

# 紫外线、超声波和LED光照处理对3个品种草莓种子发芽的影响\*

洪志伟<sup>1</sup>, 王元涛<sup>1</sup>, 善学渝<sup>1</sup>, 袁崇峰<sup>1</sup>, 杨加柳<sup>1</sup>, 宁晋<sup>1</sup>,  
王羽<sup>1</sup>, 宁眺<sup>1</sup>, 李晶<sup>1,2\*\*</sup>

(1. 昆明学院 农学与生命科学学院 云南省高校都市型现代农业工程研究中心, 云南 昆明 650214;

2. 香格里拉市藏美农业科技有限责任公司, 云南 迪庆 674400)

**[摘要]** 对比不同时长紫外线、超声波和LED光照对3个品种草莓种子萌发的影响, 测定种子的发芽率、发芽势、发芽指数, 以探寻促进草莓种子萌发的最佳处理时间. 结果表明, 紫外线90 min处理下, 红颜草莓种子发芽率最高; 紫外线处理60 min下, 章姬、香野草莓种子发芽率最高. 超声波处理25 min可促进章姬、香野种子的萌发, 但红颜种子在超声波处理下发芽率低于CK, 且差异不显著. LED红蓝6:1光照处理可促进红颜、章姬草莓种子的萌发, 但香野草莓种子在LED光照处理下的萌发情况不及CK, 且差异不显著.

**[关键词]** 紫外线; 超声波; LED灯; 草莓种子; 发芽率

**[中图分类号]** S668.4 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5639(2024)03-0124-09

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2024.03.017

草莓是蔷薇科多年生草本浆果, 有“浆果皇后”的美誉<sup>[1]</sup>. 目前国内外研究草莓新品种和新材料的主要手段是杂交育种, 通过人工选育, 并对后代优良品种单株进行选择. 草莓果实是由许多小瘦果聚生在肉质的花托上而形成的聚合瘦果<sup>[2]</sup>, 但由于其籽粒小、种皮厚、吸水透气性差, 还可能存在着较多导致休眠的抑制物质, 因此, 草莓种子不易萌发, 种子繁殖成苗率低. 草莓的发芽率和种子品质直接影响到育种工作的效率和成果. 发芽率高的种子可以更快地生长和发育, 从而提高繁殖效率和生产力. 此外, 发芽率低的种子还可能导致植株数量不足, 影响到育种繁育的选择和筛选过程.

前人为了提高草莓种子的发芽率展开了大量研究工作, 通过硫酸处理<sup>[3]</sup>、温度处理<sup>[4]</sup>、切开草莓种子表皮处理<sup>[5]</sup>、暗处理<sup>[6]</sup>等方法来提高草莓种子的发芽率. 罗天宽等<sup>[5]</sup>发现将成熟种子切开培养可明显提高草莓种子的发芽率和整齐度, 切开处理可能去除了种皮对种仁萌发的物理障碍. 霍恒志等<sup>[3]</sup>用浓硫酸处理草莓种子, 提高了种子的发芽速度和发芽率, 说明浓硫酸处理可减少种皮的厚度, 有利于种子的萌发. 李靖<sup>[6]</sup>等发现暗培养与光培养差异不大, 可能与培养过程中光质及草莓品种不同有关. 上述处理方式都比较复杂, 操作比较费时, 不太适合处理大批量的种子, 但可作为重要材料或少量种子的催芽手段.

近年来, 紫外线、超声波、单一光质或混合光质配比处理技术被用于农业生产. 由于其应用方式简单、无污染、可大面积应用, 因此逐渐引起了国内外同行的重视. 紫外线会对种子内部的结构产生一定的作用, 从而导致种子的发芽率会呈现出提高或者下降的趋势. 一般而言, 紫外线特别是UV-C及UV-B对植物的负面影响较多. 唐莉娜等<sup>[7]</sup>研究表明, UV-B辐射增强会明显抑制水稻生长. 胡正华等<sup>[8]</sup>研究表明, 紫外线处理会使菠菜种子发芽率降低. 然而, 郭彦等<sup>[9]</sup>研究表明紫外线照射水稻种子能提高发芽率

\* [收稿日期] 2023-11-11

[作者简介] 洪志伟, 男, 福建南安人, 昆明学院在读硕士研究生, 研究方向为资源利用与植物保护.

\*\* [通信作者] 李晶, 男, 上海人, 昆明学院教授, 博士, 研究方向为智慧农业与分子遗传, E-mail: lijing@kmu.edu.cn.

[基金项目] 昆明市春城计划青年拔尖人才项目(C201914005); 云南省中青年学术与技术带头人后备人选项目(202205AC160043); 云南省兴滇英才计划创业人才项目(XDYC-CYRC-2022-0002).

和发芽势, 并增加水稻中蛋白质和纤维素的含量. 王敏等<sup>[10]</sup>研究表明紫外线也可以提高花生种子淀粉酶活性和脂肪酶活性. 方媛等<sup>[11]</sup>研究表明增强 UV-B 辐射对两种甘草种子的发芽率、发芽势及发芽指数的影响并不显著. 上述研究说明紫外线辐射对不同植物种子萌发的影响效果存在差异, 且目前还未有关于紫外线处理草莓种子萌发研究的相关报道.

超声波的生物学效应主要表现在消毒效应、热效应以及机械效应. 一般来说, 适当条件下的超声波处理可以改变种子的生理代谢, 打破种子休眠, 提高种子的发芽率<sup>[12,13]</sup>. 王永等<sup>[14]</sup>研究表明, 超声波处理对一把伞南星种子发芽率、发芽势、发芽指数均有促进作用. 郭孝武<sup>[15]</sup>研究发现, 超声波处理可以提高烤烟种子发芽率, 并促进幼苗长叶和生根. 赵艳等<sup>[16]</sup>发现, 超声波能促进油菜种子萌发. 另外, 陈丽容等<sup>[17]</sup>研究表明, 不同时长超声波处理对波斯菊及五彩石竹种子萌发和幼苗生长影响并不显著. 然而, 颜旭等<sup>[18]</sup>研究结果表明, 超声波处理对草莓种子的萌发具有一定的抑制作用, 由于该研究未涉及不同处理时长的试验条件, 因此, 这一结果可能存在一定的不确定性. 从前人的研究结果可以看出, 不同植物种子对超声波处理的反应不同. 为了更准确地探索草莓种子在超声波处理下的萌发特性, 本文设计了一系列不同时长的超声波处理试验.

