

# 火龙果组培技术研究进展

叶维雁<sup>1</sup>, 欧景莉<sup>1\*</sup>, 覃少麟<sup>2</sup>, 潘如军<sup>1</sup>, 苏展<sup>2</sup>, 徐有海<sup>2</sup>, 郑文武<sup>1</sup>, 覃剑峰<sup>1</sup>

(1. 广西壮族自治区亚热带作物研究所, 广西南宁 530001; 2. 广西山区综合技术开发中心, 广西南宁 530012)

**摘要** 火龙果集观赏、食用和保健功能于一身, 是一种新兴的热带亚热带果树, 果实风味独特、营养丰富。该研究从外植体的选择和消毒、培养基的选择、不定芽的诱导和增殖、愈伤组织的诱导和增殖、愈伤组织的诱导分化和生根培养等方面对火龙果组织培养技术的研究现状进行了综述, 并提出了今后的展望, 旨在为火龙果组培技术的进一步发展提供科学依据。

**关键词** 火龙果; 组织培养; 技术

中图分类号 Q 813.1<sup>+</sup>2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)05-0035-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.05.009



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research Progress on Tissue Culture Technology of Pitaya

YE Wei-yan<sup>1</sup>, OU Jing-li<sup>1</sup>, QIN Shao-lin<sup>2</sup> et al (1. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning, Guangxi 530001; 2. Guangxi Mountainous Area Comprehensive Technology Development Center, Nanning, Guangxi 530012)

**Abstract** Pitaya is a new tropical and subtropical fruit tree with ornamental, edible and healthcare functions, the fruit has unique flavor and rich nutrition. In this research, the research status of pitaya tissue culture technology was reviewed including explant choice and sterilization, medium selection, adventitious bud induction and proliferation, callus induction and proliferation, callus differentiation and rooting culture. Finally the future prospect was presented, so as to provide scientific basis for the further development of pitaya tissue culture technology.

**Key words** Pitaya; Tissue culture; Technology

火龙果(*Hylocereus undulatus* Britt.) 又称红龙果、青龙果和仙蜜果等, 是仙人掌科(Cactaceae)量天尺属(*Hylocereus*)多年生植物<sup>[1-2]</sup>, 集观赏、食用和保健功能于一身, 原产于南美、北美及中美州热带地区, 目前在我国的广西、海南、广东、云南、福建等地都有大规模种植, 是一种新兴的热带亚热带果树<sup>[3-6]</sup>。果实风味独特, 营养丰富, 含有丰富的茶多酚、维生素、天然色素和水溶性膳食纤维, 以及植物性白蛋白、植物甾醇类化合物、功能性氨基酸和多糖等物质, 经常食用能降血压、降血脂、润肺、解毒、养颜、明目, 对便秘和糖尿病也有辅助治疗的作用, 对人体健康非常有益<sup>[7-14]</sup>。火龙果的繁殖方式有种子繁殖、扦插繁殖、嫁接繁殖和组织培养繁殖等, 其中组织培养不仅可在短期内获得大量苗木, 还可快速大量地保存优良种质, 对火龙果的快速、周年性生产以及大范围推广种植具有积极的推动作用。目前, 对火龙果组织培养的研究较多, 取得了一定成果。鉴于此, 笔者从外植体的选择、组培再生途径、生根培养等方面对火龙果组织培养技术进行综述, 以期对相关科研工作者和生产者提供参考, 促进火龙果组培技术的进一步发展。

## 1 外植体

**1.1 外植体的选择** 外植体的选择是植物组织培养的关键, 外植体选择的合适与否直接影响消毒、无菌体系建立以及整个组培流程的难易程度<sup>[15]</sup>。火龙果组织培养以茎段、花药和无菌种胚所发幼芽等为外植体, 经合适的灭菌过程,

