	148.48	188.83
08-29	119.7	288.92	302.62	06-26	126.5	172.25	199.32
09-13	92.5	334.94	355.42	07-12	117.5	149.88	182.47
09-28	103.0	258.42	282.38	08-18	113.6	181.73	231.56
10-18	90.7	229.27	245.79	09-16	101.4	175.40	188.75
平均 Average	92.5	241.34	262.47	10-23	111.7	96.90	111.63
				平均 Average	115.0	147.68	176.44

(3) 刺槐。与油松和侧柏相比,刺槐对水分的反映比较敏感^[11],中度干旱胁迫下(土壤含水量 94.9 g/kg),净光合速率明显降低(表 3),生长季中比对照平均降低 $1.73 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。而在处理的第 2 年,当干旱胁迫有所缓和,土壤含水量有少量增加时

(土壤含水量为 105.9 g/kg),净光合速率与对照的差值仍然较大,平均降低了 48.3%,与 1998 年相比,1999 年降低了 54.4%。

以上比较说明,在长时间的轻度干旱胁迫条件下,侧柏、油松较刺槐的净光合速率变化小,表明其

较刺槐更耐旱, 抗旱稳定性高。在短时间(1 年)的干旱胁迫下, 油松与侧柏基本一致。但从平均值来看, 油松较其对照低 12.5%, 侧柏较其对照低 8.6%, 说明侧柏较油松耐旱。

表 3 土壤水分胁迫对刺槐净光合速率的影响

1998 年 1998 year				1999 年 1999 year			
测定日期 Test date	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil water content	净光合速率/ (μmol · m ⁻² · s ⁻¹) Net photosynthetic rate		测定日期 Test date	土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Soil water content	净光合速率/ (μmol · m ⁻² · s ⁻¹) Net photosynthetic rate	
		处理 Treatment	对照 Control			处理 Treatment	对照 Control
05-26	98.3	8.062	9.311	05-08	96.3	1.839	3.952
06-12	86.1	7.072	7.652	05-23	102.7	3.364	6.213
06-27	81.6	3.270	5.625	06-12	105.3	3.615	6.880
07-11	100.5	8.625	12.498	06-26	125.8	4.719	7.324
08-29	97.2	7.834	9.201	07-12	115.5	3.021	5.983
09-13	98.0	4.736	6.223	08-18	91.1	2.058	5.061
09-28	102.3	4.209	5.394	09-16	104.2	1.350	3.246
平均 Average	94.9	6.258	7.986	平均 Average	105.9	2.854	5.520

3.1.2 蒸腾速率 试验表明, 各树种蒸腾速率季节进程很相似, 但针叶树和阔叶树略有区别。从表 4 可以看出, 油松、侧柏 5 月中、下旬蒸腾速率较小, 6 月很快提高, 出现第 1 次高峰; 6 月下旬至 8 月上旬由于严重干旱, 蒸腾速率急剧下降, 之后雨季来临, 开始大幅度上升, 出现第 2 次高峰; 9 月中旬以后又迅速降低, 这种变化规律与徐化成等^[12]在华北山区的测定结果非常相似。而刺槐在 5 月中下旬就有较高的蒸腾速率, 其后变化与油松、侧柏一致, 8 月雨季来临后重新上升, 9 月初开始下降, 这表明土壤湿度变化是控制蒸腾速率季节变化的主要因素。6 月下旬和 7 月的高温少雨是蒸腾降低的主要原因。

表 4 干旱胁迫下各树种气孔阻力与蒸腾速率的变化(1998 年)

测定日期 Test date	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>				侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>				刺槐 <i>Robina pseudoacacia</i>			
	气孔阻力/ (s · cm ⁻¹) Stomatal resistance		蒸腾速率/ × 10 ⁻⁴ (mol · g ⁻¹ · s ⁻¹) Transpiration rates		气孔阻力/ (s · cm ⁻¹) Stomatal resistance		蒸腾速率/ × 10 ⁻⁴ (mol · g ⁻¹ · s ⁻¹) Transpiration rates		气孔阻力/ (s · cm ⁻¹) Stomatal resistance		蒸腾速率/ (mol · m ⁻² · s ⁻¹) Transpiration rates	
	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment	对照 Control	处理 Treatment
05-26	0.015	0.048	0.580	0.463	0.044	0.070	0.569	0.533	0.690	0.983	0.021	0.018
06-12	0.017	0.115	0.701	0.535	0.068	0.082	0.707	0.627	0.498	0.951	0.018	0.015
06-27	0.153	0.486	0.686	0.599	0.533	0.668	0.384	0.309	3.163	4.653	0.086	0.008
07-11	0.436	0.401	0.327	0.226	0.028	0.092	0.321	0.226	0.457	0.752	0.012	0.009
08-29	0.106	0.127	0.728	0.494	0.040		0.302	0.298	0.482	0.577	0.020	0.017
09-13	0.026	0.051	0.560	0.477	0.072	0.072	0.588	0.446	0.400	0.455	0.016	0.015
09-28	0.490	0.632	0.217	0.313	0.092	0.180	0.221	0.262	1.392	2.224	0.007	0.006
10-18	0.217	0.307	0.334	0.232	0.483	0.533	0.199	0.185				