可见光通过适宜的光信号来诱导种子萌发, 终止种子休眠. 刘卫城等<sup>[19]</sup>研究表明, 红光下黄瓜种子发芽率最高, 而蓝光处理则显著低于对照. 刘青青等<sup>[20]</sup>发现, 红光处理下杉木种子萌发被抑制, 但杉木幼苗的生长得到促进. 雷桓等<sup>[21]</sup>发现红、橙、青、蓝及红外光对绿豆种子的萌发无明显影响, 而紫光和黄光对绿豆种子的发芽率和发芽势有显著促进作用. 韦峰等<sup>[22]</sup>研究表明随着红蓝复合光中红光比例的增加, 辣椒种子发芽率、发芽指数都逐渐增大. 林魁等<sup>[23]</sup>研究表明, 蓝光占比大的复合光处理会抑制生菜种子的萌发. 还有许多研究<sup>[24,25]</sup>表明不同光质对种子萌发的作用显著. 而目前还未有关于 LED 光照处理草莓种子萌发的研究报道.

本文拟采用紫外线、超声波和 LED 光照等处理方法对草莓种子进行发芽试验. 上述处理方法具有操作简便, 易于掌握, 适用于大规模种子处理等特点, 且在草莓种子处理相关研究领域, 尚存在研究空间. 本次试验将选取红颜、香野和章姬这 3 种国内畅销的草莓品种作为研究对象, 旨在为草莓新品种的选育工作提供参考. 试验结果将为草莓育种的发展提供有价值的信息, 为进一步探索草莓种子萌发特性, 提高种子发芽率、发芽势、发芽指数提供新方法.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及地点

本试验所采用的材料来源于云南省迪庆藏族自治州香格里拉市藏美庄园基地, 种子来自田间自然授粉的草莓浆果, 品种有红颜、香野和章姬. 果实成熟后适时采摘, 削下草莓果皮贴在干燥的吸水纸上晾干, 3~4 d 后, 在果皮表面揉搓、采集种子. 试验地位于昆明学院农学楼环境调控与植物生理实验室.

### 1.2 试验设计

将种子用无菌水冲洗杂质, 阴凉处风干水分备用. 选取 3 种草莓种子各 50 粒, 在 10% 次氯酸钠溶液中浸泡 5 min 后取出, 用清水冲洗 3 次, 每个处理 3 次重复. 试验设 3 种物理处理如下:

1) 紫外线处理, 采用紫外线杀菌灯 (天津广泽特种光源有限公司生产) 照射, 紫外灯管为 20 W, 放射波峰是 260 nm. 无紫外线作用为空白对照组 (CK), 设置 4 个照射时间段 (30, 60, 90, 120 min) 为试验组.

2) 超声波处理, 使用 Scientz-S15L 恒温超声波种子处理机 (宁波新芝生物科技股份有限公司生产) 处理种子, 功率为 1 500 W, 频率为 60 kHz. 无超声波作用为空白对照组 (CK), 设置 4 个处理时间 (15, 25, 35, 45 min) 为试验组.

3) 不同 LED 光照处理, 采用 LED 红光育苗灯 (12 W)、LED 蓝光育苗灯 (12 W) 和 T5 管状荧光灯 (24 W) (广东佛山照明公司生产). 无光照作用为空白对照组 (CK), 设置 5 个处理组 (白光、红蓝 6:1、红蓝 6:2、红蓝 6:4, 各处理照射 24 h) 为试验组. 处理后每日观察, 保证滤纸湿润, 种子发芽以种子露白, 胚根和幼芽突破种皮为准. 自发芽之日起每 2 d 记录一次发芽数, 第 21 d 结束.

1.3 测定指标

$$\text{发芽率} = \text{发芽种子数} / \text{供试种子数} \times 100\% ; \quad (1)$$

$$\text{发芽势} = 15 \text{ d 内发芽的种子数} / \text{供试种子数} \times 100\% ; \quad (2)$$

$$\text{发芽指数} = \sum G_t / D_t, \quad (3)$$

上式中,  $G_t$  为  $t$  天内的发芽种子数,  $D_t$  为发芽天数<sup>[26]</sup>.

1.4 数据分析

采用 SPSS 22 和 Origin 2022 软件对数据进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 紫外线处理对红颜、章姬和香野草莓种子萌发的影响

不同时长紫外线照射处理对3个品种草莓种子发芽率的影响见表1、表2和表3. 从表1可见, 红颜种子在第11 d开始萌发, CK和处理时长30, 60, 90 min的发芽率为2.67%, 在处理时长为120 min时, 发芽率最低, 为2.00%, 各处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 在处理的第21 d, 处理90 min的种子发芽率最高, 为48%, 较CK提高了10.67个百分点, 且与其他处理存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 处理时长30, 60, 120 min的发芽率均低于CK. 从表2可见, 章姬草莓种子处理第11 d开始萌发, CK与处理处理时长30, 60, 90, 120 min的发芽率分别为3.33%, 1.33%, 3.33%, 2.67%, 2.00%, 各处理间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 在种子处理的第21 d, 处理60 min的种子发芽率最高, 为39.33%, 较CK提高了10个百分点, 且与其他处理相比差异显著 ( $P < 0.05$ ); 处理30 min和120 min下的发芽率均小于CK. 从表3可见, 香野草莓种子在处理11 d的发芽率在1.33%~2.67%之间, 各处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 在处理的第21 d, 处理60 min与CK发芽率最高, 为19.33%, 处理30, 90, 120 min的发芽率较CK分别降低了8.96, 2.00, 3.33个百分点.

