



崔华蕾,郭欢欢,杨丽晓,等.二倍体及多倍体白榆叶片形态与光合特性分析[J].黑龙江农业科学,2023(3):68-72.

# 二倍体及多倍体白榆叶片形态与光合特性分析

崔华蕾<sup>1</sup>,郭欢欢<sup>2</sup>,杨丽晓<sup>1</sup>,马小欣<sup>1</sup>,李 探<sup>3</sup>,陈彩霞<sup>1</sup>,梁海永<sup>2</sup>

(1.河北雾灵山国家级自然保护区管理中心,河北 承德 067300; 2.河北农业大学 林学院,河北 保定 071000; 3.兴隆县雾灵山镇人民政府,河北 承德 067300)

**摘要:**白榆是我国重要的乡土树种之一。为促进我国多倍体白榆的人工杂交培育和选优,以二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片为试材,测定叶片表型指标、显微差异及光合生理特性,比较分析不同倍体间的变异程度及基因倍性发生改变对白榆产生的影响。结果表明,三倍体及同源四倍体白榆叶长、叶宽、叶面积都显著高于二倍体白榆,可见白榆在叶长、叶宽、叶面积这些形态学特征方面表现出多倍化后的巨大化特征。通过显微镜观察发现四倍体及三倍体白榆叶片上下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度这些指标都高于二倍体白榆,巨大化特征表现十分突出,置于相同放大倍数视野下观察,出现了倍性增加气孔器密度稀疏的现象,可见气孔器密度与倍性有明显的相关性。三倍体及同源四倍体白榆的净光合速率( $P_n$ )和蒸腾速率( $T_r$ )都显著高于二倍体白榆,说明倍性的增加会使白榆的  $P_n$  及  $T_r$  增加。白榆叶绿素 a (Chl  $a$ ) 含量高于叶绿素 b (Chl  $b$ ) 含量,并且 Chl  $a$ 、Chl  $b$  及总叶绿素 (Chl) 含量随着倍性的增加而增大,表现出明显的多倍体植株的光合色素含量增加的特征。

**关键词:**白榆;多倍体;叶片表型;显微结构;光合特性

白榆(*Ulmus pumila* L.)属于榆科(Ulmaceae)榆属(*Ulmus* L.)植物,落叶乔木,俗称榆树、家榆。白榆在全球约有 40 余种,主要分布于北温带。我国现有榆属植物 25 种 6 变种,长江流域以北为分布集中区,是重要的乡土树种。白榆有吸滞烟尘和吸收有害气体的作用,同时具有很高的抗性和耐性,可作为城市绿化、水土保持、水源涵养和盐碱地造林树种。白榆树皮可食用,木材洁白;枝条和树皮中的纤维坚韧,可生产高品质纸;幼嫩翅果可食用且具有药用价值;叶片营养丰富可制成饲料;材质坚硬,花纹清晰,可制成家具<sup>[1]</sup>。

目前,对白榆的育种工作主要采用细胞培养、建立白榆再生体系以及分子标记技术等研究方法,以期增强白榆的速生性,提高白榆的抗性和适应性,选育具有优良遗传品质的无性系品种<sup>[2]</sup>。我国对榆树多样性的研究主要集中在种植技术、表型遗传多样性、生化标记等水平上。前人对榆树的种植栽培技术进行了探索<sup>[3-5]</sup>。王书欣等<sup>[6]</sup>对白榆无性系的株高、胸径等指标进行研究调查,并进行了白榆无性系的遗传分析。也有人利用显微镜对榆属植物的叶片结构进行研究,为榆属的分种提供了重要依据<sup>[7-9]</sup>,还有人对比不同榆树的

光合特性,并对白榆突变体进行转录组分析<sup>[10-11]</sup>。

植物染色体加倍后,其器官组织易呈现“巨大化”,并极可能发生变异,具有较高的遗传多样性,因此可以利用多倍体与原二倍体进行杂交,选育生长迅速、植株高大的品种,挖掘多倍体的优良性状,根据其应用价值进行大量繁殖,以此获得适合不同利用价值的白榆新品种或变种。本研究以二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片为试材,对不同倍体叶片表型指标、显微差异及光合生理特性进行了分析,以揭示不同倍体间的变异程度及基因倍性发生改变对植物产生的影响,给多倍体白榆的培育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

随机选取河北农业大学苗圃白榆样地内的二倍体、三倍体及同源四倍体白榆各 3 株,榆树要长势正常且无病虫害,取各株榆树第 5 至第 6 叶位的功能性叶片作为试验材料。