从表 4 还可以看出, 在水分胁迫情况下, 3 个树种的蒸腾速率均低于对照, 刺槐变化最明显, 其次是油松, 侧柏变化最小。通过对气孔阻力的测定, 反映了在干旱条件下气孔的调节作用及对蒸腾的影响。表 4 表明, 油松、侧柏在干旱处理后的气孔阻力明显高于对照, 而蒸腾速率则相反。同时, 从生长季的平均值来看, 油松的蒸腾速率均大于侧柏, 尤其是在处理条件下, 说明油松对水分的消耗较大, 促进土壤变干的能力较强^[11]。

的关系, 常用水分利用效率表示。在一定的水分胁迫范围内, 在叶片气孔导度减少, 蒸腾速率下降的同时, 净光合速率也随之下落, 而水分利用效率却升高, 这在许多试验和研究中有过报道^[13~16]。研究表明(表 5), 油松、侧柏在中度水分胁迫下(1998 年)较之轻度水分胁迫(1999 年)的水分利用效率高。同时, 从 2 年的试验结果可以看出, 侧柏的水分利用效率总是高于油松, 尤其是在轻度水分胁迫时, 平均高 34%。

3.1.3 水分利用效率 衡量水分消耗与固定能力

表 5 水分胁迫对油松和侧柏水分利用效率的影响

Table 5 The influence of water stress on the water utility efficiency			mmol/mol		
1998 年 1998 year			1999 年 1999 year		
测定日期 Test date	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	测定日期 Test date	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>
05-26	0.490	0.532	04-18	0.281	0.613
06-12	0.508	0.228	05-08	0.166	0.155
06-27	0.258	0.364	05-23	0.387	0.702
07-11	1.481	1.073	06-12	0.495	0.435
08-29	0.377	0.451	06-12	0.324	0.481
09-13	0.407	0.433	07-12	0.335	0.522
09-28	0.994	1.168	08-18	0.417	0.651
10-18	0.616	1.150	09-16	0.365	0.850
平均 Average	0.641	0.675	10-23	0.293	0.758
			平均 Average	0.340	0.574

注: 水分利用效率为净光合速率与蒸腾速率之比。
Note: Water utility efficiency is the ratio between net photosynthetic rate and transpiration rate

3.2 干旱对树木生长的影响
3.2.1 持续干旱对树木叶量的影响 表 6 结果表明, 干旱胁迫 1 年后, 油松、侧柏和刺槐的叶量分别为对照的 76.1%, 81.7% 和 79.3%, 2 年后分别为 55.2%, 61.3% 和 24.2%。由表 6 可以看出, 侧柏的变化最小, 油松次之, 而刺槐变化最大。据测定, 到 2000 年 7 月, 刺槐的单叶叶面积已缩小为对照的 75%, 树冠内部大部分已落叶, 梢部叶片出现枯萎。

表 6 水分胁迫对树木叶干重的影响

年份 Year	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>			侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>			刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		
	处理/g Treatment	对照/g Control	处理/对照 Treatment/ Control	处理/g Treatment	对照/g Control	处理/对照 Treatment/ Control	处理/g Treatment	对照/g Control	处理/对照 Treatment/ Control
1999	147.46	193.76	0.761	26.87	32.89	0.817	0.73	0.92	0.793
2000	124.95	226.35	0.552	22.04	35.96	0.613	0.23	0.95	0.242

3.2.2 持续干旱对枝长的影响 控水期间, 随着水分胁迫时间的延长, 枝长生长量迅速降低。从表 7 可以看出, 油松的枝长在 1998 年为对照的 64.4%, 1999 年为对照的 37.6%, 而侧柏 1998 年和 1999 年分别为对照的 66.7% 和 40.9%, 2 个树种变幅接近, 但侧柏的总比例稍高于油松。

表 7 水分胁迫对树木枝长的影响

年份 Year	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>			侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>		
	处理/cm Treatment	对照/g Control	处理/对照 Treatment/ Control	处理/cm Treatment	对照/g Control	处理/对照 Treatment/ Control
1998	18.6	28.9	0.644	6.8	10.2	0.667
1999	11.4	30.3	0.376	4.7	11.5	0.409

4 小 结

在相同干旱条件下, 侧柏的净光合速率始终大于油松, 在干旱胁迫发生的第 2 年, 油松净光合速率比第 1 年降低了 51.1%, 侧柏降低了 41.2%, 而刺槐降低了 54.4%, 刺槐对水分胁迫的反应最敏感。在生长季节, 无论是对照还是处理, 油松的蒸腾速率均大于侧柏。水分胁迫对油松、侧柏的水分利用效率有明显影响。中度水分胁迫条件下, 侧柏较油松水分利用效