不同时长紫外线照射对3个品种草莓种子发芽势和发芽指数的影响如图1所示. 红颜草莓种子在90 min紫外线处理下的发芽势最高, 为16.67%, 较CK提高了1.34个百分点, 且无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 30, 60, 120 min紫外线处理下的发芽势均低于CK (图1(a)). 红颜草莓种子在90 min紫外线处理下的发芽指数最高, 为4.08, 较CK上升了0.80, 且显著差异 ( $P < 0.05$ ); 紫外线处理时长30, 60, 120 min的发芽指数在1.83~2.51之间, 均低于CK (图1(d)). 章姬草莓种子在60 min紫外线处理下, 发芽势最高, 为18.00%, 较CK提高了0.67个百分点, 且无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 30, 90, 120 min紫外线处理下的发芽势分别为9.33%, 13.33%, 6.68%, 较CK降低了8.00, 4.00, 10.66个百分点 (图1(b)). 章姬草莓种子在60 min紫外线处理下的发芽指数最高, 为3.35, 较CK上升了0.16, 处理间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 30, 90, 120 min紫外线处理下的发芽指数分别为1.34~2.87之间, 较CK降低了1.00, 0.31, 1.86 (图1(e)). 香野草莓种子在60 min紫外线处理下的发芽势最高, 为10.67%, 较CK提高了1.34个百分点, 且处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 30, 90, 120 min紫外线处理下的发芽势较CK分别降低了3.33, 2.66, 3.33个百分点 (图1(c)). 此外, 香野草莓种子在60 min紫外线处理下的发芽指数也是最高, 为1.92, 较CK上升了0.09, 且处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 30, 90, 120 min紫外线处理下的发芽指数分别为1.17~1.46之间, 较CK分别下降了0.66, 0.37, 0.50 (图1(f)).

表1 不同时长紫外线处理下不同时段红颜草莓种子发芽率

处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	8.00 ± 2.00 <sup>ab</sup>	15.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	21.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	31.33 ± 2.31 <sup>b</sup>	37.33 ± 2.31 <sup>b</sup>
30 min	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	6.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>	8.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	14.00 ± 2.00 <sup>c</sup>	18.00 ± 3.46 <sup>c</sup>	24.00 ± 2.00 <sup>c</sup>
60 min	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>ab</sup>	11.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	17.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	22.67 ± 2.31 <sup>c</sup>	28.67 ± 2.31 <sup>c</sup>
90 min	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	9.33 ± 2.31 <sup>a</sup>	16.67 ± 3.06 <sup>a</sup>	29.33 ± 4.16 <sup>a</sup>	39.33 ± 3.06 <sup>a</sup>	48.00 ± 2.00 <sup>a</sup>
120 min	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	5.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	8.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	13.33 ± 1.15 <sup>c</sup>	20.00 ± 2.00 <sup>c</sup>	24.00 ± 2.00 <sup>c</sup>

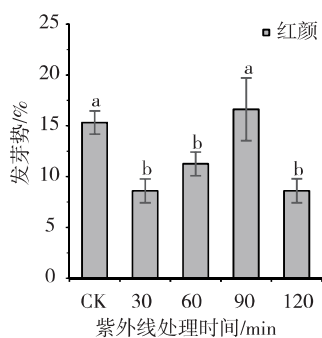
注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下表同.

表 2 不同时长紫外线处理下不同时段章姬草莓种子发芽率

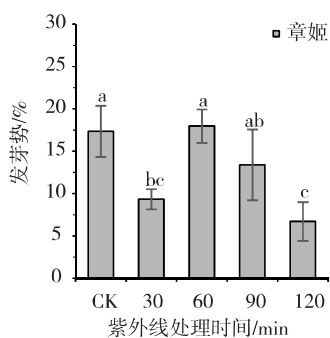
处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	3.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	17.33 ± 3.06 <sup>a</sup>	22.67 ± 3.06 <sup>ab</sup>	25.33 ± 2.31 <sup>b</sup>	29.33 ± 1.15 <sup>b</sup>
30 min	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	4.00 ± 0 <sup>b</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>bc</sup>	18.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	21.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	24.00 ± 3.46 <sup>c</sup>
60 min	3.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	8.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	18.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	25.33 ± 2.31 <sup>a</sup>	33.33 ± 2.31 <sup>a</sup>	39.33 ± 1.15 <sup>a</sup>
90 min	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	6.67 ± 3.06 <sup>ab</sup>	13.33 ± 4.16 <sup>ab</sup>	20.00 ± 4.00 <sup>ab</sup>	27.33 ± 6.42 <sup>ab</sup>	31.33 ± 1.15 <sup>b</sup>
120 min	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	3.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	6.67 ± 2.31 <sup>c</sup>	8.67 ± 2.31 <sup>c</sup>	12.00 ± 2.00 <sup>c</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>d</sup>

表 3 不同时长紫外线处理下不同时段香野草莓种子发芽率

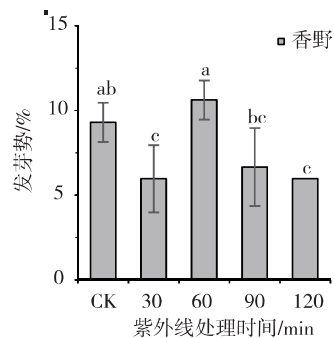
处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	4.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>	12.67 ± 2.31 <sup>a</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	19.33 ± 3.06 <sup>a</sup>
30 min	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	4.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>c</sup>	7.33 ± 2.31 <sup>c</sup>	8.67 ± 3.06 <sup>b</sup>	10.67 ± 1.15 <sup>b</sup>
60 min	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	5.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	10.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	13.33 ± 2.31 <sup>a</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	19.33 ± 1.15 <sup>a</sup>
90 min	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	6.67 ± 2.31 <sup>bc</sup>	12.00 ± 2.00 <sup>ab</sup>	14.67 ± 2.31 <sup>a</sup>	17.33 ± 1.15 <sup>a</sup>
120 min	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	2.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	6.00 ± 0 <sup>c</sup>	8.67 ± 1.15 <sup>bc</sup>	12.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>a</sup>



