

柴黄姜的传粉生物学特性

赵亚美^①, 杭悦宇^①, 周义锋, 吴宝成, 高兴, 顾子霞

[江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园) 江苏省植物迁地保护重点实验室, 江苏 南京 210014]

摘要: 对产自湖北武当山的柴黄姜(*Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill)的花部特征和访花昆虫种类及访花行为、访花频率和携粉量进行了研究,并对柴黄姜的传粉方式、结实和种子萌发状况进行了检测。结果表明,柴黄姜具有虫媒花的典型花部特征,共观测到访花昆虫4目34种,其中传粉昆虫6种,隧蜂属(*Halictus* sp.)和地蜂属(*Andrena* sp.)的2种昆虫是柴黄姜的主要传粉昆虫。访花昆虫对雄株的访花高峰时段为11:00至14:00,对雌花没有明显的访花高峰时段。在自然条件下,柴黄姜的座果率为18.86%,结实率为7.12%,种子萌发率为64.76%。在武当山,柴黄姜种群扩展仍以有性繁殖为主,无性繁殖为重要补充。

关键词: 薯蓣属; 柴黄姜; 花部特征; 传粉昆虫; 传粉行为

中图分类号: Q944.43 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2008)02-0015-07

Pollination biological character of *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* ZHAO Ya-mei, HANG Yue-yu^①, ZHOU Yi-feng, WU Bao-cheng, GAO Xing, GU Zi-xia (Jiangsu Province Key Laboratory for Plant *Ex-situ* Conservation, Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2008, 17(2): 15-21

Abstract: The floral characteristics of *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill, species of insect visitors and their visiting behavior, visiting frequency and carried quantity of pollen grains were investigated in Wudang Mountain of Hubei Province. The pollination type and the status of fruit and seed germination were also tested. The results show that the floral characteristics of *D. nipponica* subsp. *rosthornii* belong to typical entomophilous flower. Thirty-four species of visiting insect which belong to four orders are observed, and only six species are the pollination insects, in which one species of *Halictus* and one species of *Andrena* are the main pollination insects. The visiting peak time period to male flowers is from 11:00 to 14:00, while that to female flowers is not obvious. In natural condition, the fruit rate, seed setting rate and seed germination rate of *D. nipponica* subsp. *rosthornii* are 18.86%, 7.12% and 64.76% respectively. It is concluded that the main way of population spreading of *D. nipponica* subsp. *rosthornii* in Wudang Mountain is the sexual reproduction and the asexual reproduction is an important supplement mean.

Key words: *Dioscorea* L.; *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill; floral characteristic; pollination insect; pollination behavior

薯蓣属(*Dioscorea* L.)是薯蓣科(Dioscoreaceae)中的一个属,拥有全科95%以上的种类,中国分布有薯蓣属植物约52种8变种和1亚种^[1-2]。根据薯蓣科植物的花辐射对称、花托位于花朵中心和具有黏性花粉等特点,有学者推断薯蓣科植物均为虫媒花。另外,根据该科部分热带种类夜间开花并散发香味的特性推测可能存在夜间传粉昆虫^[3]。Martin等^[4]对产自墨西哥的菊叶薯蓣(*D. composita* Hemsl.)、多花薯蓣(*D. floribunda* Mart. et Gal.)和*D. spiculiflora* Hemsl.进行了传粉观察,发现偶尔的

昆虫传粉并不是菊叶薯蓣和多花薯蓣座果率较高的主要原因,根据“散布到空气中的花粉和座果率与传粉距离显著相关”的结论推测二者是近距离的风媒传粉;而*D. spiculiflora*的主要传粉昆虫为苍蝇和

收稿日期: 2008-03-05

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-Z-028)

作者简介: 赵亚美(1982—),女,河北保定人,硕士研究生,主要从事传粉生物学方面的研究。

^① 通讯作者 E-mail: hangyueyu@21cn.com

蚂蚁。对周生翅组 (Sect. *Enantiophyllum* Uline) 种类 *D. rotundata* (L.) Poir.、参薯 (*D. alata* L.) 和日本薯蕷 (*D. japonica* Thunb.) 进行的传粉生物学研究发现, 这 3 种植物有共同的传粉者, 即缨翅目 (Thysanoptera) 昆虫^[5-9]。但是关于薯蕷属中最原始、分布和分化中心位于云贵高原—横断山脉一带^[10] 的根状茎组 (Sect. *Stenophora* Uline) 植物的传粉生物学研究则未见报道。