建立无菌体系。目前火龙果组织培养大多采用茎段作为外植体, 王云山等<sup>[16]</sup>以 3 cm 长的火龙果幼嫩茎段为外植体诱导愈伤组织, 诱导率达 100%。黄春华等<sup>[17]</sup>分别采集新抽嫩茎段、近成熟茎段和老熟茎段作为外植体进行组织培养试验, 结果表明近成熟茎段是“蜜宝”火龙果组培最佳外植体。洪青梅等<sup>[18]</sup>以火龙果近成熟茎为外植体诱导不定芽, 诱导率达 80%。彭绿春等<sup>[19]</sup>认为, 保留刺座上小刺和绒毛的火龙果茎段更利于诱导不定芽萌发, 提高其组培快繁效率。黄青峰<sup>[20]</sup>以火龙果带刺座棱片切块为外植体, 直接诱导其刺座不定芽生长, 继而分化、增殖、生根成苗和移栽。范建新等<sup>[21]</sup>用火龙果花药诱导出愈伤组织, 增殖获得大量胚性愈伤组织, 再分化形成了不定芽。利用火龙果无菌种胚所发幼芽作为外植体, 可避免成熟茎段作为外植体易带菌、易污染等缺点, 具有再生能力强、长势均一等优点<sup>[22-24]</sup>。黄红梅等<sup>[25]</sup>确定了火龙果子叶的愈伤组织诱导效果最好, 子叶愈伤组织可以较容易诱导分化产生不定芽, 印证了 Infante<sup>[26]</sup>的观点, 即火龙果子叶是诱导愈伤组织的主要外植体来源。彭思维<sup>[27]</sup>认为, 火龙果种子诱导萌发率高, 对灭菌条件和基本培养基要求不高, 能够一次性诱导出大量无菌外植体, 对于大量试验十分有利。

**1.2 消毒处理** 采取外植体后, 要对外植体进行消毒, 这是植物组织培养中一个非常重要的环节。消毒剂的种类、浓度和作用时间等对消毒的成功十分重要。选择的消毒剂既要使外植体表面的微生物彻底杀死, 又要易于清洗或能够自行分解, 还要尽可能保护外植体组织和表层细胞。目前常见的消毒剂有乙醇(浓度 70%~75%)、氯化汞(浓度 0.1%~0.2%)、次氯酸钠(浓度 2%)、次氯酸钙(浓度 5%~10%)和双氧水(浓度 3%~10%)等<sup>[28-29]</sup>。李清香等<sup>[30]</sup>使用 75%乙醇消毒 20 s, 0.1%升汞消毒 10~15 min 的组合对“金都一号”

**基金项目** 广西重点研发计划(桂科 AB16380076); 广西农业科学院科技发展基金资助项目(桂农科 2020YM134, 桂农科 2021JM124); 南宁市重大科技专项(20162008); 南宁市重点研发计划(20172011-2); 广西科技重大专项(桂科 AA17204058-8)。

**作者简介** 叶维雁(1988—), 男, 广西合浦人, 助理研究员, 硕士, 从事果树生物技术研究。\* 通信作者, 助理研究员, 硕士, 从事果树育种研究。

**收稿日期** 2020-07-05

火龙果新萌芽的茎段进行表面消毒,污染率为 55.70%,并发现芽眼的刺座处一般污染比较严重。彭思维<sup>[27]</sup>认为火龙果茎段消毒 0.1%升汞的最佳处理时间为 8 min,而种子消毒则以 0.1%升汞浸泡 4 min 以上和 3%次氯酸钠浸泡 12 min 以上即可达到有效的消毒作用,且种子的成活率和萌发率不受影响。王云山等<sup>[16]</sup>以火龙果母茎上的新生茎段为外植体,用 0.1%升汞消毒 15 min 的污染率最低,但会导致材料大部分刺座及茎棱组织有褐化并逐渐坏死的现象,说明 15 min 的消毒时间过长,茎段组织细胞被杀死。邢玉良<sup>[31]</sup>取火龙果一年生幼嫩无病虫害枝条,切成长 2~4 cm 的茎段,用自来水冲洗 2 h,在超净工作台上用 75%乙醇浸泡茎段并摇晃 30 s,无菌水冲洗 4~6 次,再以 0.1%升汞浸泡 8 min,最后用无菌水冲洗 4~6 次,结果污染率低至 9.2%。

## 2 基本培养基

培养基作为植物组织培养的重要材料和营养来源,其组成成分直接影响外植体的脱分化与再分化状态,是起决定性作用的因素,只有配制出适宜的培养基,才能使组织培养成功。目前火龙果组织培养使用的基本培养基以 MS 和 1/2 MS 培养基最普遍。MS 培养基主要特点是无机盐浓度高,特别是硝酸盐、 $K^+$  和  $NH_4^+$  的含量高,各元素之间平衡较好,微量元素和有机物的种类较多,适用于多数营养需求量较大的植物,广泛用于植物的器官、花药、细胞和原生质体培养,效果良好。

