

任伟超,徐 姣,孙 伟,等. 12 种柳属植物花粉显微鉴定研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(12):85–89.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.12.013

12 种柳属植物花粉显微鉴定研究

任伟超¹, 徐 姣², 孙 伟³, 刘美琦¹, 于欣欣¹, 王思嘉¹, 马 伟¹

(1. 黑龙江中医药大学药学院,黑龙江哈尔滨 150040; 2. 黑龙江中医药大学佳木斯学院,黑龙江佳木斯 154007;

3. 中国中医科学院中药研究所,北京 100700)

摘要:对 12 种柳属植物花粉形态特征进行电镜扫描并比较分析。柳属植物花粉的极面观均为三裂圆形,赤道面观以多数椭圆形为主,萌发孔类型为三沟,极轴长的范围为 $(18.80 \pm 1.09) \sim (31.07 \pm 1.51) \mu\text{m}$,赤道轴的范围为 $(11.20 \pm 1.16) \sim (16.93 \pm 0.47) \mu\text{m}$ 。本研究分析了 12 种柳属植物的花粉形态,为柳属植物形态鉴定和资源开发利用提供参考依据,为揭示柳属植物遗传多样性奠定基础。

关键词:柳属;花粉;显微形态;电镜扫描

中图分类号:S792.120.1

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2021)12-0085-05

柳属(*Salix*)是杨柳科(Salicaceae)中最大的一个属。柳属种类繁多,约有 520 多种,主产北半球温带地区,少量分布在南美洲和非洲的南部^[1-3]。柳属的垂直分布广泛,从平原至海拔 4600 m 均有分布^[4]。自然条件下柳属受周围环境及杂交的影响,很容易发生种间甚至属间的杂交,具有丰富的遗传多样性^[5]。黑龙江省柳属最新调查数据是 2010 年王东超在黑龙江松花江哈尔滨段、阿什河、带岭、大小兴安岭等地采集到 30 种柳属,包括五蕊柳组 2 个种,三蕊柳组 2 个种,柳组 4 个种,黄花柳组 5 个种,粉枝柳组 3 个种,蒿柳组 4 个种,沼柳组 1 个种,细柱柳组 1 个种,筐柳组 1 个种^[6]。

柳属植物不仅广泛应用于园林绿化,还有多种用途,药用历史悠久。李时珍在《本草纲目》中记载:柳为本经下品,其性苦寒、无毒,可治疗,可治疗风水黄疸、疮痈肿痛、痰热淋疾、湿痹等疾症^[7]。柳树作为药用主要是以垂柳的根及须根、枝、叶、花、具毛的种子等入药^[8]。柳属植物具有良好的解热镇痛、抗菌、抗炎、抗氧化、调血脂等作用^[9]。近些年来,国内外学者对柳属植物不同部位的化学成分

进行了深入的研究,从中获得的化学成分包括苯丙素类、醌类、黄酮类、萜类等^[10-19]。

目前,关于柳属的分类系统至今仍然存在争议,不同国家和地区仅存在相对认可的柳属分类系统。柳属植物分类困难,主要由于柳属植物花部形态简单,且可用于分类的特征少;雌雄异株,通常先花后叶,花和幼叶共存期短。因此,柳属的范围(即是否为一个自然类群)目前仍然有较大争议^[20-21]。为了更好地开发和利用我国柳属植物资源,对其种间进行分类与鉴定的研究是必要和必须的。本研究对黑龙江省内分布的柳属种质资源进行了调查,通过对花粉的显微观察,系统地从小观角度,对所采集的柳属植物进行分类及鉴定,为分类困难的柳属寻找一种微观的分类方法,为柳属植物的种类鉴定提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究以 12 份雄株花序的花粉作为扫描电镜观察的材料,详见表 1。

1.2 试验方法

本研究于 2018 年 5 月,分别在哈尔滨、伊春、塔河采集新鲜饱满雄株柳属花序,自然干燥。将干燥的花粉真空镀金,置于扫描电镜下观察,选取具代表性的性状如外壁雕纹等进行观察和拍照。