柴黄姜 (*D. nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill) 为根状茎组种类穿龙薯蕷 (*D. nipponica* Makino) 的亚种, 穗状花序, 雌雄花完全开放, 花浅黄绿色, 有花蜜及香味。作者选取产自湖北武当山南岩的野生柴黄姜进行传粉生物学研究, 旨在探讨薯蕷属原始类群的传粉方式和传粉机制, 为薯蕷属繁育系统的研究提供理论基础。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

实验地位于湖北武当山南岩, 属温凉湿润的南温带, 海拔约 1 000 m, 年平均气温 11.1 °C, ≥ 10 °C 的年积温 3 381 °C, 全年无霜期 207 d, 年均降雨量 1 077 mm。

柴黄姜主要分布在海拔 1 000 m 以上的山腰或河谷两侧的灌木丛中或稀疏杂木林下及林缘边, 野生状态下常成片分布, 各分布区域相距较远 (几十米至几千米)。在 2006 年对柴黄姜分布格局的调查中发现, 在 2 000 m 范围内共发现 30 株柴黄姜, 其中 24 株分布在 4 个样地内, 平均约 100 m² 内分布 2 株, 其中的 3 个样地内均有雌雄株分布, 株距 20 ~ 80 m (详见表 1); 其余的 6 株包括 2 株雄株、1 株雌

株和 3 株未开花植株, 零星分布于距最近样地相距较远的位置。被调查的 30 株柴黄姜中, 开花植株有 20 株, 约占被调查植株总数的 68%, 雌雄株总比例为 2.33:1.00。

1.2 方法

1.2.1 样地的选择 分别在 2006 年和 2007 年的 6 月中旬至 7 月中旬 (盛花期) 进行 2 次观察。样地 1 为访花昆虫观察样地, 其中 2 株雌株相距约 1 m, 2 株雄株混杂生长, 与第 3 株雄株相距约 2 m, 雌雄株距约 50 m。

1.2.2 开花生物学特性观察

1.2.2.1 单花花期和花序花期观察 随机选取柴黄姜雌株和雄株各 10 株进行单株花序数和花序花朵数 ($N=50$) 统计, 并随机标记 10 个花序进行花序花期和单花花期 ($N=20$) 统计。单花花期是指花蕾开始出现小缝, 允许昆虫进行访问至花凋谢的时间; 花序花期是指从第 1 朵花开放至最后 1 朵花凋谢的时间。

1.2.2.2 单花花粉量统计 采用 FAA 固定液随机固定 10 朵雄花的花蕾, 用 1.18 g · L⁻¹ HCl 溶液对花药进行酸解, 软化花药壁; 解剖花药, 将全部花粉转移至有刻度的离心管中, 用蒸馏水定容到 1 mL; 在振荡器中震荡 60 s 后, 吸取少量震荡液, 在光学显微镜下统计花粉数量^[11]。

1.2.2.3 蜜腺结构观察 采用 FAA 固定液随机固定盛开的雌花和雄花各 30 朵, 在解剖镜下测量 10 朵花的花被片大小和花口径。采用常规石蜡切片法制作花的横切面切片, 并在显微镜下观察蜜腺的结构; 经铁矾-苏木精染色后, 进行 PAS 反应以显示多糖的动态变化; 使用苏丹黑染色后, 观察角质层的状况^[12]。

表 1 4 个野生柴黄姜样地雌雄株的分布情况

Table 1 Distribution status of female and male plants in four wild plots of *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill

样地号 No. of plot	样地面积 Plot area	总株数 Total number of plant	雌株数 Number of female plant	雄株数 Number of male plant	未知性别株数 No. of sex-unknown plant	密度 ¹⁾ Density ¹⁾	雌雄株距/m Drilling distance between male and female plants
1	50 m × 10 m	5	2	3	0	1.0	50
2	50 m × 5 m	4	1	1	2	1.6	20
3	10 m × 10 m	5	0	3	2	5.0	-
4	500 m × 10 m	10	2	5	3	0.4	30, 80
Total		24	5	12	7		
Average						2.0	

¹⁾ 密度指 100 m² 内的个体数 Density means the individual number in 100 m² area.

