



白麻花蜜腺及花瓣乳突细胞的发育解剖学研究

石秋梅¹,尹传华¹,王虹²,张思敏¹,张科³

(1.武夷学院茶与食品学院,福建武夷山 354300; 2.新疆大学生命科学与技术学院,乌鲁木齐 830046;

3.中国科学院新疆生态与地理研究所,荒漠与绿洲生态国家重点实验室,乌鲁木齐 830011)

摘要 白麻是中国西北干旱区一种重要的生态型蜜源经济植物,揭示白麻花蜜腺泌蜜的方式和规律对白麻植物资源的开发利用十分必要。以不同花期的新疆产白麻花为试验材料,通过石蜡切片技术和组织化学染色,借助光学显微镜、扫描电镜等仪器,观察研究白麻花蜜腺的形态特征、组织结构及其发生发育规律。研究结果表明:白麻花蜜腺着生于五浅裂的肉质环状花盘裂片上、位于每一花丝基部的内侧,形状为椭圆形,数量5个;蜜腺由分泌表皮、产蜜组织细胞和维管束组成,其中,蜜腺分泌表皮细胞变形突起并随表面角质层形成指状结构。组织化学反应发现,花蜜腺在发育过程中无淀粉粒变化,但具有蛋白质和多糖的消长变化。因此,白麻花泌蜜的可能途径是蜜汁由产蜜组织合成并经由蜜腺表面的指状突起渗透到植物体外,而不是从气孔泌出。此外,白麻花瓣内外表面的单细胞乳突亦具有分泌特性。

关键词 白麻;花蜜腺;发育解剖学;组织化学

中图分类号 S68

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2022)10-1381-08

白麻(*Apocynum pictum* Schrenk),夹竹桃科(Apocynaceae)罗布麻属(*Apocynum*)多年生宿根草本植物,俗称大叶白麻,异名为 *Poacynum pictum*、*Poacynum hendersonii* 或 *Apocynum hendersonii*^[1-2]。新疆为其主要分布区,分布面积约53万hm²,占全国罗布麻总面积的40%,产量约5万t,占全国产量的50%^[3]。由于白麻具有极强的耐寒、耐旱及抗盐碱能力而成为一种重要的生态型植物资源^[4]。同时,白麻的花期长达半年,出蜜量每公顷达18~26kg^[5]。因而,白麻也是一种重要的蜜源型经济植物,具有极大的应用开发价值。

花蜜富含人体健康所需的多种营养成分。有研究表明花蜜的主要成分除蔗糖、葡萄糖和果糖之外,还有氨基酸、蛋白质、维生素等^[6-7]。随着先进分析检测技术的应用,还检测到酚类、黄酮类及香气等抗氧化物质^[8]。蜜腺解剖学研究证明,蜜腺泌蜜方式多种多样,泌蜜的方式与产生分泌细胞的组织类型有关;此外,蜜源植物泌蜜产量及蜜汁品质还与蜜腺形态结构有着密切联系^[7]。有关

花蜜腺形态、类型、解剖学结构及后含物变化的研究报告有很多,近年来较多关注蜜腺的生态学作用^[9]、蜜腺发育及花蜜分泌的分子机理^[10-16],而且研究对象多以栽培植物为主。有关白麻这种抗逆性强、泌蜜量大的生态经济型的野生植物的花蜜腺解剖结构特点、发育规律以及泌蜜机制的解剖学研究尚未见报道。因此,开展白麻花蜜腺的发育解剖学研究有利于加深对干旱区植物适生态适应性机制的理解,为白麻植物资源的开发利用提供理论依据。

本研究以新疆产白麻为试验材料,基于石蜡切片技术并借助光学显微镜、扫描电镜等仪器,分析白麻花蜜腺的形态特征、组织结构及其发生发育规律;同时,通过对石蜡切片组织化学染色研究,揭示白麻花蜜腺泌蜜的方式和规律,为进一步合理利用白麻植物资源提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料采自中国科学院新疆分院阜康实验

收稿日期:2021-08-03 修回日期:2021-09-22

基金项目:作物遗传育种与综合利用省部级共建教育部重点实验室(福建农林大学)开放研究基金(GBMUC-2019-001);新疆南疆地区盐渍化区(巴州)生态地质调查项目(WZD2021BX02-01);武夷学院引进人才科研启动经费(YJ201806)。

第一作者:石秋梅,女,博士,副教授,研究方向为植物资源及其开发利用。E-mail:sqm06@sina.com

通信作者:张科,男,博士,高级工程师,研究方向为盐生植物资源及其开发利用。E-mail:zhangke@ms.xjb.ac.cn

站盐生植物园的栽培植株,白麻花期 5—9 月,采集现蕾期、花蕾膨大期、露冠期、初放期、盛花期和败花期共 6 个花期的白麻花。在白麻栽培区随机选择采集植株约 20 株,每个花期的鲜花采集约 20 朵左右。

