



图1 蓝莓花朵及其访花者

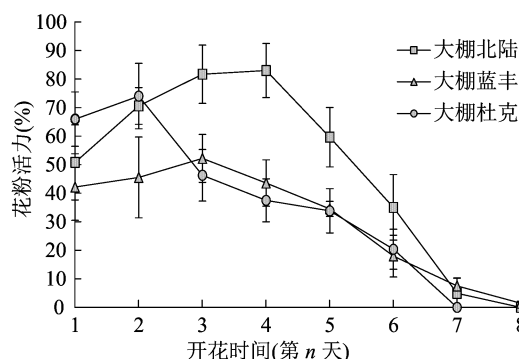
表 2 大棚蓝莓与露天蓝莓的花朵数量性状

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

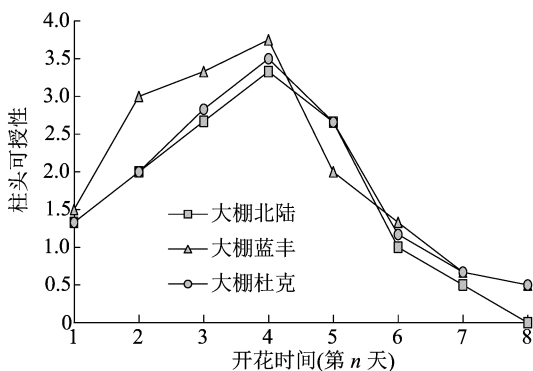
注:数据为平均值 ± 标准差;同列数据后不同字母表示在 0.05 水平上存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 花粉活力与柱头可授性比较

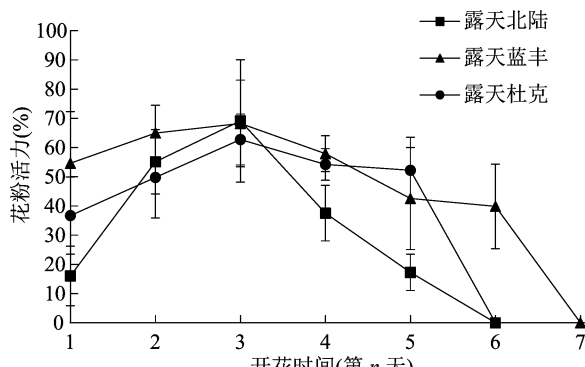
花粉活力测定结果见图 2。3 个品种大棚蓝莓开花第 1 天花粉活力都超过 40%，随后升高，杜克在第 2 天达到最高，北陆和蓝丰的花粉活力在第 3 天达到最高；随后便呈下降趋势，第 7 天时均低于 15%。而不同品种露天蓝莓在开花第 1 天花粉活力相差较大，但都在第 3 天达到最高，然后缓慢下降，在花冠脱落时花粉活力仍保持较高的活力。