2 结果与分析

2.1 扫描电镜观察花粉性状分析

在电镜视野中随机选取 20 粒花粉颗粒,放大

收稿日期:2020-10-28

基金项目:国家中医药管理局全国中药资源普查项目(编号:GZY-KJS-2018-004);黑龙江中医药大学优秀创新人才领军人才项目(编号:2018RCL09)。

作者简介:任伟超(1989—),男,黑龙江哈尔滨人,博士研究生,研究方向为中药资源学。E-mail:lyzenweichao@126.com。

通信作者:马 伟,博士,研究员,主要研究方向是药用植物生物工程。E-mail:mawei@hljucm.net。

表 1 扫描电镜研究材料来源

地区	编码	部位	经纬度
哈尔滨	HEB01	雄花	126. 65°E, 45. 71°N
	HEB03	雄花	
	HEB04	雄花	
	HEB05	雄花	
	HEB07	雄花	
	HEB09	雄花	
	HEB10	雄花	
	HEB11	雄花	
	HEB15	雄花	
伊春	YC03	雄花	128. 53°E, 47. 44°N
	YC19	雄花	
塔河	TH13	雄花	124. 63°E, 52. 49°N

500 倍可观察到分散的花粉颗粒,放大至 3 500 倍和 10 000 倍观察,测量、拍照和记录数据。12 种柳属花粉扫描电镜观察得到的数据见表 2,各种柳属花粉在扫描电镜下不同放大倍数的照片见图 1。

2.2 柳属花粉粒外形

扫描电镜下观察花粉粒形状为扁圆球形至长球形,多数处于近长球形,赤道面观为三裂圆形,极面观为椭圆形或近圆形;具有三沟或三拟沟,沟长几乎达到两极,末端极尖或纯圆,有沟膜,具有明显的颗粒状纹饰。扫描电镜观察花粉外壁纹饰,12 种柳属植物花粉的外壁均呈网状,网脊颗粒状或不规则,网脊具刺状突起;外壁具网状或粗网状纹饰,近沟处网眼变小,网状纹饰具有大小不等的网眼,网眼形状不规则且具颗粒状纹饰,花粉特征描述见表 3。

表 2 扫描电镜观察柳属花粉特征参数数据

编码	种名	极轴长(<i>P</i>)			赤道轴长(<i>E</i>)			极轴/赤道轴(<i>P/E</i>)
		变化范围 (μm)	$\bar{x} \pm s$ (μm)	变异系 数(%)	变化范围 (μm)	$\bar{x} \pm s$ (μm)	变异系 数(%)	
HEB01	金丝垂柳 <i>Salix babylonica</i> \times <i>S. alba - vitellina</i>	23.00 ~ 33.50	26.00 \pm 2.48	9.53	10.00 ~ 18.00	13.10 \pm 1.75	13.39	1.99(1.79 ~ 2.70)
HEB03	龙爪柳 <i>Salix matsudana</i> var. <i>tortuosa</i>	22.50 ~ 29.00	25.75 \pm 0.92	3.58	10.00 ~ 15.00	12.03 \pm 1.42	11.82	2.14(1.87 ~ 2.75)
HEB04	圆头柳 <i>Salix capitata</i>	24.00 ~ 32.50	29.07 \pm 1.87	12.61	11.00 ~ 18.00	14.87 \pm 0.88	5.95	1.96(1.61 ~ 2.24)
HEB05	旱柳 <i>Salix matsudana</i>	24.00 ~ 30.00	26.07 \pm 1.62	6.22	12.00 ~ 16.50	14.37 \pm 0.99	6.90	1.81(1.64 ~ 2.07)
HEB07	五蕊柳 <i>Salix pentandra</i>	23.50 ~ 34.00	24.83 \pm 2.53	19.19	13.50 ~ 24.50	13.20 \pm 0.51	3.83	1.88(1.14 ~ 2.10)
HEB09	旱垂柳 <i>Salix matsudana</i> var. <i>pseudo - matsudana</i>	29.00 ~ 34.00	31.07 \pm 1.51	9.35	13.50 ~ 18.50	16.20 \pm 0.46	2.87	1.92(1.68 ~ 2.22)
HEB10	深山柳 <i>Salix phylicifolia</i>	20.50 ~ 31.50	26.40 \pm 1.71	10.11	13.50 ~ 19.50	16.93 \pm 0.47	2.75	1.07(0.84 ~ 1.43)
HEB11	谷柳 <i>Salix taraikensis</i>	25.00 ~ 31.50	28.93 \pm 0.90	5.81	14.00 ~ 17.00	15.53 \pm 0.56	3.62	1.86(1.56 ~ 2.11)
HEB15	白皮柳 <i>Salix pierotii</i>	22.50 ~ 27.00	25.17 \pm 1.16	4.63	9.50 ~ 13.00	11.20 \pm 1.16	4.63	2.25(1.85 ~ 2.84)
YC03	粉枝柳 <i>Salix rorida</i>	20.50 ~ 24.50	22.07 \pm 1.61	10.06	13.00 ~ 19.00	15.97 \pm 0.81	5.09	1.08(0.83 ~ 1.45)
YC19	朝鲜柳 <i>Salix koreensis</i>	18.50 ~ 23.00	21.00 \pm 1.24	5.90	12.00 ~ 17.00	14.40 \pm 1.20	5.71	1.06(0.83 ~ 1.62)
TH13	杞柳 <i>Salix integra</i>	17.50 ~ 21.00	18.80 \pm 1.09	9.32	10.00 ~ 13.00	11.73 \pm 0.57	4.84	1.60(1.31 ~ 1.90)

