

土壤基质和水分对珙桐幼苗生长的影响

姜瑞芳,刘艳红*

(北京林业大学,北京 100083)

摘要:珙桐是我国的一级濒危保护植物,探讨其迁地保护的生态限制因子尤为重要。以2年生珙桐为研究对象,采用盆栽试验在3种土壤基质下,设置3种水分梯度,分别为田间持水量的80%~90%、60%~70%以及40%~50%。研究珙桐幼苗株高、地径、根系和叶片氮、磷含量对土壤水分的响应,以及在不同土壤水分下珙桐幼苗的生物量分配特征。结果表明,不同水分处理对珙桐幼苗的株高、地径均有影响,干旱处理后期珙桐幼苗的株高及地径增量显著下降;水分胁迫降低了叶片的生物量,增加了根系的生物量和根冠比;随水分含量减少,叶片及根系氮含量呈上升趋势;土壤基质对幼苗的株高、地径增量及净光合速率的影响差异不显著。说明珙桐幼苗对干旱胁迫较为敏感,且耐旱能力较差,土壤基质的适应范围较广。

关键词:珙桐;土壤水分;土壤基质;生物量分配;叶片氮、磷

中图分类号:S718.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)04-0134-06

Effects of Soil Matrix and Moisture on the Growth of *Davidia involucrata* Seedlings

JIANG Rui-fang, LIU Yan-hong*

(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: *Davidia involucrata* is a rare and endangered plant species and has been listed as the first degree national protective plant. It is significant to find out the ecological limiting factors for the off-site preservation of *D. involucrata*. A pot experiment method was used to study the effects of soil moisture and soil matrix on 2-year-old *D. involucrata* seedlings. The results suggested that, the plant height and ground diameter dropped significantly at the end of drought processing. Water stress decreased the leaf biomass, and increased the root biomass and root cap ratio. Leaf nitrogen and root nitrogen contents presented a modest increase trend with the decrease of soil water. The effects of soil matrix on the seedling height and P_n was not significant. The results above mentioned indicated that *D. involucrata* seedlings was sensitive to drought stress, its drought resistance was relatively poor, and seedlings had a wide adaptation range of soil matrixes.

Key words: *Davidia involucrata* Baill; soil moisture; soil matrix; biomass allocation; leaf nitrogen and phosphorus content

珙桐(*Davidia involucrata*)是我国特有的珙桐科单型属珍稀植物,有“活化石”之称^[1],主要分布于四川、湖南、湖北、贵州和云南^[2]。珙桐是我国出口创汇的重要树种之一,是重要的园林观赏树种^[3]。但近些年来,由于自然及人为环境因素的影响,野生

珙桐的数目持续下降,因此保护珙桐这一珍稀濒危物种已成当务之急^[4]。为了对珙桐进行更好的保护,自20世纪70年代末开始,我国开始对珙桐进行规模性的引种栽培,现已有北京园林局西郊苗圃等单位在北京地区引种珙桐^[5]。

收稿日期:2015-10-14 修回日期:2015-11-08

基金项目:北京市共建重点学科项目“生态学”(201401)。

作者简介:姜瑞芳,女,硕士研究生,研究方向:生物多样性保护方面。E-mail:ecojrf@163.com

*通信作者:刘艳红,女,教授,博士生导师,研究方向:森林生态学,生物多样性保护。E-mail:liuyh@bjfu.edu.cn

水分是植物生长发育必需的环境因子,影响植物的分布。植物生长过程对缺水最为敏感,轻微的水分胁迫就能使生长缓慢或停止^[6]。已有研究表明,珙桐引种成活的关键在于越夏,干旱处理会降低珙桐幼苗的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)等^[7],所以高温和干旱可能是珙桐引种的限制因子^[8]。另外,土壤基质及其相关物理化学、生物学特性与植物生长有密切的关系,土壤中的营养元素和水分供应状况,是影响植物生产力的重要因素。珙桐原分布区的土壤多为山地黄壤和山地黄棕壤,若将珙桐北迁,土壤水分和土壤基质类型都必然是重要的生态限制因子。然而目前很少有研究关注珙桐幼苗对土壤基质和土壤水分的响应。本研究通过测定不同土壤基质下珙桐幼苗叶片及根系对土壤水分的响应,了解珙桐幼苗在逆境下对水分及养分的利用,探讨珙桐幼苗在北京地区生长驯化的可行性,为珙桐的迁地保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在北京林业大学气象站进行,北京地处暖温带半湿润地区,气候受蒙古高压的影响,属大陆性季风气候。北京四季分明,春季多风,夏季多雨,秋季晴朗温和,冬季干燥,年平均气温 10~12℃,年降水量 644 mm,全季节分配很不均匀,全年降水的 80%都集中在夏季 6、7、8 月。

1.2 材料与试验设计

以来自湖南长沙、生长状况基本一致的 2 年生珙桐幼苗为材料,2014 年 3 月中旬将 2 年生珙桐幼苗移栽到口径 23 cm、深 21 cm 的塑料花盆中,每盆