### 1.2 方法

1.2.1 叶片表型变化测定 参照曹德美等<sup>[12]</sup>的方法并加以改进,用扫描仪扫描供试叶片,利用 Lamina 图像处理软件分析叶片的叶长(Leaf length, LL)、叶宽(Leaf width, LW)、叶面积(Leaf area, LA)3 个叶形性状度量指标。根据成星奇等<sup>[13]</sup>的方法计算叶形指数。

叶形指数(叶长宽比) = 叶长/叶宽

1.2.2 叶片结构差异测定 气孔器密度观察:手持供试叶片,然后用镊子将叶片上下表皮撕下并

收稿日期:2022-11-27

基金项目:河北省科技计划项目(17226312D)。

第一作者:崔华蕾(1990—),女,硕士,林业工程师,从事林业科学研究。E-mail:674103271@qq.com。

通信作者:梁海永(1973—),男,学士,副教授,硕导,从事林业生物技术育种研究。E-mail:381080168@qq.com。

置于载玻片上,滴加 I2-KI 溶液染色 30 s 至染色完成后加盖盖玻片,在 Olympus BX 53 光学显微镜下(目镜 10×,物镜 40×)进行气孔观察,各取 10 个视野,统计每个视野气孔器数,再对测定数据计算平均值。分析对比不同倍体叶片每个视野气孔器密度得出差异。

叶片显微结构差异:将供试叶片修剪为 1.0 cm×1.0 cm 小块,立即将修剪好的叶片浸入 Carnoy's 固定液中(甲醇:冰醋酸 = 3:1),直至完全褪绿。制作石蜡切片和临时切片进行观察,将其放置于显微镜下拍照并记录栅栏组织厚度、海绵组织厚度、上下表皮厚度。

1.2.3 光合生理特性测定 试验选择晴朗的天气,使用 Li-6400 便携式光合测定仪测定供试叶片的光合参数。设定光强为 1 800 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,CO<sub>2</sub>浓度为 400 μmol·mol<sup>-1</sup>、叶片温度为 25 ℃的条件,分别测定参试植株的净光合速率(Net Photosynthesis Rate, *P<sub>n</sub>*)、蒸腾速率(Transpiration Rate, *Tr*)、气孔导度(Stomatal Conductance, *G<sub>s</sub>*)。

1.2.4 叶片叶绿素含量测定 参照王力源等<sup>[11]</sup>方法并加以改进,将供试叶片修剪成细小丝状,称取 0.05 g 的叶片置于试管中再加入 95%乙醇 2.5 mL,于黑暗条件下浸泡至叶片完全褪色(24 h),用 95%乙醇溶液作为空白对照,离心后取其上清液利用分光光度计分别测定 663 和 645 nm 下的吸光值(OD),6 次重复。利用测量所得 OD 值计算叶绿素 a(Chlorophyll *a*, Chl *a*)、叶绿素 b(Chlorophyll *b*, Chl *b*)以及总叶绿素(Chlorophyll, Chl)的含量。计算公式:

Chl *a* = 12.21OD<sub>663</sub> - 2.81OD<sub>645</sub>

Chl *b* = 20.13OD<sub>645</sub> - 5.03OD<sub>663</sub>

Chl = Chl *a* + Chl *b*

1.2.5 数据分析 运用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 软件对各指标进行数据分析与处理,运用单因素方差分析法分析不同倍体的白榆在叶片表型、显微结构及光合生理特性之间的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 叶片表型差异分析

由图 1 可知,植物多倍化后,因为 DNA 剂量效应和互作效应,其原二倍体有关氨基酸、多糖、蛋白质等的合成与代谢功能发生明显改变,从而导致叶片表型发生差异<sup>[14]</sup>。由表 1 可知,三倍体和四倍体白榆的叶长、叶宽、叶面积均显著高于二倍体白榆。四倍体白榆叶长最大,为 79.11 mm,是二倍体白榆叶长的 1.3 倍;三倍体白榆叶宽最大,为 39.28 mm,是二倍体白榆叶宽的 1.4 倍;三倍体白榆叶面积最大,为 1 967.49 mm<sup>2</sup>。但在叶形指数方面二倍体白榆显著高于三倍体和四倍体白榆。三倍体白榆与四倍体白榆在叶长、叶宽、叶面积及叶形指数上均没有显著差异。通过比较可知,三倍体白榆及同源四倍体白榆在叶长、叶宽、叶面积这些形态学特征方面表现出多倍化后的巨大化特征。



