

# 温度对樱桃番茄花粉活力及萌发率的影响

罗艳<sup>1</sup>, 于琴芝<sup>2</sup>, 王先裕<sup>3</sup>, 陈鹏<sup>1</sup>, 汪茜<sup>1</sup>, 唐振权<sup>3</sup>, 黄庆岛<sup>4\*</sup>

(1. 广西大学农学院, 广西南宁 530004; 2. 桂林市经济作物技术推广站, 广西桂林 541100; 3. 广西大学农牧产业发展研究院, 广西南宁 530004; 4. 南宁市武鸣区太平镇农林水利综合服务中心, 广西南宁 530101)

**摘要** 为探究外界环境温度对番茄花粉活力及萌发率的影响, 以樱桃番茄西大樱粉1号父本 YA-4-3-1-8 花粉为研究对象, 利用红墨水染色法、液体培养基离体萌发法检测花粉活力及萌发率。采用相关分析和回归分析法, 分析了最高温度、最低温度、温差对番茄花粉活力及萌发率的影响。结果表明, 樱桃番茄花粉的萌发率与最高温度、最低温度和温差均存在极显著的相关性, 而活力则与最高温度、温差呈现出极显著相关。花盛开前第2天的最高温度、最低温度和温差对番茄花粉萌发率的影响最大, 具有显著的负相关关系; 花盛开当天的最高温度、盛开前第2天的最低温度和温差对花粉活力的影响最大。同时, 活力与最高温度、温差存在显著负相关性, 与最低温度具有显著正相关关系。可见, 环境温度的变化会对花粉活力及萌发率受产生不同程度的影响, 高温条件下, 极易使花粉活力及萌发率下降。此外, 花朵盛放前和当天的温度变化, 与花粉活力及萌发率的相关性也存在一定的差异。其中, 开放前的温度对花粉萌发率的影响更加突出。花粉活力及萌发率不仅只受当天温度的影响, 开放前的温度变化也会对其造成显著的影响, 温度过高或过低都会影响花粉的发育, 最终导致番茄产量下降。

**关键词** 樱桃番茄; 温度; 花粉; 活力; 萌发率

中图分类号 S641.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)22-0053-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.22.013



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Temperature on Pollen Viability and Germination of Cherry Tomato

LUO Yan<sup>1</sup>, YU Qin-zhi<sup>2</sup>, WANG Xian-yu<sup>3</sup> et al (1. College of Agronomy, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004; 2. Guilin Economic Crops Technology Extending Station, Guilin, Guangxi 541100; 3. Agriculture and Animal Husbandry Industry Development Institute, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004)

**Abstract** In order to explore the effects of environmental temperature on pollen vitality and germination rate of tomato, the pollen of male parent YA-4-3-1-8 of cherry tomato Xidayingfen No.1 was taken as the research object, and the pollen vitality and germination rate were detected by red ink staining and *in vitro* germination of liquid medium. Correlation analysis and regression analysis were used to analyze the effects of maximum temperature, minimum temperature and temperature difference on pollen vitality and germination rate of tomato. The results showed that the germination rate of cherry tomato pollen was significantly correlated with the maximum temperature, minimum temperature and temperature difference, while the vitality was significantly correlated with the maximum temperature and temperature difference. The highest temperature, the lowest temperature and the temperature difference on the second day before blooming had the greatest influence on the germination rate of tomato pollen, and had a significant negative correlation; The highest temperature on the day of flower blooming, the lowest temperature and temperature difference on the first two days had the greatest influence on pollen vitality. Meanwhile, pollen vitality had a significant negative correlation with the highest temperature and temperature difference, and a significant positive correlation with the lowest temperature. It can be concluded that the change of environmental temperature could affect the pollen vitality and germination rate in different degrees. Under high temperature, the pollen vitality and germination rate were easy to decline. In addition, there were some differences in the correlation between the temperature changes before and on the day of flower blooming and the pollen vitality and germination rate. Among them, the effects of temperature before opening on pollen germination rate was more prominent. Pollen viability and germination rate not only affected by the temperature of the day, but also by the temperature change before opening. Too high or too low temperature affected the development of pollen, and eventually lead to the decline of tomato yield.

