

魏建华,刘林德,张莉,等. 大棚蓝莓与露天蓝莓传粉生态特性比较研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(10):149-157.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.10.027

大棚蓝莓与露天蓝莓传粉生态特性比较研究

魏建华¹, 刘林德¹, 张莉¹, 贾兴军², 刘志浩³, 孔宪海³

(1. 鲁东大学生命科学学院, 山东烟台 264025; 2. 威海蓝呱呱农业科技有限公司, 山东威海 264210;

3. 烟台三维岩土工程技术有限公司, 山东烟台 264002)

摘要:以蓝莓品种北陆(Northland)、蓝丰(Bluecrop)、杜克(Duke)为材料,定位观测大棚蓝莓与露天蓝莓的花朵数量性状、开花进程、访花者的种类及访花频率,并计算 Simpson 指数。用日立 TM-1000 扫描电镜观察 3 个品种的柱头和蜜腺的亚显微形态特征,并观测花粉活力、柱头可授性。结果表明,大棚蓝莓与露天蓝莓的花朵数量性状有微小的差距,大棚蓝莓比露天蓝莓的花药至柱头距离略短。大棚蓝莓单花花期可达 6~10 d,露天蓝莓单花花期通常为 5~6 d。大棚蓝莓与露天蓝莓的花粉活力与柱头可授性达到最高的时间都在花后 2 d 或 4 d。访花者种类差别明显,大棚蓝莓只有人工释放的意大利蜜蜂(*Apis mellifera*)访花;露天蓝莓有 10 余种访花者,主要有膜翅目(Hymenoptera)、鞘翅目(Coleoptera)、双翅目(Diptera)、鳞翅目(Lepidoptera)等昆虫;Simpson 数值分析结果表明,膜翅目昆虫意大利蜜蜂显著高于其他昆虫,是露天蓝莓访花昆虫群落里的优势物种。天气状况对访花者的访花次数干扰明显,其中,阴天、降水、大风都会明显降低访花昆虫的访花频率。

关键词:蓝莓;开花生态学;花粉活力;柱头可授性;访花者

中图分类号: S663.901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)10-0149-08

蓝莓(*Vaccinium* sp.),别称越橘,为杜鹃花科(Ericaceae)越橘属植物^[1]。蓝莓果实富含花青素,可以改善眼睛的视物能力、延缓细胞衰老、预防癌症,被誉为 21 世纪功能性保健浆果、人类健康食品之一^[2]。自 1980 年开始,100 多个蓝莓品种先后被引入我国,相关研究越来越深入^[3]。如杨岑等报道过兔眼蓝莓的花粉活力^[4]、雨天对蓝莓开花动态的影响等^[5],万洪波等研究过蓝莓的花芽^[3],王林等报道过 4 个南高丛蓝莓品种的开花生物学特征等^[6]。

胶东半岛气候湿润温和,适合栽培北高丛蓝莓^[7]。在大棚内栽培蓝莓,蓝莓鲜果可提前上市,能显著增加经济效益。然而,某些蓝莓品种在大棚内坐果率低和不明原因的落花落果现象时有发生。张龙等对灿烂蓝莓初花期落花规律进行了研究,提出可适当修剪、摘叶或疏花以改善落花情况^[8]。但

从传粉生物学角度的研究未见报道。因此,以蓝莓品种北陆(Northland)、蓝丰(Bluecrop)、杜克(Duke)为材料,开展大棚蓝莓与露天蓝莓开花生态学特性的比较研究,旨在为进一步提高蓝莓的产量和品质提供參考。

1 试验地点、材料与方法

1.1 试验地点自然概况

试验地点设在烟台京玺农业发展有限公司和威海蓝呱呱农业科技有限公司,前者位于山东省烟台市牟平区莒格庄镇,地理坐标为 37°09′5.39″N, 121°44′30.14″E;后者位于山东省威海市火炬高技术产业开发区初村镇,地理坐标为 37°29′15″N, 121°48′15″E;两地相距约 35 km,都属温带季风气候区,年平均气温 11.6℃,降水量为 737.2 mm,无霜期为 180 d。定位观测地点空气湿度较大,降水充沛,昼夜温差大,有适合蓝莓生长的酸性土壤。试验地点环境因子见表 1。

1.2 试验材料

半高丛蓝莓品种北陆(Northland)为美国品种,早中熟,树势强,直立型,树高 1.2 m 左右,为半高丛蓝莓种类中较高的品种,极丰产,耐寒^[9]。

高丛蓝莓品种蓝丰(Bluecrop)为美国新泽西州

收稿日期:2019-03-06

基金项目:企业委托项目(编号:210-13890109);企业委托项目(编号:2016HX040)

作者简介:魏建华(1993—),男,山东烟台人,硕士研究生,研究方向为传粉生态学。E-mail:139300@163.com。

通信作者:刘林德,博士,教授,研究方向为植物生态学。E-mail:linde_liu@163.com。

表 1 试验地点不同时间段环境因子

时间	大棚		露天	
	温度 (℃)	相对湿度 (%)	温度 (℃)	相对湿度 (%)
08:00	16.2	70.9	15.5	80.3
10:00	24.5	39.2	26.5	49.3
12:00	36.4	30.1	28.8	45.0
14:00	30.9	24.0	27.4	54.0
16:00	29.6	40.2	26.7	42.1

杂交培育的中熟品种, 树体生长健壮, 树高 1.2 ~ 1.8 m, 极丰产且连续丰产能力强, 在干旱胁迫下长势及其抗逆性相对于其他品种好^[10]。

高丛蓝莓品种杜克 (Duke) 为 1986 年美国农业部与新泽西州农业试验站合作杂交育成的早熟品种。树体生长健壮、直立, 连续丰产^[11]。

1.3 试验方法

1.3.1 开花进程及花朵数量性状观测 分别在大棚和露天环境中选择 3 株相隔一定距离的蓝莓进行标记, 然后定位观测并记录蓝莓花朵的开放进程。记录内容包括花序内的花朵数量、颜色、开放顺序, 同时记录单花的花期、颜色变化等。

