

## 文冠果传粉生物学特性研究

田 英<sup>1,2</sup>, 王娅丽<sup>1,3</sup>, 王 钰<sup>1,3</sup>, 刘玉娟<sup>1,2</sup>

(1. 宁夏林业研究所股份有限公司, 宁夏 银川 750004; 2. 种苗生物工程国家重点实验室, 宁夏 银川 750004; 3. 西北特色经济林栽培与利用国家地方联合工程研究中心, 宁夏 银川 750004)

**摘要:**为准确掌握文冠果开花生物学规律,对宁夏银川植物园引种的文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge)优良株系传粉生物学特性进行了研究。结果表明:文冠果为杂性花,即可孕花(两性花)与不孕花(雄花)同株,盛花期短,花粉活力较低,其繁育系统属于兼性异交、部分自交亲和、需要传粉者。

**关键词:**文冠果;开花生物学;花粉活力;柱头可授性;繁育系统

**中图分类号:**S634.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2013)06-0050-06

文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge)又名木瓜、文官果,隶属于无患子科文冠果属,为单种属,落叶乔木或灌木。原产我国北方,秦岭、淮河以北,内蒙古以南,东起辽宁、西至青海、南至河南及江苏北部,以内蒙古、山西、陕西和新疆等省区数量较多。文冠果喜阳,耐半荫,寿命长,适应性、抗逆性强,生长快,材质坚硬,同时又能结果,决定了它是荒山绿化的优良树种。文冠果株形优美,花叶俱佳,其花序大而花朵密,具有较高的观赏价值,种子营养丰富、种仁含油率高,是一种中国特有的珍稀木本油料植物,有北方油茶之称,具有很高的应用价值,尤其是较高的药用价值<sup>[1-3]</sup>。多年

来,国内外学者在文冠果的生物学、化学、药理学以及栽培技术等方面做了大量的工作,取得了丰硕的成果,然而,其开花特性、坐果率低、生产中良种化程度低是目前文冠果高产栽培中亟需解决的重要问题,严重制约着文冠果高产栽培。传粉生物学是近年来新兴的学科,是研究与传粉事件有关的各种生物学特性及其规律的一门学科,是植物生殖生态学和进化生物学关注的焦点之一,对研究植物良种选育和高产栽培有着重要意义<sup>[4-6]</sup>。目前对文冠果传粉生物学的研究尚未见报道,该文试图通过对文冠果花部形态特征和繁育系统等进行研究,以期准确掌握文冠果的开花生物学规律,为进一步研究其传粉生物学提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

供试材料取自银川植物园,为2005年引种于内蒙古呼和浩特市,经嫁接繁育的三年生文冠果植株。

收稿日期:2013-01-22

基金项目:宁夏科技攻关资助项目;国家重点基础发展计划(973计划)资助项目(2010CB735702)

第一作者简介:田英(1982-),女,陕西省西安县人,硕士,助理研究员,从事植物选育及生殖生物学研究。E-mail: tianying\_1982@126.com。

### 3 结论

通过2a的试验种植得出,籽用南瓜金苹果二星、平板新一号、金苹果四星这3个品种在青海

省海拔2 200 m以下地区种植是成功的。产量较高,发展潜力极大。可以作为一条增加农民收入的项目推广种植。

## The Screening and Appraisal of Seed Pumpkin Varieties in Qinghai City

CAO Yu-mei

(Agricultural Demonstration Park Administrative Committee of Huzhu County of Qinghai Province, Huzhu, Qinghai 810500)

**Abstract:** In order to promote propagation and popularization of seed pumpkin, seed pumpkin varieties introduced from Gansu Golden Apple Company were planted in 2011~2012 in some areas of Qinghai province, through comprehensive comparison, the cultivation techniques of seed pumpkin were mastered. The results showed that Golden apple two-star, Golden apple four-star and Pingban New 1 had strong stress resistance, good adaptability, high yield, suitable for cultivating in the area below 2 200 m elevation.