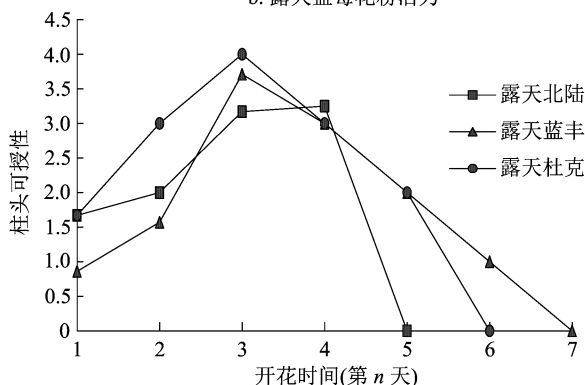
a. 大棚蓝莓花粉活力



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

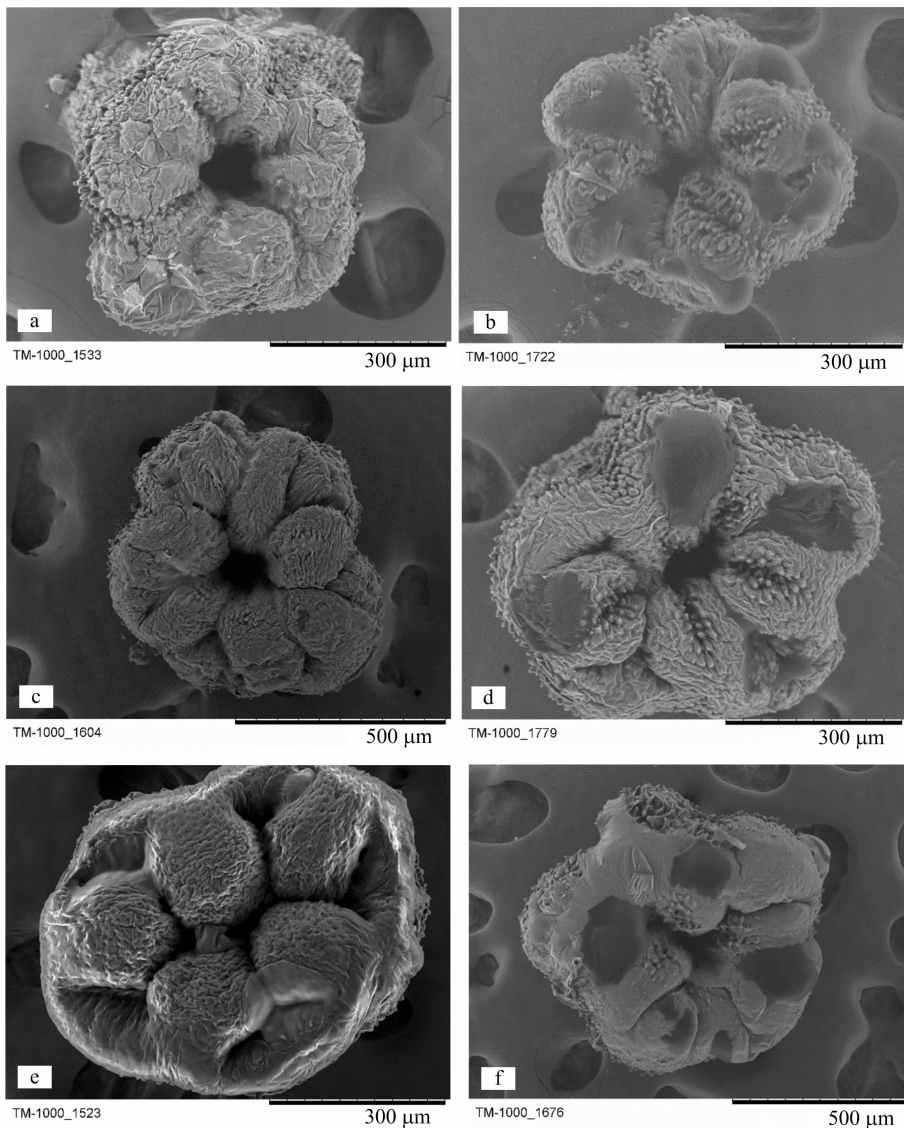
克从图 2 可以看出，大棚蓝莓与露天蓝莓开花不同天数的柱头可授性的变化趋势与花粉活力的相似。3 个品种大棚蓝莓的柱头可授性都在第 4 天达到最强，而露天蓝莓的柱头可授性则在第 3 天左右达到最强。大棚蓝莓的柱头可授性在达到最强之后下降趋势较缓，而露天蓝莓的柱头可授性在达到最强之后则迅速下降。