1.3.2 花粉活力检测 用 2,3,5 - 三苯基氯化四氮唑 (2,3,5 - triphenyl tetrazolium chloride, TTC) 法测定花粉的活力和寿命^[4-5], 将开花不同天数的蓝莓花粉置于载玻片上, 滴加溶于蔗糖溶液的 5% TTC 溶液, 蔗糖溶液浓度为 10%, 盖上盖玻片后放到置有经过水浸润的滤纸的平皿中, 在 37℃ 的恒温电热鼓风干燥箱中, 避光放置 2 h 后, 在显微镜下观察, 并统计 3 ~ 5 个视野内的红色花粉所占的比例。

1.3.3 柱头可授性检测 配制 1% 联苯胺、3% 过氧化氢、水体积比为 4 : 11 : 22 的反应液, 采下开花后不同时间的蓝莓花朵, 在载玻片上滴加反应液, 将柱头浸入反应液中^[5]。柱头若表现出过氧化物酶活性, 则使过氧化氢分解, 冒出大量气泡, 同时氧化联苯胺, 使柱头周围的反应液变蓝, 气泡越多、反应液越蓝, 表示柱头可授性越强。本试验用数字表示柱头可授性的强弱, 数字越大表示柱头可授性越强。

1.3.4 柱头和蜜腺扫描电镜观察 取 3 个品种的含苞待放的花蕾, 保证大棚蓝莓和露天蓝莓的花蕾处于同一时期, 将要观察的花粉、柱头及蜜腺粘在贴有导电双面胶的载玻片上, 放到 JFC - 1600 离子溅射仪内喷镀, 再用日立 TM - 1000 扫描电镜观察并拍照。

1.3.5 访花者访花行为与频率观测 在盛花期, 分别在大棚和露天环境中选择 3 株相隔一定距离的蓝莓进行标注, 然后记录访花者的访花情况, 将 3 株植株的访花频率取平均值作为统计结果, 观测时间从 07:30 到 18:00。将结果绘制成折线图, 比较大棚蓝莓和露天蓝莓访花频率的异同。

记录访花者的种类、相关行为及其在花朵上的停留时间, 同时记录当时的天气情况和一天内的温度、湿度变化。将访花者捕捉后带回实验室, 在体视显微镜下进行观察, 记录其身体上花粉分布情况。用辛普森 (Simpson) 指数分析蓝莓访花昆虫的多样性。

2 结果与分析

2.1 开花进程及花朵数量性状

以北陆 (Northland)、蓝丰 (Bluecrop)、杜克 (Duke) 3 个品种为材料观测大棚蓝莓与露天蓝莓的花朵数量性状及开花进程。蓝莓具总状花序, 花两性, 花冠钟形, 花瓣基部联合, 外缘 5 裂, 白色, 与《中国植物志》中的描述^[12]大致相同 (图 1 - a)。蓝莓花序内花朵离心开放, 单花在小花苞时期部分为淡红色, 随后逐渐变白, 至盛开时大部分花朵完全变为白色, 少部分带有少量淡红色。花蕾期的花药为淡红色, 随着花朵的发育, 花药从顶部开始变为棕黄色。花蕾长度小于 4 mm 时, 花药高于花柱; 花蕾长度大于 5 mm 时, 花药短于花柱。在单花的盛花期, 大棚与露天蓝莓的花药均远远短于花柱 (图 1 - a)。在未授粉时, 花冠开口朝下; 传粉成功后, 子房开始膨胀, 蓝莓花冠开口逐渐向上昂起, 之后花冠便脱落。

3 个品种的大棚蓝莓与露天蓝莓的花朵数量性状见表 2。从表 2 可以看出, 大棚蓝莓与露天蓝莓的花朵数量性状有微小的差距, 大棚蓝莓比露天蓝莓的花药至柱头距离略短, 这种差距在品种杜克 (Duke) 上尤为明显。

大棚蓝莓单花花期可达 6 ~ 10 d, 露天蓝莓单花花期通常为 5 ~ 6 d。在单花的末花期, 蓝丰与杜克花冠变黄、枯萎, 最后和雄蕊一起脱落, 花柱在花盘上保留一段时间后枯萎, 在大棚相对稳定的环境中, 部分成熟的果实依然带有枯萎的花柱; 而北陆花冠则在脱落前变为紫红色。此外, 根据大棚的温控条件, 大棚蓝莓会出现先开花后长叶的情况, 露天蓝莓则一般先长叶后开花。