1.2 方法

采集不同花期的新鲜白麻花,装进干净的青霉素瓶中,加入 FAA 固定液固定,固定液配方为:90%的 50%酒精+5%的冰醋酸+5%的福尔马林,固定时间 24 h 以上。先加入番红(在 70%乙醇中)进行整体染色,再经从低浓度到高浓度的酒精(乙醇浓度:70%~100%)对花进行脱水,然后用二甲苯对脱水后的花做透明处理,再用石蜡包埋后进行切片(厚 6 μm),二甲苯进行脱蜡透明,再经从低浓度到高浓度的酒精(乙醇浓度:70%~100%)对花的石蜡切片进行脱水处理。为观察分析花蜜腺分泌的淀粉粒、蛋白质和多糖化学成分,石蜡切片除了进行基础的番红—固绿对染外,还需分别进行碘—碘化钾淀粉染色、考马斯亮蓝染色和多糖—高碘酸—席夫试剂染色(PAS 反应)。染色后再用从低浓度到高浓度的酒精(乙

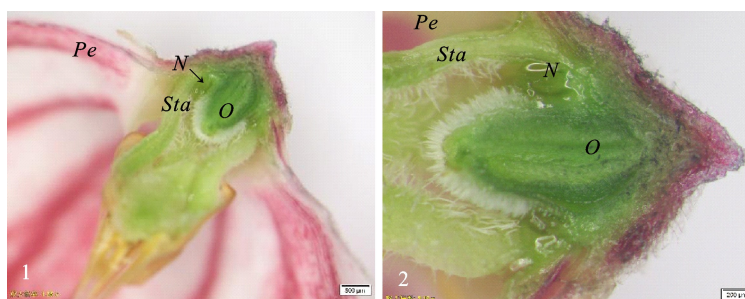
醇浓度:70%~100%)对花的石蜡切片进行脱水处理,经二甲苯透明后,加拿大树胶封片,在 Nikon(E=2 000)显微镜下观察并拍照。从每个花期各选择 5~10 朵分别制作横、纵切片,每个方向制备 5~10 个切片,每个切片观察 5~10 个视野。

另取新鲜的白麻盛花期花朵,用 CARON ACCESSORY 喷镀仪对材料进行镀金,并在 LEO1430VP 扫描电镜下观察花瓣形态表面特征并拍照。此外,在 OLYMPUS 双目体视显微镜下观察白麻盛花期花朵,并纵切,观察蜜腺位置、形状并拍照。

2 结果与分析

2.1 白麻花蜜腺的形态特征

在 OLYMPUS 双目体视显微镜下对白麻盛花期花进行解剖观察,白麻花的花色为粉红色,花蜜腺着生于五浅裂的花盘裂片处,位于每一花丝基部内侧,椭圆形,共 5 个(图 1-1,1-2)。此外观察扫描电镜图,花瓣表面分布许多瘤状乳突,表面细胞不平且具有纹理(图 2-1,2-2)。



1. $\times 1.25$; 2. $\times 3.15$; N. 蜜腺; O. 子房; Pe. 花瓣; Sta. 雄蕊

1. $\times 1.25$; 2. $\times 3.15$; N. Nectary; O. Ovary; Pe. Petal; Sta. Stamen

图 1 盛花期白麻花朵纵切面图

Fig. 1 Longitudinal section of flower at full-bloom stage

2.2 白麻花盘蜜腺发育过程

白麻花蜜腺和花瓣乳突细胞的发育可分为以下几个阶段。

2.2.1 现蕾期 随蜜腺原基细胞不断分化生长,花蜜腺隆起增大,位于花丝内侧基部,形成有分泌表皮细胞、产蜜组织和尚未完全成熟微管束的椭圆形的花蜜腺(图 3-1,3-2)。花瓣的外表皮细胞发育形成许多乳突,内表皮细胞没有乳突或分布很少(图 4-2)。

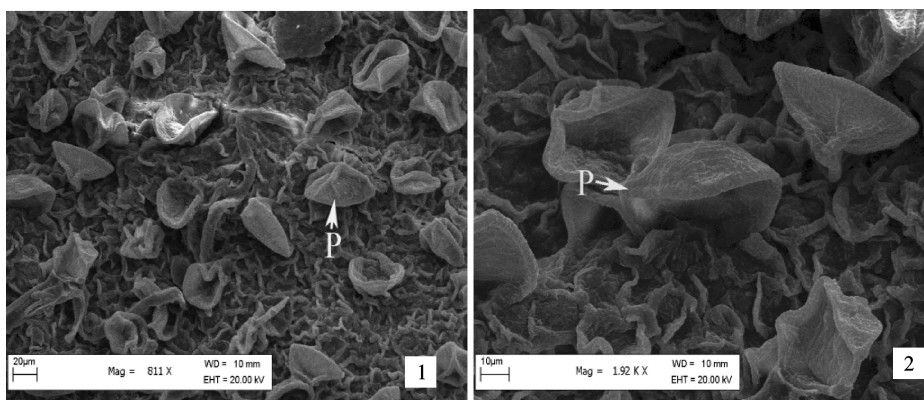
2.2.2 花蕾膨大期 随着花蜜腺细胞的进一步发育,花蜜腺中的维管束清晰可辨,产蜜组织细胞