图 1 二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片形态

表 1 二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片形态指标

无性系	叶长/mm	叶宽/mm	叶面积/mm <sup>2</sup>	叶形指数
二倍体	60.51±1.23 b	27.16±0.63 b	1107.12±41.15 b	2.23±0.06 a
三倍体	77.22±3.37 a	39.28±0.69 a	1967.49±127.29 a	1.96±0.06 b
四倍体	79.11±0.41 a	38.07±0.66 a	1790.92±27.46 a	2.07±0.03 b

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(*P*<0.05)。下同。

2.2 叶片结构差异分析

利用石蜡切片或临时装片的方法对试材进行纵切,再对其进行观察并记录各项指标,结果见表 2。三倍体和四倍体白榆叶片的上表皮厚度、栅栏组织厚度及海绵组织厚度都显著高于二倍体白榆,四倍体白榆的栅栏组织厚度达到 138.74 μm,

是三倍体白榆的 1.3 倍,是二倍体白榆的 1.6 倍。而二倍体白榆的气孔器密度达到 12.00,显著高于三倍体和四倍体白榆,气孔形态见图 2。二倍体、三倍体及同源四倍体白榆在下表皮厚度方面没有显著差异,分别为 19.92,25.26 和 23.34 μm。

表 2 二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片结构

无性系	上表皮厚度/ $\mu\text{m}$	栅栏组织厚度/ $\mu\text{m}$	海绵组织厚度/ $\mu\text{m}$	下表皮厚度/ $\mu\text{m}$	气孔器密度/个
二倍体	23.46±2.07 b	82.36±3.12 c	42.91±2.78 b	19.92±1.66 a	12.00±0.40 a
三倍体	30.52±1.37 a	102.88±4.12 b	58.09±1.24 a	25.26±2.38 a	8.00±0.40 b
四倍体	29.45±0.41 a	138.74±6.23 a	55.48±3.61 a	23.34±2.33 a	8.00±0.57 b

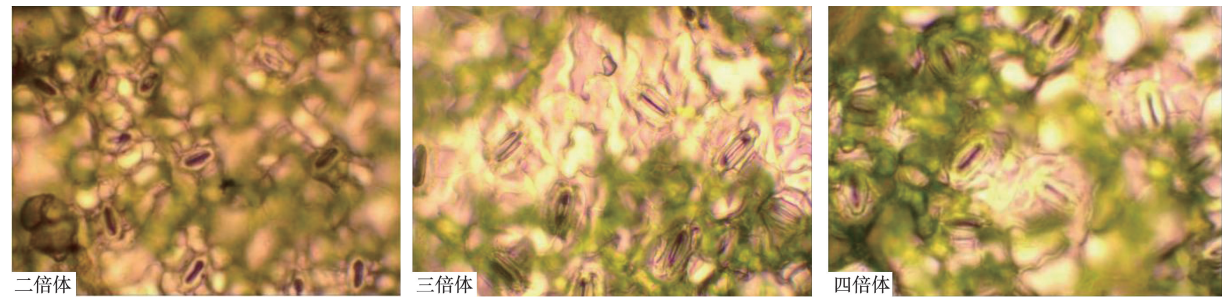


图 2 二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片气孔形态

总体来说,三倍体及四倍体白榆叶肉组织在上表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、下表皮厚度这些方面都高于二倍体白榆,巨大化特征表现十分突出,且置于相同放大倍数视野下观察,出现了倍性增加气孔器密度稀疏的现象,可见气孔器密度与倍性有明显的相关性。

2.3 叶片光合生理特性差异分析

光合作用对植物的生长发育和抗性大小均有重要影响。净光合速率( $P_n$ )是指植物光合作用积累的有机物,利用总光合速率减去呼吸速率来计算。蒸腾速率( $T_r$ )是指植物单位面积叶片在一定时间内蒸腾的水量。气孔导度( $G_s$ )是指气孔张开的程度,影响光合、呼吸和蒸腾作用。由表 3 可知,三倍体白榆的  $P_n$ 、 $G_s$  及  $T_r$  显著高于二倍体白榆,分别为  $21.13 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $0.51 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $9.42 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。四倍体白榆的  $P_n$  和  $T_r$  显著高于二倍体白榆,分别为  $20.04 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $9.13 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,在  $G_s$  这一指标上二倍体白榆显著高于四倍体白榆。三倍体与四倍体白榆在  $P_n$  及  $T_r$  两方面没有显著差异,但在  $G_s$  这一指标上三倍体白榆显著高于四倍体白榆。综合来看,倍性的增加会使白榆的  $P_n$  及  $T_r$  增加。