## 3 组织培养再生途径

目前火龙果组织培养体系的建立主要有 2 种方式,即直接器官发生途径和间接器官发生途径。直接器官发生途径指不经过愈伤组织阶段,直接从外植体上诱导产生腋芽或不定芽,再进行增殖培养,产生丛生芽,最后进行生根培养;间接器官发生途径指由外植体脱分化形成愈伤组织,再诱导愈伤组织分化形成不定芽,最后诱导不定芽生根。

**3.1 直接器官发生** 直接器官发生途径周期短,所获得的再生植株不易发生变异,是火龙果离体快繁的有效途径。植物生长调节剂在培养基中的用量虽然微小,但其作用很大<sup>[32]</sup>,在火龙果组织培养不定芽的诱导中,细胞分裂素 6-BA 起着重要的调控作用,6-BA 单独使用或与其他植物生长调节剂组合可起到良好的效果。张领等<sup>[33]</sup>采用 MS+6-BA 4.0 mg/L+NAA 0.5 mg/L 的组合,火龙果不定芽诱导率达 58.33%,继代培养将 6-BA 浓度提高为 9.0 mg/L 时,增殖倍数达到 12。黄青峰<sup>[20]</sup>以 6-BA 5.00 mg/L、NAA 0.05 mg/L 的组合诱导不定芽效果最好,诱导率达 75%,增殖培养基用 MS+6-BA 5.00~8.00 mg/L+NAA 0.05~0.10 mg/L,继代周期 45 d,平均繁殖系数为 4.5。牟海飞等<sup>[34]</sup>认为 6-BA 浓度为 4.0 mg/L 时“桂红龙 1 号”芽的诱导效果最佳,6-BA 浓度越高,芽增殖倍数越高,但当 6-BA 达到 4.0 mg/L 时,芽出现玻璃化现象,IAA 的芽增殖效果优于 NAA,当 IAA 为 0.1 mg/L 时芽增殖效果较好,在培养基中添加 PP<sub>333</sub> 对抑制玻璃化和促进火龙果组培苗继代增殖的效果优于 AC。何小帆等<sup>[1]</sup>以培养基 MS+6-BA 3.0 mg/L+NAA 1.5 mg/L 诱导红

心火龙果不定芽,发芽率达 87.03%,以培养基 MS+6-BA 3.0 mg/L+NAA 1.5 mg/L+AC 0.2 g/L 增殖不定芽,增殖系数高达 7.33。彭绿春等<sup>[19]</sup>选用培养基 MS+6-BA 2.0~4.0 mg/L+NAA 0.1 mg/L 和 MS+TDZ 0.4~0.6 mg/L+NAA 0.1 mg/L 诱导不定芽,诱导率达 80%,以 MS+6-BA 2.0 mg/L+NAA 0.1 mg/L 为增殖培养基,增殖系数达 6.4,并发现活性炭对火龙果茎段增殖有一定的抑制作用。刘洪章等<sup>[35]</sup>试验得出火龙果组培快繁最好的增殖培养基为 MS+6-BA 3.0 mg/L+IAA 0.5 mg/L,最好的伸长培养基为 MS+6-BA 1.0 mg/L+NAA 1.0 mg/L,认为 6-BA 比 KT 更有利于火龙果的增殖。余慧琳等<sup>[36]</sup>发现,火龙果增殖培养中高浓度的 6-BA 易造成褐变,6-BA 4.0 mg/L+NAA 0.1 mg/L 的激素组合用于增殖培养效果最好。