2.3 柳属花粉粒大小

12 种柳属花粉粒的极轴长(*P*)范围为(18.80 \pm 1.09) ~ (31.07 \pm 1.51) μm ,*P* 值最小的为杞柳,最大的为旱垂柳;赤道轴长(*E*)范围为(11.20 \pm 1.16) ~ (16.93 \pm 0.47) μm ,*E* 值最小的为白皮柳,最大的为深山柳;*P/E* 值范围为 1.06 ~ 2.25,*P/E* 值最小的为朝鲜柳,最大的为白皮柳,则朝鲜柳为近球形,白皮柳为椭圆形;*P* \times *E* 值范围为 220.52 ~ 548.90 μm^2 ,不同种花粉粒大小差异较大,其中 *P* \times *E* 值最小的为杞柳,最大的为蒙古柳,则花粉体积最小的是杞柳,最大的是蒙古柳。各种花粉具体数据和外形描述如下。

金丝垂柳极轴长(26.00 \pm 2.48) μm ,赤道轴长

(13.10 \pm 1.75) μm ,*P/E* 值为 1.99(1.79 ~ 2.70)。赤道面观为扁圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 20.33(16.50 ~ 26.50) μm ,萌发沟深,沟宽为 1.57(1.00 ~ 2.50) μm ,沟间距为 6.77(6.00 ~ 9.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面为网状纹饰。

龙爪柳极轴长(25.75 \pm 0.92) μm ,赤道轴长(12.03 \pm 1.42) μm ,*P/E* 值为 2.14(1.87 ~ 2.75)。赤道面观为扁圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 20.75(17.00 ~ 25.50) μm ,萌发沟浅,沟宽为 1.38(1.00 ~ 2.00) μm ,沟间距为 5.56(4.00 ~ 7.00) μm ,沟内有疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

