

‘台农1号’西番莲的成花坐果特性 及与气象因子的关系

田青兰¹, 吴艳艳¹, 黄伟华¹, 刘洁云¹, 韦绍龙¹,
牟海飞^{1*}, 韦弟¹, 黄永才¹, 熊晓兰¹, 张英俊²

(¹广西农业科学院生物技术研究所, 南宁 530007; ²南宁鼎森农业发展有限公司, 南宁 530000)

摘要:【目的】探究国内主栽西番莲品种的成花坐果特性及与温度、光照强度等气象因子的关系, 明确其优势坐果枝蔓和节位以及影响成花坐果的关键气象因素和主要影响时段。【方法】以国内主栽西番莲品种‘台农1号’为研究对象, 采用单因素随机区组法, 调查不同节位、不同枝蔓的花芽分化率、花芽退化率及坐果率, 并分析不同生长季各级枝蔓的成花坐果特性及与温光等气象因子的相关关系。【结果】(1)‘台农1号’西番莲夏秋季平均花芽分化率为77.2%, 平均花芽退化率为41.4%, 平均坐果率为36.5%, 整体表现为花芽分化多退化也多, 坐果率较低。不同节位间呈现基部节位花芽分化少, 端部节位花芽退化多的特征; 其中, 4~7节位花芽分化数较多且坐果率稳定, 为优势坐果节位。二级蔓的花芽分化基数较大, 且坐果数较多; 基部1~3节位着生的一级蔓和二级蔓的花芽性状优于第3节位之后着生的枝蔓。(2)相关关系分析结果显示, 在开花前20~35 d日最高温度和日平均温度与单株花芽分化率和花芽退化率均呈显著负相关; 其次, 开花当日最高温度和平均温度分别高于36.19 °C和26.24 °C时坐果率随温度升高而下降, 且开花后5~20 d的日最高温度与一级蔓和二级蔓坐果率均呈显著负相关。进一步分析表明, 花芽形成期最高温/最低温34.2 / 20.4 °C~36.7 / 23.4 °C条件下, 不利于二级蔓和三级蔓花芽形成; 而越接近花芽分化后期, 日平均光照强度为4.00~4.79 klx, 光照强度越大则二级蔓和三级蔓的花芽分化率和退化率越高, 而低温加弱光条件下花芽分化则受到抑制。此外, 日平均相对湿度与二级蔓成花坐果性状呈负相关关系。【结论】‘台农1号’西番莲优势坐果节位为4~7节位, 优势坐果枝蔓为二级蔓, 且花前20~35 d和开花当天及花后5~20 d的高温分别是限制其花芽形成和坐果的最主要气象因素。

关键词: 西番莲; ‘台农1号’; 花芽; 坐果; 气象因子; 枝蔓

中图分类号: S667.9

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2020)09-1358-13

Flower formation and fruit setting in ‘Tainong No.1’ passion fruit and its relationship with meteorological factors

TIAN Qinglan¹, WU Yanyan¹, HUANG Weihua¹, LIU Jieyun¹, WEI Shaolong¹, MOU Haifei^{1*}, WEI Di¹, HUANG Yongcai¹, XIONG Xiaolan¹, ZHANG Yingjun²

(¹Biotechnology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China; ²Nanning Dingsen Agricultural Development Co., Ltd, Nanning 530000, Guangxi, China)

Abstract: 【Objective】Passion fruit is an important tropical and subtropical vine crop in south China. This study aims to explore the flower formation and fruit setting characteristics of a main passionfruit variety planted in China to identify the dominant fruiting nodes and branches. Furthermore, key meteorological factors that affect the flowering and fruiting were studied and the crucial effective period was determined. 【Methods】The main Chinese passion fruit variety ‘Tainong No.1’ was selected as the material for the study. Stems of different order branches including main vines (0/x), primary lateral vines (1/x/x), secondary lateral vines (1/x/x/x) and tertiary lateral vines (1/x/x/x/x) were observed. We tagged the buds at the beginning of flower bud formation to investigate the flower bud differentiation and degener-

收稿日期: 2020-01-09 接受日期: 2020-06-05

基金项目: 广西重点研发计划(桂科AB18294007); 广西自然科学基金(2018GXNSFBA281024, 2019GXNSFAA245002); 南宁市重大科技专项(20162009); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科2018YT19)

作者简介: 田青兰, 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事果树栽培及生理研究。Tel: 0771-8245832, E-mail: tianqinglan1991@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0771-3243531, E-mail: haifei5052@126.com

ation, fruit setting and fruit dropping at each node of the vines. According to the investigation, the differentiated percentage of flower bud (DIFB), degeneration percentage of flower bud (DEFB) and fruit set percentage (FSP) at different nodes and branches were calculated. Besides, the data of temperature, light intensity and relative humidity were collected synchronously in the orchard, and the correlations between the flower formation and fruit setting characteristics of different branches in different growth seasons and meteorological factors before and after flowering were analyzed. 【Results】(1) DIFB of ‘Tainong No.1’ was 77.2%, DEFB was 41.4%, and FSP was 36.5% on average in summer and autumn. On the whole, ‘Tainong No.1’ displayed high a flower differentiation rate and a high flower bud degeneration rate, but low fruit set. There was poor flower bud differentiation at the basal nodes with high flower bud degeneration incidence at the distal nodes. The DIFB, DEFB and FSP of the 4-7th nodes ranged from 84.2% to 98.0%, 22.2% to 38.8%, and 37.3% to 43.0%, respectively. These results suggested that the 4-7th nodes had a higher flower bud differentiation rate with a good FSP. Therefore, these nodes were the dominant fruiting nodes. Compared with the other branches, the secondary lateral vines showed higher ratios of flower differentiation and fruit set. Flower bud characters of the basal 1-3th nodes of the primary and the secondary lateral vines were better than those above the third node in these lateral vines. (2) The DIFB and DEFB in different growth seasons showed a similar trend. From the mid-early September to the end of October, the temperature and light intensity gradually decreased, and the DIFB and DEFB of the secondary lateral vines showed an increasing trend, with a higher FSP. The results of correlation analysis showed that temperature was the most important meteorological factor affecting the flower formation and fruit set. We found that the daily maximum temperature and daily average temperature from 20 to 35 days before flowering were negatively correlated with the DIFB and DEFB. When the daily maximum temperature and daily average temperature at anthesis were higher than 36.19 °C and 26.24 °C, respectively, the FSP decreased with the increase in temperature. Moreover, the daily maximum temperature from 5 to 20 days after anthesis was negatively correlated with the FSP in the primary and secondary lateral vines. Further analysis showed that under the conditions of diurnal maximum temperature/minimum temperature of 34.2/20.4 °C or 36.7/23.4 °C in the flower bud formation stage, flower formation was suppressed in the secondary and tertiary lateral vines. In addition, light intensity showed a greater impact on flowering at the later stage of flower bud differentiation in the range from 4.00 to 4.79 klx, with a higher DIFB and DEFB in the secondary and tertiary lateral vines. However, under low temperatures and low light, flower bud differentiation was inhibited. Besides, light intensity influenced FSP. We found the light intensity from 5 to 15 days after anthesis had a significant negative correlation with the FSP. In addition, relative humidity also affected the flower formation and fruit setting in ‘Tainong No.1’. The daily average relative humidity from 20 to 35 days before anthesis and from 5 to 15 days after anthesis were negatively correlated with the DIFB and DEFB in the secondary lateral vines and the FSP in the secondary lateral vines, respectively. The relative humidity on the day of anthesis was also negatively correlated with the FSP. 【Conclusion】The characteristics of flower bud formation and fruit set varied among different nodes and different branches in ‘Tainong No.1’. The 4-7th nodes were the dominant fruiting nodes, and the secondary lateral vines were the dominant fruiting vines. Temperature, light intensity and relative humidity all affect the flower bud formation and fruit set. The temperature from 20 to 35 days before anthesis was the most important meteorological factor affecting flower bud formation, and the temperatures on the day of anthesis and from 5 to 20 days after anthesis had a crucial impact on and fruit set.