1.2.3 访花昆虫的观察与统计 于盛花期对3个雄株的150个花序和2个雌株的74个花序进行观察,记录所有访花昆虫的种类、频率和行为,并捕捉昆虫,进行携粉部位观察、携粉量统计及昆虫鉴定,昆虫标本保存在江苏省·中国科学院植物研究所和南开大学。利用应急灯加红色灯罩创造微弱的长波光系统,进行晚间连续观察^[13]。无明显访花目的、仅在上停留的昆虫不记为访花昆虫。根据标记的花序数,计算访花频率及每个花序受到的平均访问次数。在解剖镜下观察昆虫的携粉部位,并用清水清洗数次,合并清洗液,离心,收集下层混合液,稀释至便于统计的浓度,放于凹载玻片上,在显微镜下统计昆虫的携粉量(雌雄株上的昆虫分别统计)。统计携粉量时,数量较多的昆虫以10只昆虫携粉量的平均值为携粉量的测定值,数量较少的昆虫则以采集的所有个体数的平均值为携粉量的测定值。

1.2.4 风媒传粉的测定 于2007年6月30日上午8:00至7月1日晚上8:00(晴天,风力2级),分别在自然居群样株的东、南、西、北4个方位的50、100、200、300、400和500 cm处布设3片涂有凡士林的载玻片,重复2个样株,凡士林的涂布面积为2.5 cm × 6.0 cm,露置36 h后回收载玻片进行镜检。

1.2.5 传粉效率的检测 在果熟期进行座果率和结实率的调查和统计。其中,座果率 = (果实数/花蕾数) × 100%; 结实率 = (种子数/花蕾中的胚珠数) × 100%。

1.2.6 种子萌发实验 选取105粒种子,浸种24 h后,放到铺有滤纸的培养皿中,每皿35粒种子,加入蒸馏水后,置于人工气候箱中于20℃、黑暗条件下进行萌发实验^[14]。每隔24 h观察1次种子的发芽情况。以胚根长度等于种子长度作为判定种子发芽的标准,连续5 d无种子萌发即视为种子萌发结束。实验重复3次,结果取平均值。

1.3 数据处理

采用SPSS 13.0软件对实验数据进行平均数和标准差的计算。

2 结果和分析

2.1 柴黄姜开花生物学特性分析

2.1.1 花的形态结构特征分析 柴黄姜雄株的平均单株花序数为142.0 ± 111.9 (N = 10),雄花序穗

状(图1-1),单生或对生,单花26.2 ± 1.1朵(N = 50),花期21.8 ± 1.2 d (N = 10);雄花无梗(图1-2),花期2.0 ± 0.2 d (N = 20),常2~4朵簇生,依次开放;苞片2,卵形或披针形,短于花被;花被碟形,6裂,淡黄绿色,长约1.39 ± 0.44 mm (N = 10),宽约0.97 ± 0.51 mm (N = 10),基部合生成管状,花口径3.3 ± 0.7 mm (N = 10);雄蕊6枚,着生于花被管基部;花丝向内微弯,花药卵圆形,背着向内,单花平均花粉量为3 083 ± 239粒(N = 10)。具花蜜和香味,香味及花口径昼夜无变化。

雌株的平均单株花序数为57.0 ± 29.5 (N = 10),雌花序穗状(图1-3),单生,单花15.5 ± 0.6朵(N = 50),花期15.7 ± 1.1 d (N = 10);雌花无梗(图1-4),花期3.9 ± 0.2 d (N = 20),单生;苞片2,披针形;花被颜色、形状和大小与雄花相似;退化的雄蕊呈花丝状;柱头湿润,3裂;雌花单株平均花朵数是雌花的3.6倍。具花蜜和较雄花淡的香味,香味及花口径昼夜无变化。

2.1.2 花蜜腺的形态结构特征分析 从柴黄姜的雌花和雄花横切面的解剖结构可以看出,柴黄姜的雌花和雄花均为隔膜蜜腺,3枚,位于3个心皮不完全愈合而产生的隔膜间隙内,形成3个扁腔,扁腔周围衬有蜜腺组织,略向内凹陷(图2-1)。分泌组织的表皮细胞为1层排列成栅栏状的长方形特化细胞,细胞质浓厚,细胞核较大,细胞外壁不具角质层。泌蜜组织由2~4层细胞组成,不含维管束,细胞小,等径,排列紧密(图2-2)。PAS染色反应结果显示,柴黄姜的蜜腺内无淀粉颗粒。