**Key words:** seed pumpkin; screening; appraisal

1.2 方法

1.2.1 文冠果开花生物学特征 于2011年春季文冠果萌芽期开始,在银川植物园已有的三年生文冠果居群中随机选取5个单株进行标记,每一单株上选取5个枝条作为定枝,观察新芽发生及新梢生长情况。并于开花前在每定枝上随机选取5朵花蕾作为定花观察开花情况。从始花开始至花期结束,每天7:00~18:00每隔2h定时对定株、定枝、定花进行观察,记录单花的形态变化。整个过程记录开花物候期,单花开放过程及时间和落花落果现象等。

1.2.2 花粉活力检测 选择三年生文冠果于花蕾期、开花初期、完全开花后(初散粉)、开花4,8,12和24h等7个时间各随机取5朵花的花粉进行活力检测,采用检测TTC法。具体步骤如下:①磷酸盐缓冲溶液配制:称取1.673g十二水磷酸氢二钠和0.273g磷酸氢二钾溶解于10mL蒸馏水中,调整pH为7.17。②TTC溶液配制:称取0.05gTTC溶解在10mL磷酸盐缓冲溶液中,放于棕色瓶中于暗处待用。③染色:取少量花粉置于普通载玻片上,滴入TTC溶液2滴,用镊子搅拌均匀,盖上盖玻片,在35~38℃的温度下放置15~20min。④光学显微镜下观察并统计被染上色花粉的百分率,选取5个视野,每个视野花粉数在30粒以上,取其平均值作为花粉的活力指标。具较强生活力的花粉粒呈红色,微弱活力的花粉粒呈淡红色,无活力或不育的花粉为无色。

1.2.3 柱头可授性检测 柱头可授性检测采用联苯胺-过氧化氢法。于盛花期随机选择三年生文冠果的可孕花蕾开花当天、花后1,2,3,4,5,6和10d的花朵,将其柱头浸入凹面载片中含有联苯胺-过氧化氢反应液(1%联苯胺:3%过氧化氢:水=4:11:22,体积比)的凹陷处,若柱头具可授性,则柱头周围的反应液呈现蓝色并有大量气泡出现。

1.2.4 单花花粉量、胚珠比及其繁育系统 分别随机选取三年生文冠果即将开放的花蕾(花药未开

裂)各10朵,每株采1朵,固定于50%FAA中,带回实验室备用。取下花药,用1.0mL·L<sup>-1</sup>HCL软化花粉壁。细心解剖花药,将花粉全部移入1个有刻度的离心管中,用蒸馏水定容至4mL。在振荡器上震荡2min后,用移液枪吸取1μL的花粉液于载玻片上,在显微镜下观察并统计花粉数,每个花药重复5次。将子房置于载玻片上,细心解剖,将胚珠从胎座中解开,观察并计数。每朵花的花粉/胚珠比率用其花药中的花粉数除以其子房中的胚珠数得出。采用Cruden方法进行P/O(Pollen/Ovulate)的估算。

1.2.5 风媒检测 采用重力玻片法。在三年生文冠果盛花期随机选取高1.0~1.5m、冠幅0.8~1.2m的孤植单株,在四周8个方位每隔1m布置涂有凡士林的载玻片各15枚,凡士林涂布面积为2.5cm×5.0cm,露置1d后取回镜检以风为媒介所散布的花粉数量。

1.2.6 访花昆虫及其行为观察 于三年生文冠果开花期间,随机观察文冠果访花昆虫种类、访花时间和行为等。

2 结果与分析

2.1 文冠果花的形态特征

文冠果先叶后花,为总状花序,花序长约8~22cm,通常由20~50朵花组成基部花序先开,依次向上至顶部逐渐开放(见图1a、1b、1c)。在花性别分化的早期,雄蕊、雌蕊都存在。但经过花的性别决定后,位于侧芽形成花序上的小花,其雌蕊发生选择性败育,因而成为不孕花(雄花),但花药发育正常,可以散粉(见图1d),可孕花花药不育,大都不能开裂,无花粉散出。文冠果花的雄蕊8枚,花药黄色,一般在花冠开放后1~2h花药开始散粉,4~6h大量散粉,花后1~2d雄蕊开始枯萎,散粉结束。可孕花大多生于枝顶芽萌发形成的顶花序上,多能结实。可孕花具1枚雌蕊和8枚雄蕊,子房上位(见图1e)。