Key words: Passion fruit; ‘Tainong No.1’; Flower bud; Fruit set; Meteorological factor; Branch

西番莲(*Passiflora edulis*)系西番莲科(*Passifloraceae*)西番莲属(*Passiflora* L.)草质藤本植物^[1],又名百香果、鸡蛋果。西番莲是我国重要的热带、亚热带果树,其主要栽培省份包括广东、广西、海南、福建、云南、贵州、台湾。近年来,国内特别是广西的西番莲种植面积不断扩大,作为部分地区“短、平、快”的扶贫产业发展,但总体呈现产量低且不稳定等突出问题。西番莲的成花坐果与其产量形成关系密切,因此,探明生产上主栽西番莲品种的成花坐果特性及相关的影响因素对提高西番莲的产量具有重要意义。

西番莲的产品器官为果实,而果实由花发育而来。张育森等^[2]对‘台农1号’的花芽形成研究认为,西番莲的花芽从新生枝条的叶腋中产生,每节只着生1个花芽;叶腋的构造中除了花芽外,还有卷须和营养芽。西番莲的花芽形成和枝条生长是同时进行的,故抑制营养生长的因子,如干旱^[3]、低温^[4]也会抑制花芽的形成。当西番莲达到一定节位以上时,花原体在外界环境适合时迅速发育形成具有花器的花芽,而在环境不适宜时花原体则停止发育或黄化,已形成花器的花芽也会退化。此外,西番莲的开花具有周期性,最初着生的果实发育一段时间后会明显抑制其上部节位的开花和坐果,待果实进入成熟期后才进入下一轮的开花结果^[5]。已有研究证实,温度和光照对西番莲的花芽形成及开花有重要影响^[5]。高温会促进西番莲植株生长,提高花芽形成节位,促使花芽退化,尤其是与低太阳辐射同时出现时对花芽分化的限制更明显^[6-8]。此外,开花期高温不利于西番莲的坐果,有研究调查多个果园发现日平均温度/日最高温度为32℃/38℃时西番莲的坐果率(25%)低于31℃/35℃(47%)^[9]。林秋金等^[10]的研究表明,花期高温干旱不利于‘福建1号’西番莲的坐果,而当温度适宜(平均气温在22℃左右,最高气温小于30℃)、田间湿度高(不低于70%)时,其坐果率可超过60%。但目前对国内主栽西番莲品种的花芽形成及退化、开花及坐果规律及其与气象因子的关系未有系统的报道。笔者以主栽西番莲品种‘台农1号’为试验材料,研究了其各级枝蔓和不同节位的成花坐果规律,探讨了温光等气象因子对西番莲成花坐果性状的影响,旨在明确‘台农1号’西番莲的优势坐果枝蔓和节位,以及影响成花坐果的关键气象因子和时段,为西番莲高产栽培提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点及供试品种

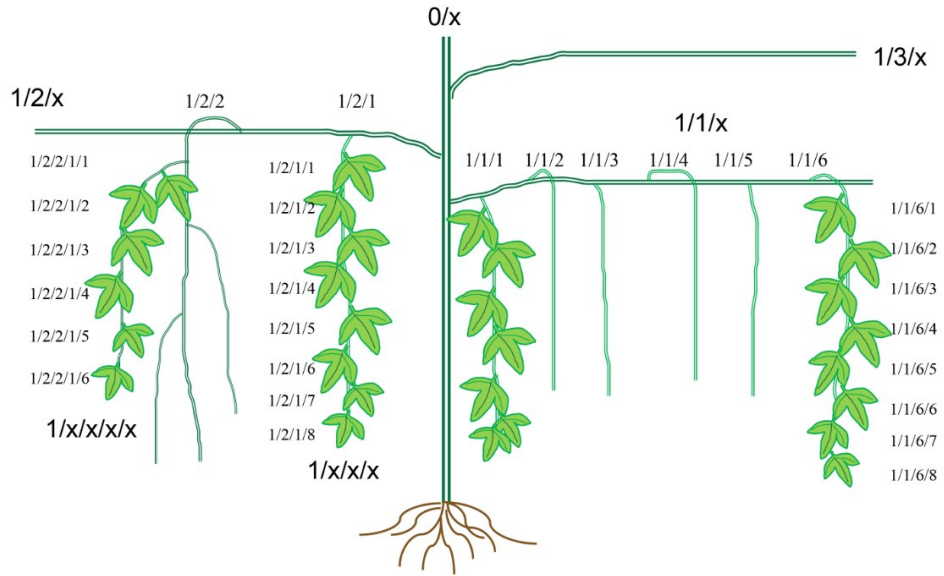
试验于2018—2019年在广西南宁市西乡塘区石埠街道办美丽南方示范园区(22°46'N, 108°09'E)进行。试验地土壤pH为6.0, 0~20 cm土层全氮含量(w, 后同)1.80 g·kg⁻¹, 全磷0.70 g·kg⁻¹, 全钾40.50 g·kg⁻¹, 碱解氮85.50 mg·kg⁻¹, 有效磷18.10 mg·kg⁻¹, 速效钾208.00 mg·kg⁻¹, 有机质19.60 g·kg⁻¹, 土壤条件适宜西番莲的生长。供试品种为国内主栽品种‘台农1号’, 是紫果西番莲和黄果西番莲杂交品种, 果皮为紫色。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组试验设计, 以植株的不同枝蔓为研究对象, 包括: 主蔓(0/x)、一级蔓(1/x/x)、二级蔓(1/x/x/x)、三级蔓(1/x/x/x/x), x代表节位顺序, x≥1; 1/1/x、1/2/x、1/3/x分别代表上架后从基部往上第1、2、3条一级蔓, 二级蔓从一级蔓上抽出, 三级蔓从二级蔓上抽出(图1), 试验3次重复。试验移栽西番莲苗为嫁接苗(嫁接用砧木为原生黄果实生苗), 株高为29~38 cm, 每小区种植15株, 于2018年5月25日移栽, 采用单线篱架种植模式, 种植行距2 m, 株距2 m, 种植密度2 500株·hm⁻²。施氮(按纯氮计)300 kg·hm⁻², 氮肥、磷肥、钾肥按质量比N:P₂O₅:K₂O=2:1:1.5施用; 氮肥按质量比基肥:追肥=1:1施用, 磷肥作基肥一次性施用, 钾肥按质量比基肥:追肥=1:2施用。试验统一进行枝蔓的管护, 上架后开始留一级蔓结果枝, 为避免邻近两株间枝蔓交错, 一级蔓长到两株中部位置时打顶, 枝条不做剪除。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 花芽分化及退化数、坐果数调查 ‘台农1号’于5月25日移栽, 8月初始花, 9月中下旬到10月中下旬花量较大, 11月上旬花量减少, 11月中下旬停止花芽分化。试验从有花芽形成开始挂牌跟踪调查各级枝蔓的各节位花芽分化和退化情况、坐果及落果情况(图2)和每朵花的开花日期, 分类统计A(无花芽分化)、B(花芽退化)、C(开花未坐果)、D(开花并坐果)4类数据, 用于花芽分化率(differentiated percentage of flower bud, DIFB)、花芽退化率(degeneration percentage of flower bud, DEFb)和自然坐果率(fruit setting percentage, FSP)的计算。花芽分化率/% = 分化花芽数/(无花芽数+分化花芽

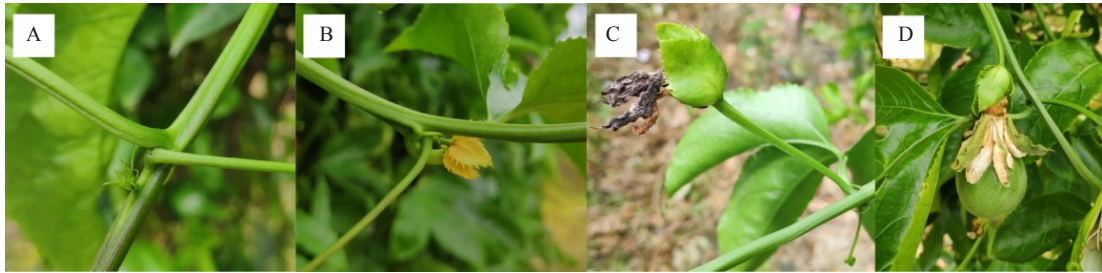


0/x. 主蔓; 1/x/x. 一级蔓; 1/x/x/x. 二级蔓; 1/x/x/x/x. 三级蔓。x 代表节位顺序, x≥1。

0/x. Main vine; 1/x/x. Primary lateral vine; 1/x/x/x. Secondary lateral vine; 1/x/x/x/x. Tertiary lateral vine; x represents the order of the nodes, x≥1.

图1 西番莲各级枝蔓模式

Fig. 1 Diagram of different order branches of passion fruit



A. 无花芽分化; B. 花芽退化(黄化凋落); C. 开花未坐果; D. 开花并坐果。

A. No flower bud differentiation; B. Degenerated flower bud (yellowed and fell); C. No fruit set after anthesis; D. Successful fruit set after anthesis.

