

磷营养对侧柏、樟子松、油松抗旱性的影响

吴春芳¹, 贾小明², 许晓英³

(1. 青海大学 农林中专部, 青海 西宁 810016; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 3. 贵德县林业局, 青海 贵德 811700)

摘要:模拟自然干旱, 人为控制磷肥的施加量, 通过对油松、侧柏、樟子松 3 种苗木叶绿素含量、组织含水量、质膜透性、可溶性糖含量、脯氨酸含量等 5 个生理生化指标的测定, 研究了磷营养对 3 种苗木抗旱性的影响。结果表明, 施加磷肥后 3 种苗木所测指标值均较施磷前有明显变化, 其结果导致苗木对水分胁迫环境下的抗旱性增强的程度为: 侧柏 > 樟子松 > 油松。

关键词:油松; 侧柏; 樟子松; 抗旱性; 施磷

中图分类号:S718.43 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2005)01-0053-04

Influence of Phosphorus Nutrition on the Drought Resistance of *Platycladus orientalis*,
Pinus sylvestris var. *mongolica* and *P. tabulaeformis*

WU Chun-fang¹, JIA Xiao-ming², XU Xiao-ying³

(1. Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China; 2. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Forest Bureau of Guide, Guide, Qinghai 811700, China)

Abstract: Under simulated drought condition and controlled application of phosphorus fertilizer, by measuring the physiological and physiochemical indices, influences of phosphorus nutrition on the drought resistance of *Platycladus orientalis*, *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and *P. tabulaeformis* were studied. The results indicated that all the measured indices of three kinds of seedlings varied significantly after applying phosphorus fertilizer, and the degrees of improved drought resistance are in the order of *Platycladus orientalis* > *Pinus sylvestris* var. *mongolica* > *P. tabulaeformis*.

Key words: *Platycladus orientalis*; *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; *P. tabulaeformis*; drought resistance; phosphorus fertilizer application

在农业领域, 关于磷肥对农作物抗旱性影响的研究较多^[1-5]。在黄土高原地区, 采用“以肥调水”, 实行配方施肥或增施磷肥来提高农作物的抗旱性和产量, 取得显著成效。但在林业生产上, 这项研究报道很少, 对树木抗旱性的研究集中于树木自身的生理特征方面, 很少涉及外界因素对树木抗旱性的影响^[1, 6-8]。

通过人为控制磷肥用量, 选择不同的水分胁迫环境, 探讨磷营养对有机渗透调节物质的影响, 可为磷肥改善树木抗旱性的内在机理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 苗木 油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏

(*Platycladus orientalis*)、樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 均为 2 a 生容器苗木。油松种子采自陕西省洛南县油松母树林, 侧柏种子采自陕西乾县优良母树。樟子松为榆林种子园的种子培育的容器苗。

1.1.2 土壤 由当地垆土、砂及腐殖质土混合而成, 组成比例为 7:2:1。土壤混合后用 3% 的硫酸亚铁进行消毒, 每立方米土喷洒药液 12 kg。

1.1.3 肥料 所施磷肥为过磷酸钙。

1.2 试验设计

采用旱盆棚栽试验。栽植盆直径 20 ~ 25 cm, 高 15 ~ 18 cm, 每盆装土 3 kg。设置水分、磷两因子, 水分设 3 水平, 各水平土壤含水量分别控制在 130.0、90.0、60.0 g · kg⁻¹ 左右。磷肥施量设 4 个

水平,分别为 15、25、40 g·盆⁻¹和不施磷(对照)。

1.3 试验的田间配置

水、肥交叉处理,每树种 12 个处理,每个处理 6 盆(6 个重复),每盆均匀栽植苗木 5 株。

1.4 测定指标及方法^[9]

1.4.1 叶绿素含量 采用混合液法测定叶绿素含量。称取各处理树木叶片 0.100 0 g,剪成 0.5 cm 左右的小段,加入 10 mL 混合液(纯丙酮:无水乙醇:蒸馏水=4.5:4.5:1),浸提 1~2 d,待叶片变成白色,用 721 型分光光度计测 645 nm 和 663 nm 波长处的光密度值,根据 Arnon 公式计算叶绿素含量。

1.4.2 细胞质膜相对透性 称取样叶 0.500 0 g,用自来水冲洗干净,擦干叶面水分,剪碎、浸泡,用真空泵抽空 10 min。用 DDS-IIA 型电导仪测电导率值(L₁),后沸水杀死组织(5 min),再测一次电导率值(L₂)。