2.2 柴黄姜访花昆虫的统计分析

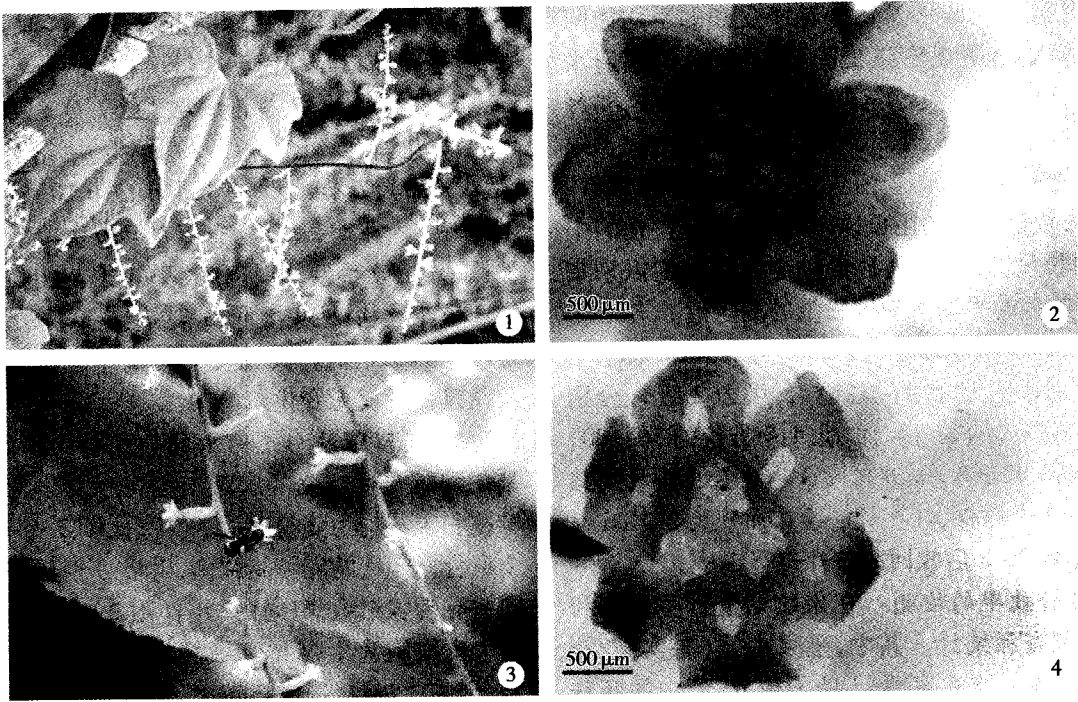
2.2.1 传粉昆虫的种类 柴黄姜的访花昆虫共有34种,其中雄花的访花昆虫有26种,雌花的访花昆虫有14种,分别属于膜翅目(Hymenoptera)、双翅目(Diptera)、鞘翅目(Coleoptera)和半翅目(Hemiptera)等4个目,各访花昆虫详细的观察情况见表2。

与访花昆虫不同的是,传粉昆虫能将同种类的花粉有效传递至柱头上,因此传粉昆虫必须能够携带着同种的花粉到达雌花。由表2可以看出,在柴黄姜雌花上共发现14种访花昆虫,包括地蜂科(Andrenidae)、隧蜂科(Halictidae)、胡蜂科(Vespidae)、螺赢蜂科(Eumenidae)、食蚜蝇科(Syrphidae)、麻蝇科(Sarcophagidae)、负泥虫科(Crioceridae)、盲蝽科(Miridae)和长蝽科

(Lygaeidae)各1种,缘蝽科(Coreidae)2种,蚁科(Formicidae)3种。其中,蚁科和缘蝽科中各2种及负泥虫科、盲蝽科和长蝽科各1种的访花昆虫并不携带花粉,不能将柴黄姜的花粉传递到柱头上,故这些昆虫不属于柴黄姜的传粉昆虫。在携带花粉的7种昆虫中,蚁科的1种未知属种的昆虫携粉量非常小,出现的次数也非常少,对有效传粉的影响极小,