图2 西番莲的花芽分化和退化(A, B)及坐果(C, D)情况

Fig. 2 Flower bud differentiation and degeneration (A, B) and fruit set (C, D) in passion fruit plant

数)×100=(B+C+D)/(A+B+C+D)×100;花芽退化率/%=退化花芽数/分化花芽数×100=B/(B+C+D)×100;自然坐果率/%=自然坐果数/开花数×100=D/(C+D)×100。试验调查的枝蔓为上架后至11月中上旬抽生的枝蔓(11月中上旬之后抽生的枝蔓少且无花芽分化,不作统计)。

1.3.2 气象数据的采集和分析 将JL-18空气温湿度记录仪放置于试验地同步采集温度、光照强度、相对湿度数据,每30 min记录1次,配合软件V1.8 R1导出数据,根据记录值计算单日的温度和光照强度值等。气象数据与成花坐果性状的相关分析方法:根据不同枝蔓开花时段的差异,以每半个月为一个时间段分别计算一级蔓在2018年8月16日—9月30日、二级蔓在9月16日—10月31日、三级蔓在9月

16日—10月31日、单株在8月16日—10月31日开花时段内的成花坐果性状,包括花芽分化率、花芽退化率和坐果率。同时,分别将不同时段各级枝蔓的花芽分化率和花芽退化率值与该时段开花前20~25 d、25~30 d、30~35 d、35~40 d的日气象数据进行相关分析,将不同时段各级枝蔓的坐果率与该时段开花后0~5 d、5~10 d、10~15 d、15~20 d的日气象数据进行相关分析。其次,调查收集从8月9日—11月3日共80 d(去除6 d有暴雨和开花数较低)的每日坐果率和当日气象数据记录值进行相关分析和回归分析。

1.4 统计分析

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据的输入、整理及作图;用 DPS 7.05 系统对数据进行方差分析,采用 LSD 法对样本平均数进行多重比较;采用

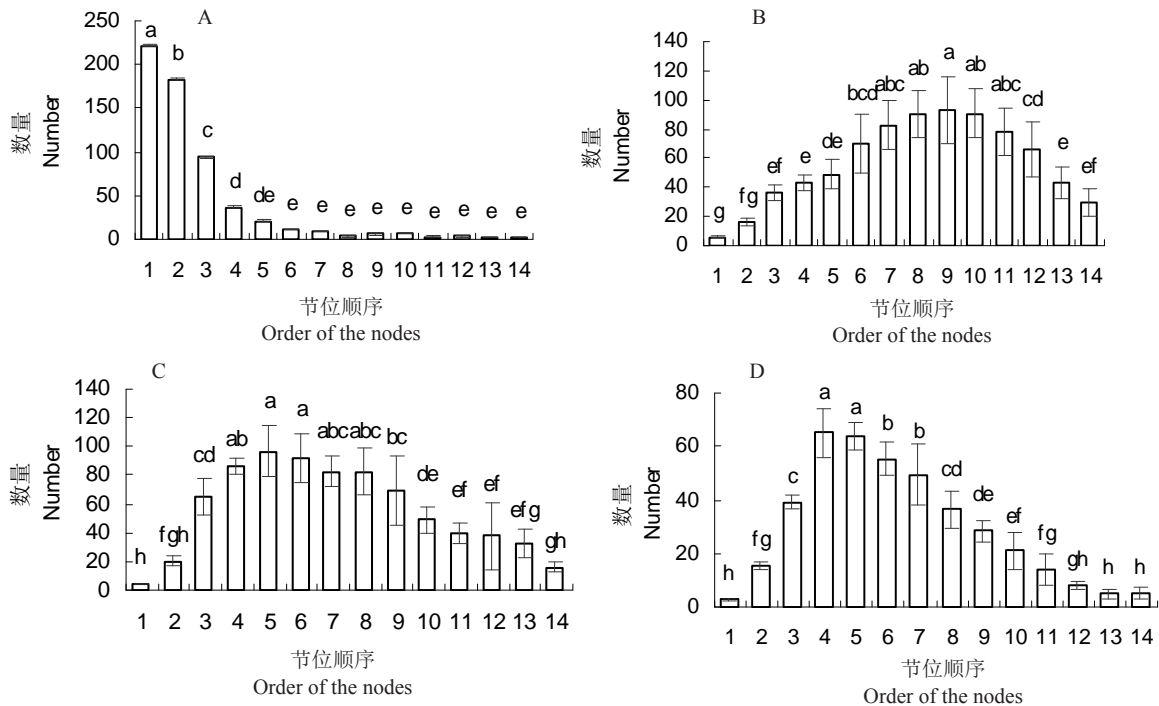
SPSS 18 软件进行数据的相关分析和回归分析。

2 结果与分析

2.1 ‘台农1号’西番莲各级枝蔓和不同节位的成花坐果特性

2.1.1 不同节位的成花坐果规律 由图3可知,‘台农1号’西番莲无花芽分化的数量随节位往后显著

降低,而花芽退化数、开花未坐果数和开花并坐果数均随节位往后而呈现先增后降的趋势。其中,基部1~3节位成花率低,4~7节位成花数量较多且稳定,第8节位之后花芽分化数量随节位增加呈逐渐降低趋势。坐果数的统计可以看出,1~3节位坐果数较少,第4节位之后坐果数呈下降趋势,与其他节位相比,第4~7节位坐果数较多。



A. 无花芽分化; B. 花芽退化; C. 开花未坐果; D. 开花并坐果。不同小写字母表示在 $p < 0.05$ 水平上差异显著。

A. No flower bud differentiation; B. Degenerated flower bud; C. No fruit set after anthesis; D. Successful fruit set after anthesis. Different small letters indicate significant difference at $p < 0.05$.

图3 ‘台农1号’西番莲不同节位的花芽形成及坐果情况统计

Fig. 3 Statistics of flower bud formation and fruit set at different nodes of ‘Tainong No.1’ passion fruit plant

由图4可以看出,各节位花芽分化率为5.6%~98.0%,花芽退化率为22.4%~65.8%,坐果率为18.5%~43.8%,变化范围均较大;其中,基部第1、2节位的花芽分化率最低,分别为5.6%和22.1%,第1到第5节位花芽分化率呈显著增高趋势,第6节位之后花芽分化率保持较高且趋于稳定(95%~98%)。其次,花芽退化率的比较可以看出,基部1~4节位花芽退化率呈下降趋势,而第5节位至第12节位花芽退化率随节位增加呈增高趋势,第12节位的花芽退化率最高,为65.8%,第4节位的花芽退化率最低,为22.2%。坐果率的分析显示,第4节位之后的坐果率随节位顺序的增加而降低,第13节位的坐果率最低,仅18.5%。综上可以得出,‘台农1号’西番莲的

节位间成花坐果有差异,基部节位花芽分化少,端部节位花芽退化多;坐果率随节位增加而下降;4~7节位为优势坐果节位,其花芽分化率为84.2%~98.0%,花芽退化率为22.2%~38.8%,坐果率为37.3%~43.0%。

2.1.2 不同枝蔓的成花坐果性状比较 对‘台农1号’西番莲不同枝蔓的花芽形成及坐果情况(包括无花芽分化、花芽退化、开花未坐果、开花并坐果4类数据)进行统计分析(图5),由图5-A可以看出,二级蔓(1/x/x/x)在4类数据的百分占比均最大,分别占61.7%、61.3%、49.3%、60.3%,一级蔓和三级蔓次之,而主蔓(0/x)的占比均最小。故二级蔓花芽分化基数较大,坐果数较多,说明二级蔓是构成西番莲产量

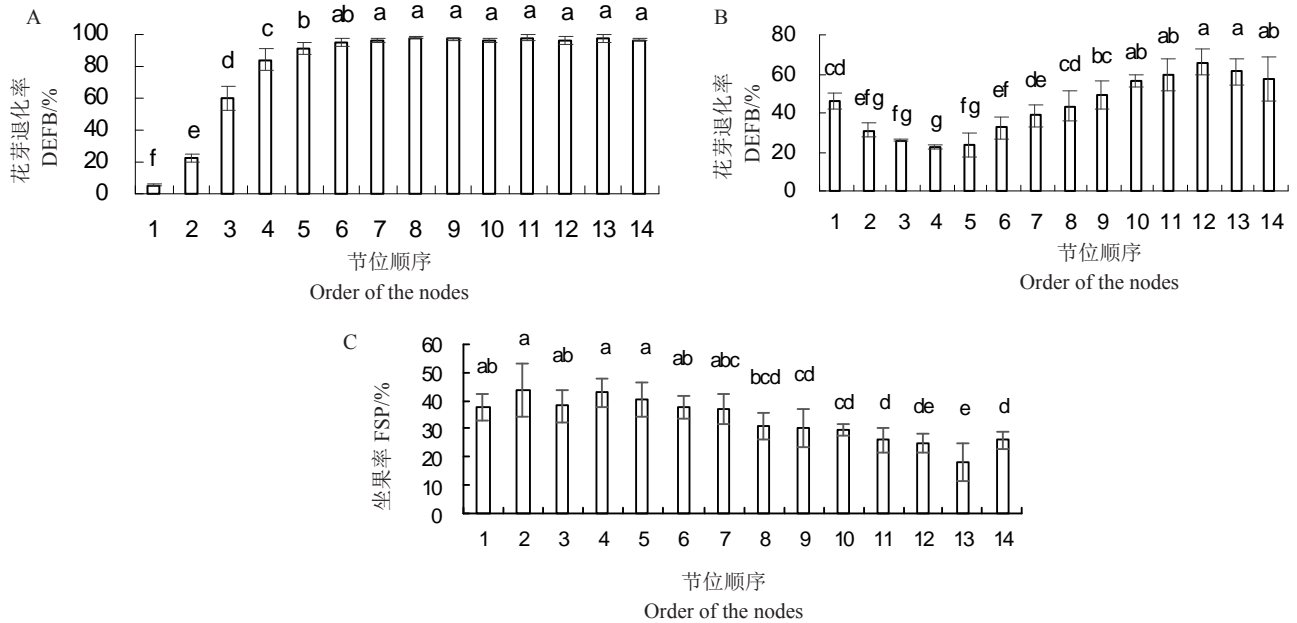
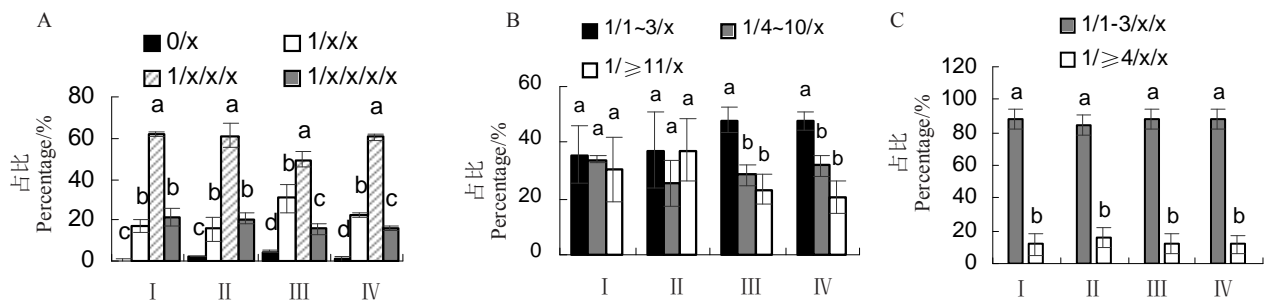