比分泌表皮细胞大(图 3-2)。花瓣内外表皮细胞上的乳突分布增多,内表皮细胞的乳突比外表皮细胞乳突相对要大,内外表皮细胞的乳突数量相当,有的乳突的蜜汁完全分泌出去(图 3-3)。组织化学染色发现:在花蜜腺的维管束周围有蛋白质颗粒积累,花瓣表皮细胞乳突也有较浓的蛋白质;PAS 反应花瓣表皮细胞乳突出现玫瑰红颜色的多糖物质,但花蜜腺产蜜组织和分泌表皮细胞中多糖的分布不太明显;仍无淀粉颗粒。

2.2.3 露冠期 此时期,花蜜腺分泌表皮细胞发生细胞变形并包进突起的角质层中,形成由表面

角质层凸和分泌表皮细胞组成的指状突起,向外分泌蜜汁,角质层并没有破裂,产蜜组织细胞间有分泌道(图 2-3)。花瓣外表皮细胞乳中的蜜汁已分泌出去(图 4-4)。组织化学染色表明:花蜜腺

的维管束周围蛋白质颗粒积累增多,从维管束到分泌表皮的方向呈现出蛋白质浓度梯度,花瓣上的乳突被染成深蓝色;P 花瓣乳突中出现紫玫瑰色的多糖物质,花蜜腺中仍然没有淀粉粒分布。