图1 蓝莓花朵及其访花者

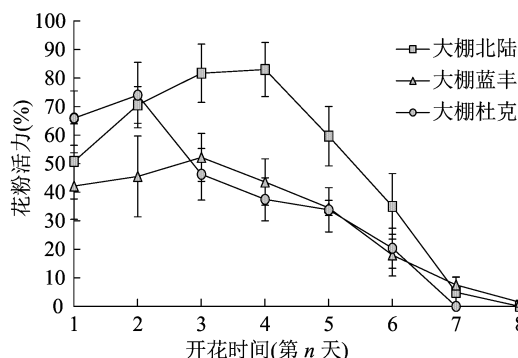
表 2 大棚蓝莓与露天蓝莓的花朵数量性状

处理	品种	开花时间 (d)	花总长 (cm)	花冠直径 (mm)	花药至柱头距离 (mm)
大棚	北陆	1	10.55 ± 1.12ef	5.73 ± 0.46jk	1.93 ± 0.48gh
		2	10.64 ± 0.99ef	6.17 ± 0.47hi	2.07 ± 0.43eh
		3	10.77 ± 0.86e	6.25 ± 0.49gi	2.06 ± 0.31eh
	蓝丰	1	12.01 ± 0.69ad	7.18 ± 0.59d	1.90 ± 0.32h
		2	12.06 ± 0.70ad	7.57 ± 0.59c	2.00 ± 0.21fh
		3	12.24 ± 0.35ac	8.30 ± 0.64a	2.10 ± 0.25dh
	杜克	1	11.60 ± 0.72cd	6.03 ± 0.54ig	1.43 ± 0.27i
		2	11.82 ± 0.64bd	6.77 ± 0.45ef	1.57 ± 0.37i
		3	12.04 ± 1.00ad	7.18 ± 0.49d	1.64 ± 0.31i
露天	北陆	1	9.94 ± 0.95g	5.57 ± 0.38k	2.11 ± 0.45dh
		2	10.14 ± 1.06fg	6.47 ± 0.37fh	2.33 ± 0.48ce
		3	10.34 ± 0.87eg	6.50 ± 0.43fg	2.36 ± 0.44bd
	蓝丰	1	11.48 ± 0.64d	6.71 ± 0.37ef	2.09 ± 0.43dh
		2	11.74 ± 0.89cd	7.54 ± 0.45c	2.59 ± 0.37ab
		3	11.78 ± 1.24bcd	8.09 ± 0.47ab	2.76 ± 0.47a
	杜克	1	12.10 ± 1.02ad	6.86 ± 0.43e	2.20 ± 0.33dg
		2	12.43 ± 1.13ab	7.94 ± 0.53b	2.21 ± 0.32cf
		3	12.50 ± 0.95a	8.08 ± 0.50ab	2.47 ± 0.42bc

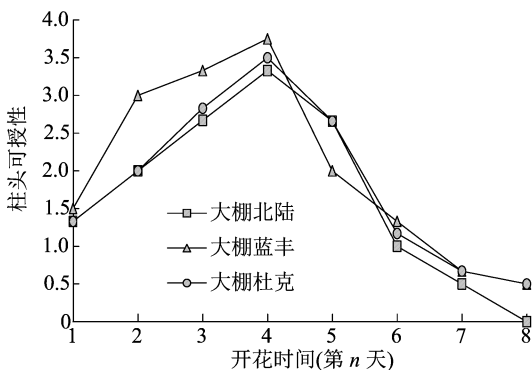
注:数据为平均值 ± 标准差;同列数据后不同字母表示在 0.05 水平上存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 花粉活力与柱头可授性比较

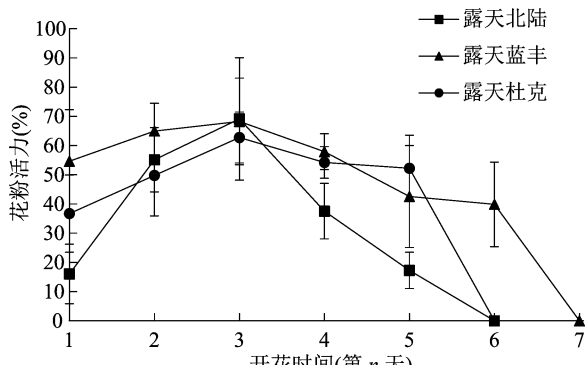
花粉活力测定结果见图 2。3 个品种大棚蓝莓开花第 1 天花粉活力都超过 40%，随后升高，杜克在第 2 天达到最高，北陆和蓝丰的花粉活力在第 3 天达到最高；随后便呈下降趋势，第 7 天时均低于 15%。而不同品种露天蓝莓在开花第 1 天花粉活力相差较大，但都在第 3 天达到最高，然后缓慢下降，在花冠脱落时花粉活力仍保持较高的活力。



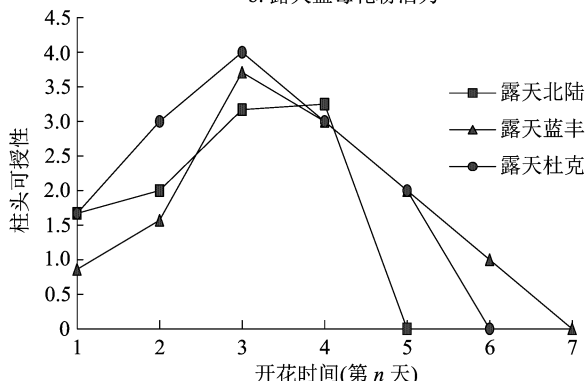
a. 大棚蓝莓花粉活力



c. 大棚蓝莓柱头可授性



b. 露天蓝莓花粉活力



d. 露天蓝莓柱头可授性

图2 大棚蓝莓与露天蓝莓花粉活力和柱头可授性的变化

2.3 柱头、蜜腺扫描电镜观察

柱头的扫描结果见图 3。从图 3 中可以看出，不同品种的蓝莓柱头形态相似，3 个品种的大棚蓝莓与露天蓝莓在花蕾含苞待放时，柱头上已有黏液出现，可以认为蓝莓柱头属于湿型。3 个品种的露天蓝莓柱头黏液分泌量比大棚蓝莓的柱头黏液分泌量多。图 4-a 显示黏液将花粉包围，为花粉萌发提供适宜的环境。

蓝莓花的蜜腺位于子房上方，环绕在花柱基部的花盘上，属于花盘蜜腺（图 1-b 箭头所示）。蓝莓蜜腺表面分布有大量的变态气孔，蜜汁由此排出。图 5-a 和图 5-b 显示，大棚蓝莓与露天蓝莓品种北陆在开花前蜜腺分泌孔尚未张开，而图 5-c 至图 5-f 显示，大棚蓝莓与露天蓝莓品种蓝丰和杜