图4 ‘台农1号’西番莲不同节位的花芽分化率(A)、花芽退化率(B)和坐果率(C)

Fig. 4 DIFB (A), DEFB (B) and FSP (C) at different nodes of ‘Tainong No.1’ passion fruit plant



I. 无花芽分化; II. 花芽退化(黄化凋落); III. 开花未坐果; IV. 开花并坐果。

I. No flower bud differentiation; II. Degenerated flower bud (yellowed and fell); III. Flowers blossomed but failed to bear fruit; IV. Flowers blossomed and successful to bear fruit.

图5 ‘台农1号’西番莲不同枝蔓(A)和一级蔓不同节位枝蔓(B)及二级蔓不同节位枝蔓(C)的花芽形成及坐果情况统计
Fig. 5 Statistics of flower bud formation and fruit set in different branches of plant (A) and in different branches of primary lateral vines (B) and secondary lateral vines (C) of ‘Tainong No.1’ passion fruit plant

的主要枝蔓。由图5-B可知,一级蔓中开花未坐果和开花并坐果的百分占比显示1/1~3/x枝蔓显著高于1/4~10/x和1/≥11/x枝蔓,但三者的无花芽数和花芽退化数占比无显著差异。此外,图5-C显示,二级蔓中1/1~3/x/x枝蔓的百分占比均显著高于1/≥4/x/x枝蔓。故基部节位枝蔓是其主要结果枝蔓。

由图6-A可知,主蔓(0/x)的花芽分化率(96.7%)显著高于其他枝蔓,而坐果率(9.5%)显著低于其他枝蔓;一级蔓的花芽退化率显著低于二级蔓和三级蔓。图6-B显示,一级蔓的3类枝蔓花芽退化率表现为(1/≥11/x)>(1/4~10/x)>(1/1~3/x),但无显著差异;而二级蔓中1/1~3/x/x枝蔓的花芽分化

率、花芽退化率和坐果率均高于1/≥4/x/x,也无显著差异(图6-C)。

2.1.3 不同生长季各级枝蔓的成花坐果性状 对不同生长季各级枝蔓的花芽分化率比较分析,由图7可知,10月中下旬的总花芽分化率和二级蔓花芽分化率均较高,分别为82.5%和82.6%;一级蔓花芽分化率在10月中上旬最低,为72.2%;二级蔓花芽分化率从9月中上旬到10月底呈增高趋势;三级蔓花芽分化率在生长季间无显著差异。

由图8可以看出,10月中上旬和10月中下旬的总花芽退化率和二级蔓花芽退化率均较高(36.2%~44.2%)。其中,总花芽退化率表现为10月中上旬、

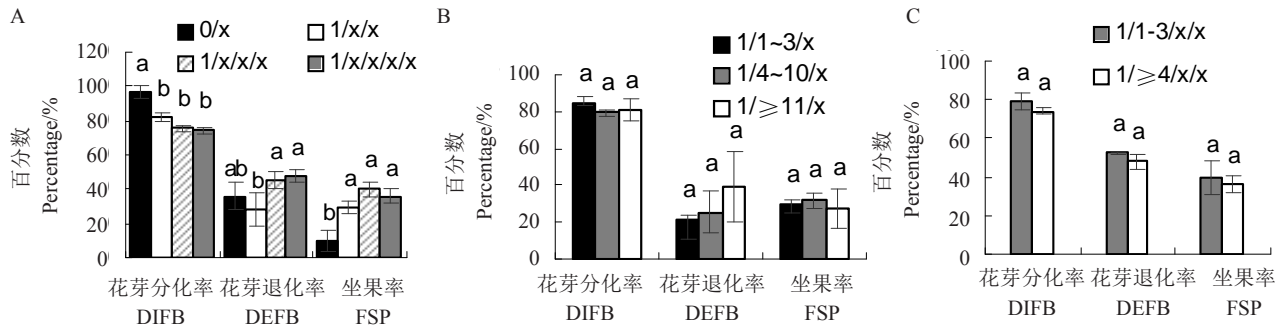


图 6 ‘台农 1 号’ 西番莲不同枝蔓 (A) 和一级蔓不同节位枝蔓 (B) 及二级蔓不同节位枝蔓 (C) 的花芽分化率、花芽退化率及坐果率

Fig. 6 DIFB, DEFB and FSP in different branches of plant (A) and in different branches of primary lateral vines (B) and secondary lateral vines (C) of ‘Tainong No.1’ passion fruit plant