因此可将其排除在传粉昆虫之外,所以,柴黄姜雌花的传粉昆虫应为6种。

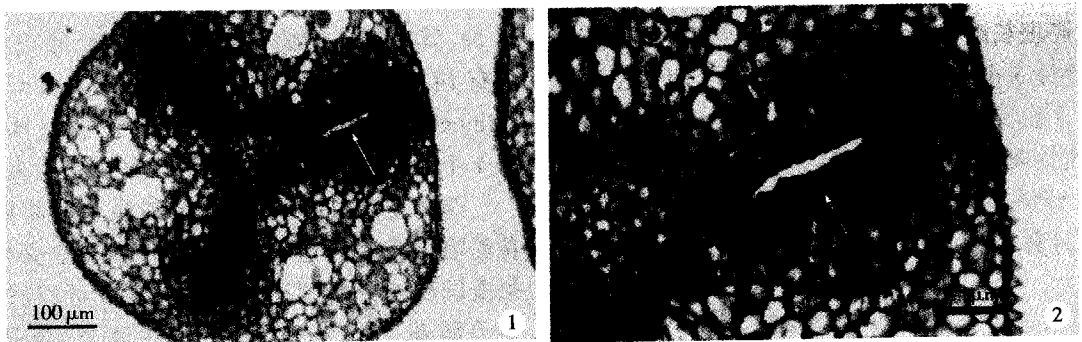
由表2还可以看出,隧蜂科的1种未知属种的昆虫(*Halictus* sp. 1)和地蜂科的1种未知属种的昆虫(*Andrena* sp. 1)的访花频率最高,平均携粉量也最多,是柴黄姜的主要传粉昆虫。前者访问雄株的频率是访问雌株频率的4倍,雄株上昆虫的平均携粉



1. 雄花花序 Male inflorescence; 2. 雄花 Male flower ($\times 20$); 3. 雌花花序 Female inflorescence; 4. 雌花 Female flower ($\times 20$).

图1 柴黄姜的花序和单花的形态特征

Fig. 1 Morphological characters of inflorescence and flower of *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill



1. 雄花横切面,示蜜腺的形态特征 Transsection of male flower, showing morphological character of floral nectary; 2. 雄花横切面,示蜜腺的结构特征 Transsection of male flower, showing structure character of floral nectary. 箭头所示为蜜腺 The arrows showing floral nectary.

图2 柴黄姜花蜜腺的解剖结构

Fig. 2 Anatomical structure of floral nectary of *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill

量是雌株的2倍多;后者访问雄株和雌株的频率相仿,但雄株上昆虫的平均携粉量高达3794.55粒,约为雌株上昆虫平均携粉量的13倍。此外,地蜂属1种未知属种的昆虫(*Andrena* sp.2)、隧蜂属1种未知属种的昆虫(*Halictus* sp.3)、芦蜂属1种未知属种的昆虫(*Ceratina* sp.1)、胡蜂科4种未知属种的昆虫和丽蝇科(*Calliphoridae*)2种未知属种的昆虫也携带有较多花粉,并且访花频率较高,但只出现在雄花上,因此可以认为这些昆虫是柴黄姜的潜在传粉者。

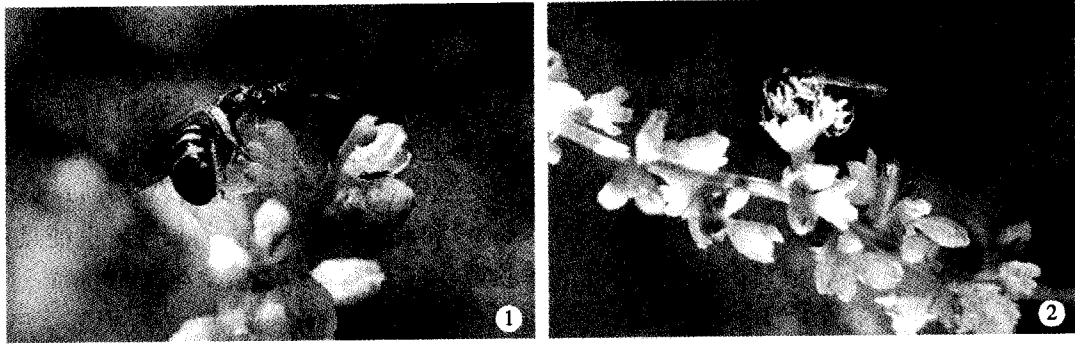
2.2.2 传粉昆虫的访花行为 从时间来看,早晨7点左右,访花昆虫即开始在柴黄姜周围出现。其中膜翅目昆虫的虫体密被体毛,易附着花粉,尤其是昆虫足部的采粉筐可附着大量花粉。访花时,昆虫在用口器吸食花蜜的同时足部迅速捞取花粉(图3-1)。双翅目的黑带食蚜蝇(*Episyrphus balteatus* De Geer)和麻蝇科(*Sarcophagidae*)昆虫的足部则无采粉筐,访花时仅用口器吸食花蜜。

表2 柴黄姜访花昆虫及其访花行为

Table 2 Insect visitors and their visiting behaviors on *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkil flower