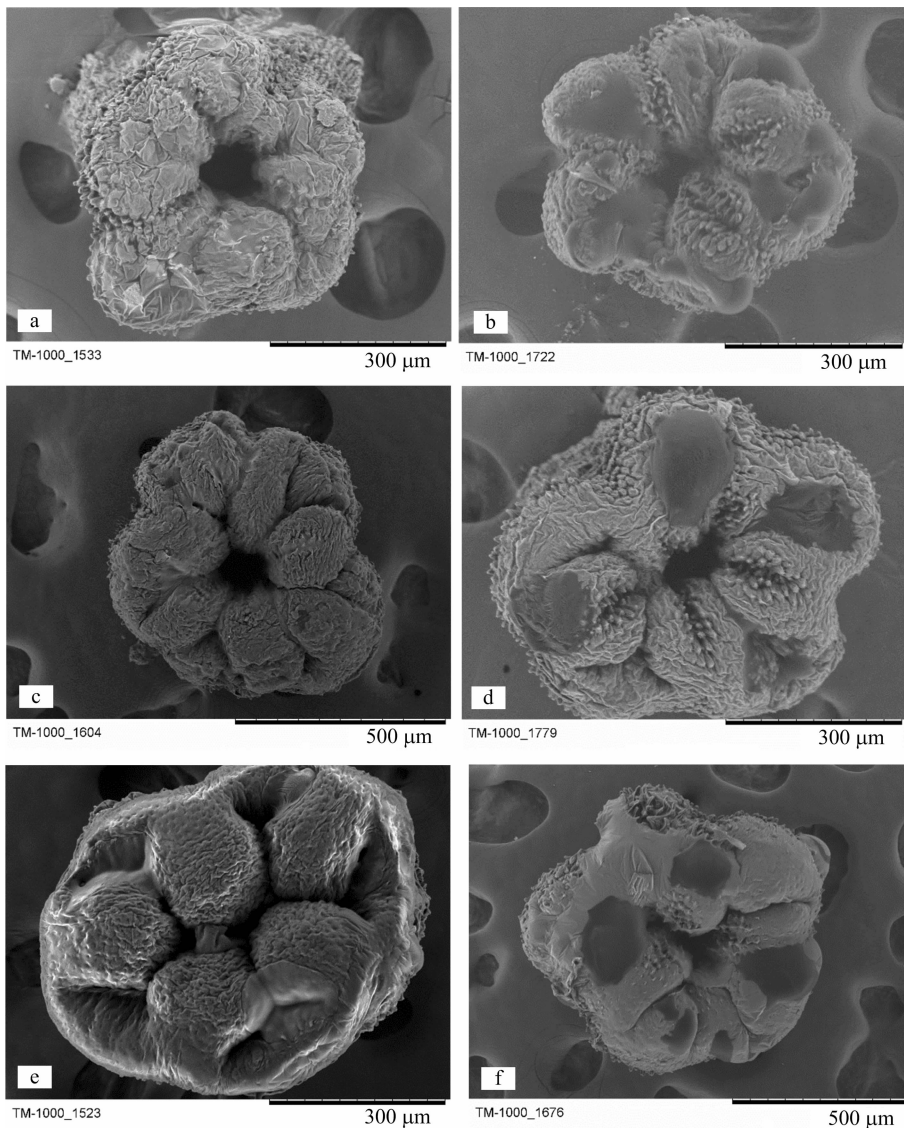
从图 2 可以看出，大棚蓝莓与露天蓝莓开花不同天数的柱头可授性的变化趋势与花粉活力的相似。3 个品种大棚蓝莓的柱头可授性都在第 4 天达到最强，而露天蓝莓的柱头可授性则在第 3 天左右达到最强。大棚蓝莓的柱头可授性在达到最强之后下降趋势较缓，而露天蓝莓的柱头可授性在达到最强之后则迅速下降。

克的蜜腺分泌孔已经张开。张开的蜜腺分泌孔形态见图 4-b。

2.4 访花者的多样性及其访花行为和频率

2.4.1 访花者的多样性 大棚蓝莓和露天蓝莓的主要访花者都是意大利蜜蜂，这主要是因为工作人员在大棚蓝莓和露天蓝莓生长的相关区域放置了若干蜂箱。同时，大棚内未观察到其他种类的访花者。露天蓝莓的访花者种类比大棚内丰富很多，主要有膜翅目、双翅目、鞘翅目、鳞翅目等 4 类昆虫。其中膜翅目 5 种，鞘翅目 2 种，双翅目 3 种，鳞翅目 3 种，共 13 种。