**3.2 间接器官发生** 通过间接器官发生途径构建火龙果高效的再生体系,可进行火龙果的遗传转化工作,以提高种苗质量和改良品种。有关火龙果愈伤组织诱导和分化的研究已有报道,影响间接器官发生的关键性因素是植物生长调节剂的不同种类及浓度配比。黄红梅等<sup>[25]</sup>以火龙果子叶为材料诱导愈伤组织,最适培养基是 1/2 MS+2,4-D 2.0 mg/L+6-BA 1.0 mg/L,子叶愈伤组织可以较容易诱导分化产生不定芽,最优培养基为 1/2 MS+6-BA 4.0 mg/L+NAA 0.5 mg/L,但是发现来自茎段的愈伤组织是非胚性愈伤组织,未能分化出不定芽。邓仁菊<sup>[37]</sup>以春季萌发的长 10~20 cm 火龙果枝条诱导愈伤组织效果较好,最适的愈伤组织诱导培养基为 MS+TDZ 0.4 mg/L+KT 0.8 mg/L,暗培养 7 d,再转入光照培养,愈伤组织为黄绿色、致密状,外表有颗粒状突起;愈伤组织增殖培养基以 MS+TDZ 0.4 mg/L+KT(或 ZT) 0.8 mg/L 效果较好,增殖系数达到 8 以上;在愈伤组织分化过程中,添加 20%~30%的椰子水对不定芽的形成具有一定的促进作用,但总体上愈伤分化率较低。邢玉良<sup>[31]</sup>以一年生火龙果幼嫩枝条为外植体,在培养基 MS+6-BA 2.0 mg/L+TDZ 0.8 mg/L+NAA 0.1 mg/L 上,愈伤组织出愈率达 92.7%,愈伤组织块大,呈黄绿色致密细颗粒状,在培养基 MS+TDZ 0.4 mg/L+KT 0.5 mg/L+IBA 0.5 mg/L+NAA 0.2 mg/L 上对愈伤组织进行不定芽诱导,不定芽再生率达 87.2%,且芽呈绿色,茎段粗壮,长势健壮。彭思维<sup>[27]</sup>发现,在愈伤组织诱导试验中以启动培养基诱导成熟植株的幼嫩茎段获得“无菌茎段”作为外植体具有取材方便、污染率小且遗传稳定性强的优点,得到的愈伤组织在培养基 MS+TDZ 0.4 mg/L+2,4-D 1.0 mg/L+NAA 0.5 mg/L 上培养,丛生芽诱导率高达 94.0%,芽呈绿色、长势好,而以子叶诱导的愈伤组织在培养过程中褐化严重。范建新<sup>[38]</sup>以培养基 MS+6-BA 2.0 mg/L+2,4-D 1.0 mg/L+蔗糖 60 g/L 诱导“紫红龙”火龙果花药愈伤组织,诱导率达 37.8%,胚性愈伤组织为黄绿色、致密状,外表有颗粒状突起;愈伤组织增殖培养基以 MS+TDZ 0.4 mg/L+KT 0.8 mg/L 效果较好,增殖系数达 9.1 以上;愈伤组织再分化培养基为 MS+TDZ 0.4 mg/L+2,4-D 0.5 mg/L+NAA 0.6 mg/L 时,再分化率达 36.7%;经生根和

炼苗形成的完整植株用 SRAP 分子标记检测遗传性一致,能为火龙果基因工程育种和种苗快速繁育提供新的途径。

#### 4 生根培养

对于生根培养基,由于低无机盐浓度有利于植物根系的生长,火龙果离体生根主要采用 1/2 MS 添加不同浓度的生长素来诱导。林润怡<sup>[39]</sup>以培养基 1/2 MS+NAA 1.0 mg/L 诱导生根,生根率达 95.19%。邢玉良<sup>[31]</sup>以 1/2 MS+NAA 0.4 mg/L+IBA 0.3 mg/L+AC 500 mg/L 为生根培养基,生根率达 97.3%,平均每株生根数为 7.1 条,平均根长达 10.2 cm,生根苗长势健壮。何小帆等<sup>[1]</sup>以培养基 1/2 MS+NAA 0.5 mg/L+IBA 0.5 mg/L+AC 0.2 g/L+蔗糖 30 g/L+琼脂 4.6 g/L 诱导红心火龙果不定芽生根,生根率达 100%。周传明等<sup>[40]</sup>以 MS 为基本培养基,附加 IBA 1.5 mg/L 进行培养 7 d 后开始生根,培养 20 d 生根率达 96.7%。彭绿春等<sup>[19]</sup>以培养基 MS+NAA 0.3 mg/L+AC 1.0 g/L 进行生根培养,生根率达 100%,发现添加活性炭十分有利于生根,增殖培养基附加活性炭可同步增殖和生根,在 MS+6-BA 2~8 mg/L+NAA 0.1 mg/L+AC 1 g/L 培养基中能够实现火龙果一次成苗,增殖系数最高可达 3.55,生根率为 100%。