栽种 1 株苗,每盆装 2.5 kg 土。将试验材料分为 3 组,这 3 组土壤分别为湖南长沙的苗圃土(H)、北京的潮褐土(B)以及江苏宜兴的黄壤(J)。3 种土壤基质理化性质如表 1。试验前充分供水,待叶片长出后每 2 d 浇 1 次水。

缓苗 1 个月后,5 月底选取长势一致的 2 年生珙桐幼苗进行控水试验。本试验采用正交试验设计,按照土壤水分含量占田间持水量的比例设置 3 个水分梯度,分别为田间持水量的 80%~90%(T1,湿润)、60%~70%(T2,轻度干旱)以及 40%~50%(T3,干旱),每种水分梯度有 3 种土壤基质,分别为苗圃土(H)、潮褐土(B)以及黄壤(J)。共 9 个不同处理方法,分别为 HT1、HT2、HT3、BT1、BT2、BT3、JT1、JT2 和 JT3,每种处理方法有 12 个重复,共 108 盆样本。水分控制采用整盆称重法^[9],每天傍晚补充水分,补充至水分梯度的上限。本研究以 12 d 为 1 个处理周期,共进行 4 个处理周期,总共 48 d。自 2014 年 5 月 28 日开始,分别于处理第 0 d(5 月 28 日)、第 12 d(6 月 9 日)、第 24 d(6 月 21 日)、第 36 d(7 月 3 日)和第 48 d(7 月 15 日)进行相关指标的测定。试验过程中,为防止自然降雨的影响,下雨时,将塑料拱棚棚膜放下以阻挡雨水浸入。

1.3 测定方法

株高和地径:分别于 2014 年 5 月 28 日、6 月 9 日、6 月 21 日、7 月 3 日及 7 月 15 日测量苗木的株高、地径。具体方法为:每个处理水平随机选取 6 盆幼苗,分别用卷尺和游标卡尺测定其株高及地径,于第 1 次测定时用记号笔进行标记,以确保之后每次测定的幼苗为同一株。

表 1 3 种土壤基质的基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of the three soil matrixes

土壤基质	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	pH 值	最大质量 含水量/%	土壤容重 /(g·cm ⁻³)	孔隙度 /%
苗圃土	23.48±2.45	3.44±0.88	0.33±0.01	7.04±0.12	33.63±2.55	1.08±0.09	59.25±9.82
潮褐土	14.48±1.22	4.06±0.94	0.51±0.55	8.16±0.33	31.44±4.56	0.91±0.04	65.67±4.54
黄壤	28.76±3.05	3.11±0.54	0.58±0.30	6.38±0.05	31.97±1.12	1.03±0.10	61.13±3.66

光合指标测定:于 2014 年 6 月 9 日 8:00—11:30 采用美国 Li-Cor 公司生产的 Li-6400 便携式光合作用测定系统测定珙桐幼苗的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)以及蒸腾速率(T_r)等并计算气孔限制值(L_s),每个处理测定 3 盆幼苗,测量幼苗中上部发育健康的叶片,每盆测定 3~5 片叶。测定条件:叶室温度控制在 20~25℃,光照强度为 600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,CO₂ 浓度为 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,流速为 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ 。测定公式为:

$$L_s=1-C_i/C_a \tag{1}$$

式中: L_s 为气孔限制值, C_i 为胞间 CO₂ 浓度, C_a 代表气室中 CO₂ 浓度为 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

$$WUE=P_n/T_r \tag{2}$$

其中, WUE 为水分利用效率, P_n 为净光合速率, T_r 为蒸腾速率。

生物量及叶片氮、磷含量的测定:试验末期(7 月 15 日)每个处理随机选取 6 盆幼苗,采用全收获法测定苗木的总生物量以及根、茎、叶生物量。在 75℃下将根茎叶烘至恒重后称重生物量,分别计算

其根冠比、叶茎比、根茎比;再选取 6 盆幼苗,采摘 35~45 片成熟且健康完好的叶片,并将根系全部取出,一并置于烘箱烘干,用植物样品粉碎机粉碎,并通过 0.5 mm 筛孔,装入自封袋中备用。叶片(根系)全氮的测定采用凯氏定氮法,叶片(根系)全磷的测定采用钼锑抗比色法。

1.4 数据处理

用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件进行数据处理和统计并制作图表。

2 结果与分析

2.1 株高、地径随水分梯度的变化

不同水分梯度下珙桐幼苗生长和形态特征存在明显不同的变化。总体来看,随着水分胁迫时间的

延长,受胁迫的珙桐幼苗株高和地径增量不断减小,虽然 3 种土壤基质珙桐幼苗生长均受到不同程度的抑制,但不同土壤基质下株高及地径增量的减小幅度不同(图 1)。图 1a、c、e 分别表示苗圃土、潮褐土以及黄壤中株高随水分梯度的变化情况。可以发现,株高增量大小均为 T1>T2>T3,图 1a 中 T1 处理的珙桐株高在整个试验阶段增加了 12.33 cm,分别是 T2 和 T3 的 1.42 和 1.94 倍;图 1c 中 T1 处理的珙桐株高增长了 9.33 cm,是 T2 和 T3 处理的 1.42 和 1.95 倍;图 1e 中 T1 处理的珙桐株高增长了 9.67 cm,是 T2 和 T3 处理的 1.47 和 1.99 倍。图 1b、d、f 分别表示苗圃土、潮褐土以及黄壤中地径随水分梯度的变化情况。图 1b 中地茎增量为 0.276 cm,是 T2 和 T3 的 1.64 和 2.39 倍。图 1d 中,T1