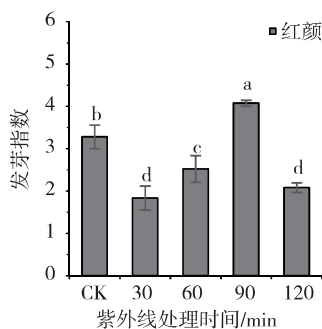
(a) 红颜草莓种子发芽势对比



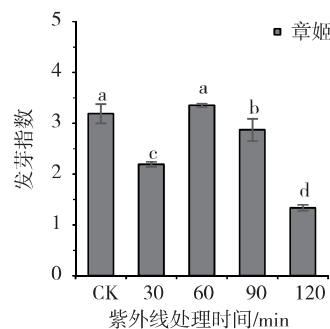
(b) 章姬草莓种子发芽势对比



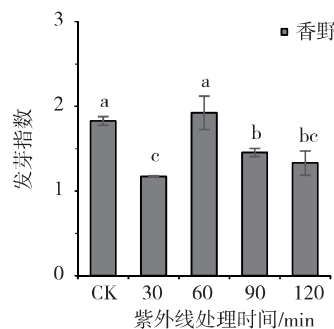
(c) 香野草莓种子发芽势对比



(d) 红颜草莓种子发芽指数对比



(e) 章姬草莓种子发芽指数对比



(f) 香野草莓种子发芽指数对比

注: 不同小写字母表示各处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下图同。

图 1 不同紫外线处理下草莓种子的发芽势和发芽指数对比

## 2.2 超声波处理对红颜、章姬和香野草莓种子萌发的影响

不同时长超声波处理对 3 个品种草莓种子发芽率的影响见表 4, 表 5 和表 6. 从表 4 可见, 红颜草莓种子在前 11 d 的发芽率在 1.33% ~ 4.67% 之间. 在处理的第 21 d, CK 处理发芽率最高, 为 37.33%, 且与其他处理存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 其他处理较 CK 分别降低了 18.00, 8.00, 13.33, 9.96 个百分点. 从表 5 可见, 章姬草莓种子在处理的第 11 d, 处理时长 25 min 的种子发芽率为 5.33%, 较 CK 提高了 2.00 个百分点. 处理时长 15 min 的种子发芽率为 1.33%, 较 CK 降低了 2.00 个百分点; 在第 21 d, 处理

时长 25 min 的种子发芽率最高, 为 44.67%, 较 CK 提高了 5.34 个百分点, 且与其他处理差异显著 ( $P < 0.05$ ); 处理时长 15, 35, 45 min 的种子发芽率较 CK 降低了 16.66, 16.66, 12.66 个百分点. 从表 6 可见, 香野草莓种子在处理第 11 d, 各处理发芽率均不超过 2.00%; 在种子处理第 21 d, 25 min 超声波处理下, 香野草莓种子发芽率最高, 为 23.33%, 较 CK 提高了 4.00 个百分点, 且差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 15 min 和 45 min 超声波处理下, 种子发芽率较 CK 分别降低了 2.00 个和 4.66 个百分点.

不同时长超声波处理对 3 种草莓种子发芽势和发芽指数的影响如图 2 所示. 红颜草莓种子在 CK 处理下的发芽势最高, 为 15.33%, 且与其他处理相比差异显著 ( $P < 0.05$ ); 其他处理较 CK 分别降低了 7.33, 2.66, 3.33, 5.33 个百分点 (图 2 (a)). 此外, 红颜草莓种子在 CK 处理下发芽指数最高, 为 3.28, 其他处理较 CK 分别下降了 1.47, 0.49, 0.87, 1.24 (图 2 (d)). 章姬草莓种子在 25 min 超声波处理下的发芽势最高, 为 20.67%, 较 CK 提高了 3.34 个百分点, 且处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 其他处理较 CK 降低了 8.00, 5.33, 4.6 个百分点 (图 2 (b)). 章姬草莓种子在 25 min 超声波处理下的发芽指数最高, 为 4.17, 较 CK 上升了 0.82, 且处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 超声波处理 15, 35, 45 min 下发芽指数在 1.65 ~ 2.57 之间, 较 CK 分别降低了 0.78, 0.79, 1.70 (图 2 (e)). 香野草莓种子在 25 min 超声波处理下的发芽势和发芽指数最高, 分别为 10.67% 和 2.51; CK 发芽势为 9.33%, 处理 15, 35, 45 min 下发芽势较 CK 分别降低了 4.00, 2.00, 2.66 个百分点 (图 2 (c)). 超声波处理 30 min 条件下发芽指数为 1.97, 较 CK 上升了 0.14, 且处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 超声波处理 15 min 和 45 min 条件下的发芽指数较 CK 分别下降了 0.47, 0.26 (图 2 (f)).

表 4 不同时长超声波处理下不同时段红颜草莓种子发芽率

%

处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	2.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>	8.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	15.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	21.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	31.33 ± 2.31 <sup>a</sup>	37.33 ± 2.31 <sup>a</sup>
15 min	1.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	4.00 ± 0 <sup>b</sup>	8.00 ± 2.00 <sup>c</sup>	14.00 ± 2.00 <sup>cd</sup>	16.67 ± 1.15 <sup>d</sup>	19.33 ± 1.15 <sup>d</sup>
25 min	4.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	6.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>	12.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>	18.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	25.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	29.33 ± 1.15 <sup>b</sup>
35 min	3.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>	6.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>	12.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	16.67 ± 1.15 <sup>bc</sup>	20.67 ± 1.15 <sup>c</sup>	24.00 ± 2.00 <sup>c</sup>
45 min	2.00 ± 0 <sup>ab</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>ab</sup>	10.00 ± 2.00 <sup>bc</sup>	13.33 ± 1.15 <sup>d</sup>	18.67 ± 1.15 <sup>cd</sup>	20.67 ± 1.15 <sup>d</sup>