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

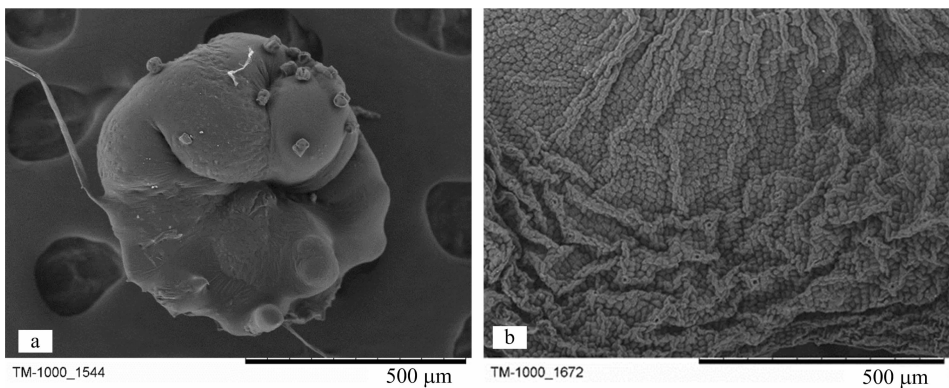
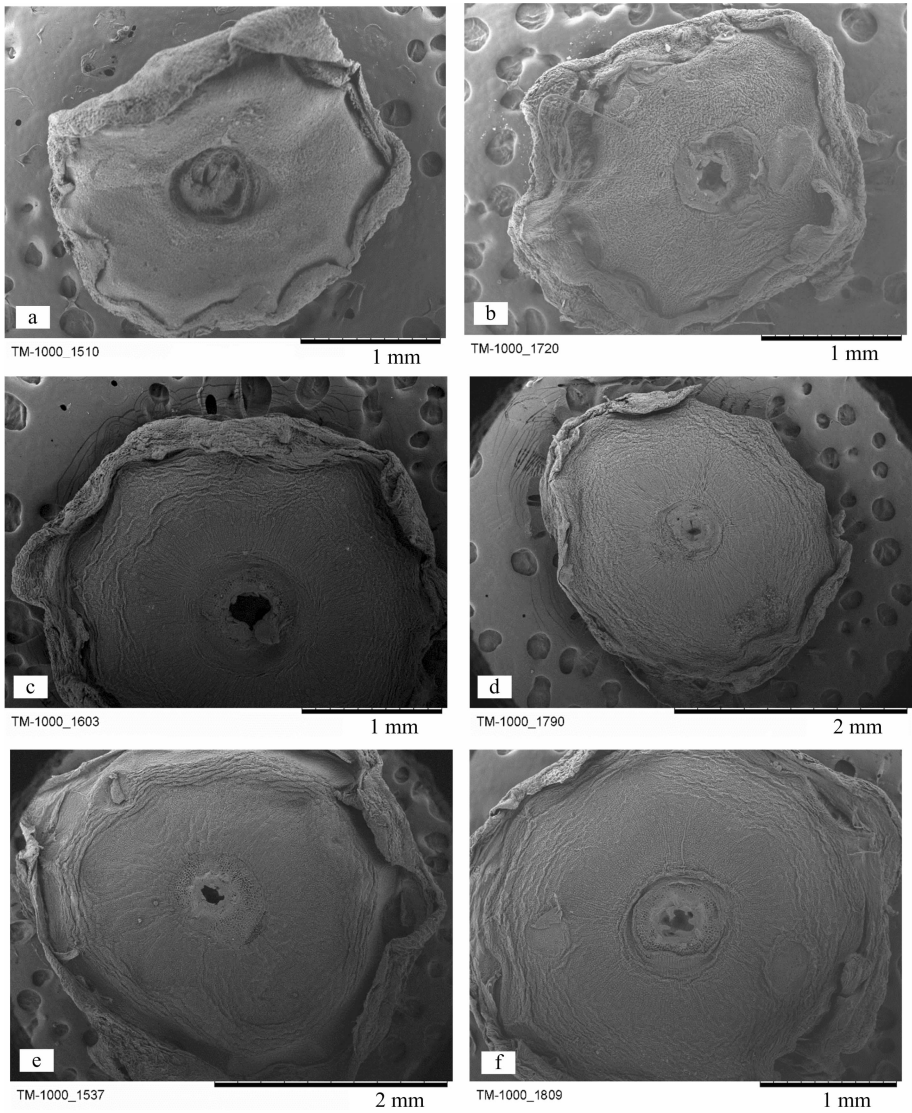


图4 柱头上的花粉及张开的蜜腺孔

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

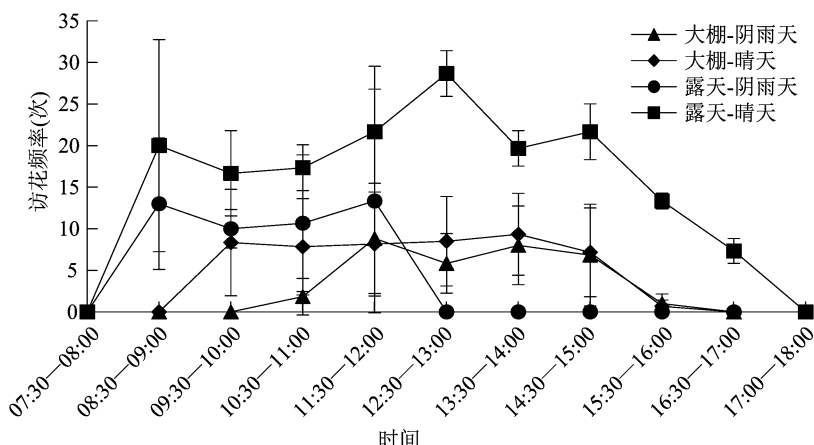


图6 蓝莓访花者访花频率

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.