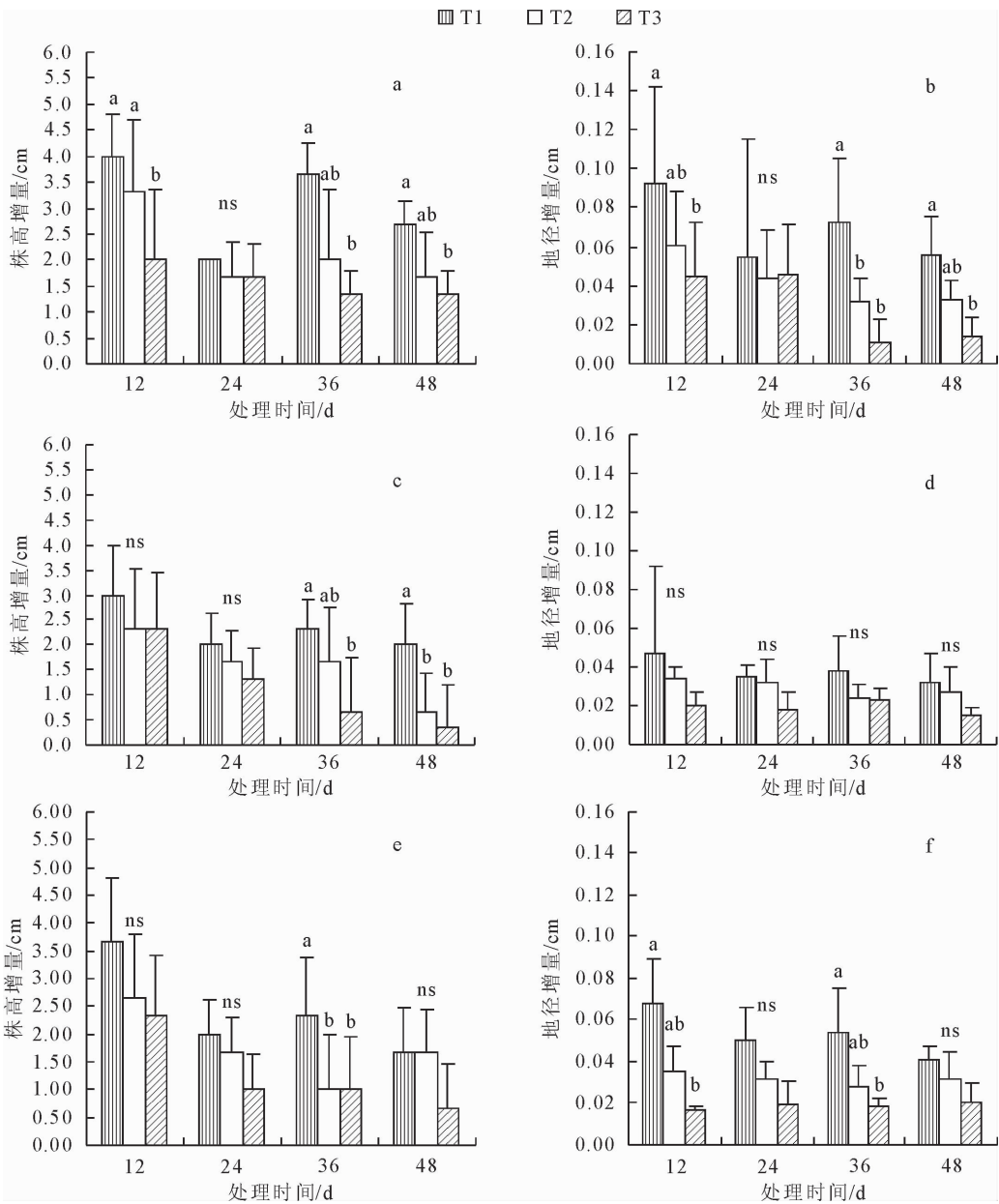


图 1 珙桐幼苗的株高及地径增量随土壤水分的变化

Fig. 1 *D. involucrata* seedling height and diameter variations with soil moisture

处理的珙桐地径增量为 0.15 cm,是 T2 和 T3 的 1.3和 2.01 倍。图 1e 中 T1 处理的珙桐地径增量为 0.214 cm,是 T2 和 T3 的 1.69 和 2.84 倍。相同的水分处理下,3 种土壤基质呈现的株高和地径增长结果不同。由此可见,土壤水分和土壤基质共同限制珙桐幼苗株高及地径的生长。