表 5 不同时长超声波处理下不同时段章姬草莓种子发芽率

%

处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	3.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	17.33 ± 3.06 <sup>a</sup>	25.33 ± 2.31 <sup>b</sup>	33.33 ± 2.31 <sup>b</sup>	39.33 ± 1.15 <sup>b</sup>
15 min	1.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	14.00 ± 0 <sup>c</sup>	19.33 ± 1.15 <sup>cd</sup>	22.67 ± 1.15 <sup>d</sup>
25 min	5.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	11.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	20.67 ± 2.31 <sup>a</sup>	30.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	36.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	44.67 ± 1.15 <sup>a</sup>
35 min	3.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	12.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	15.33 ± 1.15 <sup>c</sup>	17.33 ± 1.15 <sup>d</sup>	22.67 ± 2.31 <sup>d</sup>
45 min	3.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	12.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>c</sup>	22.00 ± 2.00 <sup>c</sup>	26.67 ± 3.06 <sup>c</sup>

表 6 不同时长超声波处理下不同时段香野草莓种子发芽率

%

处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	4.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>	12.67 ± 2.31 <sup>ab</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	19.33 ± 3.06 <sup>ab</sup>
15 min	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	3.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	5.33 ± 1.15 <sup>c</sup>	8.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	12.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	17.33 ± 1.15 <sup>bc</sup>
25 min	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	10.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	14.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	19.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	23.33 ± 2.31 <sup>a</sup>
35 min	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	4.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	7.33 ± 2.31 <sup>bc</sup>	11.33 ± 2.31 <sup>ab</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	19.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>
45 min	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	4.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	6.67 ± 1.15 <sup>bc</sup>	11.33 ± 2.31 <sup>ab</sup>	14.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	14.67 ± 2.31 <sup>c</sup>

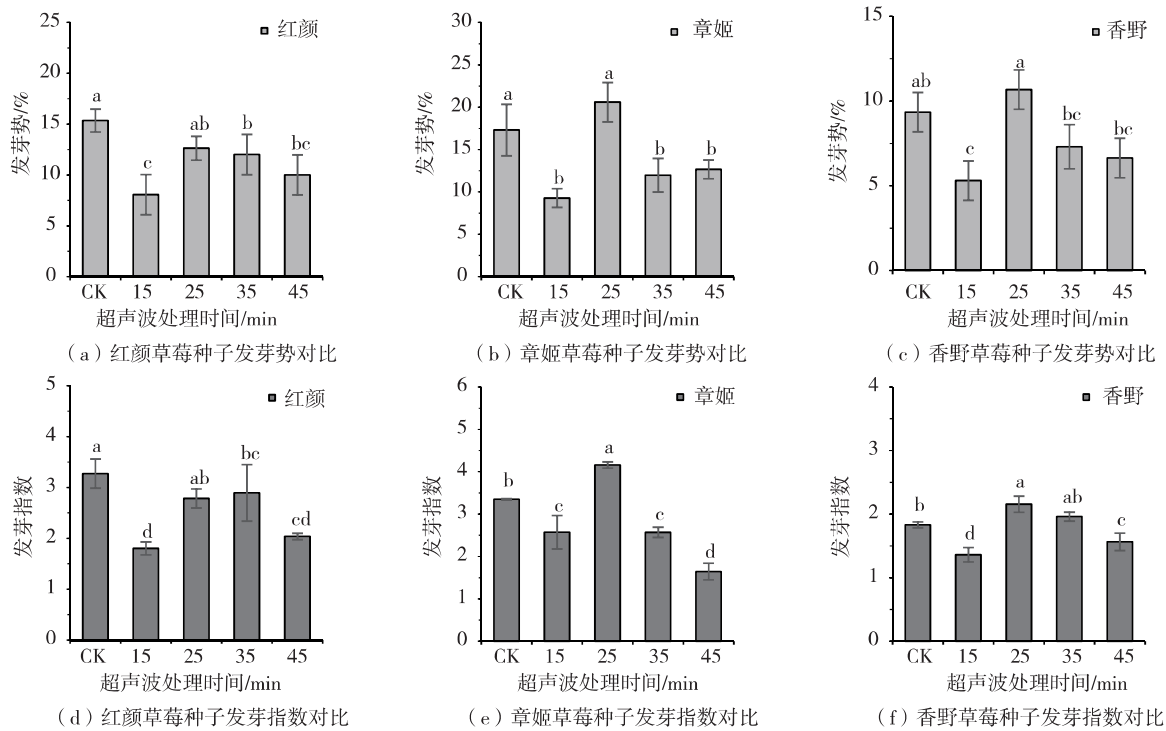


图 2 不同超声波处理下草莓种子的发芽势和发芽指数对比

### 2.3 LED 光照处理对红颜、章姬和香野草莓种子萌发的影响

不同 LED 光照对 3 个品种草莓种子发芽率的影响见表 7, 表 8 和表 9. 从表 7 可见, 红颜草莓种子在处理第 11 d, 各处理种子发芽率不超过 3.33%. 在处理的第 21 d, 红蓝 6:1 处理下发芽率最高, 为 37.33%, 较 CK 提高了 0.66 个百分点, 且与其他处理间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 白光、红蓝 6:2、红蓝 6:4 的发芽率较 CK 分别降低了 12.00, 12.67, 14.00 个百分点. 从表 8 可见, 章姬草莓种子在处理的 11 d, 红蓝 6:1 处理下种子发芽率最高, 为 5.33%, 较 CK 提高了 2.00 个百分点, 且与其他处理存在显著差异 ( $P < 0.05$ ). 在种子处理第 21 d, 红蓝 6:1 处理下种子发芽率最高, 为 46.67%, 较 CK 提高 7.34 个百分点, 且与其他处理存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 白光、红蓝 6:2、红蓝 6:4 的发芽率较 CK 处理降低了 10.66, 11.33, 12.00 个百分点. 从表 9 可见, 香野草莓种子在处理 11 d 后, 各处理种子发芽率均不超过 2.00%. 在种子处理 21 d 时, CK 处理下发芽率最高, 为 19.33%, 红蓝 6:1 处理次之, 为 16.67%, 且两者间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 白光、红蓝 6:2、红蓝 6:4 处理发芽率较 CK 分别降低了 4.66, 6.66, 8.00 个百分点.