研究认为,乙烯和生长素在信号途径上存在相互作用^[10-12]。乙烯利在蓝莓扦插生根中的作用还未见报道,因此本试验研究乙烯利对蓝莓不定根生长的影响以及乙烯利和吲哚丁酸二者共同使用对蓝莓插条生根的效应,为提高蓝莓生根的效率和蓝莓苗木的质量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

蓝莓品种为灿烂,属于五大蓝莓品种群中的兔眼蓝莓(*Vaccinium ashei*)群。组培蓝莓苗长至 4~5 cm 时,炼苗 2 周左右,取出洗净培养基,剪除基部老化褐变的部分消毒待用。此部分试验于 2017 年 9—12 月在宜宾学院川茶学院组培实验室进行。

1.2 组培苗的扦插移栽

扦插基质选用智利产水苔,经过 8 h 浸泡吸胀后,放入育苗盘内用 1% 高锰酸钾溶液浸透放置过夜后可以使用,将蓝莓组培苗分株移栽到育苗盘苔藓内。此部分试验于 2018 年 11 月至 2019 年 3 月在宜宾学院川茶学院试验农场(104°54'E、28°70'N)进行。

1.3 生根试验设计

生根试验分为乙烯利处理(浓度梯度为 0、10、20、30、40、50 mg/L,处理编号分别为 CK、E₁、E₂、E₃、E₄、E₅)、吲哚丁酸处理(浓度梯度为 0、100、200、300、400 mg/L,处理编号分别为 CK、I₁、I₂、I₃、I₄)、乙烯利和吲哚丁酸共同处理(用 T 表示,表 1)。

表 1 乙烯利和 IBA 共同处理蓝莓扦插生根试验方案

编号	IBA 浓度 (mg/L)	乙烯利浓度 (mg/L)	编号	IBA 浓度 (mg/L)	乙烯利浓度 (mg/L)
T ₁₋₁	100	10	T ₃₋₁	300	10
T ₁₋₂	100	20	T ₃₋₂	300	20
T ₁₋₃	100	30	T ₃₋₃	300	30
T ₁₋₄	100	40	T ₃₋₄	300	40
T ₁₋₅	100	50	T ₃₋₅	300	50
T ₂₋₁	200	10	T ₄₋₁	400	10
T ₂₋₂	200	20	T ₄₋₂	400	20
T ₂₋₃	200	30	T ₄₋₃	400	30
T ₂₋₄	200	40	T ₄₋₄	400	40
T ₂₋₅	200	50	T ₄₋₅	400	50
CK	0	0			

每个育苗盘 32 孔,每孔 1 株,每处理重复 2 盘。在有吲哚丁酸进行处理的试验组中,须要将筛选好的苗进行分组,在对应浓度梯度的溶液中进行 25~

30 s 的蘸根处理再扦插。其他处理可以直接扦插移栽。

1.4 生根试验管理

1.4.1 生根营养液配方 1/8 WPM 营养液(大量元素和微量元素),调节 pH 值为 5.0。

1.4.2 乙烯利溶液的配制 称取 250 mg 乙烯利溶解在 10 mL 蒸馏水中,然后定容配制成 5 mg/mL 的母液,过滤灭菌,使用时稀释成所需浓度。

1.4.3 吲哚丁酸溶液的配制 称取 1 g 吲哚丁酸用 NaOH 助溶,然后加蒸馏水定容配成 20 mg/mL 的母液,过滤灭菌待用。使用时用蒸馏水稀释至所需浓度即可。

1.4.4 管理 蓝莓苗扦插后即浇生根营养液 10 mL/株,2 周浇 1 次,需要乙烯利处理的也每 2 周浇 1 次乙烯利溶液 10 mL/株。生根营养液和乙烯利溶液交叉进行,即 1 周浇营养液、1 周浇乙烯利。需要 IBA 处理的,扦插前用吲哚丁酸溶液蘸根处理 25~30 s 后扦插,以后不再进行 IBA 处理,只每 2 周浇 1 次生根营养液。其余时间每天观察苗的生长情况和基质含水量,根据基质的干湿情况补水。

1.5 指标测定及数据处理

处理 30、50、70 d 时,观察记录生根情况,测生根率。然后随机选取 10~15 个/盘样品植株,测量单株生根数和根长。采用 Excel 2010 进行数据分析。

生根率 = (生根植株数/总植株数) × 100% ;

平均根长(mm) = 所测植株总根长/该植株的生根总数;

生根力指数 = (平均根长 × 平均生根数)/总植株数^[4]。

2 结果与分析

2.1 乙烯利单独处理对蓝莓不定根生长的影响

从表 2 可以看出,单独用 10~50 mg/L 乙烯利处理蓝莓组培苗可以明显促进插条的生根率。处理 30 d 时,对照没有生根,乙烯利处理的生根率在 37.5%~43.8%;处理 50 d 时,对照生根率为 50.0%,10~40 mg/L 乙烯利处理的生根率为 93.8%~100.0%,但更高浓度的乙烯利生根率只有 79.0%;延长处理时间,对照的生根率上升,但乙烯利处理的生根率不再上升。因此用乙烯利单独处理时,在 10~40 mg/L 的浓度范围内处理 50 d,对蓝莓插条生根率均有较好的促进作用。