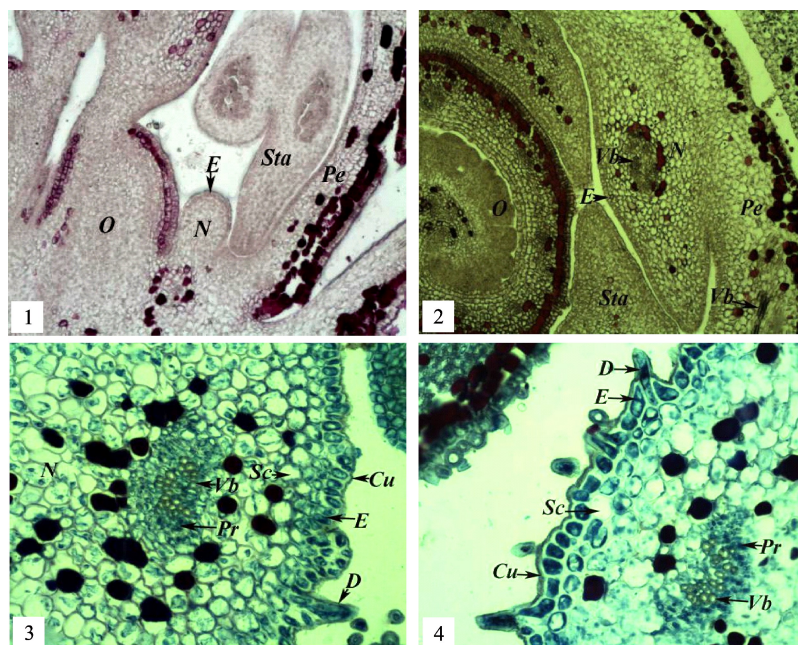


1,2. 花瓣和乳突的外观(1. $\times 881$, 2. $\times 1.92k$); P. 乳突

1,2. Appearance of the petals and papillae; P. papilla

图 2 白麻花瓣表面扫描电镜图

Fig. 2 Scanning electron micrograph of *Apocynum pictum* petal

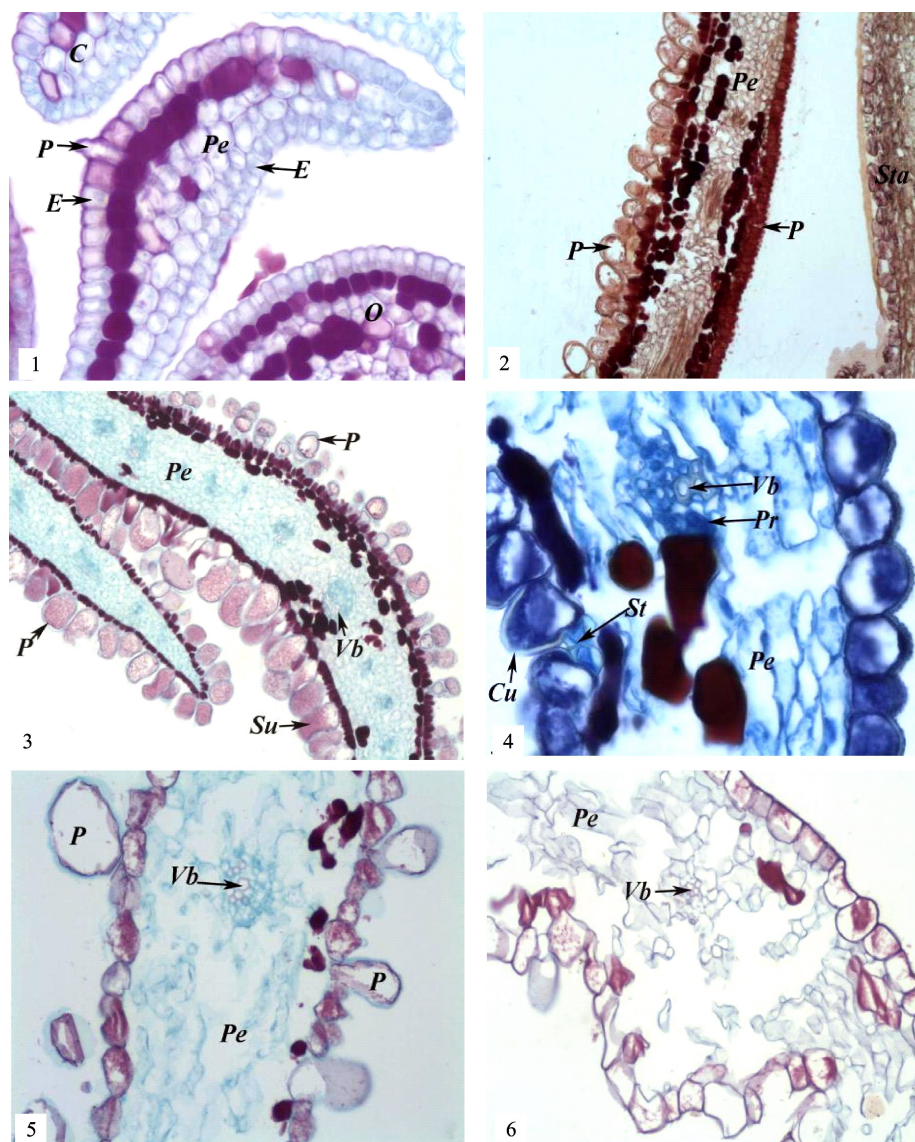


1. 现蕾期,示花蜜腺与子房、雄蕊、花瓣的位置($\times 100$); 2. 现蕾期,示花蜜腺的结构组成($\times 200$); 3. 初放期,示花蜜腺分泌表皮特化成指状凸起($\times 400$); 4. 盛花期,示花蜜腺分泌表皮特化的指状突起($\times 400$)。C. 花萼; Cu. 角质层; D. 指状突起; E. 分泌表皮; N. 蜜腺; Ne. 产蜜组织; Np. 蜜腺原基; O. 子房; Pe. 花瓣; Pr. 蛋白质; R. 皱褶; S. 淀粉粒; Sc. 分泌道; Sta. 雄蕊; Su. 多糖; Vb. 维管束

1. Showing the location of the nectary, ovary, stamens, and petals($\times 100$) in squaring stage; 2. Showing the structure of the nectary, secretory epidermis and sugar($\times 200$) in squaring stage; 3. Showing finger-like protrusions made from the secretory epidermis of the nectary($\times 400$) at the beginning of burst into bloom; 4. Showing finger-like protrusions made from the secretory epidermis of the nectary($\times 400$) in blooming stage. C. Calyx; Cu. Cuticle; D. Digitationes; E. Epidermis; N. Nectary; Ne. Nectariferous tissue; Np. Nectary primordium; O. Ovary; Pe. Petal; Pr. protein; R. reductus; S. Starch grain; Sc. Secretory canal; Sta. Stamen; Su. sugar; Vb. Vascular bundle

图 3 花蜜腺解剖结构及发育过程

Fig. 3 Anatomical structure and development process of floral nectary



1. 孕蕾期, 示花瓣乳突原基(×100); 2. 现蕾期, 示花瓣内外表面乳突(×200); 3. 花蕾膨大期, 示花瓣内外表皮乳突和多糖物质(×200); 4. 露冠期, 示花瓣内外表皮乳突(×200); 5. 初放期, 示花瓣内外表皮乳突(×200); 6. 盛花期, 示花瓣内外表皮细胞(×200)。C. 花萼; Cu. 角质层; E. 分泌表皮; O. 子房; P. 乳突; Pe. 花瓣; Pr. 蛋白质; R. 皱褶; St. 气孔; Sta. 雄蕊; Su. 多糖; Vb. 维管束

1. At gestational bud stage, showing petal papillary primordia(×100); 2. At squaring stage showing the papillae changes in the inner and outer surface of petal in the bud stage(×200); 3. At flower bud expansion stage, showing the papillae and polysaccharide in the inner and outer surface of petal (×200); 4. At dew crown stages, showing the papillae changes in the inner and outer surface of petal in the crown-out period (×200); 5. At the beginning of burst into blooms showing the papillae changes in the inner and outer surface of petal in the initial release period (×200); 6. At blooming period, epidermal cells in the inner and outer surface of petal (×200). C. Calyx; Cu. Cuticle; E. Epidermis; O. Ovary; P. papilla; Pe. Petal; Pr. protein; R. reductus; St. stoma; Sta. Stamen; Su. sugar; Vb. Vascular bundle