访花昆虫的分类		Classification of insect visitor	访问次数	访花频率 ¹⁾	平均携粉量/粒
目	科	种	Visiting times	Visiting frequency ¹⁾	Average carried quantity of pollen grain
膜翅目 Hymenoptera	地蜂科 Andrenidae	地蜂属 <i>Andrena</i> sp.1	♂360, ♀108	♂0.17, ♀0.13	♂3794.55, ♀290.00
		地蜂属 <i>Andrena</i> sp.2	♂90	0.04	55.00
	隧蜂科 Halictidae	齿彩带蜂 <i>Nomia punetulata</i>	♂12	<0.01	96776.00
		隧蜂属 <i>Halictus</i> sp.1	♂540, ♀48	♂0.26, ♀0.06	♂96.43, ♀40.00
		隧蜂属 <i>Halictus</i> sp.2	♂78	0.03	5.00
		隧蜂属 <i>Halictus</i> sp.3	♂522	0.25	13484.27
		隧蜂属 <i>Halictus</i> sp.4	♂1	<0.01	15.00
	蚁科 Formicidae	未知属种 1 Unknown	♂11, ♀5	♂0.01, ♀0.01	♂5.00, ♀0.00
		未知属种 2 Unknown	♀8	<0.01	2.70
		未知属种 3 Unknown	♀5	<0.01	0.00
	蜜蜂科 Apidae	芦蜂属 <i>Ceratina</i> sp.1	♂636	0.30	2886.80
	姬蜂科 Ichneumonidae	未知属种 1 Unknown	♂15	0.01	0.00
	胡蜂科 Vespidae	黄胡蜂属 <i>Vespula</i> sp.1	♂4	<0.01	0.00
		未知属种 1 Unknown	♂77	0.03	378.00
		未知属种 2 Unknown	♂18	0.01	35.00
未知属种 3 Unknown		♂29, ♀47	♂0.01, ♀0.06	♂15.00, ♀5.00	
未知属种 4 Unknown		♂65	0.03	20.00	
双翅目 Diptera	螺螄蜂科 Eumenidae	未知属种 1 Unknown	♂31	0.01	70.00
		未知属种 1 Unknown	♀13	0.01	50.00
	食蚜蝇科 Syrphidae	黑带食蚜蝇 <i>Episyrphus balteatus</i>	♂71, ♀10	♂0.03, ♀0.01	♂12.50, ♀10.00
	花蝇科 Anthomyiidae	未知属种 1 Unknown	♂2	<0.01	0.00
		未知属种 1 Unknown	♂35, ♀53	♂0.02, ♀0.06	♂5.00, ♀10.00
	麻蝇科 Sarcophagidae	未知属种 1 Unknown	♂1	<0.01	65.00
	头蝇科 Pipunculidae	未知属种 1 Unknown	♂24	0.01	0.00
	丽蝇科 Calliphoridae	长角丽蝇属 <i>Pachycerina</i> sp.1	♂24	0.01	0.00
		未知属种 1 Unknown	♂19	0.01	27.50
	未知属种 2 Unknown	♂24	0.01	50.00	
鞘翅目 Coleoptera	肖叶甲科 Chrysomeliolae	隆基角胸叶甲 <i>Basilepta leechi</i>	♂3	<0.01	0.00
	负泥虫科 Crioceridae	红胫负泥虫 <i>Lilioceria ruficollis</i>	♀1	<0.01	0.00
半翅目 Hemiptera	缘蝽科 Coreidae	点蝽缘蝽 <i>Riptortus pedestris</i>	♀16	0.01	0.00
		环胫黑缘蝽 <i>Hygia lativentris</i>	♀7	<0.01	0.00
	泛希姬蝽 <i>Himacerus apterus</i>	♂15	0.01	2.00	
	盲蝽科 Miridae	斑足乌毛盲 <i>Cheilocapsus maculipes</i>	♀2	<0.01	0.00
	长蝽科 Lygaeidae	褐斑点列长蝽 <i>Paradietuchus dissimilis</i>	♀1	<0.01	0.00

¹⁾ 访花频率指单个花序每小时内传粉昆虫的访问次数 Visiting frequency represents the visiting times of insect visitors on single inflorescence in one hour.



1. 地蜂采食花粉 One insect of *Andrena* visiting the male flowers for pollen grains;
2. 地蜂取食花蜜 One insect of *Andrena* visiting the male flowers for nectar.