**Key words** Cherry tomato; Temperature; Pollen; Vitality; Germination rate

番茄(*Solanum lycopersicum*)原产于南美安第斯山脉地区, 属喜温性蔬菜<sup>[1]</sup>。番茄是世界上消费最为广泛的蔬菜, 不仅是重要的经济作物, 而且也是用于研究的模式植物<sup>[2]</sup>。实际上, 花粉是有花植物系统发育中较为保守的器官, 对周围环境温度变化的反应非常敏感<sup>[3]</sup>。因此, 研究分析最高温、最低温及温差对番茄花粉生活力的影响, 对于制定合理的栽培技术方案和制种方案、控制落花落果、增加番茄产量有着重要作用。

植物本身对温度的耐受范围存在一定的差异, 不同物种

的花粉对温度胁迫的敏感程度也不一样<sup>[4]</sup>。其中, 起源于热带和亚热带的植物对温度反应更加突出, 如番茄、黄瓜、甜椒和水稻等<sup>[5-6]</sup>。大量研究结果显示, 番茄、小麦、甜椒等开花植物在生殖生长阶段对温度胁迫高度敏感<sup>[7-9]</sup>, 而花粉发育是生殖生长过程中对温度胁迫最敏感的时期<sup>[10]</sup>, 花粉比雌蕊对温度更敏感<sup>[7, 11]</sup>。在以拟南芥、水稻等模式植物为主的众多研究结果表明, 温度胁迫影响绒毡层降解, 进而影响糖代谢, 导致花粉壁发育的异常, 最终致使花粉活力及萌发率的降低<sup>[12-14]</sup>。研究表明, 水稻在抽穗开花期对高温特别敏感, 是受高温危害最严重的时期<sup>[15]</sup>; 处于开花期的水稻, 连续3 d 以上置于 35 °C 的高温条件下, 会严重影响花粉管的伸长<sup>[16-17]</sup>; 同时发现处于小孢子时期(开花前 3~5 d)和成熟花粉时期的花粉对低温处理最敏感<sup>[18-19]</sup>。

温度胁迫对植物的影响非常复杂, 对植物的损伤程度取决于温度改变的程度、持久性和速率等<sup>[20-21]</sup>。前人对于温度

**基金项目** 广西重点研发计划(桂科 AB18294013, 桂科 AB18216002); 国家重点研发项目(2017YFD0101902-5); 国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-25-37)。

**作者简介** 罗艳(1995—), 女, 广西北流人, 硕士研究生, 研究方向: 蔬菜遗传育种与生物技术。\*通信作者, 农艺师, 从事农业技术推广研究。

**收稿日期** 2021-06-23; **修回日期** 2021-08-13

对番茄花粉的影响研究多集中在花粉的贮藏条件、花粉萌发培养最适的培养条件及温度影响花粉的生理机制等方面,且温度与花粉活力及萌发率多是人工控制环境温度条件下进行的研究试验。而对于室外自然环境温度下樱桃番茄花朵盛开放前的温度对花粉活力及萌发率的影响研究尚少。鉴于此,笔者采用 SPSS 软件对可能影响番茄花粉活力及萌发率的 3 个温度效应因子进行相关性分析和回归分析,以期进一步了解其对花粉活力及萌发率的影响程度,为番茄制种育种提供理论依据。

## 1 材料与与方法

**1.1 试验材料** 供试材料为广西大学农学院番茄课题组培育的优良番茄杂交一代新品种西大樱粉 1 号的父本 YA-4-3-1-8。试验于 2020 年夏季在广西桂林资源番茄试验基地开展。采用最高最低寒暑表记录田间的最高温度和最低温度,最高、最低温度寒暑表距地面 1.5 m。用显微镜(XW-002)观察花粉活力及萌发率。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 花粉采集** 在盛花期的晴天 09:00—10:00,采集当天开放的花朵,带回实验室后剥离花瓣,做好标记记录,放在培养皿中备用。

**1.2.2 番茄花粉生活力的测定** 采用红墨水染色法进行番

茄花粉生活力的测定。取少许花粉放在干净整洁的载玻片上,加 1~2 滴 10% 红墨水溶液,搅匀后盖上盖玻片,静置 10~15 min 后置于显微镜(10×10)下镜检,被染为红色的花粉为已失去活力,无色为有活力花粉。花粉活力(%)=(染色花粉粒数/花粉粒总数)×100%。

采用液体培养基进行花粉离体培养。培养基主要成分是蔗糖溶液、硼酸,浓度分别为 15%、0.01%。将配好的培养液加入带凹槽的载玻片上,撒播花粉后置于放有湿润滤纸的培养皿中,常温下(25℃)暗培养 4 h 后置于显微镜(10×10)下,观察统计花粉萌发率。每个处理设置 5 个重复,每个重复观察 3 个不重叠视野,且每个视野花粉总数大于 50 粒,萌发标准以花粉管长度大于花粉粒直径的一半为准。花粉萌发率(%)=(萌发花粉数/总花粉数)×100%。