图 4 花瓣乳突细胞发育过程

Fig. 4 Development process of petal papillary cell

2.2.4 初放期 花蜜腺表皮细胞角质层和分泌表皮细胞一起向外形成指状的突起, 有多个细胞聚集到一个突起处, 集中从指状的顶端分泌蜜汁(图 3-3)。花瓣外表皮细胞乳突间有气孔, 花瓣两表皮细胞的乳突开始发生变形萎缩, 乳突内含

物泌出, 花瓣中间层细胞开始凋败(图 4-5)。组织化学染色表明, 在维管束周围和分泌表皮细胞有蛋白质, 花蜜腺的产蜜组织细胞中有淀粉粒分布; 花蜜腺中的多糖的分布不明显, 而花瓣表皮细胞乳突有紫玫瑰色但变淡, 有少量多糖类物质

分布。

2.2.5 盛花期 花蜜腺表皮指状突起不断向外分泌蜜汁,角质层变厚,表皮分泌细胞小而细胞间隙变大,分泌道明显,很容易区分角质层、分泌表皮细胞和产蜜组织细胞(图 3-4)。花瓣内外表皮细胞乳突大部分蜜汁已分泌出去,在花瓣的表面紧密排列,萎缩变形,花瓣中间层细胞严重凋败(图 4-6)。组织化学染色表明:在靠基部花蜜腺的产蜜组织细胞有淀粉粒分布,其动态不明显;在维管束周围深蓝色蛋白质,在产蜜组织中的蓝色很均匀,浓度低,而分泌表皮和维管束周围的浓度高;花蜜腺的 PAS 反应仍不明显,花瓣表皮细胞乳突的着色也变淡变轻,花瓣乳突的分泌基本停止。

2.2.6 败花期 此时期,花蜜腺极度的萎缩,花瓣细胞严重凋败。在染色反应中,没有相应的颜色反应现象。

3 结论与讨论

3.1 白麻花蜜腺的形态和类型

从植物解剖学的角度可将蜜腺分为结构蜜腺和非结构蜜腺^[17]。着生于花盘顶端裂片处的 5 个椭圆形蜜腺,位于每一花丝的内侧基部,具有明显的结构蜜腺特征,且与《西北蜜源植物及其开发利用》^[18]中对白麻花蜜腺的描述及周玲玲等^[19]对罗布麻 *Apocynum venetum* 花蜜腺观察的结果相一致。如果按照蜜腺的形态和着生位置分类,白麻花的蜜腺又属于花盘蜜腺^[17],这与新疆阿魏^[20]、紫苏花的盘状蜜腺相似^[21],而与沙拐枣花^[22]、杏花^[23]、紫云英^[24]、小花糖芥^[25]及短果大蒜芥^[26]的侧半环蜜腺有所不同。

3.2 白麻花蜜腺的发生、发育特点及泌蜜方式

蜜腺是一种外分泌结构,是植物器官表面一些细胞转化而成的一种特殊腺体^[17]。着生于花盘顶端的 5 个椭圆形蜜腺是由表皮细胞分化形成花蜜腺原基,花蜜腺原基细胞也随之不断的分裂形成具有分泌表皮、产蜜组织细胞和维管束的成熟蜜腺,而后分泌表皮细胞变形突起随花蜜腺表面的角质层形成指状结构,不断向外泌蜜。至败花期蜜腺分泌表皮细胞和花瓣表面的乳突变形萎缩,产蜜组织细胞凋败,泌蜜停止。蜜腺石蜡切片观察发现:花盘蜜腺分泌表皮外覆角质层没有破裂,也未见蜜汁从气孔泌出。因此,蜜汁可能是通过分泌表皮外覆角质层渗透到植物外。这与垂