图3 传粉昆虫对柴黄姜的访花行为

Fig. 3 Visiting behavior of pollination insect on *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill flower

观察发现,在访花时,昆虫均伏在花冠上取食花蜜(图3-2)。在取食雄花的花蜜时,访花昆虫的头部、附肢和腹部都会粘上少量花粉;而在取食雌花的花蜜时,访花昆虫有时会将头部围绕柱头转动直到完成对该朵花蜜的取食。此外,6种传粉昆虫的访花时间非常接近,平均约3~5s,往往连续访问同一花序的数朵盛开花后再转移到附近的花序继续访花或者离开。

由不同时间昆虫的访花频率(表3)可以看出,昆虫对雌株和雄株的访花高峰期存在明显差异,对雄花的访花高峰期约为11:00至14:00,而对雌花则

表3 不同时间昆虫对柴黄姜的访花频率
Table 3 Visiting frequency of insects on *Dioscorea nipponica* subsp. *rosthornii* Prain et Burkill flower

时间 Time	访花频率 ¹⁾ Visiting frequency ¹⁾	
	雄花 Male flower	雌花 Female flower
06:00—07:00	0.08	0.00
07:00—08:00	0.11	0.07
08:00—09:00	0.09	0.14
09:00—10:00	0.26	0.35
10:00—11:00	0.49	0.82
11:00—12:00	4.25	0.42
12:00—13:00	3.83	0.55
13:00—14:00	3.70	1.01
14:00—15:00	1.73	0.77
15:00—16:00	1.00	0.82
16:00—17:00	0.97	0.66
17:00—18:00	0.12	0.58
18:00—19:00	0.08	0.23
19:00—20:00	0.01	0.00

¹⁾ 访花频率指单个花序每小时内传粉昆虫的访问次数 Visiting frequency represents the visiting times of insect visitors to single inflorescence in one hour.

没有明显的访花高峰期,只是在10:00及13:00至16:00相对比较集中。

2.3 传粉方式和传粉效率的分析

在各个方向和不同距离的载玻片上均未检测到柴黄姜的花粉。由于野外生长的柴黄姜雌株和雄株的株距较大,因此,花粉通过风力传播降落到柴黄姜柱头上的可能性非常小,可以基本排除风媒传粉的可能性。

在随机选取的1331朵花中,仅有251朵花最终结果,座果率为18.86%;共获得569枚种子,由于每朵雌花中均有6枚胚珠,因此,结实率为7.12%。以上结果说明在柴黄姜的传粉过程中存在一定的有效传粉媒介,由于在研究过程中发现了大量的访花昆虫,加之排除了风媒传粉的可能性,故推断柴黄姜的传粉类型应该属于虫媒传粉。

2.4 种子萌发率的分析

种子萌发实验表明,柴黄姜种子在吸胀后10d左右即可开始萌发,种子萌发的持续时间约20d,平均萌发率为64.76%。

3 讨论

3.1 柴黄姜花部的形态特征与传粉类型的关系

薯蓣属植物在世界范围内分布较广泛,其原始起源中心在东南亚特别是喜马拉雅—横断山脉地区,该地区聚集了绝大部分薯蓣属根状茎组种类且属内从原始到高级的演化类型及演化过程非常明显^[15-17];该属植物的组间差异显著,且根状茎组种

类具有其他组种类所没有的特征,如根状茎^[18]、单沟型花粉粒^[17]及残存的两性花^[19]等,被认为是最原始的种类^[20],目前在起源中心已经没有分布,却分布在纬度稍北的湖北和陕西南部等区域。

柴黄姜具有虫媒花的典型花部特征,即浅黄绿色的花被和香味,能吸引昆虫;柴黄姜雄株具有较浓的花香、较多的花朵和单花簇生的排列方式,使得昆虫对雄花的访花频率明显高于雌花,这种两性不对称的吸引结构有利于昆虫的成功传粉等^[21];而柴黄姜具有黏性的花粉,也表明柴黄姜的花粉散发方式适于虫媒传粉。本研究结果排除了柴黄姜为风媒传粉的可能性,并证明了柴黄姜属于以蜂类为主要传粉昆虫的虫媒传粉植物。

3.2 柴黄姜的传粉方式与繁殖策略

薯蓣属各组植物的繁殖方式具有明显的差异性,原始的根状茎组种类具有行有性繁殖的种子及行无性繁殖的根状茎,而演化较高级的周生翅组(Sect. *Enantiophyllum* Uline)种类则具有行有性繁殖的种子及行无性繁殖的块茎和株芽。柴黄姜隶属于根状茎组,是以隧蜂科和地蜂科中的2种蜂类为主要传粉昆虫的虫媒传粉种类,但其座果率和结实率分别仅为18.86%和7.12%。在野生状况下,柴黄姜的植株数量较少,因而成熟种子的数量也非常少,由种子繁殖的幼苗建成比较困难^[22]。目前,武当山地区自然资源的保存状况良好,虽然修有山中小径,但对原生境的面积和空间格局基本没有影响,道路两旁野生植物比较丰富,无斑块生境出现,不存在明显的生境破碎现象。在这种情况下,柴黄姜的有性繁殖并不具有大量繁衍种群的能力,而较少的根状茎作为无性繁殖器官也仅能使种群维持现有的个体数,增加新个体的能力非常有限,因此,柴黄姜在武当山地区呈现个体数量少及块状分布的特点,表明其种群扩展仍然以有性繁殖为主,无性繁殖为重要补充。