2.2 珙桐幼苗光合特征随水分的变化

珙桐叶片光合速率(P_n)随水分变化表现出随水分减少而降低的规律,在土壤相对含水量在 80%~90%范围内 P_n 达到最大(表 2)。蒸腾速率(T_r)、

气孔导度(G_s)及胞间 CO_2 浓度(C_i)在不同土壤基质中随水分变化情况各不相同:在苗圃土中, T_r 、 G_s 和 C_i 均随土壤水分含量减少而下降, L_s 随土壤水分含量减少而上升。在黄壤中的趋势与苗圃土中相反,在潮褐土中未表现出明显规律。相同水分处理时, P_n 在潮褐土中最大,其次是苗圃土,黄壤中最小,且净光合速率在 3 种土壤基质中差异不显著($p>0.05$);T1、T2 水平下,土壤基质对 T_r 、 G_s 及 C_i 有显著影响($p<0.05$)。

表 2 不同处理对珙桐幼苗光合特征的影响

Table 2 Effects of different treatments on photosynthetic characters of *D. involucrate* seedlings

处理	净光合速率 $P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 $G_s/(\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 $C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	气孔限制值 L_s	水分利用效率 WUE
HT1	4.19±0.40a	1.11±0.26a*	0.07±0.02a*	304.52±28.81a*	0.28±0.03	3.78±0.83
HT2	2.98±0.52 ab	0.81±0.18a	0.05±0.01ab	288.61±51.35a*	0.32±0.05	3.68±0.57
HT3	2.70±1.38 b	0.78±0.24a	0.03±0.01b	254.45±4.16a	0.39±0.09	3.46±0.61
BT1	4.47±0.32a	1.68±0.22a*	0.03±0.01a*	145.13±80.57a*	0.64±0.01	2.66±0.59
BT2	3.68±0.46b	1.12±0.49a	0.03±0.01a	144.00±68.43a*	0.65±0.03	3.29±0.24
BT3	3.65±0.14bc	1.91±1.11a	0.04±0.01a	160.15±122.88a	0.61±0.09	1.91±0.03
JT1	3.60±0.78a	1.03±0.23a*	0.02±0.00a*	162.86±37.37a*	0.61±0.01	3.50±0.28
JT2	3.22±0.32a	1.21±0.01a	0.03±0.57a	174.93±105.82a	0.58±0.04	2.66±0.68
JT3	2.89±0.84a	1.42±0.01a	0.04±0.43a	239.62±84.98a	0.40±0.05	2.04±0.11

注:表中数值为平均值±标准差;不同字母表示同一土壤基质间不同水分处理差异显著($p<0.05$),相同字母表示差异不显著($p>0.05$);*表示同一水分处理下不同土壤基质间差异显著($p<0.05$)。下同。

2.3 不同水分处理珙桐幼苗生物量分配特征

不同土壤水分处理对 3 种土壤基质下的珙桐幼苗生物量分配比例的影响不同。不同水分状态的植株,地上部分的生物量始终高于地下生物量,幼苗根系生物量随水分减少仅呈现缓慢上升趋势;H 中 T2 和 T3 水平下根系生物量分配比例较 T1 分别高出 1.7%和 7.5%;T3 水平下茎生物量分配比例较

T1 高 2.1%,而叶生物量低 14.8%(表 3)。B 中 T2 和 T3 水平下根系生物量分配比例较 T1 分别高出 5.3%和 3.9%,茎生物量分配比例高 0.2%和 3.9%,叶生物量分配比例低 9.9%和 15.3%。J 中 3 种水分处理下各器官生物量并没有规律的变化。3 种土壤基质下,生物量在各器官的分配比顺序均为:茎>根>叶。

表 3 不同水分梯度及土壤基质下各器官干重占总生物量的百分比

Table 3 Percentage of dry weight of individual organ in total dry weight in different water gradients and soil matrixes

%

处理	总生物量	根	茎	叶	根冠比	叶茎比	根茎比
HT1	100	29.24±3.05a	48.48±2.09a	22.28±5.12a	41.31±6.10a	45.96±1.24a	60.20±3.75a
HT2	100	29.75±2.45a	47.70±2.88a	22.55±5.02a	42.34±4.98a	47.28±1.27a	62.36±3.33a
HT3	100	31.48±2.29a	49.52±0.49a	19.00±1.83a	45.94±4.95a	38.36±3.37a	63.43±5.25a
BT1	100	35.76±2.78a	43.88±3.05a	20.36±0.38a	55.76±1.26a	46.29±3.85a	81.49±11.9a
BT2	100	37.72±4.86a	43.94±1.11a	18.34±3.95a	59.21±1.74a	41.72±8.20a	81.69±1.89a
BT3	100	37.19±6.79a	45.57±3.60a	17.24±3.40a	59.26±6.75a	37.81±4.88a	77.46±2.71a
JT1	100	35.56±4.23a	46.05±5.16a	18.39±5.25a	55.19±1.05a	39.93±1.43a	77.23±14.09a
JT2	100	35.29±1.63a	50.11±1.21a	14.52±1.11a	48.04±3.89a	28.98±2.31a	70.41±4.71a
JT3	100	37.97±2.79a	42.85±7.81	19.18±5.02a	61.21±7.15a	44.78±1.93a	88.81±21.00a