表 1 文冠果花部形态特征  
Table 1 The flower morphological characteristics of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge

花序长/cm Inflorescence length	花朵直径/cm Flower diameter	花瓣长/cm Petal length	可孕花 花药长/cm Anther length of bisexual flower	可孕花 花丝长/cm Filament length of bisexual flower	不孕花 花药长/cm Anther length of infertility flower	不孕花 花丝长/cm Filament length of infertility flower	柱头直径/ cm Stigma diameter	柱头高度/ cm Stigma height	花柱长/ cm Style length
8~22	1.1~2.9	1.5~2.7	0.13~0.22	0.11~0.24	0.15~0.21	0.14~0.53	0.12~0.15	0.06~0.12	0.22~0.33

2.2 文冠果开花物候期

文冠果属杂性花,即可孕花(两性花)与不孕花(雄花)同株。夏季晴天,花蕾一般在上午7:00~

11:00 陆续开放。2011 年三年生文冠果花期为 4 月下旬到 5 月上旬,持续 12~25 d。单花花期为 5~8 d。

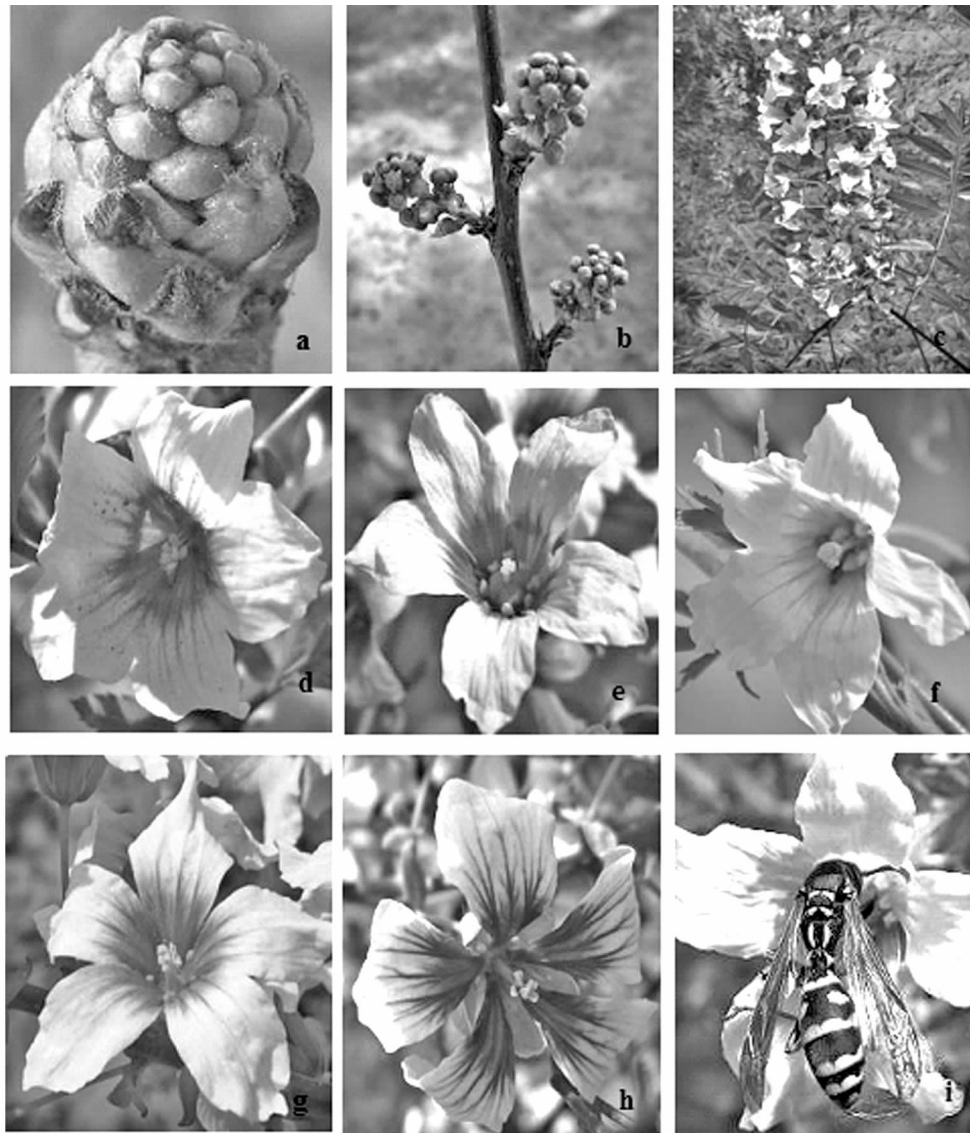


图 1 文冠果花的形态特征

Fig. 1 The flower morphological characteristics of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge

a: 文冠果总状花序,顶芽开放初期;b:花序(未开放);c:文冠果花序(开放);d:文冠果不孕花;e:文冠果可孕花;f:文冠果单花开放过程(初期);g:文冠果单花开放过程(中期);h:文冠果单花开放过程(末期);i:文冠果访花昆虫

a: The raceme, bud expansion stage; b: Raceme, not flowering; c: Raceme, flowering; d: Sterile flower; e: Bisexual flower; f: Single flower flowering process (initial stage); g: Single flower flowering process (middle stage); h: Single flower flowering process (last stage); i: Visit flower insects