不同 LED 光照对红颜草莓种子发芽势和发芽指数的影响如图 3 所示. 红颜草莓种子在红蓝 6:1 处理下的发芽势最高, 为 16.67%, 较 CK 提高了 1.34 个百分点, 处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 白光、红蓝 6:2、红蓝 6:4 发芽势较 CK 分别降低了 5.33, 2.00, 5.33 个百分点 (图 3 (a)). 在红蓝 6:1 处理下, 红颜草莓种子发芽指数最高, 为 3.43, 较 CK 上升了 0.15, 且处理间无显著差异 ( $P > 0.05$ ); 白光、红蓝 6:2、红蓝 6:4 发芽指数较 CK 分别下降了 1.08, 0.79, 0.99 (图 3 (d)). 章姬草莓种子在红蓝 6:1 处理下的发芽势最高, 为 20.00%, 较 CK 提高了 2.67 个百分点, 且处理间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 白光、红蓝 6:2、红蓝 6:4 发芽势较 CK 分别降低了 4.00, 4.66, 4.00 个百分点 (图 3 (b)). 章姬草莓种子在红蓝 6:1 处理下的发芽指数最高, 为 4.25, 较 CK 上升了 0.9, 且处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 白光、红蓝 6:2、红蓝 6:4 的发芽指数较 CK 分别下降了 0.65, 1.24, 0.50 (图 3 (e)). 香野草莓种子在 CK 处理下的发芽势最高, 为 9.33%, 且与其他处理差异显著 ( $P < 0.05$ ); 白光、红蓝 6:1、红蓝 6:2、红蓝 6:4 发芽势在 4.67% ~ 6.67% 之间 (图 3 (c)); 香野草莓种子在 CK 处理下的发芽指数最高, 为 1.83, 且与其他处理有显著差异 ( $P < 0.05$ ); 白光、红蓝 6:1、红蓝 6:2、红蓝 6:4 的发芽指数较 CK 分别下降了 0.15,

0.42, 0.76, 0.68 (图3(f)).

表7 不同光质 LED 光照下不同时段红颜草莓种子的发芽率

%

处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	8.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	15.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	21.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	31.33 ± 2.31 <sup>a</sup>	36.67 ± 2.31 <sup>a</sup>
白光	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	7.33 ± 1.15 <sup>ab</sup>	10.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	14.00 ± 2.00 <sup>d</sup>	20.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	24.67 ± 1.15 <sup>b</sup>
红蓝 6:1	3.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	16.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	24.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	30.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	37.33 ± 1.15 <sup>a</sup>
红蓝 6:2	2.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	8.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	13.33 ± 2.31 <sup>ab</sup>	16.67 ± 1.15 <sup>c</sup>	21.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	24.00 ± 1.15 <sup>b</sup>
红蓝 6:4	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	5.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	10.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	17.33 ± 1.15 <sup>c</sup>	22.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	22.67 ± 2.00 <sup>b</sup>

表8 不同光质 LED 光照下不同时段章姬草莓种子的发芽率

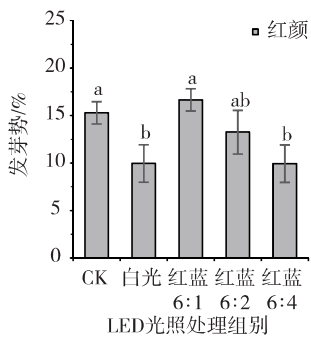
%

处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	3.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	17.33 ± 3.06 <sup>ab</sup>	25.33 ± 2.31 <sup>a</sup>	33.33 ± 2.31 <sup>b</sup>	39.33 ± 1.15 <sup>b</sup>
白光	2.00 ± 0 <sup>b</sup>	6.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	13.33 ± 2.31 <sup>bc</sup>	20.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	24.67 ± 1.15 <sup>c</sup>	28.67 ± 1.15 <sup>c</sup>
红蓝 6:1	5.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	10.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	20.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	28.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	38.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	46.67 ± 3.06 <sup>a</sup>
红蓝 6:2	2.00 ± 0 <sup>b</sup>	6.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	12.67 ± 2.31 <sup>c</sup>	20.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	24.67 ± 2.31 <sup>c</sup>	28.00 ± 2.00 <sup>c</sup>
红蓝 6:4	2.00 ± 0 <sup>b</sup>	5.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	13.33 ± 1.15 <sup>bc</sup>	20.00 ± 2.00 <sup>b</sup>	23.33 ± 3.06 <sup>c</sup>	27.33 ± 3.06 <sup>c</sup>

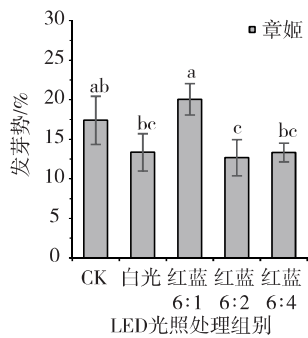
表9 不同光质 LED 光照下不同时段香野草莓种子的发芽率

%

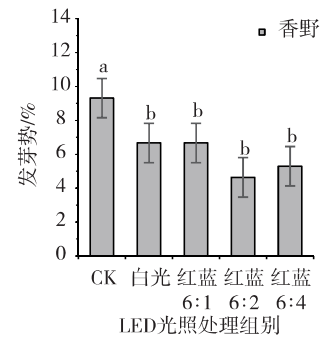
处理	11 d	13 d	15 d	17 d	19 d	21 d
CK	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	4.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	12.67 ± 2.31 <sup>a</sup>	16.00 ± 2.00 <sup>a</sup>	19.33 ± 3.06 <sup>a</sup>
白光	2.00 ± 0 <sup>a</sup>	5.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	6.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	12.67 ± 1.15 <sup>bc</sup>	14.67 ± 1.15 <sup>bc</sup>
红蓝 6:1	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	3.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	6.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	8.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	13.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	16.67 ± 1.15 <sup>ab</sup>
红蓝 6:2	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	4.00 ± 0 <sup>a</sup>	4.67 ± 1.15 <sup>b</sup>	7.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	10.67 ± 1.15 <sup>cd</sup>	12.67 ± 1.15 <sup>cd</sup>
红蓝 6:4	1.33 ± 1.15 <sup>a</sup>	4.67 ± 1.15 <sup>a</sup>	5.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	7.33 ± 1.15 <sup>b</sup>	9.33 ± 1.15 <sup>d</sup>	11.33 ± 1.15 <sup>d</sup>