根据坡向的不同，选取了 2 个调查样地，分别为南坡和北坡。在晴天条件下，南坡和北坡试验数据的 Simpson 指数见表 3。根据表 3 可以得知，在露天



a—大棚北陆；b—露天北陆；c—大棚蓝丰；d—露天蓝丰；e—大棚杜克；f—露天杜克

图3 大棚蓝莓与露天蓝莓柱头

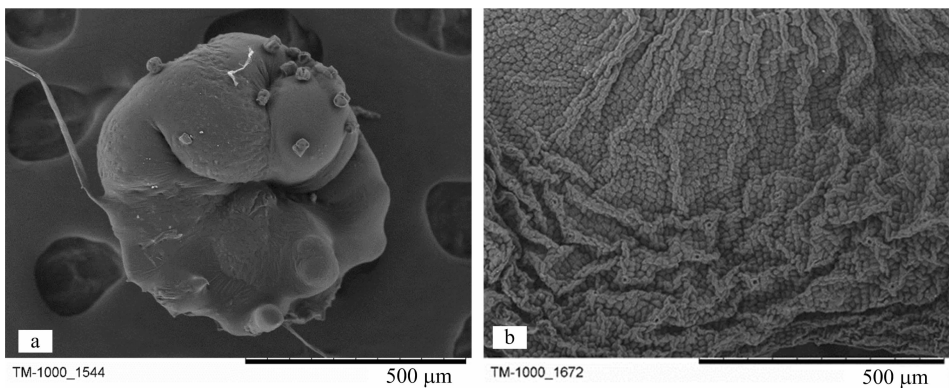
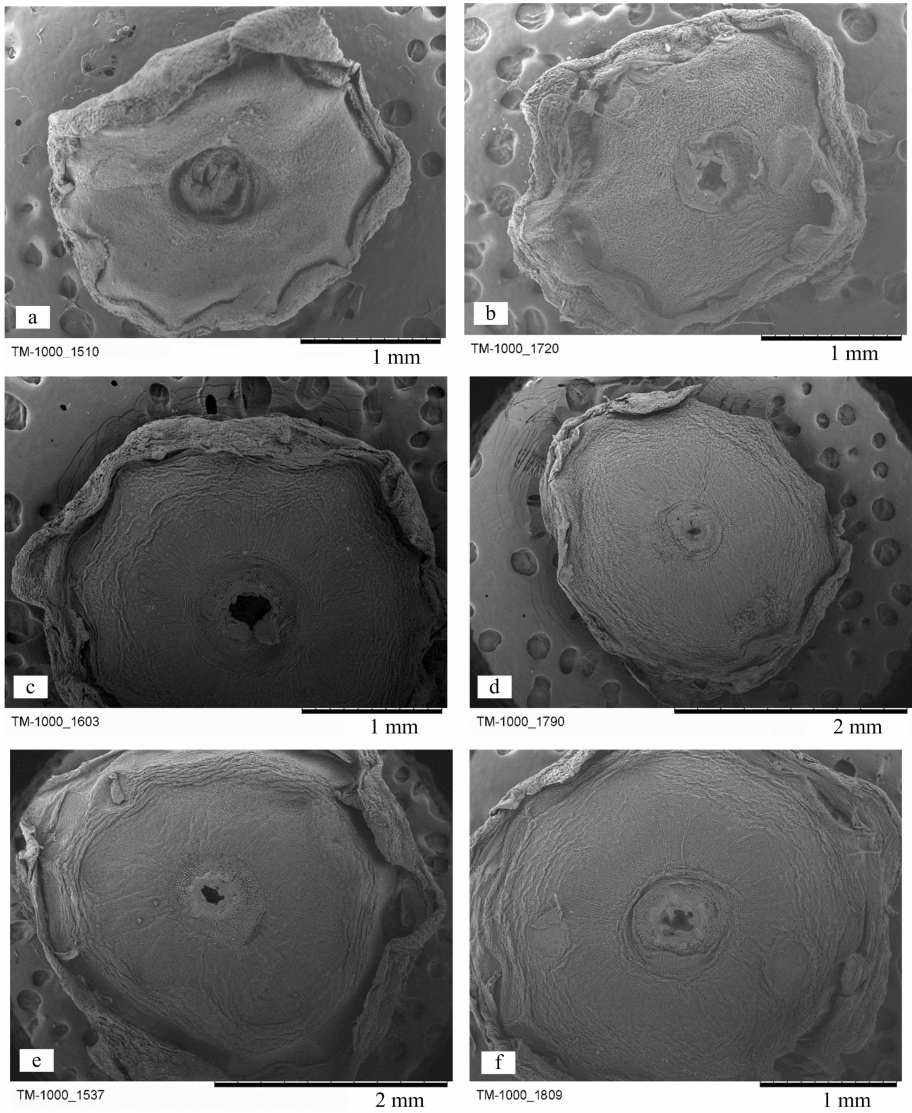


图4 柱头上的花粉及张开的蜜腺孔

蓝莓的访花昆虫中,膜翅目为主要的访花者,是访花昆虫中的优势种和建群种。

2.4.2 访花者的访花行为 意大利蜜蜂访问蓝莓

花时将头部伸入花冠内(图1-c),吸取花粉和花蜜,前足将花粉收集到中、后足上,在这个过程中完成传粉。意大利蜜蜂单花访花时间为5~10 s,这可



a—大棚北陆蜜腺；b—露天北陆蜜腺；c—大棚蓝丰蜜腺；d—露天蓝丰蜜腺；
e—大棚杜克蜜腺；f—露天杜克蜜腺

图5 大棚蓝莓与露天蓝莓的蜜腺

表 3 南坡和北坡试验数据的 Simpson 指数				
坡向	Simpson 指数			
	膜翅目	鞘翅目	双翅目	鳞翅目
南坡	0.381	0.796	0.851	0.971
北坡	0.396	0.793	0.833	0.979

能是因为蓝莓单花的花药较集中。图 1 - d 至图 1 - i 显示的是其他访花者,从中可以看出,有些访花者会破坏花的结构。

2.4.3 访花频率 栽培蓝莓的大棚内温度一般控制在 28 ℃ 左右,通过控制风口来控制温度。每天 07:30 会拉开盖在大棚顶上的保温帘,随后根据天气情况升降保温帘控制风口大小,从而使温度升降,在 16:30 左右会将保温帘全部降下。由图 6 可

知,大棚阴雨天气时,10:00 蓝莓花上开始有意大利蜜蜂出现,并逐渐增多,12:30 左右开始减少,14:00 左右又开始缓慢增加,然后逐渐减少。大棚晴天时,08:30 左右意大利蜜蜂开始出现,随后快速增加,之后平缓波动,至 15:30 左右开始减少。结合记录的温度和湿度变化情况,发现该趋势与湿度关系不大,与温度的变化趋势一致,说明意大利蜜蜂的访花频率对温度敏感。

露天蓝莓在阴雨天气时,08:00 开始有访花者出现,11:00 左右开始下雨,并伴随大风,12:30 之后在所观测的区域内未发现访花者。露天蓝莓在晴天时,从 08:00 开始有意大利蜜蜂出现,全天内访花频率波动较大,这与温度高低的变化趋势一致。由