比较 3 种土壤基质下珙桐幼苗在不同水分处理下根冠比的变化,可以发现,随着水分处理间隔时间的延长,珙桐幼苗的根冠比基本呈上升趋势,但差异并不显著($p>0.05$)。其中,在 H 中 T2 和 T3 的根冠比分别较 T1 高 2.5%和 11.2%,B 中 T2 和 T3 的根冠比分别较 T1 高 8.8%和 6.4%,J 中 T3 根冠

比较 T1 高 10.9%(表 3)。叶茎比和根茎比在 3 种土壤中呈现的趋势大致相同:随着土壤水分的减少,叶茎比呈下降趋势,根茎比呈上升趋势,但在不同土壤类型中变化趋势不同。总的来看,苗圃土中叶生物量占总生物量的比例最高,而潮褐土中根生物量占总生物量的比例最高。

2.4 叶片及根系氮、磷含量随土壤水分的变化

绿叶养分浓度可以反映植物的养分保持能力^[10]。在 3 种土壤基质下,叶片氮浓度大体上都是随水分的减少而增加,即 T3>T2>T1,但差异不显著($p>0.05$),只有在 H 中 T3 显著>T1($p<0.05$)。叶片磷含量在不同土壤类型中变化趋势不同,在 H 中幼苗叶片磷含量随水分减少而增大,即 T3>T2>T1,在 B 中是 T2>T3>T1,在 J 中则是 T3>T1>T2(表 4)。比较叶片和根系氮磷的变化情况,可以发现根系的氮、磷含量与叶片氮磷含量变

化趋势基本一致,且根系氮磷含量明显低于叶片。T1 水平下,潮褐土叶片氮含量、根系磷含量显著低于黄壤($p<0.05$);T2 水平下,潮褐土叶片氮含量显著低于苗圃土,根系氮含量、磷含量显著低于黄壤($p<0.05$);T3 水平下,潮褐土叶片氮含量显著低于苗圃土,苗圃土叶片磷含量显著低于黄壤($p<0.05$)。研究表明,植物鲜叶 N/P<14,且氮浓度<20 mg·g⁻¹,受氮限制^[11]。从表 4 可以得知,在本试验中,珙桐幼苗叶片氮、磷浓度集中在受氮限制的范围

表 4 叶片及根系氮、磷含量随土壤水分的变化
Table 4 Leaf and root nitrogen,phosphorus content variations with soil moisture

处理	叶 N 含量	叶 P 含量	根系 N 含量	根系 P 含量	叶 N/P
HT1	1.92±0.17b	0.18±0.04a*	1.17±0.17a	0.21±0.03a	10.25±1.37
HT2	2.04±0.20b*	0.23±0.04a	1.21±0.14a	0.22±0.02a	8.81±1.74
HT3	2.22±0.18a*	0.24±0.04a	1.37±0.16a	0.23±0.02a	9.48±1.58
BT1	1.70±0.11a*	0.31±0.02a	1.12±0.08a	0.19±0.04a*	5.40±0.45
BT2	1.80±0.15a*	0.33±0.03a	1.09±0.06a*	0.19±0.06a*	5.36±0.90
BT3	1.80±0.22a*	0.32±0.05a	1.19±0.16a	0.21±0.05a	5.52±1.37
JT1	2.00±0.17a*	0.46±0.24a*	1.26±0.19a	0.26±0.05a*	4.30±0.55
JT2	2.02±0.03a	0.41±0.26a	1.39±0.14a*	0.27±0.05a*	4.95±1.05
JT3	2.05±0.16a	0.47±0.24a*	1.18±0.12a	0.27±0.09a	4.30±0.09

3 结论与讨论

水分胁迫影响植物的生长,主要是因为抑制了叶片的光合作用,受水分胁迫的珙桐幼苗净光合速率显著降低,与王昕^[12]等研究结果一致。通常影响植物光合作用的因素可分为气孔因素和非气孔因素,光合速率下降伴随着 C_i 降低和 L_s 升高时,可认为光合速率的下降主要是受气孔限制所致;反之则认为是非气孔因素所致^[13]。本研究表明,在苗圃土中,T_r、G_s 和 C_i 均随土壤水分含量减少而下降,L_s 随土壤水分含量减少而上升。在黄壤中的趋势与苗圃土中相反,在潮褐土中未表现出明显规律。所以,在苗圃土中,当土壤相对含水量<80%时,光合抑制是因为气孔限制所致;在黄壤土中,土壤相对含水量<80%时,叶肉细胞光合活性已经开始下降,叶片光合机构受到伤害,光合速率减弱;而在潮褐土中,轻度干旱时气孔部分关闭,在干旱胁迫时叶肉细胞光合活性减弱,进而导致光合速率下降。比较不同水分梯度的水分利用效率(WUE),可以发现,轻度或重度干旱胁迫下,珙桐幼苗的水分利用效率(WUE)并没有升高,反而呈下降趋势,而高 WUE 被认为是植物在干旱或半干旱环境中良好生长的一个重要特征^[14]。大量试验表明,水分利用效率高的植物抗旱能力强,由此也可得知,珙桐幼苗对干旱的适应能力较弱。