**1.2.3 数据分析** 采用 Excel 进行试验数据统计分析及作图;采用 SPSS 软件进行 Pearson 相关性分析和回归分析。

## 2 结果与分析

**2.1 番茄花粉活力及萌发率的测定** 图 1 中 a、b、c 所显示的分别是 7 月 10、15、20 日测定的当日完全开放的新鲜花粉,花粉活力分别为 87.84%、47.86%、70.59%。图 2 中 a、b、c 分别显示的是 7 月 10、15、20 日测定的当日完全开放的离体培养的新鲜花粉,萌发率分别为 88.24%、36.03%、52.22%。

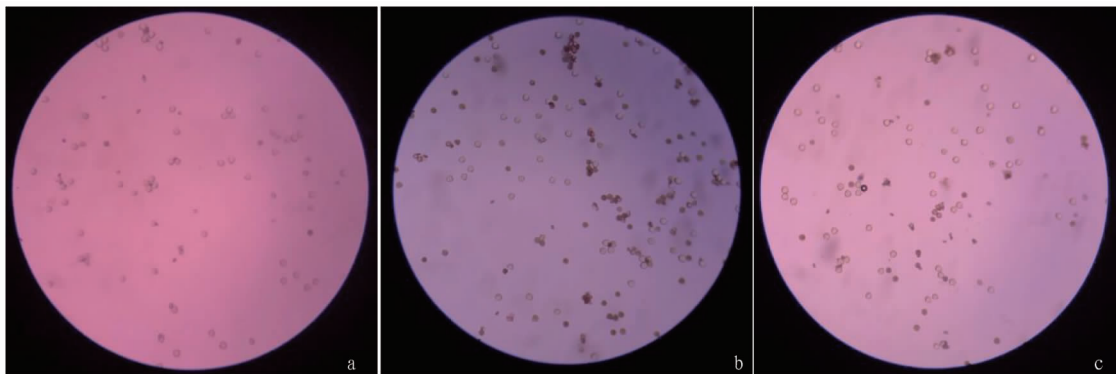


图 1 显微镜下花粉活力

Fig.1 Microscopic pollen activity

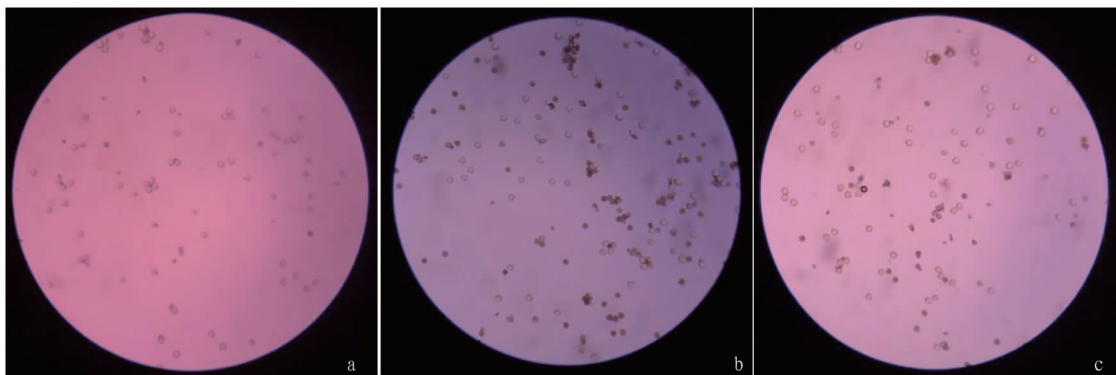


图 2 显微镜下花粉离体培养萌发

Fig.2 Pollen germination *in vitro* culture under microscope

由图 3 温度变化情况可知,7 月 10 日当天及其前 3 d 的最高温度均小于 30℃,最低温度大于 20℃小于 25℃,温差较小;7 月 15 日当天及其前 3 d 最高温度均大于 30℃,其中 14

日的温度甚至超过了 35℃,最低温度大于 20℃小于 25℃,其中当天和前 2 天小于或等于 20℃,温差相对大一些;7 月 20 日当天及其前 3 d 的温度大于 30℃而小于 35℃,最低温度维持在

20~25 °C,温差小。结合图 3,4,可以直观地看出花盛放前的温度、温差对花粉活力及萌发率存在一定的程度的影响。

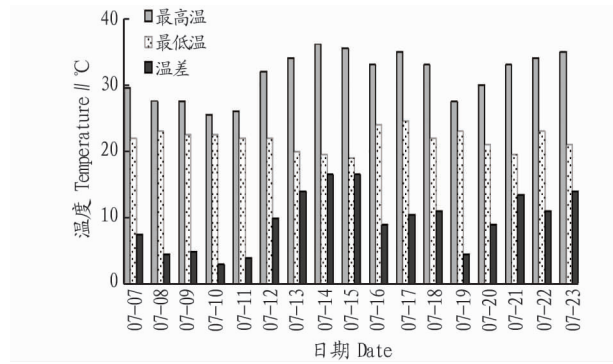


图 3 不同日期温度的比较

Fig.3 Comparison of the temperature at different dates

2.2 各效应因子的变异分析 影响花粉的各温度因子基本统计结果见表1,变异系数范围在9.88%~35.44%,其中变异

表 1 温度效应因子对影响花粉活力及萌发率的影响

Table 1 Effects of temperature effect factors on pollen viability and germination rate