表 3 柳属花粉形态特征

编码	种名	极面观	赤道面	萌发孔	萌发沟		沟间距 (μm)	外壁纹饰	
					沟宽(μm)	沟长(μm)		覆盖层	柱状层
HEB01	金丝垂柳 <i>Salix babylonica</i> \times <i>S. alba</i> - <i>vitellina</i>	三裂圆形	扁圆形	三孔沟	1.57(1.00~2.50)	20.33(16.50~26.50)	6.77(6.00~9.00)	网状	疣状凸起
HEB03	龙爪柳 <i>Salix matsudana</i> var. <i>tortuosa</i>	三裂圆形	扁圆形	三孔沟	1.38(1.00~2.00)	20.75(17.00~25.50)	5.56(4.00~7.00)	网状	疣状凸起
HEB04	圆头柳 <i>Salix capitata</i>	三裂圆形	椭圆形	三孔沟	2.63(1.50~4.50)	19.87(15.00~23.50)	7.13(5.50~9.00)	网状	疣状凸起
HEB05	旱柳 <i>Salix matsudana</i>	三裂圆形	长椭圆形	三孔沟	3.10(2.50~4.50)	21.60(17.00~28.00)	6.20(5.00~8.00)	网状	疣状凸起
HEB07	五蕊柳 <i>Salix pentandra</i>	三裂圆形	长椭圆形	三孔沟	1.10(0.50~2.50)	17.13(15.50~26.00)	5.10(4.50~7.50)	网状孔密	疣状凸起
HEB09	旱垂柳 <i>Salix matsudana</i> var. <i>pseudo</i> - <i>matsudana</i>	三裂圆形	椭圆形	三孔沟	1.63(1.00~2.50)	19.27(16.00~24.00)	6.63(6.00~8.00)	网状	疣状凸起
HEB10	深山柳 <i>Salix phlyicifolia</i>	三裂圆形	球形	三孔沟	3.53(2.50~4.50)	18.57(16.00~22.50)	6.97(5.50~8.50)	网状	疣状凸起
HEB11	谷柳 <i>Salix taraiensis</i>	三裂圆形	椭圆形	三孔沟	3.03(2.00~4.00)	21.60(19.00~25.50)	6.43(2.50~8.00)	网状	疣状凸起
HEB15	白皮柳 <i>Salix pierotii</i>	三裂圆形	椭圆形	三孔沟	1.50(1.00~2.50)	20.63(18.50~23.00)	5.40(4.50~6.00)	网状	疣状凸起
YC03	粉枝柳 <i>Salix rorida</i>	三裂圆形	球形	三孔沟	3.80(2.50~5.50)	15.60(13.50~19.50)	6.97(6.00~8.50)	网状孔大	疣状凸起
YC19	朝鲜柳 <i>Salix koreensis</i>	三裂圆形	球形	三孔沟	3.57(2.00~4.50)	15.20(12.00~17.50)	6.43(4.50~8.00)	网状	疣状凸起
TH13	杞柳 <i>Salix integra</i>	三裂圆形	椭圆形	三孔沟	2.17(1.00~3.00)	13.57(11.00~16.50)	5.77(4.50~7.00)	网状孔大	疣状凸起

圆头柳极轴长(29.07 ± 1.87) μm ,赤道轴长(14.87 ± 0.88) μm , P/E 值为 1.96(1.61~2.24)。赤道面观为椭圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 19.87(15.00~23.50) μm ,萌发沟深,沟宽为 2.63(1.50~4.50) μm ,沟间距为 7.13(5.50~9.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

旱柳极轴长(26.07 ± 1.62) μm ,赤道轴长(14.37 ± 0.99) μm , P/E 值为 1.81(1.64~2.07)。赤道面观为长椭圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 21.60(17.00~28.00) μm ,萌发沟深,沟宽为 3.10(2.50~4.50) μm ,沟间距为 6.20(5.00~8.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

五蕊柳极轴长(24.83 ± 2.53) μm ,赤道轴长(13.20 ± 0.51) μm , P/E 值为 1.88(1.14~2.10)。赤道面观为长椭圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟,沟长达 17.13(15.50~26.00) μm ,萌发沟深,沟宽为 1.10(0.50~2.50) μm ,沟间距为 5.10(4.50~7.50) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰且孔密集。

旱垂柳极轴长(31.07 ± 1.51) μm ,赤道轴长(16.20 ± 0.46) μm ,体积较大, P/E 值为 1.92(1.68~2.22)。赤道面观为椭圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 19.27(16.00~24.00) μm ,萌发沟深,沟宽为 1.63(1.00~

2.50) μm ,沟间距为 6.63(6.00~8.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

深山柳极轴长(26.40 ± 1.71) μm ,赤道轴长(16.93 ± 0.47) μm , P/E 值为 1.07(0.84~1.43)。赤道面观为球形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 18.57(16.00~22.50) μm ,萌发沟深且宽,沟宽为 3.53(2.50~4.50) μm ,沟间距为 6.97(5.50~8.50) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