表 2 乙烯利单独处理对蓝莓不定根生长的影响

处理时间 (d)	处理	生根率 (%)	平均生根数 (条/株)	平均根长 (mm)	生根力指数
30	CK	0.0b	0.0b	0.0b	0.00c
	E ₁	43.8a	1.0a	2.5a	0.25b
	E ₂	37.5a	1.1a	3.0a	0.33b
	E ₃	40.6a	0.9a	3.6a	0.32b
	E ₄	40.6a	1.4a	2.5a	0.35b
	E ₅	40.6a	2.5a	2.7a	0.68a
50	CK	50.0c	2.0c	4.4a	0.88c
	E ₁	93.8a	7.0b	2.8a	1.96b
	E ₂	100.0a	8.0b	2.8a	2.24b
	E ₃	93.8a	10.0b	3.0a	2.95b
	E ₄	100.0a	18.0a	3.4a	5.04a
	E ₅	79.0b	10.0b	3.8a	3.41b
70	CK	70.0b	8.0d	4.6a	3.72d
	E ₁	93.8a	12.0c	4.3a	5.16c
	E ₂	100.0a	18.0b	3.8a	6.07bc
	E ₃	93.8a	21.0b	4.2a	6.77bc
	E ₄	100.0a	27.0a	5.5a	11.48a
	E ₅	79.0b	20.0b	4.8a	8.03b

注:同一处理时间同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下表同。

乙烯利处理对平均生根数有明显的促进作用,处理 30 d 时,各浓度处理的差异不显著;在处理 50、70 d 时,E₄(40 mg/L)处理的结果明显优于其他处理,分别为 18.0、27.0 条/株。

乙烯利处理对根长的促进作用在处理 30 d 时较明显,后期只有 40 mg/L 乙烯利处理稍有促进,其余处理都不明显。

由于生根数和根长是在生根的植株中抽取进行测定,而生根效果与生根率、生根数、根长都有关系,不容易比较各处理的效果。因此为了综合反映各处理植株的生根情况,将生根率、生根数、根长都考虑进去,使用了生根力指数这个指标。

从试验结果来看,乙烯利处理可明显提高生根力指数,处理 30 d 时,50 mg/L 乙烯利的处理生根力指数最高;但处理时间延长至 50 ~ 70 d 时,则是 40 mg/L 乙烯利的处理生根力指数最高,分别为 5.04、11.48。

综合上述试验结果可知,用乙烯利对蓝莓插条单独进行处理时,短时间用 50 mg/L 效果好一些;长时间用浓度为 40 mg/L 的溶液对促进不定根发生具有最佳的处理效果。但乙烯利对根伸长并无明显促进作用。

2.2 吲哚丁酸单独处理对蓝莓不定根生长的影响

100 ~ 400 mg/L 吲哚丁酸处理 30 d,与对照一样,蓝莓未生根。由表 3 可知,处理 50 d,生根率与 CK 相比,只有高浓度略有优势;处理 70 d,生根率显著高于对照,200 ~ 400 mg/L IBA 处理的生根率均达到 100.0%。

表 3 吲哚丁酸单独处理对蓝莓不定根生长的影响

处理时间 (d)	处理	生根率 (%)	平均生根数 (条/株)	平均根长 (mm)	生根力指数
50	CK	50.0b	2b	4.4a	0.88b
	I ₁	56.2b	3ab	4.3a	1.17a
	I ₂	48.8b	2b	5.0a	1.02a
	I ₃	51.6b	4a	5.2a	1.03a
	I ₄	65.6a	5a	4.7a	1.29a
70	CK	70.0c	8d	4.6b	3.72d
	I ₁	90.6b	14c	6.4ab	9.03c
	I ₂	100.0a	21b	6.3ab	13.17b
	I ₃	100.0a	32a	5.7ab	18.34a
	I ₄	100.0a	24b	7.4a	17.69a

处理 50 d 时,只有高浓度 IBA 处理的平均生根数稍多;处理 70 d 时,生根数明显高于对照,其中 300 mg/mL IBA 处理的最高,达 32 条/株。

IBA 处理 50 d 时平均根长差异不显著;70 d 时所有处理的根长都高于对照,以 400 mg/L IBA 处理的最长。

IBA 处理 50 d 生根力指数略高于对照,但处理间差异不明显;处理 70 d 时,300 ~ 400 mg/L IBA 处理的蓝莓生根力指数较高,达 18 左右。综上所述,用 IBA 单独处理蓝莓时,300 ~ 400 mg/L 比较好。