柳^[27]、白三叶草^[28]、香叶天竺葵^[29]、腊梅^[30]等的蜜汁从变态气孔泌出不同,是白麻特有的泌蜜结构。

在白麻花蜜腺发育的过程中,花盘蜜腺中多糖物质不明显,发育的早期没有淀粉粒的分布,淀粉粒在初放期和盛花期出现在花盘蜜腺产蜜组织细胞中,蛋白质的消长明显。

3.3 白麻花瓣表面乳突的发生、发育特点

白麻花蜜腺的结构具有一定的复杂性,除花盘裂片上 5 个椭圆形蜜腺外,花瓣内外表面还分布有单细胞乳突。花瓣外面表皮细胞比内面表皮细胞更早发育出乳突。在发育的早期,内表皮细胞乳突的数量较外表皮要少,但最终更多的乳突遍布在花瓣内外表皮。随着花期推迟至盛花期,花瓣内外两面表皮细胞紧密排列,花瓣中间层细胞凋败,乳突中的物质较少,有的乳突中的内含物泌出,形成的空壳从花瓣上脱落,最终在败花期乳突萎缩脱落,花瓣表皮细胞表面角质化。花瓣乳突细胞发育的过程中,多糖物质消长明显,没有淀粉粒分布,蛋白质的消长明显。其他文献亦报道具有分泌功能的类似结构。车晓芬^[31]在毛茛科驴蹄草属的驴蹄草 *Caltha palustris* 的花分泌组织上观察到心皮外壁两侧有顶端明显膨大且细胞核大、细胞质浓厚的单细胞毛,并认为这种细胞毛很可能具有分泌功能。茄科 *Schwenckia* 属植物 *S. angustifolia* 和 *S. americana* var. *americana* 的线状和棒状附属物表皮最外层细胞为单细胞乳突结构,含有吸引传粉昆虫的酚类、脂类及挥发类物质^[32]。Sulborska 等^[33]研究发现,野玫瑰 (*Rosa rugosa*) 花瓣近轴面表皮细胞会形成圆锥形乳突状细胞,被大量角质层纹理覆盖,分泌的香气物质通过角质层渗透出。Li 等^[30]研究发现腊梅花香可能是由分布在最内层和中层花瓣近轴面表皮蜜腺气孔散发出来的,而在花瓣背面几乎没有表皮蜜腺分布。Brehm 等^[34]在植物 *Lasthenia chrysostoma* 的完整干燥花瓣,发现其叶表皮乳头状突起细胞尖端有高浓度的、对吸引昆虫采蜜有重要作用的类黄酮物质。Tölke 等^[8]研究发现,槭树科的许多种类花蜜腺盘表面分布有单细胞乳突状突起,可分泌糖类、脂类和酚类物质。上述文献所述花显微结构中的单细胞乳突与白麻花瓣的类似,但白麻花瓣表面乳突细胞中的分泌物有待进一步研究。随着高效液相色谱、高效气相色谱、质谱、等离子发射光谱等新兴技术在花蜜化

学分析中的应用,将有助于进一步从植物化学角度进行鉴定^[35-36]。

参考文献 Reference:

- [1] 中国科学院植物志编委会. 中国植物志 [M]. 第 63 卷. 北京: 科学出版社, 1977: 163.
Editorial Committee of Flora of Chinese Academy of Sciences. Flora of China [M]. Volume 63. Beijing: Science Press, 1977: 161.
- [2] 米吉提·胡达拜尔地, 潘晓玲, 努尔巴衣, 等. 新疆植物志 [M]. 第四卷. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2004.
MIJITI · HUDABIRDI, PAN X L, NUERBAYI, *et al.* Flora of Xinjiang [M]. Volume 4. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2004.
- [3] 阿斯娅·曼力克, 孙 韬, 崔恒心, 等. 新疆大叶白麻资源及其开发利用前景 [J]. 中国农业资源与区划, 2003, 24(3): 27-30.
ASYA · MENLIKE, SUN T, CUI H X, *et al.* Big-leaf white hemp resources and prospects for its development and utilization in Xinjiang [J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2003, 24(3): 27-30.
- [4] 肖正春, 袁昌齐, 束成杰, 等. 罗布麻类植物资源开发利用及展望 [J]. 中国野生植物源, 2018, 37(1): 1-4.
XIAO ZH CH, YUAN CH Q, SHU CH J, *et al.* Development, utilization and outlook of *Apocynum* resources [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2018, 37(1): 1-4.
- [5] 米吉提·胡达拜尔地, 玉米提·哈力克. 新疆蜜源植物及其利用 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科学出版社, 1993.
MIJITI · HUDABIRDI, UMUT · HALIK. Xinjiang Nectar Plants and their Utilization [M]. Urumqi: Xinjiang Academic Press, 1993.
- [6] HEIL M. Nectar: generation, regulation and ecological functions [J]. *Trends in Plant Science*, 2011, 16: 191-200.
- [7] POWER E F, STABLER D, BORLAND A M, *et al.* Analysis of nectar from low-volume flowers: a comparison of collection methods for free amino acids [J]. *Methods in Ecology and Evolution*, 2018, 9: 734-743.
- [8] TÖLKE E D, BACHELIER J B, LIMA E A, *et al.* Diversity of floral nectary secretions and structure, and implications for their evolution in Anacardiaceae [J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2018, 187: 209-223.
- [9] STEVENSON P C, NICOLSON S W, WRIGHT W G. Plant secondary metabolites in nectar: impacts on pollinators and ecological functions [J]. *Functional Ecology*, 2017, 31: 65-75.
- [10] ROY R, SCHMITT A J, THOMAS J B, *et al.* Review: nectar biology: from molecules to ecosystems [J]. *Plant Science*, 2017, 262: 148-164.
- [11] SOLHAUG E M, ROY R, CHATT E C, *et al.* An integrated transcriptomics and metabolomics analysis of the *Cucurbita pepo* nectary implicates key modules of primary metabolism involved in nectar synthesis and secretion [J]. *Plant Direct*, 2019, 3: 1-13.
- [12] LIU H H, MA J K, LI H G. Transcriptomic and microstructural analyses in *Liriodendron tulipifera* Linn. Reveal candidate genes involved in nectary development and nectar secretion [J]. *BMC Plant Biology*, 2019, 19: 531-548.
- [13] FILIP S, CATHERINE D, HALIMA M, *et al.* The genetic control of nectary development [J]. *Trends in Plant Science*, 2020, 22(5): 781-793.
- [14] 迟韵阳. 蜂蜜成熟过程中糖的变化及油菜蜜腺分泌蔗糖的分子机制 [D]. 南昌: 南昌大学, 2020.
CHI Y Y. Changes of carbohydrates during the ripening of honey and molecular mechanism of sucrose secretion in *Brassica napus* nectary [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020.
- [15] 胡 伟. 棉花花外蜜腺的遗传与进化分析 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
HU W. Genetic and evolution analysis of extrafloral nectary in cotton [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.
- [16] HU W, QIN W Q, JIN Y Y, *et al.* Genetic and evolution analysis of extrafloral nectary in cotton [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2020, 18(10): 2081-2095.
- [17] FAHN A. Secretory Tissues in Plants [M]. New York: Academic Press, 1979: 51-113.
- [18] 中国农业科学研究院养蜂研究所. 西北蜜源植物及其开发利用 [M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1986: 183.
Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Nectar Plants in Northwestern China and Their Development and Utilization [M]. Yinchuan: Ningxia People's Publishing House, 1986: 183.
- [19] 周玲玲, 陆嘉惠, 吴 玲, 等. 罗布麻花解剖结构的观察研究 [J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2000, 4(1): 39-42.
ZHOU L L, LU J H, WU L, *et al.* Studies on the floral anatomical structure of Xinjiang *Apocynum venetum* [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2000, 4(1): 39-42.
- [20] 王 虹, 张富春. 药用类短命植物新疆阿魏花蜜腺的发育解剖学研究 [J]. 植物研究, 2004, 7(1): 406-409.
WANG H, ZHANG F CH. Developmental and anatomical studies on the floral nectaries in *Ferula sinkiangensis* K. M. Shen. [J] *Bulletin of Botanical Research*, 2004, 7(1): 406-409.
- [21] 滕红梅, 胡正海. 紫苏花蜜腺的发育解剖学研究 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(7): 1288-1291.
TENG H M, HU ZH H. Developmental and anatomical studies on the floral nectaries in *Perilla frutescens* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(7): 1288-1291.
- [22] 王 虹, 王 馨, 王永星, 等. 艾比湖沙拐枣花蜜腺的发育解剖学研究 [J]. 植物研究, 2010, 5(3): 262-266.
WANG H, WANG X, WANG Y X, *et al.* Developmental