谷柳极轴长(28.93 ± 0.90) μm ,赤道轴长(15.53 ± 0.56) μm , P/E 值为 1.86(1.56~2.11)。赤道面观为椭圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 21.60(19.00~25.50) μm ,萌发沟深且宽,沟宽为 3.03(2.00~4.00) μm ,沟间距为 6.43(2.50~8.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

白皮柳极轴长(25.17 ± 1.16) μm ,赤道轴长(11.20 ± 1.16) μm ,体积较小, P/E 值为 2.25(1.85~2.84)。赤道面观为椭圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 20.63(18.50~23.00) μm ,萌发沟深,沟宽为 1.50(1.00~2.50) μm ,沟间距为 5.40(4.50~6.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

粉枝柳极轴长(22.07 ± 1.61) μm ,赤道轴长(15.97 ± 0.81) μm ,体积较小, P/E 值为 1.08(0.83~1.45)。赤道面观为球形,极面观为三裂圆

形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 15.60 (13.50 ~ 19.50) μm ,萌发沟深且宽,沟宽为 3.80 (2.50 ~ 5.50) μm ,沟间距为 6.97 (6.00 ~ 8.50) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰,孔大。

朝鲜柳极轴长 (21.00 \pm 1.24) μm ,赤道轴长 (14.40 \pm 1.20) μm ,体积较小, P/E 值为 1.06 (0.83 ~ 1.62)。赤道面观为球形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 15.20 (12.00 ~ 17.50) μm ,萌发沟深且沟宽距离大,沟宽为 3.57 (2.00 ~ 4.50) μm ,沟间距为 6.43 (4.50 ~

8.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰。

杞柳极轴长 (18.80 \pm 1.09) μm ,赤道轴长 (11.73 \pm 0.57) μm ,体积最小, P/E 值为 1.60 (1.31 ~ 1.90)。赤道面观为椭圆形,极面观为三裂圆形,三孔萌发沟并延伸达两极,沟长达 13.57 (11.00 ~ 16.50) μm ,萌发沟深且,沟宽为 2.17 (1.00 ~ 3.00) μm ,沟间距为 5.77 (4.50 ~ 7.00) μm ,沟内有细小的疣状凸起。表面覆盖网状纹饰,孔大。