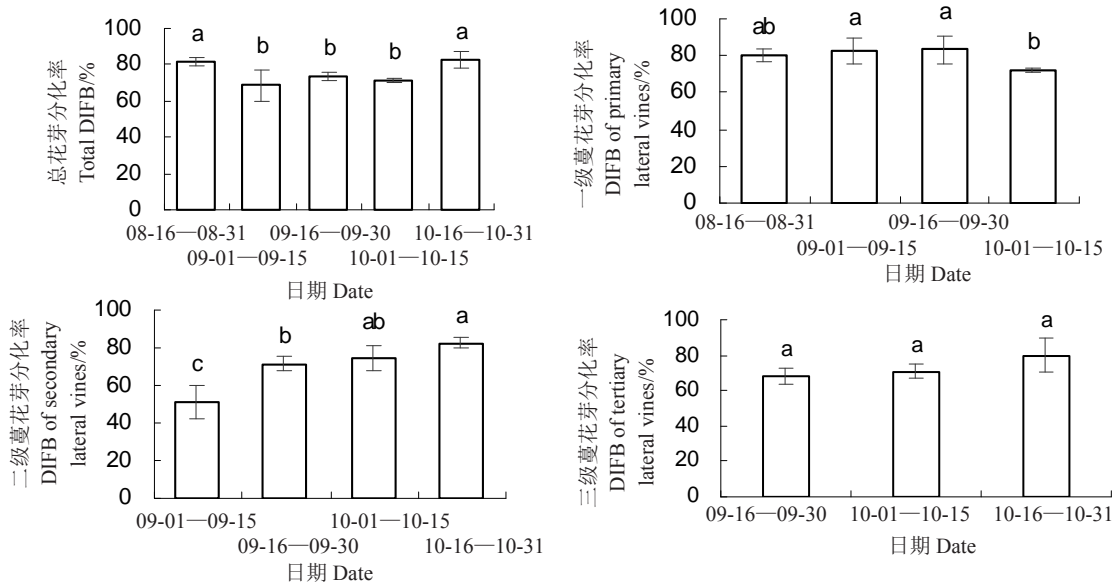


图 7 不同生长季各级枝蔓的花芽分化率

Fig. 7 DIFB of different branches in different growth seasons

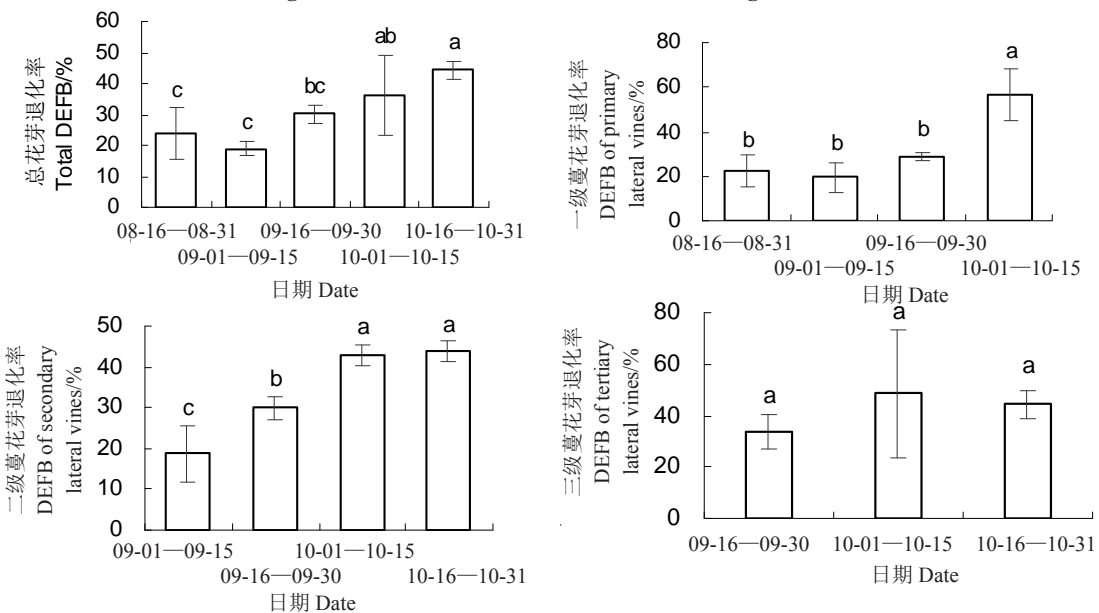


图 8 不同生长季各级枝蔓的花芽退化率

Fig. 8 DEFB of different branches in different growth seasons

10月中下旬均显著高于8月中下旬、9月中上旬;二级蔓花芽退化率为10月均显著高于9月。此外,一级蔓10月中上旬花芽退化率显著增高,9月中上旬到10月底总花芽退化率和二级蔓花芽退化率呈增高趋势,而三级蔓花芽退化率变化不大。

由坐果率的比较可以看出(图9),8月中下旬总

坐果率较低,9月中下旬总坐果率较高,10月中下旬总坐果率次高。综合图7~9可知,‘台农1号’西番莲平均花芽分化率为77.2%,平均花芽退化率为41.4%,平均坐果率仅为36.5%,整体表现为花芽分化多退化也多,坐果率较低的特点。而不同生长季间各级枝蔓的成花坐果有差异,综合来看,5月下旬

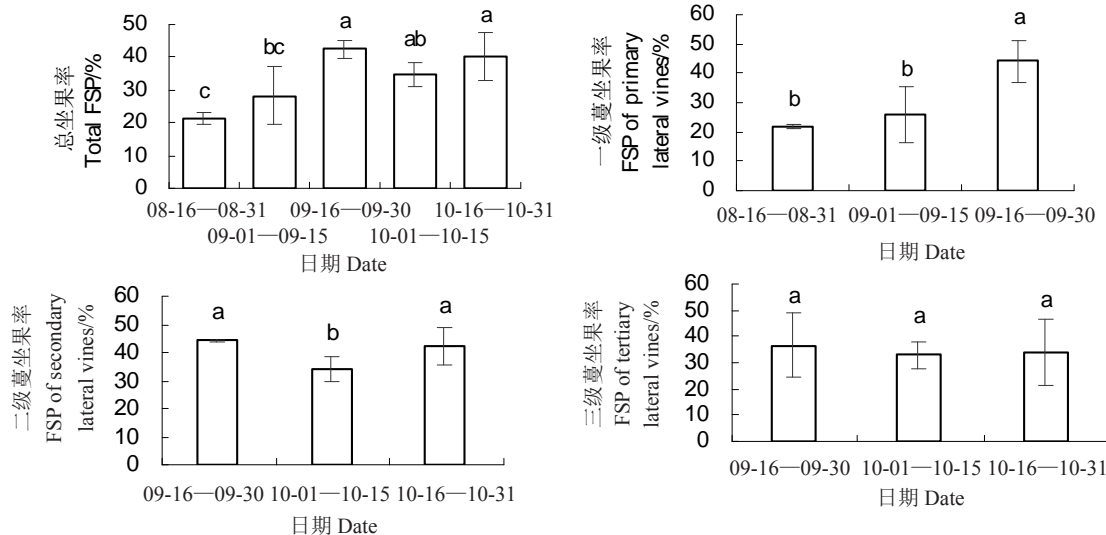


图9 不同生长季各级枝蔓的坐果率

Fig. 9 FSP of different branches in different growth seasons

种植的‘台农1号’在9月中下旬到10月中下旬的成花坐果性状较其他生长季有优势。

2.2 西番莲成花坐果特性与气象因子的关系

2.2.1 不同生长季气象因素的变化 由表1可知,7月中下旬至9月底的温度持续较高,10月初开始温度明显下降,10月中下旬至11月光照强度降低明显;而相对湿度随季节无明显变化规律。结合气象数据分析,9月中下旬到10月中下旬温度和光照强度均逐渐降低,最高温度为26.57~

35.05℃,平均温度21.67~27.37℃,且9月中下旬到10月中下旬超过35℃的高温天气较少。综上所述,9月中下旬到10月中下旬适中的温度和光照强度更利于西番莲的花芽分化和开花。而11月中下旬平均温度降至17.55℃,平均光照强度减弱至 2.99×10^3 lx,此时的温度和光照强度均不足,不利于植株生长和花芽形成。故可以推测温度和光照强度的变化与西番莲的花芽分化及开花规律有一定相关性。

表1 不同生长季气象因素的变化

Table 1 Changes in meteorological factors in different growing seasons

日期 Date	温度 Temperature/℃			光照强度 Light intensity/klx		相对湿度 Relative humidity/%		
	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	最大值 Maximum	平均值 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average
	07-16—07-31	35.64	24.59	27.95	18.24	4.79	98.52	61.68
08-01—08-15	38.23	24.92	29.34	19.61	5.07	97.33	51.69	82.06
08-16—08-31	35.37	25.10	28.57	14.39	4.00	97.23	61.92	85.27
09-01—09-15	37.33	23.48	28.36	14.81	4.53	98.10	49.42	81.37
09-16—09-30	35.05	22.89	27.37	18.34	4.61	96.95	52.64	81.51
10-01—10-15	31.01	18.62	23.30	15.65	4.40	97.61	49.50	79.66
10-16—10-31	26.57	18.80	21.67	10.92	2.97	98.06	68.48	88.85
11-01—11-15	29.35	17.25	21.58	10.76	3.45	99.01	55.74	84.98
11-16—11-30	23.23	13.71	17.55	9.81	2.99	99.30	66.18	88.91

2.2.2 西番莲花芽分化及退化与气象因子的关系
 由表2可知,9月中下旬到10月底间,开花前20~35 d日平均温度和最低温度、开花前20~25 d日最高温度均与二级蔓花芽分化率呈显著负相关;除开花前25~30 d日最高温度外,开花前25~40 d的日最高温度、最低温度和平均温度均与二级蔓花芽退化率呈显著负相关。此外,开花前20~30 d日平均温度与三级蔓花芽分化率呈显著负相关。综合8月中下旬到10月底数据分析表明,开花前20~35 d日最高温度和平均温度均与单株花芽分化率和单株花芽退化率呈显著负相关。故可以看出,开花前20~40 d内经历高温不利于二级蔓和三级蔓花芽分化率的提高,开花

前20~35 d内经历高温会降低单株花芽分化率和退化率。本研究中,二级蔓和三级蔓的花芽形成经历的温度为34.2 / 20.4 °C~36.7 / 23.4 °C(最高温/最低温),处于较高温度范围,其花芽退化率为29.9%~48.5%,花芽分化率为68.3%~82.5%,故‘台农1号’在此范围内越高的温度越不利于其花芽形成,而此温度范围对品种的优势生态区分布也有一定参考意义。

除了温度外,光照强度和相对湿度与花芽分化率和退化率也有相关性。由表2可以看出,开花前20~30 d日最大和平均光照强度与二级蔓的花芽分化率和退化率均呈显著正相关;开花前20~30 d日最大光照强度与三级蔓的花芽分化率和退化率呈显