对表 2 和表 3 进行比较可知,乙烯利处理促进不定根发育的效果较早,而吲哚丁酸处理的效应发生较晚。而且 IBA 处理不仅促进不定根的发生,后期也促进不定根的伸长。

2.3 乙烯利和吲哚丁酸共同处理对蓝莓不定根生长的影响

由表 4 可知,当乙烯利和 IBA 共同处理 30 d 时,大多数的处理都比单独乙烯利或 IBA 处理的生根率高。平均生根数和平均根长有部分组合比单独乙烯利处理的高,多数组合处理生根力指数也比单独乙烯利处理的好。以 T₄₋₄ 处理即 400 mg/L IBA 和 40 mg/L 乙烯利短期处理效果最佳,说明乙烯利和 IBA 共同处理对蓝莓不定根生长发育有协同效应。

表 4 吲哚丁酸和乙烯利共同处理对蓝莓不定根生长的影响

处理时间 (d)	处理	生根率 (%)	平均生根数 (条/株)	平均根长 (mm)	生根力指数
30	CK	0.0c	0.0c	0.0b	0.00d
	T ₁₋₁	70.0a	3.4ab	3.1a	1.05b
	T ₁₋₂	50.0	3.8ab	3.4a	1.05b
	T ₁₋₃	71.9a	1.4bc	2.5a	0.45c
	T ₁₋₄	71.9a	2.8b	2.9a	0.80bc
	T ₁₋₅	60.0ab	3.2ab	2.8a	0.90b
	T ₂₋₁	59.4ab	1.0bc	2.9a	0.46c
	T ₂₋₂	70.0a	3.7ab	3.0a	1.12b
	T ₂₋₃	50.0ab	0.9bc	3.6a	0.32c
	T ₂₋₄	40.6b	1.2bc	3.3a	0.40c
	T ₂₋₅	43.8b	1.2bc	2.9a	0.35c
	T ₃₋₁	60.0ab	5.1a	2.6a	1.32ab
	T ₃₋₂	70.0a	4.1ab	2.8a	0.97b
	T ₃₋₃	61.3ab	1.3bc	2.5a	0.33c
	T ₃₋₄	40.0b	1.7bc	2.5a	0.43c
	T ₃₋₅	42.8b	1.3bc	2.5a	0.33c
	T ₄₋₁	70.0a	4.0ab	2.9a	1.15b
	T ₄₋₂	60.0ab	1.8bc	3.3a	1.33ab
	T ₄₋₃	70.0a	2.2b	3.3a	1.33ab
	T ₄₋₄	71.9a	6.0a	2.8a	1.70a
	T ₄₋₅	59.4ab	1.7bc	2.5a	0.43c
50	CK	50.0b	2f	4.4a	0.88f
	T ₁₋₁	96.9a	20c	3.7a	7.42cd
	T ₁₋₂	90.6a	24bc	3.9a	9.38c
	T ₁₋₃	90.6a	16d	3.7a	5.86d
	T ₁₋₄	93.8a	10e	3.1a	2.55e
	T ₁₋₅	96.9a	12e	3.7a	4.04de
	T ₂₋₁	90.6a	12e	3.5a	3.27e
	T ₂₋₂	100.0a	15d	4.4a	5.98d
	T ₂₋₃	90.6a	14d	4.0a	5.66d
	T ₂₋₄	93.8a	15d	3.7a	5.09d
	T ₂₋₅	93.8a	14d	3.7a	4.76d
	T ₃₋₁	100.0a	27bc	4.2a	10.41bc
	T ₃₋₂	100.0a	31b	3.9a	12.12b
	T ₃₋₃	90.6a	21c	3.7a	7.69cd
	T ₃₋₄	100.0a	26bc	3.8a	9.85c
	T ₃₋₅	90.6a	39a	3.4a	13.07b
	T ₄₋₁	100.0a	37a	4.9a	18.17a
	T ₄₋₂	90.6a	25bc	3.7a	9.35c
	T ₄₋₃	100.0a	27b	3.8a	9.30c
	T ₄₋₄	93.8a	37a	3.3a	12.17b
	T ₄₋₅	90.6a	23c	3.5a	8.07c
70	CK	70.0b	8e	4.6a	3.72f
	T ₁₋₁	100.0a	24c	3.4a	8.26e
	T ₁₋₂	100.0a	26bc	4.3a	11.14d

表 4(续)