因子 Factor	最大值 Maximum value / °C	最小值 Minimum value / °C	平均值 Average / °C	标准差 SD / °C	变异系数 CV / %
最高温度 Maximum temperature	38.50	25.50	32.00	3.16	9.88
最低温度 Minimum temperature	24.90	13.50	19.20	2.03	10.57
温差 Temperature difference	22.00	3.00	12.50	4.43	35.44

## 2.3 相关性分析

2.3.1 最高温度、最低温度、温差与花粉萌发率间的相关性分析。采用 Pearson 相关系数来分析各变量与相关指标之间的相关关系,结果如表 2 所示。由表 2 可知,萌发率与最高温度、最低温度和温差均存在极显著相关。萌发率与最高温度呈显著负相关;萌发率与最低温度呈显著正相关;萌发率与温差呈显著负相关性。结合温度变化情况(图 3),可初步推测 24.9~25.5 °C 更适合花粉萌发。

表 2 最高温度、最低温度、温差与萌发率的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of maximum temperature, minimum temperature, temperature difference and germination rate

项目 Item	萌发率 Germination rate	最高温度 Maximum temperature	最低温度 Minimum temperature	温差 Temperature difference
萌发率 Germination rate	1			
最高温度 Maximum temperature	-0.524**	1		
最低温度 Minimum temperature	0.581**	-0.550**	1	
温差 Temperature difference	-0.623**	0.906**	-0.852**	1

注: \*\* 表示在 0.01 水平极显著相关(双尾)

Note: \*\* indicated extremely significant correlation at 0.01 level (two-tailed)

2.3.2 最高温度、最低温度、温差与花粉活力间的相关性分析。对最高温度、最低温度和温差进行相关性分析,得出活力与最高温度、最低温度、温差的相关系数,结果如表 3 所示。活力与最高温度、温差呈极显著负相关,这 2 个因素对

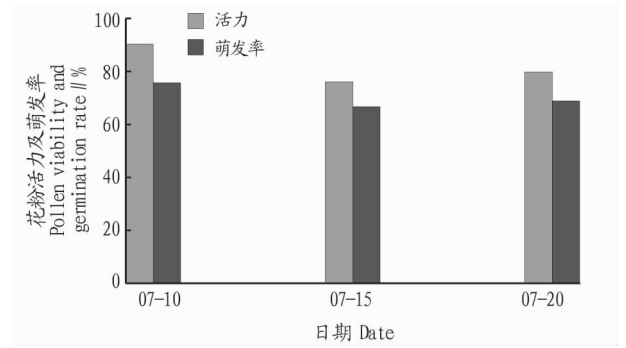


图 4 不同日期花粉活力和萌发率的比较

Fig.4 Comparison of pollen viability and germination rate at different dates

系数最大的是温差,高达 35.44%,其次是最低温度,为 10.57%,最高温度的变异系数最低,为 9.88%。较高的变异系数表明其每天变化较大且不稳定。

表 1 温度效应因子对影响花粉活力及萌发率的影响

因子 Factor	最大值 Maximum value / °C	最小值 Minimum value / °C	平均值 Average / °C	标准差 SD / °C	变异系数 CV / %
最高温度 Maximum temperature	38.50	25.50	32.00	3.16	9.88
最低温度 Minimum temperature	24.90	13.50	19.20	2.03	10.57
温差 Temperature difference	22.00	3.00	12.50	4.43	35.44

活力都有显著的协同关系,而花粉活力与最低温度无显著的相关性。

表 3 最高温度、最低温度、温差与活力的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of maximum temperature, minimum temperature, temperature difference and vitality

项目 Item	萌发率 Germination rate	最高温度 Maximum temperature	最低温度 Minimum temperature	温差 Temperature difference
活力 Vitality	1			
最高温度 Maximum temperature	-0.556**	1		
最低温度 Minimum temperature	0.259	-0.551**	1	
温差 Temperature difference	-0.573**	0.907**	-0.851**	1

注: \*\* 表示在 0.01 水平极显著相关(双尾)

Note: \*\* indicated extremely significant correlation at 0.01 level (two-tailed)