表 3 二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片光合参数

无性系	$P_n/$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$G_s/$ ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$T_r/$ ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
二倍体	12.49±1.66 b	0.37±0.04 b	7.67±0.67 b
三倍体	21.13±1.29 a	0.51±0.01 a	9.42±0.25 a
四倍体	20.04±0.06 a	0.23±0.01 c	9.13±0.07 a

2.4 叶片叶绿素含量分析

由表 4 可知,二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片叶绿素含量具有较大的遗传差异。三倍体和四倍体白榆叶绿素 a 含量( $\text{Chl a}$ )分别为  $8.40$  和  $8.87 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,显著高于二倍体白榆。二倍体白榆与三倍体及四倍体白榆之间在叶绿素 b 含量( $\text{Chl b}$ )及总叶绿素含量( $\text{Chl}$ )方面均存在显著差异,都表现为四倍体白榆>三倍体白榆>二倍体白榆,四倍体白榆叶绿素 b 含量达到  $4.90 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,总叶绿素含量达到  $13.78 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,并且通过观察可以发现四倍体白榆的叶片颜色更深。总的来看,叶绿素 a 含量高于叶绿素 b 含量,并且叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量随着倍性的增加而增大,表现出明显的多倍体植株的光合色素含量增加的特征。

表 4 二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片叶绿素含量  
单位: $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$

无性系	$\text{Chl a}$	$\text{Chl b}$	$\text{Chl}$
二倍体	7.58±0.28 b	2.47±0.06 c	10.05±0.34 c
三倍体	8.40±0.21 a	2.86±0.05 b	11.27±0.24 b
四倍体	8.87±0.23 a	4.90±0.14 a	13.78±0.15 a

3 讨论

遗传多样性和环境异质性可通过表型多样性表现出来,植物为了适应不断变化的环境,表型性状会随着改变不断进化。表型性状差异常应用于判断遗传变异程度,因此在植物表型多样性研究、种质鉴定和育种工作中发挥了关键作用,成为引种驯化和遗传改良的基础<sup>[15-16]</sup>。有研究表明遗



传因素可能会对叶片性状产生影响,通过叶片表型多样性可得到植物进化和适应的相关信息。另外,植物的生长及环境也会影响叶片性状<sup>[17-18]</sup>。本研究发现,在叶片形态学特征方面,三倍体及同源四倍体白榆叶长(LL)、叶宽(LW)、叶面积(LA)这些指标都显著高于二倍体白榆,可见三倍体及同源四倍体白榆在 LL、LW、LA 这些形态学特征方面表现出多倍化后的巨大化特征。这与张石虎等<sup>[19]</sup>发现的四倍体黄梁木叶片显著大于二倍体叶片结果相同。

研究结果发现三倍体及同源四倍体白榆叶肉组织的上表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度显著高于二倍体白榆,表现出了明显的巨大化特征。这与张源源等<sup>[20]</sup>研究得出的橡胶树的二倍体、三倍体、四倍体间叶片栅栏组织厚、上表皮厚、海绵组织厚差异显著,并且多倍体叶肉组织的厚度较二倍体大这一结果相同。本研究还发现在相同放大倍数的视野下,榆树二倍体白榆气孔器密度显著高于三倍体和同源四倍体白榆的气孔器密度,出现了倍性增加气孔器密度稀疏的现象,与郭源源等<sup>[21]</sup>对橡胶树二倍体、三倍体、四倍体的叶片进行观察研究,发现橡胶树倍性提高会引起气孔器密度减小的现象一致,可见气孔器密度与倍性有明显的相关性。

光合色素含量在植物光合作用过程中发挥着重要影响。高等植物的光合色素主要包括三大类:叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素,而叶绿素是植物光合作用的基础物质,植物光合作用能力的强弱和生境条件的优劣可通过叶绿素的含量来反映<sup>[22-24]</sup>。叶绿素 a(Chl a)与叶绿素 b(Chl b)比值的高低可用于辨别阳性植物与阴性植物,本研究得出白榆 Chl a 含量高于 Chl b 含量,进一步验证了其是阳性植物,并且 Chl a、Chl b 及总叶绿素(Chl)含量随着倍性的增加而增大,表现出明显的多倍体植株的光合色素含量特征,与李秀宇<sup>[25]</sup>以刺槐为研究对象,发现的四倍体刺槐比二倍体刺槐 Chl a、Chl b 及 Chl 含量明显增大的结果相同,并与张丞慧等<sup>[26]</sup>发现的新疆野苹果四倍体比二倍体叶绿素含量显著增大的结果相同,但与吴丽杰等<sup>[27]</sup>发现的倍性对苹果总叶绿素含量影响不大结果不同。