处理时间 (d)	处理	生根率 (%)	平均生根数 (条/株)	平均根长 (mm)	生根力指数
70	T ₁₋₃	96.9a	22c	3.0a	6.69e
	T ₁₋₄	100.0a	13d	3.5a	3.75f
	T ₁₋₅	100.0a	17d	4.0a	5.70ef
	T ₂₋₁	100.0a	14d	3.7a	4.03f
	T ₂₋₂	100.0a	15d	5.1a	6.93e
	T ₂₋₃	100.0a	15d	5.8a	6.65e
	T ₂₋₄	100.0a	17d	6.0a	9.20de
	T ₂₋₅	100.0a	14d	4.4a	5.10ef
	T ₃₋₁	100.0a	29bc	5.8a	15.40c
	T ₃₋₂	100.0a	31b	5.0a	14.43c
	T ₃₋₃	100.0a	22c	5.2a	10.42d
	T ₃₋₄	100.0a	26bc	5.6a	12.09cd
	T ₃₋₅	100.0a	42a	4.8a	18.21b
	T ₄₋₁	100.0a	41a	5.6a	21.03a
	T ₄₋₂	100.0a	30b	3.8a	11.31d
	T ₄₋₃	100.0a	35b	4.0a	11.67d
	T ₄₋₄	100.0a	46a	4.3a	17.94b
	T ₄₋₅	96.9a	29bc	4.6a	13.20c

处理 50 d 以后各处理生根率都在 90% 以上,显著高于对照,也明显高于 IBA 单独处理,接近乙烯利单独处理的效果。与单独乙烯利或 IBA 处理相比,生根数的协同效果较好,多数组合处理的平均生根数显著高于乙烯利或 IBA 单独处理;但根长的协同效果不明显。其中,T₄₋₁处理效果最好,其生根力指数最高,到 70 d 时,其平均生根数可达 41 条/株,生根力指数为 21.03。因此,长时间处理采用 IBA 浓度 400 mg/L、乙烯利浓度 10 mg/L 组合处理对蓝莓不定根生长较好。

3 讨论与结论

不定根形成分为 2 个阶段,即根原基分化形成和根原基生长发育阶段。生长素是促进不定根形成的主要激素,主要作用是促进根原基的形成,与新的形成层位点诱导和第 1 次细胞分裂的启动有关。乙烯不仅能诱导不定根原基外表皮细胞发生死亡,还能促进不定根原基突破表皮和不受损伤。

乙烯作为重要的信号分子参与并调控根的生长发育,包括抑制主根伸长生长,促进侧根和不定根的形成^[12]。乙烯对不定根形成的作用,在不同植物或不同组织器官中有所不同,有的促进,有的抑制,有的无反应^[13]。

目前认为,生长素和乙烯在不定根形成中有相

互作用,乙烯能促进生长素合成^[14],生长素也能促进乙烯合成^[15]。但具体信号途径还不清楚,乙烯反应可能位于生长素途径的上游^[11]。但是也有研究认为,乙烯信号可以直接诱导水稻不定根出现,生长素是诱导乙烯产生而刺激不定根形成^[16]。切下番茄和矮牵牛的营养茎叶后,外施生长素可以使其产生许多不定根,但生长素对乙烯不敏感突变体作用很小或者几乎没有作用,这也说明生长素对不定根的促进作用由乙烯介导^[17]。然而也有试验认为,生长素和乙烯之间的作用是可以分开的,虽然它们之间存在一定程度的协同作用^[18]。本研究表明,乙烯利处理可以促进蓝莓组培苗瓶外扦插时不定根的形成,这和绿豆下胚轴、大豆下胚轴中的作用相似^[8-9]。处理 30 d 时生根率达到 40% 左右,到 50 d 时接近 100%,明显高于对照,但处理时间延长须要降低浓度。

本试验结果还显示,IBA 单独处理比乙烯利单独处理生根晚,30 d 时没有生根,但 70 d 时生根率达 100%,且平均生根数、根长和生根力指数明显高于对照。乙烯利处理的蓝莓组培苗生根快,而 IBA 处理的生根慢;用 IBA 和乙烯利共同处理,部分组合的生根率、生根数和生根力指数都高于两者单独处理,说明二者协同作用明显,可以间接推测乙烯信号直接诱导不定根形成,外施的 IBA 可能通过诱导植物产生乙烯而刺激不定根形成,但还须进一步的研究。近年的研究表明,IBA 通过增加内源 NO 和 H₂O₂ 水平实现对万寿菊不定根形成的促进作用^[19],NO 也参与乙烯诱导黄瓜不定根的形成^[20]。说明 NO 是乙烯和 IBA 诱导根系发育的共同信号通路,可以以此为契机进一步探讨生长素和乙烯信号的关系。处理 70 d 后,IBA 单独处理的蓝莓无论根长、生根数、生根力指数都高于乙烯利单独处理,说明乙烯利不适于长时间使用,这和其促进不定根形成,但抑制根伸长的作用一致。