水分胁迫限制了珙桐幼苗的株高、地径,减缓了幼苗的生长速率,降低了比叶面积,改变了各器官的生物量分配比例。受胁迫的珙桐幼苗株高、地径增量明显低于对照,主要是因为水分受限后,幼苗叶片光合作用减弱,光合产物累积量减少,进而抑制了幼苗的生长^[15-16]。在试验初期,各处理株高增长差异不显著,说明珙桐对短暂的缺水有较好的适应性,但随着试验时间的延长,珙桐对持续干旱适应性减弱。生物量的分配则反映了植物各个器官在水分亏缺环境下对水分的利用情况^[17-18]。本研究发现,随着水分含量的减少,珙桐幼苗叶生物量占总生物量的比例呈下降趋势,根系生物量则大体呈上升趋势($p>0.05$)。大量研究表明,植物受水分胁迫时,光合产物会更多地分配到根系以促进根系吸水^[19-21],维持植物正常新陈代谢。进一步分析根冠比的变化规律,发现根冠比随着胁迫程度增加呈上升趋势($p>0.05$),这一结果与徐飞^[22]等对刺槐、吕海亮^[23]等对蒙古栎的研究结果一致,但徐飞等试验结果中,在不同的水分供应水平下,刺槐幼苗生物量积累和分配均表现出明显差异,受水分胁迫的幼苗根冠比更是显著增大,以保证幼苗正常生长,所以相较于刺槐,珙桐的耐旱能力要弱得多,已有研究表明,珙桐幼苗极其不耐干旱^[7]。植物组织中的养分含量与养分累积量能够反映植物的营养状况,与养分的供应浓度有着直接关

系^[24], 本研究表明, 水分胁迫增加了叶片和根系的氮含量($p>0.05$), 叶片及根系的磷含量没有一致的变化。叶片氮含量随土壤水分的减少呈现小幅度上升趋势, 说明在一定范围内, 氮元素的利用率升高。可能是因为受水分胁迫的珙桐为了维持正常的光合作用, 将更多的氮元素分配到了新叶, 这是珙桐对于水分及养分贫瘠的适应策略。研究发现, 一般生长在较干旱地区的植物叶氮、磷浓度较高^[25-26], 但李伏生^[27]等对春小麦的研究发现, 水分不足会明显降低作物对氮素的吸收, 而且 Kost 和 Boemer^[28]对不同土壤湿度下多花菜木的养分利用效率进行研究, 发现氮素利用效率在最湿的样地中最高, 但是这方面研究并不全面, 这一结论还有待进一步证实。珙桐幼苗叶片氮、磷浓度集中在受氮限制范围内, 所以在幼苗阶段, 可以选择适当控制氮肥, 来提高珙桐抗旱能力。

同一水分水平下, 土壤基质间珙桐幼苗的净光合速率没有显著差异, 而充分供水和轻度干旱时, 土壤基质对珙桐幼苗的蒸腾速率、气孔导度及胞间 CO_2 浓度的影响作用显著, 说明在充分供水和轻度干旱时, 土壤养分对珙桐幼苗光合的制约作用 $>$ 水分。对比表 1 和表 4, 可以发现潮褐土中全氮、全磷含量均高于苗圃土和黄壤, 但潮褐土珙桐幼苗叶片和根系中氮、磷含量显著低于苗圃土和黄壤($p<0.05$), 同时, 潮褐土幼苗株高、地径增量也低于苗圃土和黄壤($p>0.05$), 出现这种差异可能与土壤基质的结构有关, 因为植物的生长表现与所处土壤基质的透气性、保水性和养分含量等因素密切相关。土壤结构差异会造成土壤保水和保肥的差异, 而植物通过根系吸收土壤中的养分和水分, 保肥能力越差, 植物养分利用效率就越低, 进而影响植株的株高、地径及干物质含量等^[29]。从表 1 可以看出, 潮褐土的孔隙度高于苗圃土和黄壤, 说明潮褐土保水性相对差一些。此外, 大量研究表明, 土壤 pH 影响植物形态和生长发育^[30], 比较 3 种土壤基质的 pH 值, 可以发现潮褐土偏碱性, 而已有研究表明, 珙桐更适宜在中性或微酸性土壤中生长^[31]。由于 3 种土壤基质珙桐幼苗株高、地径、净光合速率及生物量差异不显著, 所以可认为珙桐幼苗对土壤基质的适应范围较广, 也为珙桐北迁提供了可能性。

珙桐原生地空气湿度大, 雨量充沛, 而北京地区春、冬季干冷多风, 根据北京园林局西郊苗圃的引种经验, 珙桐对于干热风适应性较差, 常因干热风造成落叶枯枝, 以至苗木死亡。但也有研究表明, 珙桐对气温、土壤、降水和大气湿度等的适应性较强, 具有很大的驯化潜力^[31]。本研究表明, 珙桐幼苗对持续干