关于光合效率的研究已较为普遍,杜久军等<sup>[10]</sup>利用 PAM 系列的叶绿素荧光仪,对白榆光能吸

收进行分析,发现强光驯化能促进白榆完成光合作用;刁凯<sup>[28]</sup>利用 Li-6400 便捷式光合测定系统,测定了不同品种枣树的光合指标,发现  $P_n$ 、 $G_s$  和  $Tr$  在枣树生长期呈现基本一致的变化规律,且在 7 月—9 月光合作用活跃。本研究以二倍体、三倍体及同源四倍体白榆叶片为试材,发现三倍体和同源四倍体白榆的净光合速率( $P_n$ )和蒸腾速率( $Tr$ )都显著高于二倍体白榆,三倍体白榆的  $P_n$  达到  $21.13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,是二倍体白榆的约 1.7 倍,倍性的增加会使白榆的  $P_n$  及  $Tr$  增加。因受到环境和试验条件的影响,还需在已有研究的基础上,对多倍体白榆作进一步探索,以期能够对白榆种质资源进行合理开发与利用。因此,在育种工作中选育多倍体可提高白榆的干物质积累,提高贮藏营养物质的含量,并可在提高白榆抗性方面发挥重要作用。

## 4 结论

本研究结果表明,白榆在叶长、叶宽、叶面积这些形态学特征方面表现出多倍化后的巨大化特征。气孔器密度与倍性有明显的相关性。同时倍性的增加会使白榆的净光合速率及蒸腾速率增加。白榆叶绿素 a 含量高于叶绿素 b 含量,并且叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量随着倍性的增加而增大,表现出明显的多倍体植株的光合色素含量增加的特征。

## 参考文献:

- [1] 晓章. 白榆[J]. 新农业,1984(16):39.
- [2] 续九如,宋婉,邹受益,等. 榆属树种遗传改良研究现状及思考[J]. 北京林业大学学报,2000(6):95-99.
- [3] 王瑞娟. 中华金叶榆种植及养护管理技术[J]. 农家参谋,2020(10):151.
- [4] 刘道强,韩洪利. 速生白榆树组培苗大田栽培技术[J]. 国土绿化,2016(9):53.
- [5] 徐春梅. 白榆树种的育苗及造林技术[J]. 农村实用科技信息,2014(8):13.
- [6] 王书欣,朱延林,董铁民,等. 白榆无性系主要经济性状的遗传分析[J]. 河南林业科技,1995(1):29-30.
- [7] 张昭洁,郑亦津. 山东榆科植物叶表皮结构的比较[J]. 山东大学学报(自然科学版),1990(3):375-382.
- [8] 孙同兴. 9 种榆科植物叶表皮结构特征研究[J]. 亚热带植物科学,2008,37(4):1-8.
- [9] 李贺敏,张江涛,高致明,等. 中国榆属 12 种 2 变种木材解剖学研究[J]. 河南林业科技,2007(3):1-3,19.
- [10] 杜久军,左力辉,梁海永,等. 5 种榆树光合特性对比[J]. 分子植物育种,2018,16(7):2348-2357.
- [11] 王力源,李文杰,麻芸娇,等. 白榆白化芽突变体光合特性