IBA 和乙烯利共同处理协同作用明显,部分组合的生根率、生根数和生根力指数都高于两者单独处理,将来可以应用于蓝莓扦插生根中,提高苗木质量。短期处理 30 d,400 mg/L IBA + 40 mg/L 乙烯利效果最好;若长期处理,比如处理 70 d,则是 400 mg/L IBA + 10 mg/L 乙烯利较好。

IBA 使用时须用乙醇或 NaOH 助溶,会对植物有损伤,因此不宜浇灌植株,一般是扦插前短时间浸泡,只处理 1 次,使用浓度较高。而乙烯利是水溶

性的,可以配合浇水多次使用,便于调节,也可降低使用浓度。本试验中乙烯利处理前后浓度未改变,从试验结果来看短期处理浓度高一些较好,但长期处理浓度需要低一些。因此以后可以进一步试验探索,在处理过程中调整乙烯利浓度和处理次数,比如前高后低,也许可以进一步提高生根效果。

参考文献:

- [1]王 辉,王鹏云,王 蜀,等. 我国蓝莓的发展现状及前景[J]. 农业现代化研究,2008,29(2):250-253.
- [2]李亚东,刘海广,唐雪东. 蓝莓栽培图解手册[M]. 北京:中国农业出版社,2014:69-84.
- [3]宋 刚,徐 银,宋金耀,等. 蓝莓试管苗不定根的诱导研究[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):89-91.
- [4]周晓梅,陈 曦,刘 强,等. 不同处理措施对蓝莓嫩枝扦插生根的影响[J]. 广东农业科学,2012(4):38-40.
- [5]韦吉梅,聂 飞,何 健,等. 不同处理措施对兔眼蓝莓绿枝扦插生根的影响[J]. 落叶果树,2008(5):12-14.
- [6]曾光辉,王法格,黄树辉. 兔眼越橘扦插育苗技术研究[J]. 中国南方果树,2007,36(5):70-71.
- [7]阳 翠,王 军,董顺文,等. 培养基组分对蓝莓组培苗瓶内生根的影响[J]. 植物生理学报,2016,52(9):1438-1442.
- [8]刘凤丽,王万鹏,李文滨,等. 生长素、乙烯和温度对大豆不定根形成的影响[J]. 大豆科学,2017,36(4):547-553.
- [9]刁俊明,文方德,潘瑞炽. 乙烯利对绿豆下胚轴不定根形成的促进作用[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),1999(1):102-105.
- [10]郑均宝,刘玉军,裴保华. 乙烯与几种木本植物茎插穗生根的关系[J]. 河北林学院学报,1992,7(3):187-192.
- [11]胡一兵,刘 炜,徐国华. 生长素与乙烯信号途径及其相互关系研究进展[J]. 植物学报,2011,46(3):338-349.
- [12]王金祥,严小龙,潘瑞炽. 不定根形成与植物激素的关系[J]. 植物生理学通讯,2005,41(2):133-142.
- [13]Swarup R, Perry P, Hagenbeek D, et al. Ethylene upregulates auxin biosynthesis in *Arabidopsis* seedlings to enhance inhibition of root cell elongation[J]. Plant Cell, 2007, 19: 2186-2196.
- [14]Burg S P, Burg E A. Auxin - induced ethylene formation: its relation to flowering in the pineapple[J]. Science, 1966, 152 (3726):1269.
- [15]E Z G, Ge L, Wang L. Molecular mechanism of adventitious root formation in rice[J]. Plant Growth Regulation, 2012, 68: 325-331.
- [16]Taiz L, Zeiger E. Plant physiology[M]. 5th Edition. Sunderland Massachusetts: Sinauer Associates Inc., 2010.
- [17]Romano C P, Cooper M L, Klee H J. Uncoupling auxin and ethylene effects in transgenic tobacco and *Arabidopsis* plants[J]. Plant Cell, 1993, 5(2):181-189.
- [18]廖伟彪,黄高宝,郁继华,等. NO 和 H₂O₂ 在 IBA 诱导万寿菊不定根形成中的作用[J]. 园艺学报,2011,38(5):939-946.
- [19]徐晓婷,金 鑫,廖伟彪. 一氧化氮参与乙烯诱导黄瓜不定根的形成[J]. 园艺学报,2017,44(1):53-61.