表 2 文冠果开花物候期

Table 2 Flowering phenological phase of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge

指标 Index	花芽膨胀 Bud expansion	花芽开展 Bud developing	初花期 Initial flowering	盛花期 Full flowering	终花期 Final flowering
物候期/月-日 Phenological phase	03-26~04-13	04-17~04-19	04-23~04-26	04-27~05-11	05-08~05-16

2.3 文冠果单花开放动态

文冠果单花开放经过现蕾-膨大-露白-待开-开放-转色-花落-坐果等过程。其花瓣呈白色,最初花瓣基部具黄色晕斑,依花的发育时期不同,花色逐渐变化,2~5 d 后花瓣内侧基部晕斑由淡黄绿色逐渐变紫红色,逐渐脱落(见图 1f、g、h)。

2.4 落花落果动态

由图 2、图 3 可看出,文冠果开花不久,肉眼观察到大部分花瓣刚谢或着少量花瓣在未谢时,子房尚未膨大就开始脱落,即为落花。文冠果在整个开

花期不孕花量是可孕花的 1.84~4.08 倍。可孕花在成功授粉后即可观察到子房开始膨大,但约 5~8 d 后,进入落果期,幼果除少数迅速增大外,大多数生长停滞,逐渐脱落,落果持续 21 d 左右。大量落果期集中在 5 月 13~24 日。

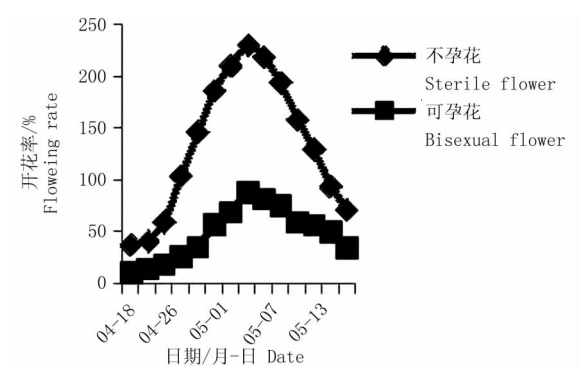


图 2 文冠果可孕花和不孕花开花及落花情况  
Fig. 2 Flowering and the fallen petal situation of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge

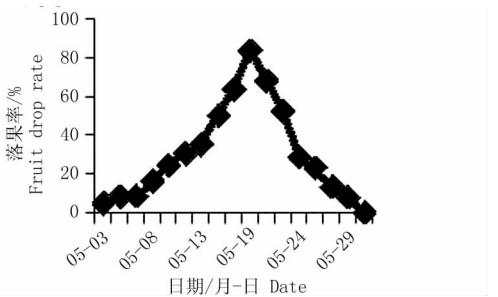


图 3 文冠果落果率  
Fig. 3 Fruit drop rate of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge

2.5 文冠果花粉活力检测

文冠果花粉活力在花蕾时和开花初期最高,都能达到 90%,随后开始下降。文冠果的花在花冠开放后 1~2 h 花药开始散粉,4~7 h 大量散粉,8 h 花粉活力为可显著下降 50%以上,12 h 8 枚花药全部散粉,花粉活力就已经较低,开花后 24 h 散粉结束,此时的花粉活力仅为 5.4%(见表 1)。

表 3 文冠果不同开花时间花粉活力

Table 3 The pollen vitality of different flowering stage of <i>Xanthoceras sorbifolia</i> Bunge							
项目 Item	花蕾期 (花瓣初打开) Bud stage	开花时期 Flowering stage					
		开花初期 Initial flowering	散粉期 (完全开花后) Pollening stage	开花 4 h 4 h after flowering	开花 8 h 8 h after flowering	开花 12 h 12 h after flowering	开花 24 h 24 h after flowering
花粉活力/%Pollen vitality	94.3	90.4	90.2	70.5	56.1	22.7	5.4

2.6 文冠果柱头可授性检测

文冠果在开花前 0~3 h 及开花当天,柱头可授性较强,之后随开花时间的延长而逐渐减弱。成熟柱头对花粉接受能力的持续时间为 5~6 d。花蕾时的柱头授粉结实率为 0,开花当天柱头的授粉结实率为 35.7%,之后柱头授粉结实率开始逐渐下降,到花后第 5 天为 0。不同开花时间柱头形态特性如下:在开花当天柱头高于雄蕊,两性花柱头为淡黄绿色,花后第 1 天柱头开始伸长生长,第 2 天柱头变为黄色,第 3 天两性花子房明显膨大,柱头由黄变为暗黄,第 4 天至第 6 天,两性花子房继续膨大,柱头开始变黑至完全变黑,花柱

萎蔫,两性花子房膨大,直到花后第 10 天柱头及花柱开始脱落。

2.7 文冠果单花花粉量、胚珠比及其繁育系统

文冠果可孕花单花花粉量为 17 030 粒,胚珠数为 20.1 枚,可孕花的 P/O 为 847.3。参照 Cruden 的划分标准,文冠果繁育系统属于兼性异交型,为部分自交亲和,异交需要传粉者。

2.8 文冠果风媒传粉检测

通过风媒传粉检测,发现文冠果仅顺风方向能检测到花粉存在,在冠幅之内(1 m)处能收集较多的花粉。1.5 m 处收集的花粉较少,仅有 0~30 粒数目不等的花粉,1.5 m 以外几乎检测不

到花粉。这种花粉移动方式不具备花粉均匀散布的风媒传粉特性。

### 2.9 文冠果访花者

通过对文冠果开花期间访花昆虫的观察,发现文冠果主要访花昆虫有膜翅目(Hymenoptera)的蜂类,鞘翅目(Coleoptera)的丽金龟,双翅目(Diptera)的蝇类,鳞翅目(Lepidoptera)的蛾类和蝶等几种昆虫,蜘蛛目(Araneida)的蜘蛛和同翅目(Homoptera)蚜科小昆虫幼虫。其中访花频率相对较高、较稳定的访花者为蜂类(见图1i)。蜂类访花大部分从花冠正前方足先落到柱头上,也有少数足先落到花冠内侧,再爬上柱头,然后沿柱头爬到花冠基部,喙管从花丝缝隙间伸入采吸花蜜,但偶尔也有采吸花粉的。蝶类极少访花,在花上停留的时间最短。蛾类偶尔访花,通过长长的喙管吸食花蜜。访花时间主要集中在9:00~17:00,在温度较高的11:00~15:00为访花昆虫活动高峰期,而在16:00~18:00访花昆虫较少,在17:00以后,由于温度逐渐降低,访花昆虫活动减少。这些昆虫在与文冠果同花期的其它植物花上都可以看到。