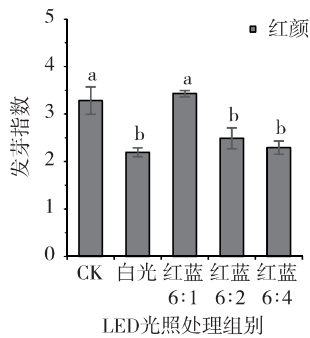
(a) 红颜草莓种子发芽势对比



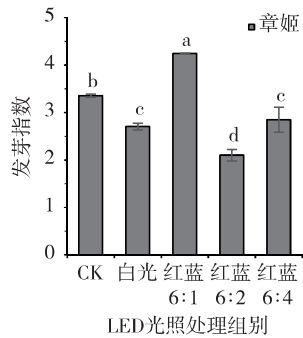
(b) 章姬草莓种子发芽势对比



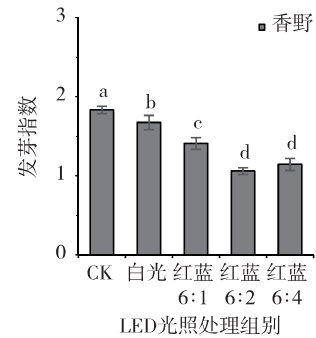
(c) 香野草莓种子发芽势对比



(d) 红颜草莓种子发芽指数对比



(e) 章姬草莓种子发芽指数对比



(f) 香野草莓种子发芽指数对比

图3 LED 光照处理下草莓种子的发芽势、发芽指数对比

### 3 讨论与结论

种子的萌发的生理变化过程复杂且过程间紧密相连, 易受不同环境因子的影响. 适当的预处理能够有效促进种子的萌发. 在甘草<sup>[11]</sup>、一把伞南星<sup>[15]</sup>、烤烟<sup>[16]</sup>、绿豆<sup>[21]</sup>等作物中, 紫外线、超声波和 LED 光照处理作为种子预处理方法已得到应用. 与传统技术 (如硫酸处理<sup>[3]</sup>、温度处理<sup>[4]</sup>、切开草莓种子表皮处理<sup>[5]</sup>、暗处理<sup>[6]</sup>) 相比, 这些方法的发芽率可能不及传统技术, 但具有操作简便、节省人工且高效的优点, 并且其风险较低, 适用于大批量种子处理.

本试验结果表明, 红颜草莓种子在 90 min 紫外线处理下的发芽率最高; 而章姬、香野草莓种子在 60 min 紫外线处理下的发芽率最高. 由此可知, 适当时长的紫外线照射可以提高草莓种子的发芽势和发芽率, 但随着照射时长的增加, 种子的发芽率和发芽势显著降低, 草莓种子的萌发被抑制, 这可能与种子的遗传特性有关. 由此可见, 紫外线对草莓种子萌发有重要影响, 适当的紫外线照射可以对种子的生长发育有促进作用.

章姬、香野草莓种子在 25 min 超声波处理下的发芽率最高; 而红颜种子在 CK 处理下的发芽率最高. 其原因可能与种子自身的特性有关, 可见不同品种草莓的种子所需的处理时间不同. 因此, 超声波处理时间过短或过长都不能很好地打破种子休眠, 处理时间过长甚至会抑制种子萌发. 此外, 除受时间影响外, 还有功率、频率、温度等其他因素, 本试验仅以超声波时长作为变量, 而要全面地探究超声波对草莓种子发芽的影响, 还需进一步的研究. 超声波是物理处理种子和幼苗方法中的一种, 有着物理方法的特点, 近年来在农业生产方面应用较多<sup>[27]</sup>. 本试验在颜旭<sup>[15]</sup>研究的基础上, 选用频率为 60 kHz 对草莓种子进行不同时间的处理, 发现超声波处理 25 min 下, 章姬、香野草莓种子发芽率有所提高.

红颜、章姬草莓种子在 LED 红蓝 6:1 光照处理下的发芽势最高, 而香野种子在 CK 处理下的发芽指数最高. 红颜、章姬、香野草莓种在不同 LED 光照处理下, 发芽率均降低. 不同光质照射可能导致种子内部结构发生变化, 进而促进或抑制种子萌发. 影响种子萌发的光环境因素主要包括光强、光质和光周期, 但本试验仅使用光质作为变量, 因此, 要全面地探究光照对草莓种子发芽的影响, 还需进一步的研究.

综上所述, 一定程度的紫外线、超声波和 LED 光照处理均会对草莓种子的萌发产生显著影响. 在适宜的紫外线处理下, 红颜草莓种子的发芽效果明显, 其在 90 min 紫外线处理下的发芽率、发芽指数和发芽势相对也高. 在适宜的超声波处理下, 章姬草莓种子的发芽效果明显, 其在 25 min 超声波处理下的发芽率、发芽指数和发芽势相对也高. 而在适宜的 LED 光照处理下, 章姬草莓种子的发芽效果明显, 其在 LED 红蓝 6:1 光照处理下的发芽率、发芽指数和发芽势相对也高. 本研究可为红颜、章姬、香野草莓育种应用提供新方法, 也可为其他品种草莓的培育提供参考. 实际应用中, 应根据草莓品种, 合理控制紫外线、超声波和 LED 光照的时间.