- anatomy of the floral nectaries in *Calligonum ebinuricum* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2010, 5(3): 262-266.
- [23] 王 虹, 吴 晶, 邓彦斌. 杏花蜜腺的解剖学研究[J]. 植物研究[J]. 2002, 22(4): 456-458.
- WANG H, WU J, DENG Y B. The developmental and anatomical studies on the floral nectary in *Armeniaca vulgaris* Lam [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2002, 22(4): 456-458.
- [24] 沈宗根. 紫云英花蜜腺的发育解剖学研究[J]. 西北植物学报, 1997, 17(5): 22-25.
- SHEN Z G. The structure and development of nectary in *Astragalus sinicus* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1997, 17(5): 22-25.
- [25] 王 虹, 阿不都拉·阿巴斯, 吴 晶, 等. 小花糖芥花蜜腺的解剖学研究[J]. 生命科学研究, 2001, 5(3): 250-253.
- WANG H, ABDULLAH · ABBAS, WU J, *et al.* Developmental and anatomic studies on the floral nectaries in *Erysium cheiranthoides* [J]. *Life Science Research*, 2001, 5(3): 250-253.
- [26] 阿不都拉·阿巴斯, 王 虹, 艾尼瓦尔, 等. 短果大蒜芥花蜜腺的发育解剖学研究[J]. 云南植物研究, 2002, 24(5): 645-650.
- ABDULLAH · ABBAS, WANG H, ANWAR, *et al.* Developmental and anatomic studies on the floral nectaries in *Sisymbrium loeselii* var. *brevicarpum* [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2002, 24(5): 645-650.
- [27] 张云峰, 邓彦斌, 刘文哲, 等. 垂柳花蜜腺的发育解剖学研究[J]. 西北植物学报, 1997, 17(5): 22-25.
- ZHANG Y F, DENG Y B, LIU W ZH, *et al.* Developmental anatomy of floral nectaries in *Salix babylonica* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1997, 17(5): 22-25.
- [28] 邓彦斌, 骆建敏, 叶新莉. 白三叶草花蜜腺的发育解剖学研究[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 1997, 14(4): 78-81.
- DENG Y B, LUO J M, YE X L. Anatomic studies of the floral nectaries [J]. *Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition)*, 1997, 14(4): 78-81.
- [29] 李 雪, 杨明华, 夏永学, 等. 香叶天竺葵花蜜腺形态结构及发育解剖学研究[J]. 西北农业学报, 2018, 27(4): 474-479.
- LI X, YANG M H, XIA Y X, *et al.* Studies on morphological structure and developmental anatomy of floral nectary in *Pelargonium graveolens* L [J]. *Acta Agricolturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(4): 474-479.
- [30] LI Z N, JIANG Y J, LIU D F, *et al.* Floral scent emission from nectaries in the adaxial side of the innermost and middle petals in *Chimonanthus praecox* [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2018, 19: 3278-3290.
- [31] 车晓芬. 毛茛科植物花分泌组织的比较形态学研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.
- CHE X F. Study on comparative morphological study of the floral secretory tissue of Ranunculaceae plants [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2012.
- [32] PAUCAR O A, ISAIAS R M S, STEHMANN J R. Unravelling the structure and function of the petal appendages in the tribe Schwenckieae (Solanaceae) [J]. *Plant Biology*, 2020, 22: 146-156.
- [33] SULBORSKA A, WWRYSZKO-CHMIELEWSKA E, CHWIL M. Micromorphology of *Rosa rugosa* Thunb. petal epidermis secreting fragrant substances [J]. *Acta Agrobotanica*, 2012, 65(4): 21-28.
- [34] BREHM B G, KRELL D. Flavonoid localization in epidermal papillae of flower petals; a specialized adaptation for ultraviolet absorption [J]. *Science*, 1975, 190 (4220): 1221-1223.
- [35] SOLHAUG E M, JOHNSON E, CARTER C J. Carbohydrate metabolism and signaling in squash nectaries and nectar throughout floral maturation [J]. *Plant Physiology*, 2019, 180: 1930-1946.
- [36] 侯 佳, 王占义, 刘金泉, 等. 建兰蜜腺的显微结构及释香研究[J]. 热带作物学报, 2018, 39(6): 1108-1113.
- HOU J, WANG ZH Y, LIU J Q, *et al.* Microstructure and aroma of nectary in *Cymbidium ensifolium* (L.) . Sw [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(6): 1108-1113.

Development and Anatomy of Floral Nectaries and Petals Papillae in *Apocynum pictum*

SHI Qiumei¹, YIN Chuanhua¹, WANG Hong², ZHANG Simin¹ and ZHANG Ke³

(1. College of Tea and Food Technology, Wuyi University, Wuyishan Fujian 354300, China; 2. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract *Apocynum pictum* is an important honey source plant with higher ecological and economical value in the arid zone of northwestern China. Clarifying the way and pattern of the *Apocynum pictum* floral nectar secretion is necessary to plant resources utilization. We investigated the micromorphology and anatomical structure of the flower nectary and petals papillae of *Apocynum pictum* from Xinjiang arid zone in China by using optical microscope and scanning electron microscope and other instruments. We also performed histochemical tests to determine if nectary is involved in the production of starch grain, proteins and sugar. The results suggested that there are five oval floral nectaries in *Apocynum pictum* flower in total. The floral nectary distributes in the inner side of the base of each filament on the lobe of five-lobed ring-shaped flower disc. And floral nectary is composed of secretory epidermis, nectarogenic tissue cells and vascular bundles. Among them, the nectary epidermal cells deformed, protruded and formed finger-like structures along with the surface cuticle. In addition, no obvious variation trends were observed in starch grain during the development of nectary. But there was significant fluctuation in protein and sugar at same period. So, the nectar of *Apocynum pictum* is possibly synthesized by the nectar-producing tissue and secreted from the finger-like protrusions on the surface of the nectary instead of the stomata. In addition, the single-cell papillae with secretory properties were observed on the inner and outer surfaces of petals in *Apocynum pictum*.

Key words *Apocynum pictum*; Floral nectary; Anatomy; Histochemistry

Received 2021-08-03

Returned 2021-09-22

Foundation item Key Laboratory for Genetics, Breeding and Multiple Utilization of Crops of Ministry of Education and Fujian Province, College of Agriculture, Fujian Agriculture and Forestry University (No. GBMUC-2019-001); Ecological and Geological Survey Project of Salinized Area (Bayingol Mongolian Autonomous Prefecture) in Southern Xinjiang Region (No. WZD2021BX02-01); Research Start-up Foundation for the Introduction of High-level Talents of Wuyi University (No. YJ201806).

First author SHI Qiumei, female, Ph. D, associate professor. Research area: plant resources and its utilization. E-mail: sqm06@sina.com

Corresponding author ZHANG Ke, male, Ph. D, senior engineer. Research area: halophyte resources and its utilization. E-mail: zhangke@ms.xjb.ac.cn

(责任编辑: 郭柏寿 Responsible editor: GUO Baishou)