细胞膜相对透性(%) = $\frac{L_1}{L_2} \times 100$

1.4.3 含水量、束缚水/自由水 采用鲜重法及干重法,每一样叶称取 0.200 0 g 2 份,一份在 105℃下烘干至恒重,计算组织含水量。另一份加 60% 纯蔗糖溶液浸提 4~6 h,用阿贝折射仪测定蔗糖液的浓度,计算自由水、束缚水含量。

1.4.4 可溶性糖含量 用 100 × 10⁻⁶ 的蔗糖标准液配置 0 × 10⁻⁶、10 × 10⁻⁶、20 × 10⁻⁶、30 × 10⁻⁶、40 × 10⁻⁶、50 × 10⁻⁶ 的标准液,在浓硫酸脱水作用下,加入蒽酮-醋酸乙酯试剂,反应生成糖醛衍生物,测定光密度值,绘标准曲线。

称取各处理样品 0.500 0 g,依上述处理后测光密度值。由标准曲线查可溶性糖浓度,再计算糖含量。

可溶性糖(%) = $\frac{\text{测定液浓度}}{1\,000} \times \frac{\text{提取液总量}}{\text{样叶重(g)} \times 1\,000} \times 100$

1.4.5 游离脯氨酸含量 配置 100 × 10⁻⁶ 脯氨酸标准液,再用其配置 0 × 10⁻⁶、1 × 10⁻⁶、2 × 10⁻⁶、3 × 10⁻⁶、4 × 10⁻⁶、5 × 10⁻⁶、6 × 10⁻⁶ 的标准液,测光密度值,绘制标准曲线。

称取各处理样叶 0.500 0 g,用磺基水杨酸提取,提取液中加入酸性茚三酮和冰醋酸,加热冷却后加入甲苯,静置分层,吸取上层甲苯液,测光密度值,由标准曲线查脯氨酸浓度(X),按下式计算脯氨酸含量。

脯氨酸(%) = $\frac{X \times 5}{\text{样品鲜重(g)} \times 10^6} \times 100$

2 结果与分析

2.1 叶绿素含量

叶绿素的含量是重要的植物生理指标之一,直接参与植物的光合作用,在植物体内合成有机质,促进植物生长。

表 1 表明,不施加磷肥时,叶绿素 a/b 比值随土壤含水量降低而降低。当土壤含水量由 130.0 g·kg⁻¹ 降至 60.0 g·kg⁻¹ 时,叶绿素 a/b 值侧柏降低了 6%,油松降低了 15%,樟子松降低了 11%。

表 1 土壤水分和磷素营养对叶绿素含量的影响

Table 1 Soil moisture and phosphorus nutrition influence on the content of chlorophyll mg·g⁻¹

| 树种 | 磷水平 /g·盆 ⁻¹ | 土壤含水量/g·kg ⁻¹ | | | | | |
|-----|---------------------------|--------------------------|---------|---------------|---------|---------------|---------|
| | | 130.0 | | 90.0 | | 60.0 | |
| | | 叶绿素总量 | 叶绿素 a/b | 叶绿素总量 | 叶绿素 a/b | 叶绿素总量 | 叶绿素 a/b |
| 油松 | 0 | 1.096(100) | 2.597 | 1.141(100) | 2.426 | 1.171(100) | 2.190 |
| | 15 | 1.120(102.19) | 2.924 | 1.302(14.11) | 2.611 | 1.216(103.84) | 2.597 |
| | 25 | 0.969(88.41) | 3.203 | 0.747(65.47) | 2.831 | 1.063(90.87) | 2.890 |
| | 40 | 0.102(92.34) | 2.557 | 1.189(104.21) | 2.217 | 0.971(82.94) | 2.188 |
| 侧柏 | 0 | 1.031(100) | 3.071 | 1.163(100) | 3.106 | 1.151(100) | 2.894 |
| | 15 | 1.081(104.85) | 3.291 | 1.097(94.32) | 3.251 | 0.914(79.41) | 3.125 |
| | 25 | 0.981(95.15) | 3.086 | 1.232(105.93) | 3.063 | 0.834(72.46) | 2.941 |
| | 40 | 0.850(82.44) | 3.115 | 1.020(87.70) | 3.067 | 0.906(78.71) | 3.012 |
| 樟子松 | 0 | 1.054(100) | 3.068 | 1.108(100) | 3.093 | 0.958(100) | 2.717 |
| | 15 | 1.564(148.38) | 3.188 | 1.127(101.71) | 3.097 | 1.316(137.37) | 2.976 |
| | 25 | 0.794(75.33) | 2.971 | 1.051(94.86) | 2.081 | 0.815(85.07) | 2.760 |
| | 40 | 1.126(106.83) | 3.150 | 1.065(96.12) | 3.045 | 1.173(122.44) | 2.854 |