旱的适应性较差, 不宜生长在低于土壤田间持水量 60% 的水分环境, 幼苗对土壤基质的适应能力较好。所以今后的研究可以进一步深入到空气湿度对珙桐幼苗的影响, 将土壤水分和大气湿度相结合, 探讨珙桐对于干热气候的适应性及驯化的可行性。

参考文献:

[1] 陈艳, 苏智先. 中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5466-5474.
CHEN Y, SU Z X. Research on the protection of *Davidia involu-crata* populations, a rare and endangered plant endemic to China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5466-5474. (in Chinese)

[2] 禹玉婷, 徐刚标, 汪晓萍. 珙桐研究进展[J]. 经济林研究, 2006, 24(4): 92-94.
YU Y T, XU G B, WANG X P. Literature review of researches on *Davidia involucrate* Baill [J]. Nonwood Forest Research, 2006, 24(4): 92-94. (in Chinese)

[3] 胡进耀, 苏智先, 黎云祥. 珙桐生物学研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2003, 22(4): 15-19.

[4] 刘海洋, 金晓玲, 沈守云, 等. 湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7738-7746.

[5] 张家勋, 李俊清. 珙桐的天然分布和人共同引种分析[J]. 北京林业大学学报, 1995, 17(1): 25-30.
ZHANG J X, LI J Q. Natural distribution analysis and artificial introduction of *Davidia involucrate* Baill [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1995, 17(1): 25-30. (in Chinese)

[6] 安玉艳, 梁宗. 植物应对干旱胁迫的阶段性策略[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2907-2915.
AN Y Y, LIANG Z. Staged strategy of plants in response to drought stress [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(10): 2907-2915. (in Chinese)

[7] 王宁宁, 胡增辉, 沈应柏. 珙桐苗木叶片光合特性对土壤干旱胁迫的响应[J]. 西北植物学报, 2011, 31(1): 101-108.
WANG N N, HU Z H, SHEN Y B. Photosynthetic characteristics of *Davidia involucrate* Baill. seedlings under soil drought stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(1): 101-108. (in Chinese)

[8] 王献溥, 李俊清, 张家勋. 珙桐的生物生态学特性和栽培技术[J]. 广西植物, 1995, 15(4): 347-353.
WANG X P, LI J Q, ZHANG J X. Bioecological characteristics and cultivation of the dovetree in China [J]. Guihaia, 1995, 15(4): 347-353. (in Chinese)

[9] 尉秋实, 赵明, 李昌龙, 等. 不同土壤水分胁迫下沙漠藏的生长及生物量的分配特征[J]. 生态学杂志, 2006, 25(1): 7-12.
YU Q S, ZHAO M, LI C L, et al. Growth and biomass allocation of chilopsis linearis under different soil water stresses [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(1): 7-12. (in Chinese)

[10] 黄菊莹, 袁志友, 李凌浩. 羊草绿叶氮、磷浓度和比叶面积沿氮、磷和水分梯度的变化[J]. 植物生态学报, 2009, 33(3): 442-448.

[11] GUSEWELL S, KOERSELMAN W. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants [J]. Perspectives in Plant Ecology Evolution Systematics, 2002, 5(1): 37-61.

[9] 费世民. 发展林业生物质能源的战略思考[J]. 四川林业科技, 2008,29(4):29-30.

[10] 匡廷云,白克智,卢从明,等. 生物质能源技术前瞻[J]. 太阳能,2004(4):7-9.
KUANG T Y,BAI K Z,LU C M. Biomass energy technology foresight[J]. Solar,2004(4):7-9. (in Chinese)

[11] 匡廷云,马克平,白克智. 生物质能研发展望[J]. 中国科学基金,2005(6):326-330.
KUANG T Y,MA K P,BAI K Z. Biomass R & D prospects [J]. Science Foundation of China,2005(6):326-330. (in Chinese)

[12] 方升左. 关于加速发展我国生物质能源的思考[J]. 北京林业管理干部学院学报,2005(2):30-34.
FANG S Z. Thoughts on accelerating the development of biomass energy[J]. Beijing Forestry Management Staff College, 2005(2):30-34. (in Chinese)

[13] 吕文,王春峰,王国胜,等. 中国林木生物质能源发展潜力研究[J]. 中国能源,2005,27(1):21-26.
LYU W,WANG C F,WANG G S,*et al.* Potential of Chinese forest biomass energy development[J]. China Energy,2005, 27(1):21-26. (in Chinese)

[14] 闫瑞,钱春. 新型生物质能源树种无患子在重庆的发展优势分析[J]. 南方农业,2012,6(6):103-105

YAN R,QIAN C. New biomass species *Sapindus* analysis in the development of Chongqing's advantage[J]. Southern Agriculture,2012,6(6):103-105. (in Chinese)

[15] 国家质量技术监督局. GB2772-1999,林木种子检验规程[S]. 北京:中国标准出版社,2000:124.