2.3.3 开花前 3 d 的温度与花粉萌发率间的相关性分析。通过对开花当天和前 3 d 的最高温度进行相关性分析比较,结果如表 4 所示,可以发现开花当天和前 2 d 的最高温度对花粉萌发率的影响较大,呈显著的负相关关系,其中花粉萌发率与开花前第 2 天的最高温度的相关系数最大。

相关性分析比较结果见表 5,由表 5 可以发现开花当天和前 3 d 的最低温度与花粉萌发率有极显著的正相关性,与前 2 天的最低温度的相关系数为 0.602。

由表 6 可知,花完全开放当天与前 3 d 的最低温度与花粉萌发率有极显著的负相关性,与开花前第 2 天的温差的相关系数为-0.687。

表4 开花前3 d的最高温度与花粉萌发率的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of pollen germination rate and maximum temperature 3 d before flowering

项目 Item	皮尔逊相关性 Pearson correlation	显著性(双尾) Significance
萌发率 Germination rate	1	—
最高温度(第0天) Maximum temperature	-0.524**	0.000
最高温度1(开花前第1天) Maximum temperature 1	-0.562**	0.000
最高温度2(开花前第2天) Maximum temperature 2	-0.572**	0.000
最高温度3(开花前第3天) Maximum temperature 3	-0.397**	0.000

注:\*\*表示在0.01水平极显著相关(双尾)

Note:\*\* indicated extremely significant correlation at 0.01 level (two-tailed)

表5 开花前3 d的最低温度与花粉萌发率的相关性分析

Table 5 Correlation analysis between the minimum temperature 3 d before flowering and pollen germination rate

项目 Item	皮尔逊相关性 Pearson correlation	显著性(双尾) Significance
萌发率 Germination rate	1	—
最低温度 Minimum temperature	0.581**	0.000
最低温度1(开花前第1天) Minimum temperature 1	0.475**	0.000
最低温度2(开花前第2天) Minimum temperature 2	0.602**	0.000
最低温度3(开花前第3天) Minimum temperature 3	0.525**	0.000

注:\*\*表示在0.01水平极显著相关(双尾)

Note:\*\* indicated extremely significant correlation at 0.01 level (two-tailed)

表6 开花前3 d的温差与花粉萌发率的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of pollen germination rate and temperature difference 3 days before flowering

项目 Item	皮尔逊相关性 Pearson correlation	显著性(双尾) Significance
萌发率 Germination rate	1	—
温差(第0天) Temperature difference	-0.623**	0.000
温差1(开花前第1天) Temperature difference 1	-0.616**	0.000
温差2(开花前第2天) Temperature difference 2	-0.687**	0.000
温差3(开花前第3天) Temperature difference 3	-0.531**	0.000

注:\*\*表示在0.01水平极显著相关(双尾)

Note:\*\* indicated extremely significant correlation at 0.01 level (two-tailed)

综上所述,花朵完全开放前第2天的最高温度、最低温度和温差对萌发率的影响最大。

**2.3.4 开花前3天的温度与花粉活力间的相关性分析。**对开花当天和前3 d的最高温度进行相关性分析比较,结果如表7所示。由表7可知,花粉的活力与花朵完全开放当天和前1 d的最高温度呈极显著的负相关关系,其中当天的最高温度对花粉活力的影响最大。

对开花当天和前3 d的最低温度进行相关性分析比较,结果如表8所示。由表8可知,活力与开花前第2天的最低

表7 开花前3 d的最高温度与花粉活力间的相关性分析

Table 7 Correlation analysis between pollen viability and maximum temperature 3 d before flowering

项目 Item	皮尔逊相关性 Pearson correlation	显著性(双尾) Significance
活力 Viability	1	—
最高温度(第0天) Maximum temperature	-0.556**	0.000
最高温度1(开花前第1天) Maximum temperature 1	-0.478**	0.000
最高温度2(开花前第2天) Maximum temperature 2	-0.118	0.416
最高温度3(开花前第3天) Maximum temperature 3	0.114	0.432

注:\*\*表示在0.01水平极显著相关(双尾)

Note:\*\* indicated extremely significant correlation at 0.01 level (two-tailed)

温度有显著的正相关关系,与开花前第2天最低温度的相关系数为0.296。

表8 开花前3 d的最低温度与花粉活力间的相关性分析

Table 8 Correlation analysis between the minimum temperature 3 days before flowering and pollen viability

项目 Item	皮尔逊相关性 Pearson correlation	显著性(双尾) Significance
活力 Viability	1	—
最低温度(第0天) Minimum temperature	0.259	0.069
最低温度1(开花前第1天) Minimum temperature 1	0.137	0.343
最低温度2(开花前第2天) Minimum temperature 2	0.296*	0.037
最低温度3(开花前第3天) Minimum temperature 3	0.056	0.698