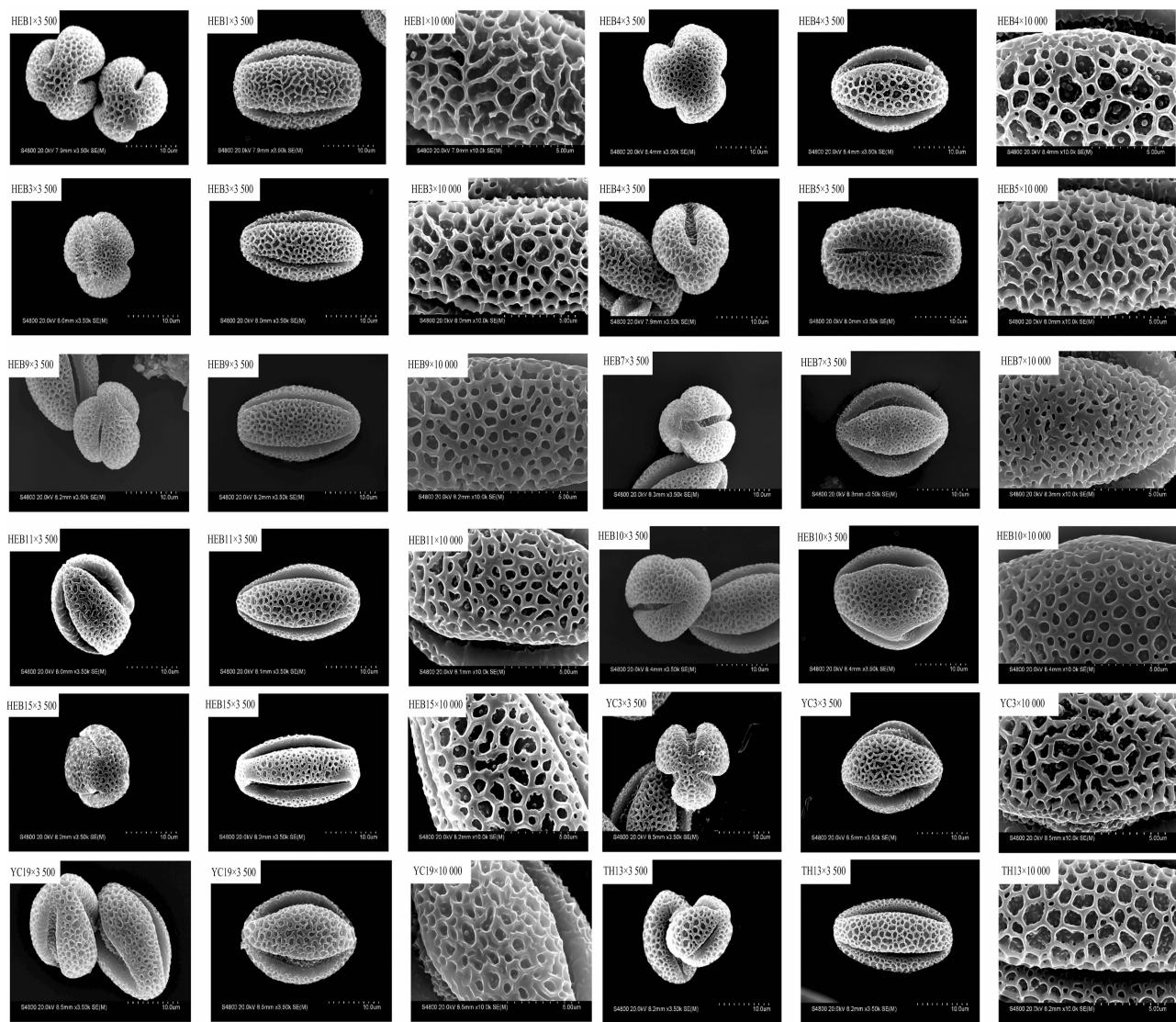


图1 扫描电镜观察金丝垂柳(HEB1)、龙爪柳(HEB3)、圆头柳(HEB4)、旱柳(HEB5)、五蕊(HEB7)、旱垂柳(HEB9)、深山柳(HEB10)、谷柳(HEB11)、白皮柳(HEB15)、粉枝柳(YC3)、朝鲜柳(YC19)、杞柳(TH13)的花粉形态照片

3 讨论与结论

柳属植物具有重要的经济价值,广泛应用于园林绿化、制作手工艺品、防风固沙等方面。在形态

学上,柳属植物雌雄异株、先花后叶、分布范围广、对环境适应性强、不同种之间的人为或自然杂交因素的影响,都使得柳属植物在物种鉴定上存在难度。因此,广大科研工作者一直专注于研究柳属植