施加磷肥后,任一水分梯度下,油松和樟子松在施磷量为 15 g 时叶绿素含量比对照值高,60.0 g·

kg⁻¹ 的土壤含水量下,油松高 3.84%,樟子松高 37.37%,其他施磷水平叶绿素含量基本都呈降低趋

势。

同一水分梯度下,3 树种叶绿素 a/b 值在施磷以后多数比对照值增大,其中,油松在 25 g 施磷水平下增加最大,侧柏和樟子松均在 15 g 施磷水平下增加值最大。任一磷肥梯度下,随着水分胁迫程度增加,叶绿素 a/b 值均呈减少趋势,油松、樟子松在施磷量为 25 g 时叶绿素 a/b 值减少最少,油松减少 11%,樟子松减少 7%。

2.2 质膜透性

干旱缺水导致质膜透性遭受破坏而增大,引起大量电解质与非电解质外渗,因此,常将原生质膜透性大小作为植物细胞在逆境条件下受伤害程度的指标。

不施磷肥时,随水分胁迫程度增加,3 树种苗木质膜透性均增大,增加幅度约 11%(表 2)。

施加磷肥后,3 树种苗木质膜透性均较对照减少,油松减少 10% 左右,侧柏减少 40% 左右,樟子松减少 5% 左右,说明磷对提高侧柏抗旱能力作用最显著。在任一磷肥梯度下,随水分胁迫程度增加,质膜透性均增大,但增加幅度均比对照小。在施磷量为 25 g 时,3 树种苗木质膜透性值增加量最小。

表 2 土壤水分和磷素营养对质膜透性的影响

Table 2 Soil moisture and phosphorus nutrition's influence on the plasma membrane permeability %

| 树种 | 磷水平/ g · 盆 ⁻¹ | 土壤含水量/g · kg ⁻¹ | | |
|-----|-----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| | | 130.0 | 90.0 | 60.0 |
| 油松 | 0 | 40.0(100) | 45.0(100) | 46.1(100) |
| | 12 | 35.5(87.87) | 38.6(85.78) | 39.6(84.59) |
| | 25 | 36.8(91.09) | 37.5(83.33) | 39.6(85.90) |
| | 40 | 38.8(96.04) | 39.6(88.00) | 41.8(90.46) |
| 侧柏 | 0 | 34.2(100) | 38.5(100) | 38.3(100) |
| | 15 | 20.9(61.11) | 23.8(66.48) | 26.6(66.84) |
| | 25 | 22.1(64.62) | 23.6(65.92) | 24.1(62.92) |
| | 40 | 23.8(69.59) | 21.1(59.22) | 26.1(68.15) |
| 樟子松 | 0 | 38.1(100) | 38.5(100) | 42.2(100) |
| | 15 | 35.6(95.80) | 36.7(95.32) | 38.4(91.00) |
| | 25 | 36.5(95.80) | 36.6(95.04) | 38.9(92.18) |
| | 40 | 37.3(97.90) | 37.5(98.42) | 39.8(94.31) |

2.3 组织含水量和束/自比

束/自比值是反映植物代谢状况的重要生理指标,束缚水含量越高,植物代谢减弱,抗性增强。束缚水与自由水的比值测定表明(表 3),不施加磷肥时,随水分胁迫程度增加,3 树种苗木组织含水量先减少后升高,束缚水与自由水比值增加,其中油松增加 12.4%,侧柏增加 16.4%,樟子松增加 15.8%。施加磷肥后,任一磷肥梯度下,随水分胁迫程度的增加,束缚水与自由水比值均呈增大趋势。在施磷量

为 25 g 时,3 树种苗木束缚水/自由水增加值最大,其中油松增加了 43.4%,侧柏增加了 17.3%,樟子松增加 30.1%。

表 3 土壤水分和磷素营养对组织含水量的影响

Table 3 Soil moisture and phosphorus nutrition's influence on the water content of tissue %