注:\*表示在0.05水平极显著相关(双尾)

Note:\* indicated extremely significant correlation at 0.05 level (two-tailed)

对开花当天和前3 d的温差进行相关性分析比较,结果如表9所示。由表9可知,花粉的活力与花朵完全开放当天和前3 d的温差呈极显著的负相关关系,其中开花第2天的温差对萌发率的影响最大,这与萌发率是一致的。

综上所述,当天的最高温度对花粉活力的影响最大,开花前2天的最低温度和温差对活力的影响最大。与萌发率不同,活力没有明显的规律。

表9 开花前3天的温差与花粉活力间的相关性分析

Table 9 Correlation analysis of pollen viability and temperature difference 3 d before flowering

项目 Item	皮尔逊相关性 Pearson correlation	显著性(双尾) Significance
活力 Viability	1	—
温差(第0天) Temperature difference	-0.183**	0.000
温差1(开花前第1天) Temperature difference 1	-0.205**	0.000
温差2(开花前第2天) Temperature difference 2	-0.247**	0.000
温差3(开花前第3天) Temperature difference 3	-0.112**	0.000

注:\*\*表示在0.01水平极显著相关(双尾)

Note:\*\* indicated extremely significant correlation at 0.01 level (two-tailed)

## 2.4 回归分析

**2.4.1 温度对花粉萌发率的影响。**进一步回归分析结果如表 10 所示。最高温度的回归系数值小于 0,且  $P=0.005<0.01$ ,因此最高温度会对花粉萌发率产生显著的负向影响。而最低温度的回归系数值为 0.023, $P=0.00<0.1$ ,因此最低温度会对花粉萌发率产生显著的正向影响。

表 10 萌发率与温度的回归系数

Table 10 Regression coefficients between germination rate and temperature

模型编号 Model code	项目 Item	未标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients		显著性 Significance
		B	标准误差 Standard error	(Beta)	t	
1	常量	0.543	0.227	—	2.397	0.019
	最高温度	-0.013	0.004	-0.292	-2.899	0.005
	最低温度	0.023	0.005	0.421	4.171	0.000
2	常量	0.543	0.227	—	2.397	0.019
	最高温度	0.010	0.009	0.229	1.150	0.253
	温差	-0.023	0.005	-0.831	-4.171	0.000
3	常量	0.543	0.227	—	2.397	0.019
	温差	-0.013	0.004	-0.466	-2.899	0.005
	最低温度	0.010	0.009	0.185	1.150	0.253

注:因变量为萌发率

Note: Dependent variable was germination rate

**2.4.2 温度对花粉活力的影响。**回归分析结果如表 11 所示。由表 11 可知,最高温度的回归系数为-0.017,小于 0 且  $P=0.000<0.01$ ,因此最高温度会对花粉活力产生极显著的负向影响。最高温度越低,活力越高,这与相关性分析结果一致。

表 11 花粉活力与最高(低)温度的回归系数

Table 11 Regression coefficient of pollen viability and maximum (minimum) temperature

项目 Item	未标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients		显著性 Significance
	B	标准误差 Standard error	(Beta)	t	
常量 Constant	1.082	0.243	—	4.459	0.000
最高温度 Maximum temperature	-0.017	0.004	-0.525	-4.329	0.000
最低温度 Minimum temperature	0.011	0.009	0.158	1.304	0.099

注:因变量为活力

Note: Dependent variable was viability

## 3 讨论

温度过高或过低都会使番茄及其花粉生理活动出现异常,如内生生长调节物质含量变化、糖代谢减慢等,从而阻碍花粉的发育和萌发。正常温度下,碳水化合物以淀粉的形式储存于花粉中,因此温度胁迫下番茄花粉粒中是否贮藏有足够多的淀粉以及淀粉能否有效水解是花粉保持生活力的关键<sup>[22]</sup>。该研究发现番茄开花前遇高温,其花粉活力及萌发率会显著下降,这可能是由于高温阻碍了淀粉在花粉粒中贮

由表 10 可知,温差的回归系数为-0.023 小于 0,且  $P=0.000<0.01$ ,意味着温差会对花粉萌发率产生极显著的负向影响。温差越小,萌发率越高,这与相关性分析结果一致。

由表 10 可知,温差的回归系数值为-0.013,小于 0,且  $P=0.005<0.01$ ,因此温差对花粉萌发率产生极显著的负向影响。温差越小,萌发率越高,这与相关性分析结果一致。