## 3 结论与讨论

### 3.1 文冠果开花生物学特性

文冠果为总状花序,花序长10~20 cm,最长30 cm,每序有花朵10~40个。有3种花序类型:花序上全部为雄花、全部为两性花和既有雄花又有两性花,这3类花序分别占植株个体总花序的99.5%、0.05%和0.45%。若同一花序中既有两性花又有雄花,则两性花通常比雄花多,位于花序中间,而雄花位于花序的基部和顶端。文冠果的花芽既有纯花芽又有混合花芽。顶花芽一般为混合芽,侧生花芽多为纯花芽<sup>[7-8]</sup>。两性花多位于顶生花序中,而侧生花序中绝大多数为雄花。文冠果花芽分化始于开花前一年的夏秋季。同一株树上,顶生花序比侧生花序生长快,生长量大,停止生长也晚。一般情况下,顶生花序底部花先开放,侧生花序基本同时开放。顶生花序两性花和侧生花序雄花的花期基本一致,能够充分保证两性花的授粉时间。顶生花序基部到顶部花蕾开放时间可持续7~10 d,1朵花可开放5~7 d,1棵树

的花期可达10~15 d,同一年份不同植株间花期也不一致,一般相差9 d左右,可归因于植株间养分积累水平、花芽分化完成的早晚和激素积累水平的不同<sup>[8-10]</sup>。

花药是植物的雄性生殖器官。花药发育成熟之后开裂,在自然风,水或昆虫等媒介作用下释放花粉并散播于植物柱头上,使得植物受精过程正常进行。花药开裂为花药发育过程中经历的最后一个阶段,能否按时开裂直接关系到花粉能否及时到达柱头,进而影响到植物受精。文冠果两性花雄蕊的花丝从花蕾、初放、盛开直至衰败始终很短,形态上没有发生明显变化且大多数花药不开裂。说明在蕾期向开花初期过渡的阶段,两种花性的花药发育已经开始有所不同<sup>[8-9]</sup>。该试验观察到文冠果不孕花花药可以开裂,可孕花花药大都不能开裂,但部分可孕花花药可以开裂。推测文冠果可孕花部分花药开裂的现象是在整个花期中增强雄性适合度的一种适应性机制,而其开裂的机理有待进一步研究。

由于文冠果的开花习性制约了其自身的坐果率,文冠果可孕花数量少,在其发育过程中雌蕊萎缩退化成为不孕花,且存在严重落花落果现象<sup>[11-13]</sup>。该研究观察发现,文冠果落果可分为两个阶段:5月初至中旬为第一阶段,其特点是时间短,落果多;5月中下旬为第二阶段,这一阶段特点是持续时间长,落果较少,引起这两阶段幼果脱落的主要原因尚不清楚,还有待于进一步研究。文冠果两种类型的花(可孕花与不孕花)开放和脱落的进程不一样,可孕花开放迅速、集中,不孕花开放缓慢、持续时间较长,这就保证了可孕花都有授粉的机会。可孕花开放时花柱延伸,柱头上产生分泌物,便于授粉。

### 3.2 文冠果传粉生物学特性

柱头可授期是花朵成熟过程中的一个重要时期。它能在很大程度上影响自花传粉率、开花不同阶段的传粉成功率、各种传粉者的相对重要性、雄性和雌性功能之间的相互干扰、不同基因型的花粉之间的竞争以及配子体选择的机会等<sup>[6]</sup>。自然条件下文冠果的柱头可授期为5~6 d,柱头在可孕花开放当天可授性最强,之后开始逐渐下降。文冠果不孕花的花蕾期和开花之初花粉活力最

高,随后开始下降,利用这一点可以用花蕾时和开花之初的花粉对当天开放可孕花的柱头进行人工授粉来提高文冠果的坐果率。

通常花的颜色、形状、气味等均可能是引诱昆虫传粉的因素。文冠果具有虫媒花的典型花部特征,即文冠果单花开放经过初蕾—膨大—露白—待开—开放—转色—花落—坐果等过程。其花冠可能起了诱导作用,能将传粉昆虫从远距离引诱过来<sup>[14-16]</sup>。该试验记录的访花昆虫有蜂类、丽金龟、蛾类、蝶类、蝇类、蜘蛛及蚜科的小昆虫幼虫。蜂类和食蚜蝇类的活动范围较大,对文冠果居群内的异花传粉是有效的,而蛾类等访花吸取花蜜,受运动能力限制,不是有效传粉者。