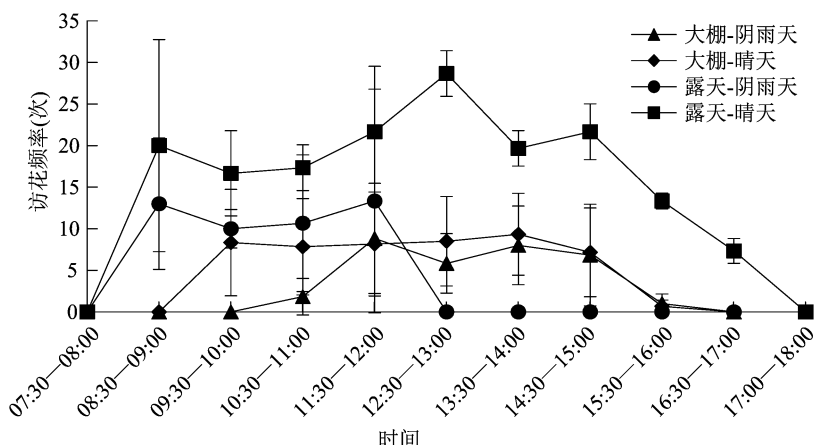


图6 蓝莓访花者访花频率

此可见,虽然大棚蓝莓与露天蓝莓的访花者种类不同,但是访花频率的变化规律却基本一致。

3 讨论与结论

开花动态、花朵数量性状、花粉活力、柱头可授性等都受环境影响,而环境包括生物因素和非生物因素^[13]。同品种的大棚蓝莓与露天蓝莓在开花动态方面表现有所不同,这显然是由大棚与露天的生物因素与非生物因素不同导致的。

3.1 生物因素对开花生态特性的影响

与植物有传粉关系或取食关系的昆虫是影响开花动态的重要因素。传粉昆虫具有多种生态服务功能,其对于植物的传粉、维持遗传多样性和生态系统平衡具有重要作用^[14]。蓝莓多为异花授粉,高丛蓝莓自交可孕,但可孕程度因品种而异,且异花授粉可大大提高结实率;而兔眼蓝莓自花授粉和风媒授粉的坐果率极低^[15]。相关报道表明,蓝莓要维持高水平授粉需要传粉者授粉^[16],且不同传粉者对于蓝莓的果实品质也有影响^[17]。所以访花者对于蓝莓的传粉至关重要。自然状态下,真正对传粉有所助益的访花者较少^[18],而蜜蜂对蓝莓的传粉有重要影响^[19-20]。经蜜蜂授粉的蓝莓,坐果率、结实率和果实品质得到显著提高^[21]。蜜蜂的品种、密度以及所在地区的不同,对蓝莓传粉效果的影响也有所差异^[22-24]。类似的结果在草莓、文冠果等的相关研究也有报道^[25-26]。当然,农业生产上蓝莓严重依靠蜜蜂授粉,为了使授粉策略多样化,国外种植者正在转向替代方案^[27]。国内目前已有关于使用蜜蜂活动增强剂保丽蕊来提高蜜蜂对蓝莓的授粉效果、增加蓝莓坐果率和产量的报道^[28]。

访花者访问花朵时会改变花的一些结构特征,

从而导致如单花的花期、开花进程等方面的差异^[29]。Simpson 优势度指数表示访花者的优势程度,优势度数值越大,物种越罕见。因此露天蓝莓的访花昆虫中,膜翅目占了绝大多数,并使物种多样性降低。但对比来看,露天蓝莓的访花昆虫比大棚蓝莓要丰富得多,其数量也相对较多。相关文献报道,某些生在高海拔和生存环境恶劣地区的植物会通过延长花期来弥补传粉者不足的缺陷^[30],在露天环境中访花者较多,使花朵更易授粉,授粉后的花朵一段时间之后就会脱落,而大棚蓝莓访花者单一,只有意大利蜜蜂,加之大棚中气流运动缓慢,降低了风力传粉的可能,从而大棚蓝莓选择以延长花期来保证其生殖成功率。同时大棚蓝莓的花药离柱头距离更近,花冠也较大,这也便于克服访花昆虫的不足,保证生殖成功率。此外,国外对于蓝莓的花龄、授粉及分生孢子感染之间关系的研究表明,开花当天蓝莓花朵最容易受到分生孢子感染,菌丝生长速度最快,这也会影响传粉效率^[31]。大棚蓝莓与露天蓝莓的生长环境不同,分生孢子等微生物是否会对其开花生态特性产生影响,这值得进一步探究。

3.2 非生物因素对开花生态特性的影响

与露天环境不同,大棚主要有以下 4 个特点^[32-34]:(1)照度低。大棚有塑料薄膜覆盖、薄膜表面水滴折射、框架材料会遮阴等原因,使阳光的透过率降低。(2)温差大。密闭条件下,大棚的昼夜温差可达 10~20℃。虽然昼夜温差大可以在白天增加光合作用,晚上减少呼吸,利于物质的积累,但温差过大也会使蓝莓的生长与发育受到影响。(3)湿度大。白天大棚湿度有所降低,中午达到一天中最低,夜晚湿度逐渐增高,即使在晴天,相对湿度常达 90% 以上,且一天内持续 8~9 h 以上。(4)

气流运动缓慢。相对密闭的棚内,如果没有人工措施的干预,气流的运动非常缓慢。光照^[35]、温湿度^[36]等都会影响花朵的开花动态。所以,从非生物因素分析,大棚蓝莓的环境相对稳定且温度较高,而露天蓝莓则会经受风雨等的摧残,不仅风力等使其更容易授粉,同时外力因素也使露天蓝莓花冠更加容易脱落。