藏的一系列生理生化反应,影响了花粉的发育及萌发过程。Sato 等<sup>[23]</sup>认为,中度的高温胁迫并不会影响蔗糖从番茄叶片到花药的运输,中度的高温胁迫会通过降低转化酶的活性而抑制蔗糖的水解,从而阻碍花药和花粉的正常发育,花粉生活力降低。前人研究发现,高温降低了辣椒成熟花粉中酶的活性,影响了糖代谢,阻碍了花粉的萌发和花粉管的伸长<sup>[24-25]</sup>。植物开花期温度过高或过低都会破坏绒毡层中的糖代谢过程,使碳水化合物无法在花粉粒中积累<sup>[10]</sup>,导致花粉萌发率显著降低<sup>[26]</sup>。温度胁迫也会导致花器官中生长激素缺乏,花粉活力下降,萌发率降低。另外,响应温度胁迫的相关基因没有在花粉粒中积累也会使温度胁迫下番茄花粉活力及萌发率下降<sup>[27]</sup>。

温差有利于养分积累。番茄相对生长速度加快,干物质积累量增多。在适温范围内,当日平均温度一致时,昼夜温差对番茄生长有显著影响<sup>[28]</sup>。因此,番茄生产中需要控制在合理的昼夜温差。

许霞<sup>[29]</sup>研究发现,不同温度环境下花粉萌发率差异显著,25℃条件下花粉萌发率比其他温度条件下高得多。该研究结果与许霞的研究结果类似,发现 24.9℃条件下是更适宜花粉萌发的温度。焦和平<sup>[30]</sup>研究发现,花粉萌发的最佳温度为 21℃,温度过高或过低都会造成生理失调。番茄的最适日均温在 21~24℃,具体温度取决于其所处的发育阶段<sup>[31]</sup>。番茄在开花期,28℃下持续 12 h 就会使花粉萌发率显著降低<sup>[32]</sup>。该研究发现,当温度高于 30℃时,番茄花粉的活力显著下降。此外,番茄花粉萌发时的温度高于 34℃时花粉的活力及萌发率会显著降低,而且花粉粒脱离母体时,高温对其伤害更大<sup>[8,33]</sup>。

温度是影响番茄花粉萌发的重要气象因素之一,生长发

育阶段遭受温度的起伏变化会对植物体内生理代谢造成极大的变化。对于番茄而言,不同品种对温度的应答存在差异,不同高温或低温持续时间对同一品种的影响也完全不同。该研究反映了各效应因子与花粉活力及萌发率的相互关系。花粉萌发率与本身的基因遗传、激素水平的变化、可溶性糖和淀粉含量的变化、外界环境中的空气相对湿度等有关,因此还需进行更加严密的进一步试验,使结论更可靠。

#### 4 结论

环境温度的变化会对樱桃番茄花粉活力及萌发率产生不同程度的影响。花粉发育过程对温度反应非常敏感。番茄花粉活力经过低温之后遇到适温是可以恢复的,高温条件下,极易使花粉活力及萌发率下降。同时,花盛放前和当天的温度变化,与花粉活力及萌发率的相关性也存在一定的差异。花粉活力及萌发率不仅只受当天温度的影响,开放前的温度变化也会对其造成显著的影响,其中开放前的温度对花粉萌发率的影响更加突出。温度过高或过低都不利于授粉座果,最终影响番茄产量,因此生产上应设法避免。

#### 参考文献

- [1] 徐鹤林,李景富.中国番茄[M].北京:中国农业出版社,2007:2-3.
- [2] LIEDT B E,LABATE J A,STOMMEL J R,等.番茄的遗传学、基因组学和育种[M].阮朝奇,毛自朝,林春,等译.昆明:云南人民出版社,2018:1-2.
- [3] 李维林,贺善安,顾娟,等.中国悬钩子属花粉形态观察[J].植物分类学报,2001,39(3):234-248,296.
- [4] 冯瑶瑶,孙继,俞洋,等.温度胁迫对植物花粉发育的影响[J].中国细胞生物学学报,2019,41(1):141-149.
- [5] CHEN X L,DAI A H,GONG Q,et al.A study on chilling injury in medicinal plants region of South China Botanical Garden[J].Journal of Chinese medicinal materials,2008,31(11):1607-1610.
- [6] SMILLIE R M,HETHERINGTON S E.Stress tolerance and stress-induced injury in crop plants measured by chlorophyll fluorescence in vivo chilling,freezing,ice cover,heat,and high light[J].Plant physiology,1983,72(4):1043-1050.
- [7] SAKATA T,TAKAHASHI H,NISHIYAMA I,et al.Effects of high temperature on the development of pollen mother cells and microspores in barley *Hordeum vulgare* L.[J].Journal of plant research,2000,113(4):395-402.
- [8] SATO S,PEET M M,THOMAS J F.Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic,mild heat stress[J].Plant,cell & environment,2000,23(7):719-726.
- [9] ERICKSON A N,MARKHART A H.Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature[J].Plant,cell & environment,2002,25(1):123-130.
- [10] 邹长松,余迪求.植物有性生殖对温度胁迫反应的研究进展[J].云南植物研究,2010,32(6):508-518.
- [11] BALASUBRAMANIAN S,SURESHKUMAR S,LEMPE J,et al.Potent induction of *Arabidopsis thaliana* flowering by elevated growth temperature[J].PLoS Genetics,2006,2(7):980-989.
- [12] MAMUN E A,ALFRED S,CANTRILL L C,et al.Effects of chilling on male gametophyte development in rice[J].Cell biology international,2006,30(7):583-591.
- [13] ODA S,KANEKO F,YANO K,et al.Morphological and gene expression a-