### [参考文献]

- [1] 邓明琴, 雷家军. 中国果树志: 草莓卷 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 104-116.
- [2] 梁中午, 庞晓倩, 冯彩莲, 等. 3 种浸种方法对草莓种子发芽率的影响 [C]//中国植物保护学会. 绿色植保与乡村振兴: 中国植物保护学会 2018 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018: 282.
- [3] 霍恒志, 糜林, 李金凤, 等. 提高草莓种子发芽率的研究 [J]. 江西农业学报, 2012, 24 (8): 51-53.
- [4] 顾见勋, 张松柏. 不同处理对草莓种子发芽的影响 [J]. 浙江农业科学, 2011, 52 (2): 270-273.
- [5] 罗天宽, 徐谦, 张小玲, 等. 草莓种子萌发影响因素研究 [J]. 种子, 2017, 36 (5): 82-83.
- [6] 李靖, 江国良, 孙淑霞, 等. 草莓不同方法发芽比较试验 [J]. 中国种业, 2008 (增刊 1): 90-91.
- [7] 唐莉娜, 林文雄, 吴杏春, 等. UV-B 辐射增强对水稻生长发育及其产量形成的影响 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (10): 1278-1282.
- [8] 胡正华, 索福喜, 赵晓莉, 等. UV-B 辐射增加与酸雨复合处理对菠菜种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 中国农学通报, 2005, 21 (6): 284-285.
- [9] 郭彦, 杨洪双, 梁明. 紫外线照射对水稻种子萌发的影响 [J]. 江苏农业科学, 2011, 39 (3): 89-90.
- [10] 王敏, 付蓉, 赵秋菊, 等. 种子物理处理技术研究进展 [J]. 作物杂志, 2008 (6): 102-106.



- [11] 方媛,于海宁,程曦,等. 增强UV-B辐射对甘草种子萌发及幼苗形态的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(2): 122-126.
- [12] QIN Y C, LEE W C, CHOI Y C, et al. Biochemical and physiological changes in plants as a result of different sonic exposures [J]. Ultrasonics, 2003, 41(5): 407-411.
- [13] WANG Q, CHEN G, YERSAIYITI H, et al. Modeling analysis on germination and seedling growth using ultrasound seed pre-treatment in switchgrass [J]. PLoS One, 2012, 7(10): 47204.
- [14] 王永,成忠均,周茂嫦,等. 不同种子处理方式对一把伞南星种子萌发的影响[J]. 农业工程技术, 2021, 41(8): 19-21.
- [15] 郭孝武. 超声波对烤烟种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 植物生理学通讯, 1994(5): 352-353.
- [16] 赵艳,杨青松,王莹,等. 不同时间超声波处理对油菜种子萌发的影响[J]. 种子, 2012, 31(10): 90-92.
- [17] 陈丽容,朱琪,徐鸿楠,等. 超声波处理对3种花苣种子萌发和生长的影响[J]. 种子, 2020, 39(3): 79-82.
- [18] 颜旭,文勇,韩庆新,等. 赤霉素、超声波对不同草莓品种种子萌发的影响[J]. 种子, 2018, 37(4): 85-88.
- [19] 刘卫成,韦峰,韩泽宇,等. 不同光质对黄瓜种子发芽、幼苗生长及抗寒性的影响[J]. 北方园艺, 2016(19): 59-62.
- [20] 刘青青,黄智军,郭思,等. 光质对杉木种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(8): 2361-2368.
- [21] 雷桓,陈慧仁,余丹,等. 不同光质照射对绿豆种子萌发及内源激素的影响[J]. 湖南农业科学, 2020(11): 24-26.
- [22] 韦峰,祁娟霞,李佳梅,等. 不同光质对辣椒种子萌发、幼苗生长及抗寒性的影响[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(11): 1932-1938.
- [23] 林魁,黄枝,徐永. 光质对生菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2018, 38(8): 32-39.
- [24] 张敏,朱教君,闫巧玲. 光对种子萌发的影响机理研究进展[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 899-908.
- [25] 赵停,李静,安衍茹,等. 光质、光强对远志种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(17): 68-73.
- [26] 国家技术监督局. 农作物种子检验规程 其他项目检验: GB/T 3543.7—1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [27] 张思聪,孔雷蕾,唐湘如. 超声波预处理对作物种子及幼苗的影响综述[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(21): 11-12.

### Effects of Ultraviolet, Ultrasonic and LED Light Treatments on Germination of Three Kinds of Strawberry Seeds

HONG Zhiwei<sup>1</sup>, WANG Yuantao<sup>1</sup>, SHAN Xueyu<sup>1</sup>, YUAN Chongfeng<sup>1</sup>, YANG Jialiu<sup>1</sup>,  
NING Jin<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>1</sup>, NING Tiao<sup>1</sup>, LI Jing<sup>1,2</sup>

(1. Urban Modern Agricultural Engineering Research Center for Yunnan Universities, School of  
Agronomy and Life Sciences, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214;  
2. Shangri La ZangMei Agricultural Technology Co., Ltd., Diqing, Yunnan, China 674400)

**Abstract:** The effects of different durations of ultraviolet, ultrasonic and LED lighting on the germination of three kinds of strawberry seeds were compared, and the germination rate, germination potential, and germination index of the seeds were measured to explore the best treatment time to promote the germination of strawberry seeds. The results showed that under ultraviolet treatment for 90 min, the germination rate of red strawberry seeds was the highest; under ultraviolet treatment for 60 min, the germination rates of Zhangji and Xiangye strawberry seeds were the highest. Ultrasonic treatment for 25 min can promote the germination of Zhangji and Xiangye seeds, but the germination rate of Hongyan seeds under ultrasonic treatment is lower than that of CK, and the difference is not significant. Under LED lighting treatment, the red and blue 6:1 treatment promoted the germination of Hongyan and Zhangji strawberry seeds, but the germination of Xiangye strawberry seeds under LED lighting treatment was lower than that of CK, and the difference was not significant.

**Key words:** ultraviolet light; ultrasound; LED light; strawberry seeds; germination rate

(责任编辑: 陈伟超)