表2 花芽分化率、花芽退化率与气象因子的相关分析

Table 2 Correlation analysis between DIFB, DEFB and meteorological factors

气象因子 Meteorological factors	开花前时段 The period before flowering/d	花芽分化率 DIFB				花芽退化率 DEFB					
		PLV	SLV	TLV	SP	PLV	SLV	TLV	SP		
温度 Temperature	20~25	日最大值 Maximum	-0.033	-0.708*	-0.648	-0.523*	-0.617	-0.457	-0.066	-0.787**	
		日最小值 Minimum	-0.148	-0.766*	-0.679*	-0.435	-0.597	-0.731*	-0.223	-0.762**	
		日平均值 Average	0.075	-0.757*	-0.679*	-0.556*	-0.537	-0.640	-0.168	-0.770**	
	>25~30	日最大值 Maximum	0.113	-0.635	-0.592	-0.716**	-0.486	-0.279	0.025	-0.666**	
		日最小值 Minimum	0.271	-0.752*	-0.656	-0.415	0.015	-0.839**	-0.297	-0.761**	
		日平均值 Average	0.221	-0.763*	-0.681*	-0.684**	-0.241	-0.686*	-0.195	-0.715**	
	>30~35	日最大值 Maximum	0.144	-0.663	-0.561	-0.566*	-0.433	-0.938**	-0.389	-0.635*	
		日最小值 Minimum	0.279	-0.752*	-0.655	-0.464	0.192	-0.841**	-0.299	-0.742**	
		日平均值 Average	0.270	-0.744*	-0.647	-0.684**	0.006	-0.860**	-0.313	-0.629*	
	>35~40	日最大值 Maximum	0.250	-0.283	-0.202	-0.197	0.268	-0.827**	-0.440	0.105	
		日最小值 Minimum	0.241	-0.763*	-0.672*	-0.485	0.675	-0.788*	-0.261	-0.756**	
		日平均值 Average	0.201	-0.568	-0.468	-0.261	0.139	-0.948**	-0.426	-0.078	
光照强度 Light intensity	20~25	日最大值 Maximum	-0.255	0.766*	0.680*	0.545*	-0.391	0.728*	0.222	-0.153	
		日平均值 Average	-0.178	0.714*	0.613	0.249	-0.567	0.905**	0.352	-0.238	
	>25~30	日最大值 Maximum	-0.224	0.738*	0.668*	0.477	-0.490	0.554	0.118	-0.202	
		日平均值 Average	-0.106	0.682*	0.580	0.068	-0.618	0.930**	0.378	-0.189	
	>30~35	日最大值 Maximum	-0.127	0.478	0.466	0.182	-0.610	-0.003	-0.156	-0.482	
		日平均值 Average	-0.279	0.570	0.541	0.451	-0.125	0.152	-0.086	-0.337	
	>35~40	日最大值 Maximum	0.197	-0.293	-0.210	-0.258	0.414	-0.833**	-0.441	-0.649**	
		日平均值 Average	0.208	-0.139	-0.070	0.096	0.149	-0.719*	-0.418	-0.426	
	相对湿度 Relative humidity	20~25	日平均值 Average	-0.215	-0.709*	-0.608	-0.033	0.259	-0.910**	-0.357	-0.625*
		>25~30	日平均值 Average	-0.218	-0.675*	-0.573	0.104	0.250	-0.933**	-0.382	-0.546*
		>30~35	日平均值 Average	0.278	-0.747*	-0.650	-0.486	0.106	-0.852**	-0.307	0.280
		>35~40	日平均值 Average	-0.210	-0.603	-0.567	-0.187	0.152	-0.214	0.056	-0.733**

注:**、*分别表示达到0.01、0.05显著水平;PLV.一级蔓;SLV.二级蔓;TLV.三级蔓;SP.单株。用于与一级蔓、二级蔓、三级蔓和单株的性状进行相关分析的气象数据分别采集于8月16日至9月30日、9月16日至10月31日、9月16日至10月31日、8月16日至10月31日。表3同。

Note: **, * denote significant difference at the 0.01 and 0.05 probability levels, respectively. PLV. Primary lateral vine; SLV. Secondary lateral vine; TLV. Tertiary lateral vine; SP. Single plant. The meteorological data used for correlation analysis of characters of primary, secondary, tertiary lateral vines and single plant were from late August 16 to September 30, September 16 to October 31, September 16 to October 31, and August 16 to October 31, respectively. The same as Table 3.

著正相关;而开花前35~40 d日最大光照强度与二级蔓和单株花芽退化率呈显著负相关。故可推测光照强度对花芽形成的影响在开花前35 d出现转折,接近花芽分化后期,光照强度越大,二级蔓和三级蔓花芽分化率和退化率则越高。本研究中这一时段的日平均光照强度为4.00~4.79 klx,故可以推测在此范围内适宜的光照强度利于西番莲的花芽形成。此外,开花前20~35 d日平均相对湿度与二级蔓花芽分化率和退化率呈显著负相关,故花芽形成期空气相对湿度增加不利于西番莲二级蔓的花芽形成。

2.2.3 西番莲的坐果性状与气象因子的关系 西番莲开花后若未能成功授粉则萎焉凋谢,若授粉成功则果实迅速膨大,但部分会中途落果导致不能自然

成熟。首先,试验收集的80组日坐果率与开花当日气象数据的回归分析如图10,开花当日的温度、光照强度的最大值和平均值、相对湿度的最小值和平均值与当日坐果率均呈显著相关关系,但回归分析的R值均较低,这与样本变化范围较大有关。回归分析显示,坐果率随着当日最高温度和平均温度的升高而先升后降,当日最高温度和平均温度分别高于36.19 °C和26.24 °C时坐果率开始下降。类似地,当开花当日最大光照强度超过22.05 klx时坐果率开始下降,而当日平均光照强度超过1.87 klx时坐果率则有增高的趋势。相反地,坐果率随开花当日的相对湿度最小值和平均值的升高而降低。

其次,开花后不同时段的气象数据与坐果率的

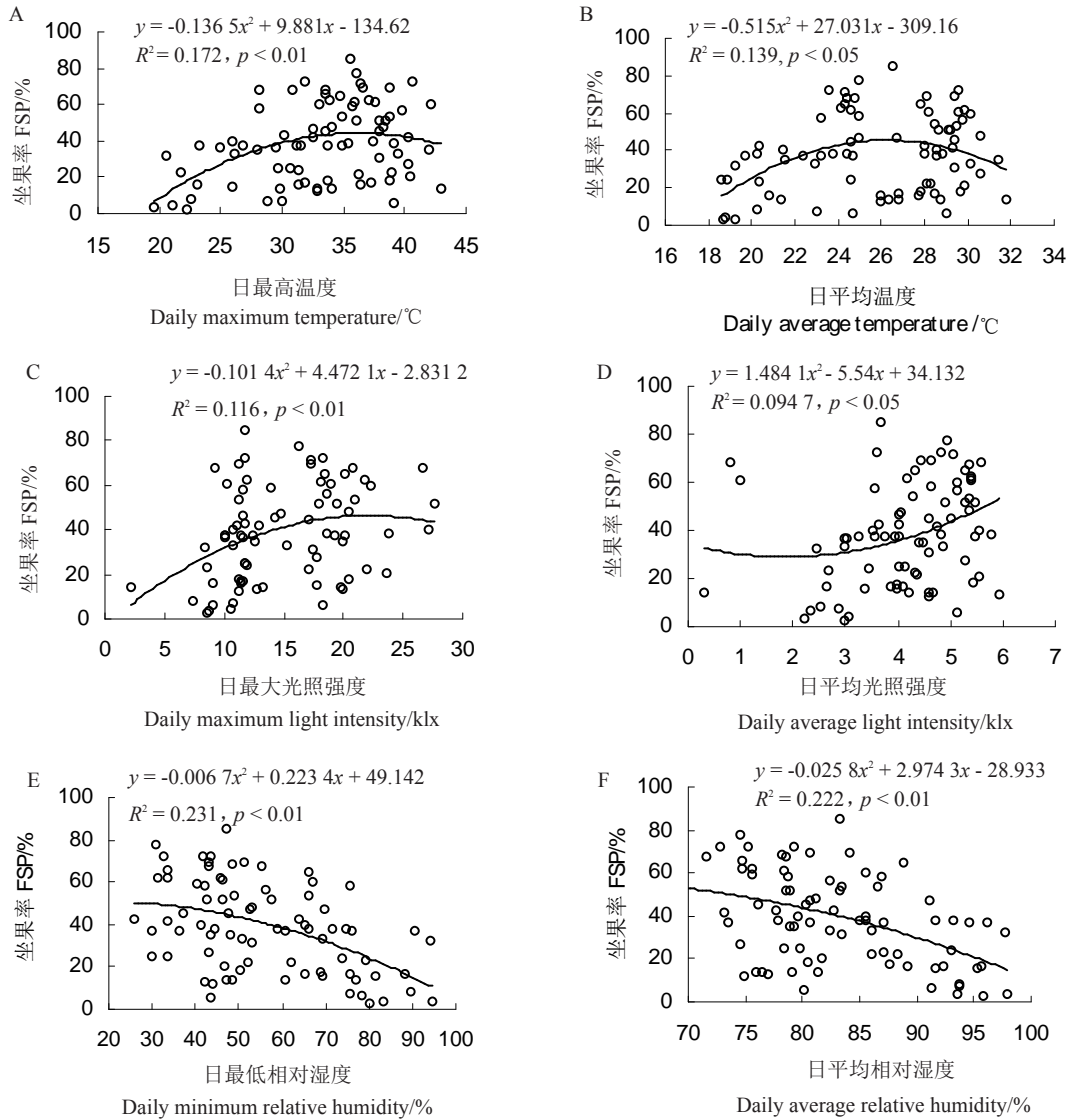


图10 坐果率与开花当天温度(A, B)、光照强度(C, D)及相对湿度(E, F)的关系

Fig. 10 Correlations between FSP and temperature (A, B), light intensity (C, D) and relative humidity (E, F) on the day of anthesis