[16] 赵雪,张小由,李启森,等. 额济纳绿洲沙漠化对怪柳群落影响的研究[J]. 中国沙漠,2004,24(4):467-472.
ZHAO X,ZHANG X Y,LI Q S. Oasis in Mesozoic-cenozoic *Tam- arix* spp. desertification impact on the community [J]. Journal of Desert Research,2004,24(4):467-472. (in Chinese)

[17] 李亚男,李东胜,许中旗,等. 栎属不同种源树种的出苗及生长过程[J]. 西北林学院学报,2014,29(4):139-144.
LI Y N,LI D S,XU Z Q,*et al.* The process of emergence and height of *Quercus* species in different provenances [J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(4):139-144. (in Chinese)

[18] 杜坤,王军辉,贾子瑞,等. 不同种源砂生槐种子及幼苗生长变异研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(4):144-148.
DU K,WANG J H,JIA Z R,*et al.* Variations of seed and seedling growth of *Sophora moorcroftiana* from different provenances [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012,27(4):144-148. (in Chinese)

(上接第 139 页)

[12] 王昕,孙永林,刘西平. 土壤含水量对刺槐光合能力和碳水化合物分配的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(1):20-25.
WANG X,SUN Y L,LIU X P. Effects of soil water Contents on leaf photosynthesis and carbohydrate partitioning in *Robinia pseudoacacia*[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(1):20-25. (in Chinese)

[13] Fini A,Bellasio C. Water relations,growth,and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curca* [J]. Journal of Arid Environments,2013,89:21-29.

[14] 曹生奎,冯起,司建华,等. 植物叶片水分利用效率研究综述[J]. 生态学报,2009,29(7):3882-3892.

[15] SAPETA H,COSTA J M. Drought stress response in *Jatropha curcas*: growth and physiology [J]. Environmental and Experimental Botany,2013,85:76-84.

[16] 王美玉,赵天宏,张巍巍,等. CO₂ 浓度升高与温度、干旱相互作用对植物生理生态过程的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007,25(2):99-103.

[17] 余碧云,张文辉,胡晓静,等. 栓皮栎地上部分构型及生物量分配[J]. 应用生态学报,2015,26(8):2265-2272.

[18] 杨莉,韩忠明,杨利民,等. 水分胁迫对蒺藜光合作用、生物量和药材质量的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(10):2523-2528.

[19] 平晓燕,周广胜,孙敬松. 植物光合产物分配及其影响因子研究进展[J]. 植物生态学报,2010,34(1):100-111.
PING X Y,ZHOU G S,SUN J S. Advances in the study of photosynthate allocation and its controls[J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2010,34(1):100-111. (in Chinese)

[20] 韦莉莉,张小全,侯振宏,等. 杉木苗木光合作用及其产物分配对水分胁迫的响应[J]. 植物生态学报,2005,29(3):394-402.

[21] 邱权,李吉跃,王军辉,等. 干旱胁迫下青藏高原 4 种灌木生物量和根系变化特征及抗旱性[J]. 西北林学院学报,2013,28(3):1-6.

QIU Q,LI J Y,WANG J H,*et al.* Biomass and root system characteristics and drought resistance of 4 shrubs in Tibetan Plateau under drought stress[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(3):1-6. (in Chinese)

[22] 徐飞,郭卫华,徐伟红,等. 刺槐幼苗形态、生物量分配和光合特性对水分胁迫的响应[J]. 北京林业大学学报,2010,33(1) 24-30.

[23] 吕海亮,毛子军,李娜. 干旱对红松和蒙古栎幼苗生长的影响及种间竞争[J]. 植物研究,2014,34(3):364-371.

[24] MEZIANE D,SHIPLEY B. Interacting components of inter-specific relative growth rate:constancy and change under differing conditions of light and nutrient supply[J]. Functional Ecology,1999,13:611-622.

[25] WRIGHT I J,WESTOBY M. Nutrient concentration, resorption and lifespan:leaf traits of Australian sclerophyll species [J]. Functional Ecology,2003,17:10-19.

[26] 施家月,王希华,闫恩荣,等. 浙江天童常见植物幼树器官的氮磷养分特征[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2006,3(2): 121-129.

[27] 李伏生,康绍忠. CO₂ 浓度、氮和土壤水分对春小麦养分利用效率的影响[J]. 中国农业科学,2002,35(8):953-958.

[28] KOST J A,BOEMER R E J. Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficiency in *Cornus florida* [J]. Oecologia,1985, 66:602-606.

[29] 陈东,王道杰,郭灵辉,等. 水分胁迫及土壤质地对新银合欢幼苗根系生长的影响[J]. 中国水土保持,2013(6)34-37.

[30] 唐琨,朱伟文,周文新,等. 土壤 pH 对植物生长发育影响的研究进展[J]. 作物研究,2013,27(2):207-212.

[31] 司继跃,雷妮妮. 珙桐研究综述[J]. 科学技术与工程,2009,13(9):3713-3719.