- nalysys under cool temperature conditions in rice anther development[J].Genes & genetic systems,2010,85(2):107-120.
- [14] ZOU C S,JIANG W B,YU D Q.Male gametophyte-specific WRKY34 transcription factor mediates cold sensitivity of mature pollen in *Arabidopsis*[J].Journal of experimental botany,2010,61(14):3901-3914.
- [15] 郭鼎心,曾文智,周宝津,等.开花期高温胁迫对不同水稻品种花粉萌发和结实的影响[J].华南农业大学学报,2010,31(2):50-53.
- [16] 王加龙,陈信波.水稻耐热性研究进展[J].湖南农业科学,2006(6):23-26.
- [17] JAGADISH S V K,CRAUFURD P Q,WHEELER T R.High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.)[J].Journal of experimental botany,2007,58(7):1627-1635.
- [18] PRASAD P V V,BOOTE K J,ALLEN L H JR,et al.Species,ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress[J].Field crops research,2006,95(2/3):398-411.
- [19] MATSUI T,OMASA K,HORIE T.The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among japonica-rice varieties[J].Plant production science,2001,4(2):90-93.
- [20] WAHID A,GELANI S,ASHRAF M,et al.Heat tolerance in plants: An overview[J].Environmental and experimental botany,2007,61(3):199-223.
- [21] THAKUR P,KUMAR S,MALIK J A,et al.Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview[J].Environmental and experimental botany,2009,67(3):429-443.
- [22] 透明辉,巩振辉,陈儒钢,等.农作物花粉高温胁迫研究进展[J].应用生态学报,2009,20(6):1511-1516.
- [23] SATO S,PEET M M,THOMAS J F.Determining critical pre-and post-anthesis periods and physiological processes in *Lycopersicon esculentum* Mill. exposed to moderately elevated temperatures[J].Journal of experimental botany,2002,53(371):1187-1195.
- [24] KARNI L,ALONI B.Fructokinase and hexokinase from pollen grains of bell pepper (*Capsicum annuum* L.):Possible role in pollen germination under conditions of high temperature and CO<sub>2</sub> enrichment[J].Annals of botany,2002,90(5):607-612.
- [25] ALONI B,PEET M,PHARR M,et al.The effect of high temperature and high atmospheric CO<sub>2</sub> on carbohydrate changes in bell pepper (*Capsicum annuum*) pollen in relation to its germination[J].Physiologia plantarum,2001,112(4):505-512.
- [26] 邓化冰,王天顺,肖应辉,等.低温对开花期水稻颖花保护酶活性和过氧化物积累的影响[J].华北农学报,2010,25(S2):62-67.
- [27] LEE J Y,LEE D H.Use of serial analysis of gene expression technology to reveal changes in gene expression in *Arabidopsis* pollen undergoing cold stress[J].Plant physiology,2003,132(2):517-529.
- [28] 李莉,李佳,高青,等.昼夜温差对番茄生长发育、产量及果实品质的影响[J].应用生态学报,2015,26(9):2700-2706.
- [29] 许霞.花粉特性在番茄分类、耐寒及杂交育种上的应用研究[D].泰安:山东农业大学,2003.
- [30] 焦和平.番茄高效栽培不同器官对温度的要求[J].现代农村科技,2012(10):21.
- [31] GEISENBERG C,STEWART K.Field crop management[M]//ATHERTON J,RUDICH J.The tomato crop: A scientific basis for improvement. London:Chapman and Hall,1986:511-517.
- [32] KAKANI V G,REDDY K R,KOTI S,et al.Differences in *in vitro* pollen germination and pollen tube growth of cotton cultivars in response to high temperature[J].Annals of botany,2005,96(1):59-67.
- [33] NARGES K,JIRAIR C,KALANTARI K M.Effects of heat stress on pollen viability and pollen tube growth in pepper[J].Research journal of biological sciences,2008,3(10):1159-1162.