制约文冠果传粉成功的因素有许多,如花期短、柱头可授期短、昆虫访花频率低,种类少等可能都是影响文冠果坐果率低,落花落果现象严重的因素。在种植文冠果中,可在文冠果盛花期适量放蜂,提高生境昆虫尤其是蜂类数量,可以增加传粉强度及有性生殖能力,保证生殖成功,或在进行人工授粉以进一步提高文冠果的结实率。

#### 参考文献:

- [1] 洛阳地区林科所. 文冠果开花习性初步观察[J]. 河南农林科技, 1979(6): 16-19.
- [2] 高述民, 马凯, 杜希华, 等. 文冠果的研究进展[J]. 植物学通报, 2002, 19(3): 296-301.
- [3] 王红斗. 文冠果的化学成分及综合利用研究进展[J]. 中国

野生植物资源, 1998, 17(1): 13.

- [4] 戚建华, 姚增玉. 文冠果的生殖生物学与良种繁育研究进展[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(3): 91-96.
- [5] 黄双全, 郭友好. 传粉生物学的研究进展[J]. 科学通讯, 2000, 45(3): 225-237.
- [6] 周世良, 洪德元. 传粉生物学的最新进展和发展趋势见: 李承森. 植物科学进展(第一卷)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998: 1-3, 112.
- [7] 周庆源, 傅德志. 文冠果生殖生物学的初步研究[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 158-162.
- [8] 宗智. 文冠果花芽分化的观察[J]. 林业实用技术, 1979, (7): 11-14.
- [9] 王晋华, 李凤兰, 高荣孚. 文冠果花性别分化及花药内淀粉动态[J]. 北京林业大学学报, 1992, 14(3): 54-60.
- [10] 马利苹, 王力华, 阴黎明, 等. 乌丹地区文冠果生物学特性及物候观测[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2583-2587.
- [11] 张明中. 文冠果开花的生物学特性(报告)[R]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 1979.
- [12] 高述民, 马凯, 杜希华, 等. 文冠果研究进展[J]. 植物学通报, 2002, 19(3): 296-301.
- [13] 郑彩霞, 李凤兰. 文冠果两性花花粉败育原因的进一步研究[J]. 北京林业大学学报, 1993, 15(1): 78-84.
- [14] 彭伟秀, 王保柱, 李凤兰. 文冠果败育花药和花粉发育的解剖学研究[J]. 河北农业大学学报, 1999, 22(3): 35-37.
- [15] 马芳. 文冠果生殖生物学与传粉生物学的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2009: 25-27.
- [16] 何亚平, 刘建全. 植物繁育系统研究的最新进展和评述[J]. 植物生态学报, 2003, 27(2): 151-163.

## Study on the Pollination Biology Characteristic of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge

TIAN Ying<sup>1,2</sup>, WANG Ya-li<sup>1,3</sup>, WANG Yu<sup>1,3</sup>, LIU Yu-juan<sup>1,2</sup>

(1. Ningxia Forestry Institute Limited Liability Company, Yinchuan, Ningxia 750004; 2. State Key Laboratory of Seeding Bioengineering, Yinchuan, Ningxia 750004; 3. Combined National and Provincial Center of Engineering and Research for Cultivation and Utilization of North-western Special Economical Forestry, Yinchuan, Ningxia 750004)

**Abstract:** In order to accurately grasp the flowering biology regularity of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge, the pollination biology of introduced superior individual of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge in Ningxia Yinchuan Botanical Garden were studied. The results showed that the superior individual had bisexual flower and infertility flower(male flower), short full-blossom period, low pollen vitality, its breeding system belonging to simultaneous xenogamy, partial selfing affinity, need pollinators.

**Key words:** *Xanthoceras sorbifolia* Bunge; floral biology; pollen vitality; stigma receptivity; breeding system