率高约 34%。
中度水分胁迫 1 年后, 油松、侧柏、刺槐的叶量分别为对照的 76.1%, 81.7% 和 79.3%; 干旱胁迫 2 年后分别为对照的 55.2%, 61.3% 和 24.2%, 并出现大量落叶; 第 3 年 7 月份, 刺槐单叶面积已减为对照的 75%, 梢部叶片开始萎蔫。
土壤持续干旱 1 年后, 油松、侧柏的枝长分别为对照的 64.4% 和 66.7%, 持续 2 年后, 则分别为 37.6% 和 40.9%。
以上各项指标的测定结果表明, 各树种忍耐长

期干旱的能力不同,侧柏最强,油松次之,刺槐最差。

[参考文献]

- [1] 刘建泉 沙拐枣水分生理特征及抗旱分析[J]. 青海农林科技, 1999, (2): 29- 32
- [2] 柴宝峰, 李 磊 甘蒙柽柳与沙棘抗旱性研究[J]. 应用与环境生物学报, 1998, 4(1): 24- 27.
- [3] 李吉跃 太行山区主要造林树种耐旱特性的研究(1)——叶子解剖构造及叶子运动与脱落[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增): 1- 9
- [4] 汤章城 水分胁迫和植物的气孔运动[J]. 植物生理生化进展, 1986, (4): 43- 50
- [5] 冯玉龙, 王文章, 敖 红 长白落叶松和樟子松等五种树种抗旱性的比较[J]. 东北林业大学学报, 1998, 26(6): 16- 20
- [6] 郭连生, 田有亮 对几种针叶树种耐旱性生理指标的研究[J]. 林业科学, 1989, 25(5): 389- 395
- [7] 王孟本, 李洪建, 柴宝峰, 等 黄土区树种抗旱性指标的研究[J]. 植物研究, 1999, 19(3): 341- 346
- [8] 王朝云, 揭雨成 水分胁迫对红麻生理特性和产量的影响[J]. 作物学报, 1990, 21(6): 746- 751
- [9] Nautiyal S, Badola H K, Pal M, et al Plant responses to water stress: changes in growth, dry matter production, stomatal frequency and leaf anatomy[J]. Biology Plantarum, 1994, 36(1): 91- 97
- [10] Choi H S Variation in water potential components among half-sib families of shortleaf pine in response to soil drought[J]. Can J For Res, 1992, 22: 111- 116
- [11] 陶 俊, 陈 鹏, 余旭东 银杏光合特性的研究[J]. 园艺学报, 1999, 26(3): 157- 160
- [12] 徐化成, 易宗文 华北低山区土壤水分季节变化与林木生长的关系[J]. 林业科学, 1979, (2): 97- 104
- [13] 胡新生, 王世绩 树木水分胁迫生理与耐旱性研究进展及展望[J]. 林业科学, 1998, 34(2): 77- 89
- [14] Dickmann D I Photosynthesis, water relation and growth of two hybrid *Populus* genotypes during a severe drought[J]. Can J For Res, 1992, 22(8): 1094- 1106
- [15] Sm it J. Root growth and water use efficiency of Douglas-fir and Lodgepole pine seedling[J]. Tree Physiology, 1992, 11(4): 401- 410
- [16] Rhodenbaugh E J, Pallardy S G Water stress, photosynthesis and early growth patterns of cuttings of three *Populus* clones[J]. Tree Physiology, 1993, 13(3): 213- 226

A study of the drought resistance of the main forestation trees in Loess Plateau

L IU Shu-m ing¹, CHEN Hai-bin², SUN Chang-zhong³, SUN Bing-yin⁴

(1 College of Life Sciences; 2 College of Forestry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

4 Department of Forestry, Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The roots of *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis* and *Robinia pseudoacacia* were wrapped by plastic film, then the dry environment was made. The tests showed that the photosynthetic rate of *P. orientalis* was higher than that of *P. tabulaeformis*, but the transpiration was the opposite. After one year of treating, photosynthetic rate of *P. tabulaeformis* reduced 51.1%, *P. orientalis* 41.2%, *R. pseudoacacia* 54.4%. In water use efficiency, *P. orientalis* was about 34% higher than that of *P. tabulaeformis*. The leaf amounts of *P. tabulaeformis*, *P. orientalis*, *R. pseudoacacia* were 76.1%, 81.7% and 79.3% of control. Two years later, they were 55.2%, 61.3%, 24.2%, and leaf areas of *R. pseudoacacia* were 75% of control. The lengths of branch of *P. tabulaeformis* and *P. orientalis* were 64.4% and 66.7% of control respectively after one year, and they were 37.6% and 40.9% after two years. It was showed that the drought resistance among three trees were different, *P. orientalis* was strongest, then was *P. tabulaeformis*, the third was *R. pseudoacacia*.

Key words: forests; water stress; physiological reaction; drought resistance