致谢:实验过程中,南京大学陈建秀老师,南开大学卜文俊老师,云南农业大学李强老师,中国科学院动物研究所虞佩玉老师,吴艳如老师、黄春梅老师和周红章老师帮助鉴定昆虫种类,在此一并表示感谢!

参考文献:

[1] Ding Z Z, Gilbert M G. Flora of China (Vol. 24) [M]. Beijing: Science Press, St. Louis: MBG Press, 2000: 276-296.

- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 第十六卷 第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 54-120.
- [3] Burkill I H. The organography and the evolution of Dioscoreaceae, the family of yam[J]. Linn Soc Bot, 1960: 240-253.
- [4] Martin F W, Cabanillas E, Sonia O. Natural pollination, hand pollination and crossability of some Mexican species of *Dioscorea* [J]. Trop Agric Trin, 1963, 40(2): 135-141.
- [5] Pitkin B R. *Larothrips dentipes*, a new genus and species of thrips from yam flowers in Nigeria[J]. Bull Ent Res, 1973, 62: 415-418.
- [6] Abraham K, Gopinathan P. Floral biology and artificial pollination in *Dioscorea alata* L. [J]. Euphytica, 1990, 48: 45-51.
- [7] Segnou C A, Fatokun M O, Akoroda S K. Studies on the reproductive biology of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.) [J]. Euphytica, 1992, 64: 197-203.
- [8] Bournier J P. *Larothrips dentipes* Pitkin: description of the male and its polymorphism[J]. J Afr Zool, 1994, 108: 493-501.
- [9] Mizuki I, Osawa N, Tsutsumi T. Thrips (Thysanoptera: Thripidae) on the flowers of a dioecious plant, *Dioscorea japonica* (Dioscoreaceae) [J]. Can Entomol, 2005, 137(6): 712-715.
- [10] 王金荣, 丁志遵, 秦慧贞. 薯蓣科地理生物学的研究[J]. 西北植物学报, 1994, 14(2): 128-135.
- [11] 王英强, 张奠湘, 陈忠毅. 益智传粉生物学的研究[J]. 植物生态学报, 2005, 29(4): 599-609.
- [12] 李平. 3种单子叶蜜源植物花蜜腺的发育解剖学研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(7): 1231-1236.
- [13] 刘爱忠, 李德铎, 王红. 西双版纳先锋植物野芭蕉的传粉生态学[J]. 植物学报, 2001, 43(3): 319-322.
- [14] Terui K, Okagami N. Temperature effects on seed germination of East Asian and Tertiary relict species of *Dioscorea* (Dioscoreaceae) [J]. Am J Bot, 1993, 80(5): 493-499.
- [15] 张美珍, 吴竹君, 秦慧贞, 等. 薯蓣属茎的比较解剖及其在分组上的意义[C]//南京中山植物园研究论文集编辑组. 南京中山植物园研究论文集(1981). 南京: 江苏科学技术出版社, 1982: 1-8.
- [16] 杭悦宇, 徐璐珊, 史德荣, 等. 中国薯蓣属植物地下茎淀粉粒形态特征及其分类学意义[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(4): 1-8.
- [17] 舒璞. 中国薯蓣属花粉形态的初步研究[J]. 植物分类学报, 1987, 25(5): 357-365.
- [18] 裴鉴, 丁志遵, 秦慧贞, 等. 中国薯蓣属根状茎组系统分类的初步研究[J]. 植物分类学报, 1979, 17(3): 61-72.
- [19] 杭悦宇. 中药草薢的原植物、鉴定及质量评价研究[D]. 南京: 中国药科大学, 2007: 48-55.
- [20] 吴征镒, 路安民, 汤彦承. 中国被子植物科属综论[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 212-217.
- [21] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 148-164.
- [22] 李景华, 王化田, 张成军. 穿龙薯蓣种群生命表的研究[J]. 植物研究, 2000, 20(4): 444-449.