相关分析(表3)显示,在温度方面,开花后0~20 d温度与一级蔓坐果率均呈显著负相关;开花后5~20 d的日最高温度与一级蔓及二级蔓坐果率呈显著负相关;在光照强度方面,开花后0~10 d光照强度与一

级蔓坐果率呈显著正相关;而开花后5~15 d光照强度与单株坐果率呈显著负相关。此外,在相对湿度方面,开花后5~15 d日平均相对湿度与一级蔓和二级蔓坐果率均呈显著负相关。

表3 坐果率与气象因子的相关分析

Table 3 Correlation analysis between FSP and meteorological factors

气象因子 Meteorological factors	开花后时段 The period after flowering/d		一级蔓 PLV	二级蔓 SLV	三级蔓 TLV	单株 SP	
温度 Temperature	0~5	日最大值 Maximum	-0.756**	0.362	0.149	-0.481	
		日最小值 Minimum	-0.794**	0.352	0.149	-0.626*	
		日平均值 Average	-0.821**	0.341	0.148	-0.551*	
	>5~10	日最大值 Maximum	-0.697*	0.610*	0.146	-0.431	
		日最小值 Minimum	-0.821**	0.164	0.132	-0.709**	
		日平均值 Average	-0.809**	0.452	0.152	-0.584*	
	>10~15	日最大值 Maximum	-0.809**	0.722**	0.115	-0.598*	
		日最小值 Minimum	-0.822**	-0.150	0.087	-0.787**	
		日平均值 Average	-0.818**	0.496	0.153	-0.709**	
	>15~20	日最大值 Maximum	-0.821**	0.590*	0.148	-0.758**	
		日最小值 Minimum	-0.814**	0.238	0.139	-0.773**	
		日平均值 Average	-0.822**	0.385	0.150	-0.760**	
光照强度 Light intensity	0~5	日最大值 Maximum	0.776**	0.212	0.137	-0.026	
		日平均值 Average	0.779**	0.099	0.124	-0.136	
	>5~10	日最大值 Maximum	0.819**	0.404	0.151	-0.004	
		日平均值 Average	0.682*	0.422	0.152	-0.126	
	>10~15	日最大值 Maximum	0.366	0.415	0.152	-0.124	
		日平均值 Average	0.180	0.567	0.150	-0.236	
	>15~20	日最大值 Maximum	-0.430	0.403	0.151	-0.462	
		日平均值 Average	-0.634*	0.552	0.151	-0.512	
	相对湿度 Relative humidity	0~5	日平均值 Average	-0.730**	-0.081	-0.122	-0.245
		>5~10	日平均值 Average	-0.669*	-0.646*	-0.141	-0.171
		>10~15	日平均值 Average	-0.668*	-0.725**	-0.113	-0.018
		>15~20	日平均值 Average	0.425	-0.616*	-0.146	0.555*

3 讨论

3.1 西番莲的成花坐果表现

西番莲的花芽形成和退化直接影响开花数量,是产量形成的重要基础。前人已观察到西番莲的花芽在环境条件不适宜时停止分化或退化(黄化凋落)^[2]。本研究中,‘台农1号’西番莲花芽分化多退化也多,坐果率较低,不利于产量的提高。枝蔓是西番莲产量构成的重要因子,在西番莲的生长过程中,一级蔓、二级蔓、三级蔓依次抽生,本研究发现其各级枝蔓间成花坐果特性表现出差异,体现在花芽分化基数为二级蔓最大,花芽退化率为主蔓和一级蔓低于二级蔓和三级蔓,坐果率为二级蔓最高,主蔓最低。二级蔓表现出花芽分化基数较大,坐果数较多的优势,因此,可以推测二级蔓是构成西番莲产量的

主要枝蔓。

同一枝蔓上不同节位可抽生下一级枝蔓,本研究发现,基部1~3节位着生的一级蔓和二级蔓的花芽分化数占比均大于第3节位之后着生的枝蔓,且前者花芽退化率低于后者,可见基部节位着生的枝蔓产量潜力更大。在适宜的环境下,西番莲每一个新生节位均可形成花芽,进而开花结果^[2],但本研究中不同节位间呈现“基部节位花芽分化少,端部节位花芽退化多”的特征。其中,‘台农1号’第4~7节位花芽分化数较多且坐果率稳定,为37.3%~43.0%,是优势坐果节位。因此,在生产上可以根据品种各级枝蔓和不同节位的成花坐果特性的差异,在枝蔓修剪上侧重保留优势结果枝蔓。‘台农1号’西番莲可在保留基部节位的一级蔓基础上,促进抽生更多的二级蔓,并在后期保持一定量的三级蔓;其次,同一

枝蔓保留7~9个节位为宜,不宜超过10个节位,以优化枝蔓结构提高单株花芽分化数和坐果率。

西番莲的花芽形成和枝条生长是同时进行的,抑制营养生长的因子如干旱^[11]、低温^[4]也会抑制花芽的形成。而与西番莲不同,一些落叶果树如荔枝的花芽在生长季之前形成,其营养生长与花芽形成间存在类似拮抗作用^[12]。营养物质的积累是花芽分化的物质基础,营养物质是否充足,决定了花芽分化质量的优劣^[13],西番莲的花芽形成和茎叶生长是同步进行的,必然存在养分的竞争,枝蔓的修剪也应侧重修剪弱枝和保留壮枝。故西番莲的花芽形成有其自身的生物学特性和规律,但也受器官间营养分配和外界环境的影响。

3.2 西番莲的成花坐果与气象因素的关系

西番莲在广西种植经历夏季高温高光期和冬季低温寡照期,前人研究表明,温度和光照与西番莲的花芽形成及开花关系密切^[5,8]。‘台农1号’在夏季极端高温下无花芽分化,并且当光照强度低至一临界值时,任何温度均无法诱导其花芽分化^[8]。如当环境适宜时‘台农1号’第15节即可形成具有花器的花芽,而低温弱光时需22节以上才形成花原体,且花原体仍无法形成具花器的花芽^[8]。本研究也发现‘台农1号’在冬季低温寡照期(11月中下旬)停止花芽分化。随着生长季的变化,温光条件也随之变化,西番莲各级枝蔓的成花坐果呈现不同特点。如9月中上旬到10月底温度和光照强度逐渐下降,高温和高光照强度气候明显减少,这一时期二级蔓花芽分化率和退化率均呈增高趋势,且总坐果率较高,故适宜的温度和光照强度可促进西番莲花芽分化并提高坐果率,但花芽退化也不可避免。

‘台农1号’西番莲从花原体形成到具有花器的花芽只需数天时间,而从花芽形成到开花约需1个月,温度高时可提早,温度低时则延后^[2]。本研究表,不同生长季西番莲的花芽分化率和花芽退化率变化呈现相似趋势,开花前20~35 d是影响西番莲花芽分化和退化的关键时段,这一时段的日平均温度与二级蔓花芽分化率呈显著负相关,且日最高温度和日平均温度与单株花芽分化率和单株花芽退化率均呈显著负相关,不利于单株的花芽形成。对于高温的范围,前人研究表明‘台农1号’在夏季极端高温(最高温/最低温为>35~40 / 30 ℃)下完全无法形成花芽,而在25/20 ℃处理下较低节位即可形成

花芽且花芽不易退化^[8]。更有报道‘台农1号’在高温处理(30/25 ℃)下的花芽退化率高达68.3%^[8]。本研究中,二级蔓和三级蔓的花芽形成经历的温度为34.2/20.4 ℃~36.7/23.4 ℃,此范围内越高的温度越不利于其花芽形成。有研究推测在高温条件下,营养生长加强并消耗大量养分,导致分配到花芽形成部位的养分减少,从而减少花芽分化,并导致花芽退化^[8],但还需要进一步试验证明。其次,对光照强度的研究发现其对西番莲二级蔓和三级蔓花芽形成的影响主要在开花前20~35 d,日平均光照强度为4.00~4.79 klx,此时适宜的光照强度利于西番莲的花芽形成。而低温减弱光条件下,西番莲的花芽形成受抑制而无花芽分化。可能是弱光和低温不利于植株光合作用同化物的合成^[14],营养生长受阻,而枝蔓生长和花芽形成是同步进行的,故也受到限制。