- 及转录组分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(6): 10-16.
- [12] 曹德美, 张亚红, 成星奇, 等. 青杨不同种群叶片表型性状的遗传变异[J]. 林业科学, 2021, 57(8): 56-67.
- [13] 成星奇, 贾会霞, 孙佩, 等. 丹红杨×通辽1号杨杂交子代叶形性状的遗传变异分析[J]. 林业科学研究, 2019, 32(2): 100-110.
- [14] 罗向东, 戴亮芳, 钱春桃, 等. 黄瓜属不同倍性异源多倍体的形态及生理特性分析[J]. 西北植物学报, 2008(3): 542-546.
- [15] 李文英, 顾万春. 蒙古栎天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学, 2005(1): 49-56.
- [16] 吕建珍, 任莹, 王宏勇, 等. 264份谷子主要育成品种(系)表型多样性综合评价[J]. 作物杂志, 2022(4): 22-31.
- [17] 王长海, 张晓艳, 李金花. 小叶杨与欧洲黑杨杂交子代苗期叶形变异分析[J]. 林业科学研究, 2020, 33(3): 132-138.
- [18] 周元元, 王军, 杨照剑, 等. 不同白木香种质叶表型遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(21): 7281-7294.
- [19] 张石虎, 古敏, 周玮, 等. 黄梁木多倍体离体诱导及其性状变异[J]. 分子植物育种, 2022, 20(7): 2372-2383.
- [20] 张源源, 岳桑伊, 濮寿琴, 等. 橡胶树四倍体来源鉴定及不同倍性叶片解剖结构比较[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(6): 1597-1605.
- [21] 张源源, 郭涵, 袁红章, 等. 橡胶树不同倍性的气孔性状差异研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(3): 389-394.
- [22] 王冰, 华佳文, 李娅翔, 等. 不同绿化树种叶片叶绿素 SPAD 值对比研究[J]. 黑龙江农业科学, 2015(11): 111-114.
- [23] 孙玉婷, 王映龙, 杨红云, 等. RGB 与 HSI 色彩空间下预测叶绿素相对含量的研究[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(10): 1782-1789.
- [24] CASAR, CASTALDI F, PASCUCCI S, et al. Chlorophyll estimation in field crops: an assessment of handheld leaf meters and spectral reflectance measurements [J]. The Journal of Agricultural Science, 2015, 153(5): 876-890.
- [25] 李秀宇. 四倍体刺槐苗期表型生理特性及再生能力的评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [26] 张丞慧, 李凯铭, 赵琪, 等. 新疆野苹果多倍体诱导及叶片特征分析[J]. 天津农学院学报, 2021, 28(4): 6-10.
- [27] 吴丽杰, 李甲斌, 刘旭霞, 等. 苹果二倍体和三倍体几个生理指标的比较[J]. 河北果树, 2002(1): 4-5.
- [28] 刁凯. 不同枣树品种光合特性规律研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.

## Leaf Morphology and Photosynthetic Characteristics Analysis of Diploid and Polyploid *Ulmus pumila*

CUI Hualei<sup>1</sup>, GUO Huanhuan<sup>2</sup>, YANG Lixiao<sup>1</sup>, MA Xiaoxin<sup>1</sup>, LI Tan<sup>3</sup>, CHEN Caixia<sup>1</sup>, LIANG Haiyong<sup>2</sup>

(1. Hebei Wuling Mountain National Nature Reserve Management Center, Chengde 067300, China; 2. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 3. People's Government of Wulingshan Town Xinglong County, Chengde 067300, China)

**Abstract:** *Ulmus pumila* is one of the important native species in China. In order to promote artificial hybrid cultivation and selection of polyploid *Ulmus pumila* in our country. Using diploid, triploid and homologous tetraploid *Ulmus pumila* leaves as test materials, the phenotypic indexes, microscopic differences and photosynthetic physiological characteristics of leaves were measured. The degree of variation among different ploidy and the effect of gene ploidy change on *Ulmus pumila* were compared and analyzed. The results showed that the leaf length, leaf width and leaf area of triploid and homologous tetraploid *Ulmus pumila* were significantly higher than those of diploid *Ulmus pumila*. It can be seen that the morphological characteristics of *Ulmus pumila* such as leaf length, leaf width and leaf area showed magnification after multiploidy. The thickness of upper and lower epidermis, palisade tissue and spongy tissue of leaves of tetraploid and triploid *Ulmus pumila* were higher than those of diploid *Ulmus pumila*, and the characteristics of magnification were very prominent. Under the same magnification field, the ploidy increased the sparse density of stomatal apparatus, this showed there was obvious correlation between stomatal density and ploidy. The  $P_n$  and  $Tr$  of triploid and homologous tetraploid *Ulmus pumila* were significantly higher than those of diploid *Ulmus pumila*, so the increase of ploidy would increase the  $P_n$  and  $Tr$  of *Ulmus pumila*. The content of Chl  $a$  was higher than that of Chl  $b$ , and the contents of Chl  $a$ , Chl  $b$  and Chl increased with the increase of ploidy. It showed obvious characteristics of photosynthetic pigment content in polyploid plants.

**Keywords:** *Ulmus pumila* L.; polyploidy; leaf phenotype; microstructure; photosynthetic properties