3.3 其他影响蓝莓开花生态特性的因素

花粉活力的高低与保持时间的长短因物种与环境的不同而有所差异^[37-39]。同时,柱头具有可授性时间的长短与花的授粉情况息息相关^[40-41]。大棚蓝莓与露天蓝莓的花粉活力与柱头可授性的增减趋势是相似的,大棚蓝莓与露天蓝莓的花粉活力和柱头可授性持续时间差异也不显著,所以蓝莓具备自花授粉的潜力^[42]。另外,同一发育时期的 3 个品种的露天蓝莓柱头黏液分泌量比大棚蓝莓的柱头黏液分泌量要多,而柱头的形态和生理发育状况影响着花粉的黏附、吸水和萌发^[43]。出现这样的现象可能是由于花期较短,需要在较短的时间内完成传粉活动;这同时说明,受环境影响花朵在未开放前便对相应的环境产生了部分的适应。作为影响开花动态的生物因素部分,蓝莓的访花者与访花频率又受非生物因素(如气温、大风、阴雨)显著影响,这反映了生物与生物之间、生物与环境之间错综复杂的相互关系,值得进一步深入探讨。

参考文献:

- [1] 孟凡丽,于强波. 树莓 蓝莓 黑穗醋栗优质高效生产技术[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
- [2] 方仲相,胡君艳,江波,等. 蓝莓研究进展[J]. 浙江农林大学学报,2013,30(4):599-606.
- [3] 万洪波,胡宝忠,李凤兰. 蓝莓品种美登花芽分化的观察[J]. 湖北农业科学,2009,48(6):1414-1416.
- [4] 杨 芩,廖优江,任永权,等. 5 个兔眼蓝莓品种的花粉量与花粉活力测定[J]. 贵州农业科学,2013,41(3):4-6.
- [5] 杨 芩,唐 露,李性苑,等. 阴雨对蓝莓花粉活力和柱头可授性的影响[J]. 北方园艺,2015(3):47-49.
- [6] 王 林,陈 黎,万志兵. 蓝莓开花结实生物学特性研究[J]. 安徽林业科技,2011,37(6):19-22.
- [7] 刘万平. 山东青岛 8 个蓝莓品种花果发育及适应性评价[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [8] 张 龙,王 森,刘 佳,等. 蓝莓初花期落花规律研究[J]. 经济林研究,2018,36(2):146-153.
- [9] 王荣姣. 半高丛越橘“北陆”花青素提取纯化,组分分析及抗氧化活性的研究[D]. 衡阳:南华大学,2014.
- [10] 肖 敏,马 强. 蓝莓优良品种蓝丰的主要特性及丰产栽培技术[J]. 中国林副特产,2011(6):38-40.
- [11] 王慧亮,张慧琴,肖金平,等. 蓝莓育种研究概况[J]. 浙江农业科学,2010(3):474-481.
- [12] 中国科学院中国植物志委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1991:147-148.
- [13] 黄双全. 植物与传粉者相互作用的研究及其意义[J]. 生物多样性,2007,15(6):569-575.
- [14] 张立微,张红玉. 传粉昆虫生态作用研究进展[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):9-13.
- [15] 龙世林,王 瑶,聂 飞,等. 不同授粉方式对兔眼蓝莓坐果率的影响[J]. 贵州农业科学,2014,42(3):117-119.
- [16] Pritts M P, Hancock J F, Strik B C, et al. Highbush blueberry production guide[M]. Ithaca: PALS Publishing,1992.
- [17] 唐 茜,刘 婷,王宁宁. 熊蜂与蜜蜂对设施蓝莓授粉习性及授粉效果分析[J]. 中国南方果树,2017,46(5):107-109.
- [18] 黄胜先,李佳林,侯 彪,等. 有机蓝莓园昆虫群落结构及动态[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):184-187.
- [19] 樊 莹,王承均,侯 萍,等. 中华蜜蜂为蓝莓授粉效果初探[J]. 蜜蜂杂志,2015,35(3):14-15.
- [20] 戴雪香,樊 莹,范文穗,等. 蓝莓泌蜜动态及中华蜜蜂的授粉效果[J]. 贵州农业科学,2017,45(1):91-94.
- [21] 韦小平,林 黎,徐祖荫,等. 中蜂授粉对蓝莓产量及品质的影响[J]. 蜜蜂杂志,2016,36(6):1-3.
- [22] Gibbs J, Elle E, Bobiwash K, et al. Contrasting pollinators and pollination in native and non-native regions of highbush blueberry production[J]. PLoS One,2016,11(7):e0158937.
- [23] Sampson B J, Cane J H. Pollination efficiencies of three bee (Hymenoptera:Apoidea) species visiting rabbiteye blueberry[J]. Journal of Economic Entomology,2000,93(6):1726-1731.
- [24] Dedej S, Delaplane K S. Honey bee (Hymenoptera: Apidae) pollination of rabbiteye blueberry *Vaccinium ashei* var. ‘Climax’ is pollinator density - dependent [J]. Journal of Economic Entomology,2003,96(4):1215-1220.
- [25] 杨佳林,顾向红,王 霞,等. 2 种蜜蜂对新疆温室草莓的授粉行为和授粉效果[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):162-164.
- [26] 高秀丽,原树生,王敏超,等. 蜜蜂对文冠果的辅助授粉效应[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):156-159.
- [27] Venturini E M, Drummond F A, Hoshida A K, et al. Pollination reservoirs in lowbush blueberry (Ericales:Ericaceae)[J]. Journal of Economic Entomology,2017,110(2):333-346.
- [28] 刘美见,王英华,张 丽,等. 蜜蜂活动增强剂保丽蕊在蓝莓作物上的应用效果[J]. 安徽农业科学,2016,44(4):59-60.
- [29] 赵同欣,刘林德,张 莉,等. 不同模式下紫藤花粉活力、柱头可授性的比较[J]. 安徽大学学报(自然科学版),2014,38(1):84-89.
- [30] Gugerli F. Effect of elevation on sexual reproduction in alpine populations of *Saxifraga oppositifolia* (Saxifragaceae) [J]. Oecologia,1998,114(1):60-66.
- [31] Ngugi H K, Scherm H, Lehman J S. Relationships between blueberry flower age, pollination, and conidial infection by *Monilinia vaccinii-corymbosi* [J]. Phytopathology,2002,92(10):1104-1109.