西番莲的坐果率是影响产量的关键因子,本研究中‘台农1号’的单株坐果率不高,平均坐果率为36.5%,尤其在高温高光季节如8月中下旬和9月上中旬的单株坐果率均未超过30%。前人研究证实高温气候对西番莲的坐果有较大影响,开花当日温度为30 ℃以上时,温度越高而坐果率越低^[9]。本研究表,开花当日最高温度和平均温度分别高于36.19 ℃和26.24 ℃时坐果率开始随温度升高而下降。可能是由于高温气候影响花粉发育全过程,造成柱头黏度差,降低花粉萌发能力以及花粉管伸长受阻,从而不利于授粉受精^[9,15-17],这在其他作物上如梨、樱桃、黄瓜等也有类似结论^[18-20]。此外,高温往往伴随着高光强,过高的太阳辐射也不利于坐果。而高相对湿度对坐果的影响可能在花粉活力方面,如试验观察到降雨天气湿度过高时花粉遇水会严重影响其正常授粉。除了开花当日气象条件外,开花后的气象条件对自然坐果率也有影响。本研究表开花后5~20 d的气象条件对‘台农1号’坐果率有较大影响,主要体现在开花后5~20 d的日最高温度、开花后5~15 d空气相对湿度与一级蔓和二级蔓坐果率均呈显著负相关,开花后5~15 d光照强度与单株坐果率呈显著负相关,故开花授粉后高温、高光照强度及高湿度气候不利于幼果的正常发育,从而导致部分落果,降低自然坐果率。

综上,温度是影响‘台农1号’西番莲成花坐果的最主要气象因素,其主要于开花前20~35 d影响二级蔓和三级蔓的花芽分化和二级蔓的花芽退化以及于

开花当天影响授粉坐果和于开花后 5~20 d 影响一级蔓、二级蔓的坐果从而影响单株的成花坐果性状。在生产上可以通过因地制宜选择大苗提早移栽等措施调节种植时间,从而调节盛花期避开极端高温季节,出现高温天气时采用人工喷水降温、合理修剪冗余枝蔓和叶片加大枝蔓间空气流通等措施规避高温对西番莲花芽分化和坐果的影响,在设施栽中还可以考虑在高温高光季节使用遮阳网适当遮阴降低灼热和直射。此外,应在不同生育期合理配施氮磷钾肥,调控植株养分分配,促进花芽分化;并针对不同品种特性,适当补充人工授粉和蜂类授粉^[21]以达到提高花芽数量和坐果率的目的,从而保障稳产、增产。

参考文献 References:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999, 52(1): 113.
Sinicae Agenda Academiae Sinicae Edita. Flora reipublicae popularis sinicae[M]. Beijing: Science Press, 1999, 52(1): 113.
- [2] 张育森, 郑正勇. 百香果开花习性之研究[J]. 中国园艺, 1988, 34(4): 271-282.
ZHANG Yusen, ZHENG Zhengyong. On the flowering habits of passionfruits[J]. Journal of Chinese Society for Horticultural Science, 1988, 34(4): 271-282.
- [3] TURNER D W, MENZEL C M, SIMPSON D R. Short term drying of half the root system reduces growth but not water status or photosynthesis in leaves of passionfruit (*Passiflora* sp.) [J]. Scientia Horticulturae, 1996, 65: 25-36.
- [4] GURNAH A M, GACHANJA S P. Spacing and pruning of purple passion fruit[J]. Tropical Agriculture, 1984, 61: 143-147.
- [5] NAOKI U. Effect of temperature on shoot growth, flowering and fruit growth of purple passionfruit (*Passiflora edulis* Sims var. *edulis*) [J]. Scientia Horticulturae, 1992, 52: 63-68.
- [6] MENZEL C M, SIMPSON D R, WINKS C W. Effect of temperature on growth, flowering and nutrient uptake of three passionfruit cultivars under low irradiance[J]. Scientia Horticulturae, 1987, 31: 259-268.
- [7] SIMON P, KARNATZ A. Effect of soil and air temperature on growth and flower formation of purple passionfruit (*Passiflora edulis* Sims var. *edulis*) [J]. Acta Horticulturae, 1983, 139: 83-90.
- [8] 张育森, 郑正勇. 温度和光线对百香果生长及花芽形成之影响[J]. 中国园艺, 1992, 38(1): 30-36.
ZHANG Yusen, ZHENG Zhengyong. Effects of temperature and light on growth and flower formation of passionfruit[J]. Journal of Chinese Society for Horticultural Science, 1992, 38(1): 30-36.
- [9] 秦自聪, 朱继生, 冯钊, 陈永孝. 桂林不良气候对百香果坐果的影响及其应对措施[J]. 南方园艺, 2017, 28(2): 28-30.
QIN Zicong, ZHU Jisheng, FENG Zhao, CHEN Yongxiao. Influence of bad climate on fruit setting of passion fruit in Guilin and countermeasures[J]. Southern Horticulture, 2017, 28(2): 28-30.
- [10] 林秋金, 苏金强, 王美盛, 史国强, 武英, 李丽蓉, 牛先前. 气象因子对百香果坐果率的影响研究初报[J]. 福建热作科技, 2019, 44(3): 18-21.
LIN Qiuqin, SU Jinqiang, WANG Meisheng, SHI Guoqiang, WU Ying, LI Lirong, NIU Xianqian. Preliminary study on the effect of meteorological factors on the fruit setting rate of passion fruit[J]. Fujian Science & Technology of Tropical Crops, 2019, 44(3): 18-21.
- [11] TURNER D W, MENZEL C M, SIMPSON D R. Short term drying of half the root system reduces growth but not water status or photosynthesis in leaves of passionfruit (*Passiflora* sp.) [J]. Scientia Horticulturae, 1996, 65: 25-36.
- [12] MENZEL C M. The control of floral initiation in lychee: a review[J]. Scientia Horticulturae, 1986, 29: 239-249.
- [13] 李秉真, 孙庆林, 张建华, 马青枝. 苹果梨花芽分化期内源激素含量的变化[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(1): 27-29.
LI Bingzhen, SUN Qinglin, ZHANG Jianhua, MA Qingzhi. The changes of endogenous hormones in apple-pear during flower bud formation[J]. Plant Physiology Communications, 2000, 36(1): 27-29.
- [14] CHEN B L, YANG H K, MA Y N. Effect of shading on yield, fiber quality and physiological characteristics of cotton subtending leaves on different fruiting positions[J]. Photosynthetica, 2017, 55(2): 240-250.
- [15] PORCH T G, JAHN M. Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris* [J]. Plant, Cell and Environment, 2001, 24: 723-731.
- [16] SATO S, KAMIYAMA M, IWATA T, MAKITA N, FURUKAWA H, IKEDA H. Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of lycopersicon esculentum by disrupting specific physiological processes in male reproductive development[J]. Annals of Botany, 2006, 97: 731-738.
- [17] PECRIX Y, RALLO G, FOLZER H, CIGNA M, GUDIN S, LE B M. Polyploidization mechanisms: temperature environment can induce diploid gamete formation in *Rosa* sp. [J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(10): 3587-3597.
- [18] 王晓庆, 骆军, 施春晖, 张学英, 滕美贞, 张玲. 高温对大棚‘早生新水’梨花蕾期不同阶段花粉活力的影响[J]. 北方园艺, 2018(14): 58-62.
WANG Xiaoqing, LUO Jun, SHI Chunhui, ZHANG Xueying, TENG Meizhen, ZHANG Ling. Effects of high temperature on pollen viability of ‘Zaosheng xinshui’ pear cultured in greenhouse before period of blooming[J]. Northern Horticulture, 2018(14): 58-62.
- [19] 李燕, 李玲, 陈修德, 叶宝兴, 高东升. 高温对设施甜樱桃花药发育和花粉粒形成的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(6): 1029-1036.
LI Yan, LI Ling, CHEN Xiude, YE Baoxing, GAO Dongsheng. Effects of high temperature on the anther and pollen development of sweet cherry in solar greenhouse[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(6): 1029-1036.
- [20] 缪旻珉, 曹磊生. 黄瓜花药和花粉高温伤害与多胺和脯氨酸含量的关系[J]. 园艺学报, 2002, 29(3): 233-237.
MIAO Minmin, CAO Beisheng. The relationship between heat injury and polyamines or proline contents during anther development and pollen germination in cucumber[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(3): 233-237.
- [21] 黄仁才, 高景林, 吴朝波, 韩文素, 赵冬香. 中华蜜蜂和意大利蜜蜂为设施百香果授粉效果观察[J]. 热带农业工程, 2018, 42(3): 7-10.
HUANG Rencai, GAO Linjing, WU Chaobo, HAN Wensu, ZHAO Dongxiang. Pollination Effect of *Apis cerana cerana* and *Apis mellifera ligustica* on passion fruit[J]. Tropical Agricultural Engineering, 2018, 42(3): 7-10.