| 树种 | 磷水平/ g · 盆 ⁻¹ | 土壤含水量/g · kg ⁻¹ | | | | | |
|-----|-----------------------------|----------------------------|------|-------|------|-------|------|
| | | 130.0 | | 90.0 | | 60.0 | |
| 油松 | 0 | 含水量 | 束/自 | 含水量 | 束/自 | 含水量 | 束/自 |
| | 15 | 63.55 | 1.05 | 62.90 | 1.10 | 62.80 | 1.18 |
| | 25 | 62.45 | 1.07 | 62.75 | 1.08 | 65.00 | 1.16 |
| | 40 | 61.35 | 1.15 | 62.55 | 1.23 | 61.80 | 1.65 |
| 侧柏 | 0 | 61.30 | 1.12 | 63.00 | 1.17 | 62.60 | 1.34 |
| | 0 | 72.15 | 1.10 | 70.12 | 1.12 | 73.15 | 1.28 |
| | 15 | 68.70 | 1.12 | 63.50 | 1.18 | 69.35 | 1.29 |
| | 25 | 68.30 | 1.15 | 61.50 | 1.30 | 63.20 | 1.35 |
| 樟子松 | 0 | 68.15 | 1.08 | 68.20 | 1.07 | 69.95 | 1.20 |
| | 0 | 66.65 | 1.01 | 62.30 | 1.11 | 64.00 | 1.17 |
| | 15 | 63.10 | 1.03 | 62.10 | 1.08 | 61.20 | 1.26 |
| | 25 | 60.00 | 1.06 | 60.15 | 1.21 | 60.30 | 1.38 |
| | 40 | 61.60 | 1.04 | 62.30 | 1.09 | 63.30 | 1.21 |

2.4 可溶性糖含量

干旱条件下,植物通过渗透调节作用,体内积累一些物质,细胞渗透势下降,植物可从外界持续吸水,维持细胞膨压,使体内各种代谢正常进行。渗透调节是抗旱植物的一种重要机制,其中,可溶性糖含量是主要的渗透调节物质,所以,植物组织中可溶性糖含量可以作为评价植物抗旱性的一个指标。

由表 4 可以看出,无论施加磷肥与否,随着水分胁迫的增加,3 种苗木可溶性糖含量均呈增加趋势,

表 4 土壤水分和磷素营养对可溶性糖含量的影响

Table 4 Soil moisture and phosphorus nutrition's influence on the content of soluble sugar mg · g⁻¹

| 树种 | 磷水平/ g · 盆 ⁻¹ | 土壤含水量/g · kg ⁻¹ | | |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| | | 130.0 | 90.0 | 60.0 |
| 油松 | 0 | 29.292(100) | 33.902(100) | 34.948(100) |
| | 15 | 29.312(100.1) | 33.272(98.1) | 36.310(103.9) |
| | 25 | 29.298(100.0) | 35.366(104.3) | 36.508(104.5) |
| | 40 | 28.664(97.9) | 33.158(97.8) | 35.366(104.1) |
| 侧柏 | 0 | 31.586(100) | 32.528(100) | 35.194(100) |
| | 15 | 31.396(100.0) | 31.376(97.1) | 35.576(101.1) |
| | 25 | 32.374(103.2) | 35.224(108.3) | 38.090(108.2) |
| | 40 | 30.758(98.0) | 32.292(99.3) | 35.528(100.9) |
| 樟子松 | 0 | 28.454(100) | 32.016(100) | 32.90(100) |
| | 15 | 29.616(104.1) | 30.454(95.1) | 35.690(108.5) |
| | 25 | 28.764(101.7) | 32.874(102.7) | 34.946(106.2) |
| | 40 | 28.150(98.9) | 29.568(92.4) | 32.644(94.2) |

不施加磷肥时,油松增加了 19.3%,侧柏增加了 12.1%,樟子松增加了 15.6%。施加磷肥后,可溶性糖比对照都有不同程度的升高,但以 25 g 施肥量

增加幅度最大。油松增加了 24.6%,侧柏增加了 17.7%,樟子松增加了 23.7%。

2.5 脯氨酸含量

大量研究表明,水分胁迫下,脯氨酸含量有明显的增加,脯氨酸的积累,具有重要的生理作用,它可作为渗透调节物质,起渗透调节作用,可综合较多水分而减少散失,也可作为干旱条件下的植物氮源的贮藏方式^[10]。因此脯氨酸的累积程度,可作为测定植物干旱程度的独立参数。

从表 5 可以看出,不施加磷肥时,随水分胁迫程度增加,3 种苗木脯氨酸含量均增大,油松增加 69.0%,侧柏增加了 43.3%,樟子松增加了 38.7%。

施加磷肥后,任一磷肥梯度下,随水分胁迫程度增加,脯氨酸含量增大。尤其在施磷量为 25 g 时,增加值最大,油松增加了 166.7%,侧柏增加了 37.2%,樟子松增加了 54.7%。