龚月桦, 张家豪, 周万海. 乙烯利和吲哚丁酸对扦插蓝莓组培苗不定根生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(10): 157-161.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.10.028

乙烯利和吲哚丁酸对扦插蓝莓组培苗不定根生长的影响

龚月桦, 张家豪, 周万海

(宜宾学院川茶学院, 四川宜宾 644000)

摘要:为探究乙烯利和吲哚丁酸对蓝莓组培苗不定根生长的影响, 以免眼蓝莓品种灿烂组培苗为材料, 用不同浓度乙烯利和吲哚丁酸溶液进行单一或复合处理, 然后在 30、50、70 d 时测定蓝莓的生根率、平均生根数、平均根长、生根力指数。结果表明, 在乙烯利单独处理时, 浓度在 40 mg/L 时促生根效果最好, 50 d 时生根率达 100.0%, 70 d 时生根力指数达 11.48; 吲哚丁酸单独处理时, 浓度在 400 mg/L 时促生根效果最好, 50 d 时生根率 65.6%, 70 d 时生根率为 100.0%, 生根力指数 17.69; 乙烯利和吲哚丁酸共同处理时, 某些组合协同效应明显, 400 mg/L 吲哚丁酸 + 10 mg/L 乙烯利组合促生根效果最好, 50 d 时生根率 100.0%, 70 d 时生根力指数 21.03。

关键词:蓝莓; 不定根; 乙烯利; 吲哚丁酸; 生根率; 生根数; 根长; 生根力指数

中图分类号:S663.904⁺.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)10-0157-05

蓝莓(blueberry)又称越橘, 属杜鹃花科越橘属多年生灌木植物, 是一种重要的小浆果类果树。蓝莓果实除了含有糖、酸和维生素 C 外, 还富含维生素 E、维生素 A、维生素 B、超氧化物歧化酶、熊果苷、蛋白质、花青苷、食用纤维以及丰富的 Ca、Fe、Zn、K 等矿物质元素。经常食用蓝莓鲜果具有防止

脑神经老化、软化血管、抗癌、明目、增强人体免疫能力的作用。蓝莓鲜果以其独特的营养价值在国际市场上受到追捧, 被国际粮农组织列为人类五大健康食品之一^[1]。目前, 在我国蓝莓产业化发展中, 苗木繁殖困难是制约蓝莓商业化栽培的重要因素之一, 主要原因是苗木生根困难, 且蓝莓的根系不发达, 主根不明显, 根细弱, 无根毛, 根分布浅^[2]。

由于生长素对不定根形成起主要作用, 目前常用吲哚丁酸(IBA)或萘乙酸(NAA)处理蓝莓促进其生根^[3-7], 但效果并不理想。乙烯也是一种植物激素, 农业生产中常用乙烯释放剂乙烯利促进果实成熟。已有研究表明, 乙烯也有促进不定根形成的作用, 但对不同的植物作用效果可能不同^[8-10]。还有

收稿日期: 2019-05-09

基金项目: 四川省教育厅重点项目(编号: 17ZA0455); 四川省宜宾市重点科技计划(编号: 2014NY016)。

作者简介: 龚月桦(1971—), 女, 四川简阳人, 博士, 教授, 主要从事植物生态生理研究。E-mail: gongyh01@163.com。

通信作者: 周万海, 博士, 副教授, 主要从事植物组织培养与种质改良研究。E-mail: wanhaizhou@126.com。

[32] 王发林. 温室内外杏、油桃的光合特性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.

[33] 李世峰, 李树发. 鲜切花的虫害发生特点及其防治措施[J]. 中国农资, 2000(3): 24-26.

[34] 李树军, 崔建云, 董晨娥, 等. 蔬菜大棚内光照及温度的特点分析[J]. 山东气象, 2004, 24(1): 26-27.

[35] 田丹青, 葛亚英, 余利隽, 等. 遮光率及施肥浓度对凤梨丹尼斯生长与开花的影响[J]. 江苏农业科学, 2010(2): 178-180.

[36] 莫丹, 陈发棣, 徐迎春, 等. 温度对国庆小菊早意大利红花芽分化及开花的影响[J]. 江苏农业科学, 2008(1): 105-108.

[37] 张永平, 乔永旭, 陈超, 等. 东方百合西伯利亚花粉活力测定及其主要影响因子[J]. 江苏农业科学, 2009(1): 145-146.

[38] 许建兰, 马瑞娟, 宋宏峰, 等. 不同杏品种开花生物学特性和花

粉萌发率研究[J]. 江苏农业科学, 2005(6): 83-85.

[39] 宋宏峰, 许建兰, 方慧, 等. 不同桃品种花粉活力观察初报[J]. 江苏农业科学, 2004(6): 111-112.

[40] 红雨, 方海涛, 那仁. 濒危植物蒙古扁桃花粉活力和柱头可授性研究[J]. 广西植物, 2006, 26(6): 589-591.

[41] 曾黎明, 陈显国, 林玉虹, 等. 澳洲坚果花粉活力、柱头可授性比较研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 123-125.

[42] 刘林德, 张萍, 张丽, 等. 锦带花的花粉活力、柱头可授性及传粉者的观察[J]. 西北植物学报, 2004, 24(8): 1431-1434.

[43] Sigrist M R, Sazima M. Pollination and reproductive biology of twelve species of neotropical Malpighiaceae: stigma morphology and its implications for the breeding system[J]. Annals of Botany, 2004, 94(1): 33-41.