物不同部位鉴定差异的课题。

花粉形态具有遗传上的保守性,同物种上的变异程度较小。分类学家们将花粉形态的异同作为分类研究的重要参考^[22-24]。植物花粉的形状、轮廓、外壁纹饰、萌发孔类型和特征及花粉壁结构等形态特征可为物种的鉴别提供重要的依据^[25-26]。本研究对 12 种柳属材料的花粉形态特征进行扫描电镜研究。不同物种的花粉在扫描电镜下也有区别,具体为极面观均为三裂圆形,赤道面观以多数椭圆形为主,还有少量球形,如深山柳、朝鲜柳和粉枝柳。花粉大小为(15.0 ~ 34.0) $\mu\text{m} \times$ (9.5 ~ 30.5) μm ,萌发孔类型为三沟。 P/E 值大多在 1 ~ 2 之间,但龙爪柳和白皮柳的 P/E 值大于 2。这表明柳属植物各物种间花粉粒萌发孔的类型以及极面观等方面相似性较高。本研究结果与其他关于柳属植物花粉相关特征的研究结果^[27-29]基本一致,表明柳属花粉形态保守性较高。本研究通过对柳属植物花粉显微鉴定分析,为柳属植物的准确鉴定及综合利用提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 吴征镒. 中国被子植物科属综论[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [2] 周以良,董世林. 黑龙江省植物志:第 4 卷[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1992.
- [3] Argus G W. Studies of the *Salix lucida* and *Salix reticulata* complexes in North America[J]. Canadian Journal of Botany,1986, 64(3):541-551.
- [4] 任宪威. 树木学[M]. 北京:中国林业出版社,1997.
- [5] 王春荣,梁海永,刘晶芳,等. 张承地区野生柳树资源调查报告[J]. 河北林业科技,2017(3):35-38.
- [6] 王东超. 柳属种质资源调查及其叶表皮微形态特征和分子系统学研究[D]. 昆明:云南农业大学,2013.
- [7] 李时珍. 本草纲目(下册)[M]. 北京:人民卫生出版社,1982:2031.
- [8] 江苏新医学院. 中药大辞典(下册)[M]. 太原:山西科学技术出版社,1997:522.
- [9] 祝星宇,张贻强,陈雨晴,等. 柳属植物化学成分及药理作用研究进展[J]. 中草药,2018,49(24):5952-5960.
- [10] Pohjamo S P, Hemming J E, Willför S M, et al. Phenolic extractives in *Salix caprea* wood and knots[J]. Phytochemistry,2003,63(2): 165-169.
- [11] Vieitez E, Seoane E, Gestó D V, et al. Substances isolated from woody cuttings of *Salix atrocinerea* and their growth properties[J]. Physiologia Plantarum,1987,20(1):232-244.
- [12] 封士兰,苏策,段生玉,等. 藏药山生柳的化学成分研究[J]. 中国中药杂志,2001,26(9):607-608.
- [13] 杨明,葛友群,曾宪仪,等. 旱柳叶化学成分研究[J]. 时珍国医国药,2009,20(8):1898-1899.
- [14] Rawat U, Semwal S, Semwal D K, et al. A new flavonoid glycoside from *Salix denticulata* aerial parts[J]. Molbank,2009(3):M622.
- [15] Pearl I A, Darling S F. Studies on the barks of the family Salicaceae. XXVIII. Leaves of the family Salicaceae. XV. Structures of salicortin and tremulacin[J]. Phytochemistry,1971,10(12): 3163-3166.
- [16] 刘墨祥,郑毅男. 旱柳叶中几种脂溶性化学成分的分离与鉴定[J]. 吉林农业大学学报,1997,19(4):44-51.
- [17] Zheng S, Wang J, Lu J, et al. Two new acyclic diterpene- γ -lactones from *Salix matsudan*[J]. Planta Medica,2000,66(5): 487-489.
- [18] Shelyuto V L, Bondarenko V G. Flavonoids of ethereal fractions from leaves of *Salix* L. species[J]. Rastit Resur,1987,23(4): 290-297.
- [19] Khan I U, Ansari W H. Biflavonoid from the family Salicaceae[J]. Indian Chem Soc,1985,62(9):713-714.
- [20] APG (The Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for orders and families of flowering plants: APG II[J]. Botanical Journal of the Linnean Society,2003,141:399-436.
- [21] Chase M W, Zmarzty S, Lledo M D, et al. When in doubt put it in Flacourtiaceae: a molecular phylogenetic analysis based on plastid rbcL DNA sequence[J]. Kew Bulletin,2002,57:141-181.
- [22] 潘建国. 试论应用孢粉学及其新进展[J]. 微体古生物学报,2002,19(2):206-214.
- [23] Ding C B, Li Q, Li Y, et al. Pollen viability and stigma receptivity of nine species and five variety in Paris[J]. Acta Prataculturae Sinica,2009,18(4):61-66.
- [24] Lan S Y, Xu Z X. The SEM of pollen release illustrations[M]. Beijing: Science Press,1996:42-45.
- [25] 王伏雄,钱南芬,张玉龙,等. 中国植物花粉形态[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [26] 郭英姿,贾文庆,周秀梅,等. 早开堇菜花粉生活力研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):191-194.
- [27] 王镜泉. 甘肃杨柳科花粉形态研究[J]. 植物学报,1985(6): 594-598,675-676.
- [28] 田焕新. 中国长白山地区植物花粉形态及其分类意义[D]. 合肥:安徽大学,2017.
- [29] 张军丽. 中国东北柳属花粉形态及其系统学研究[J]. 植物研究,1988,8(4):133-151.