表 5 土壤水分和磷素营养对脯氨酸含量的影响

Table 5 Soil moisture and phosphorus nutrition's influence on the content of proline mg · g⁻¹

| 树种 | 磷水平/ g · 盆 ⁻¹ | 土壤含水量/g · kg ⁻¹ | | |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|
| | | 130.0 | 90.0 | 60.0 |
| 油松 | 万方数据 | 8.52(100.00) | 11.93(100.00) | 14.40(100.00) |
| | 15 | 8.53(100.01) | 13.20(110.65) | 21.37(148.40) |
| | 25 | 8.74(102.58) | 19.02(156.44) | 23.31(161.88) |
| | 40 | 15.50(181.92) | 21.46(179.88) | 24.10(167.36) |
| 侧柏 | 0 | 41.37(100.00) | 32.70(100.00) | 59.28(100.00) |
| | 15 | 55.30(133.67) | 56.35(172.32) | 69.10(116.56) |
| | 25 | 53.71(129.83) | 65.31(199.72) | 73.67(124.27) |
| | 40 | 51.32(124.05) | 71.29(218.01) | 73.51(124.00) |
| 樟子松 | 0 | 21.84(100.00) | 23.50(100.00) | 30.30(100.00) |
| | 15 | 21.46(99.98) | 24.45(104.04) | 27.44(90.56) |
| | 25 | 23.53(109.54) | 27.41(116.64) | 36.39(120.10) |
| | 40 | 23.45(109.17) | 25.44(108.25) | 30.42(100.39) |

3 结论与讨论

研究表明,施加磷肥,能有效提高树木对干旱的抵抗力,这主要是由于水分亏缺时,土壤中磷元素不易进入植物体内,造成植物缺磷,此时,适当施加磷肥,能补充植物生长所需要的磷营养,从而增强树木在干旱逆境下的生存能力。

磷元素作为植物的细胞膜的重要组成成分,决定着细胞膜的稳定性。干旱情况下施加磷肥,能减少原生质膜受伤害的程度,由分析知,侧柏最小,油松最大,樟子松居中。3 个树种抗旱性强弱为侧柏

> 樟子松 > 油松。

施磷能提高叶片对光能的利用,尤其在干旱条件下,施磷能降低叶绿素 a 的分解速度,3 个树种相比较,施磷后,侧柏叶绿素 a/b 值减少最少,油松最大,樟子松居中。

干旱情况下,3 个树种中,油松、樟子松束缚水的增加值均较侧柏的大,但并不能据此说明油松、樟子松的抗旱性比侧柏强。因为侧柏是低水势下忍耐脱水树种,通过大幅度降低水势来提高对水分的吸收能力,干旱时原生质脱水严重受到胁迫较轻。油松和樟子松是高水势延迟脱水树种,在干旱胁迫时,通过延迟脱水,避免原生质失水过多,抵抗干旱侵害。

磷作为植物体内的一种重要的活性物质,能促进原生质合成和原生质胶体水合度,提高渗透调节能力。施磷后,侧柏可调节物质(可溶性糖、脯氨酸)含量明显高于樟子松和油松。

以上结论都是在合适施磷量基础上得出的,最终确定的合理施磷量是 15 ~ 25 g/盆,在该范围内施加磷肥对 3 种苗木抗旱性的提高幅度依次为侧柏 > 樟子松 > 油松。

参考文献:

[1] 曲东,王葆莉,汪沛洪,等. 渗透胁迫下磷对玉米叶片有机渗透调节物质的影响[J]. 干旱地区农业研究,1996,14(2):72-77.

[2] 张岁歧,山仑. 土壤干旱条件下磷素营养对春小麦水分状况和光合作用的影响[J]. 西北植物学报,1997,17(1):20-27.

[3] 李立科. 磷对渭北旱塬小麦抗旱性增产的作用[J]. 陕西农业科学,1982(5):7-9.

[4] 梁银丽. 土壤水分和氮营养对小麦根系生长及水分利用的调节[J]. 生态学报,1996,16(2):24.

[5] 李锦树. 干旱对玉米叶片细胞透性及膜脂的影响[J]. 植物生理学报,1983,9(3):51-56

[6] 胡新一,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.

[7] 郭连生,田有亮. 对几种针阔叶树耐旱性生理指标的研究[J]. 林业科学,1989,25(5):71-78.

[8] 李嘉瑞,任小林,王民柱,等. 干旱对果树光合的影响及水分胁迫信息传递[J]. 干旱地区农业研究,1996,14(3):68-72.

[9] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司,2000.

[10] 刘家琼. 我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物脯氨酸的累积光合呼吸和叶绿素含量[J]. 植物学报,1988,30(1):85-95.