#### 5 炼苗移栽

组培苗移栽之前需要先对其进行炼苗,否则组培苗会因不适应有菌环境而容易死亡<sup>[41]</sup>。黄青峰<sup>[20]</sup>移栽前先将瓶苗移出恒温培养室,在室温及较强散射光中炼苗 5 d,打开瓶盖继续炼苗 2~3 d 后移栽,火龙果试管苗成活率达 86% 以上。张领等<sup>[33]</sup>认为火龙果试管苗驯化移栽前期要保持较高的空气湿度,有利于成活。何小帆等<sup>[1]</sup>认为,红心火龙果组培苗移栽适宜基质配比为 V(珍珠岩):V(红土):V(腐殖土)=1:1:1,其成活率达 98.9%。周传明等<sup>[40]</sup>将长有 2~3 条根、苗高 2~3 cm 的火龙果试管苗移栽于菜园土和细砂中,40 d 后移栽成活率均为 100%,但以细砂为基质的移栽苗木生长较好,苗较高,茎段粗壮、生长旺盛,认为火龙果组培苗的移栽需要有良好的透水、透气条件。

#### 6 展望

近年来,火龙果组织培养技术研究取得了不少进展,但也存在一些问题:一是不同学者研究得出的组培各阶段最适植物生长调节剂种类及浓度配比有差异,这可能与所取外植体的生长状态以及内源激素含量不同有关;二是火龙果组培技术的研究中大多是对单一品种进行培养基及植物生长调节剂浓度配比的研究,但火龙果品种较多,不同品种的消毒、诱导、增殖和生根的方法可能都存在差异;三是目前关于火龙果组培的报道主要集中在器官组培再生体系的建立,而在遗传改良、育种材料创制、种质保存等方面的研究较少。面对火龙果广阔的发展前景,今后可从以下 4 个方面展开研究,以推动火龙果产业的发展:一是通过培养条件的优化、离体再生体系的改进等,建立不同火龙果品种的组培技术体系;二是探讨火龙果组培过程中的一系列生理生化现象;三是利用组培技术进行遗传改良、种质创新,并结合基因工程技术,获取品质优、抗性好的火龙果种质;四是利用组培技术

进行火龙果种质资源的长期保存,研究种质在继代过程中的遗传稳定性。

#### 参考文献

- [1] 何小帆,丁文沙,钟源源,等.红心火龙果离体培养技术研究[J].云南农业大学学报(自然科学),2019,34(4):656-662.
- [2] 吴亚维,徐娟,韩秀梅,等.红白果肉颜色火龙果果肉转录组分析和基因功能注释[J].分子植物育种,2019,17(2):400-410.
- [3] 邓仁菊,范建新,王永清,等.成年火龙果植株茎段愈伤组织诱导、增殖及分化研究[J].西南农业学报,2019,32(3):595-603.
- [4] 李洪立,胡文斌,洪青梅,等.火龙果种质资源果实特性的遗传多样性分析[J].热带亚热带植物学报,2019,27(4):432-438.
- [5] 田新民,李洪立,何云,等.火龙果研究现状[J].北方园艺,2015(18):188-193.
- [6] 魏开发,李艺宣.火龙果转录组测序、基因表达与功能分析[J].植物科学学报,2019,37(2):198-210.
- [7] 农全东,张明永,张美,等.火龙果茎基因组 DNA 提取方法改良[J].植物学报,2019,54(3):371-377.
- [8] 张桂春,刘玉静,李延敏,等.火龙果果皮中可溶性膳食纤维的提取方法[J].植物学报,2017,52(5):622-630.
- [9] 叶维雁,欧景莉,郑文武,等.“桂热 1 号”火龙果的栽培管理技术[J].农业研究与应用,2019,32(Z1):55-58.
- [10] 王壮,王立娟,蔡永强,等.火龙果营养成分及功能性物质研究进展[J].中国南方果树,2014,43(5):25-29.
- [11] TENORE G C, NOVELLINO E, BASILE A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts[J]. Journal of functional foods, 2012, 4(1): 129-136.
- [12] 张福平.火龙果的营养保健功效及开发利用[J].食品研究与开发,2002,23(3):49-50.
- [13] 郑伟,王彬,蔡永强,等.火龙果新品种‘黔果 2 号’[J].园艺学报,2016,43(11):2285-2286.
- [14] 马媛媛,党璇,杨柳,等.火龙果药学研究概况[J].安徽农业科学,2011,39(35):21629-21630.
- [15] 王玉珍.现代植物组织培养原理及应用技术[M].北京:中国原子能出版社,2017.
- [16] 王云山,周美虹,康黎芳,等.火龙果茎段组织培养快繁技术研究[J].山西农业科学,2012,40(5):455-458,477.
- [17] 黄春华,杨健荣,梁秋玲,等.“蜜宝”火龙果的组织培养技术[J].热带农业工程,2013,37(3):31-33.
- [18] 洪青梅,胡文斌,李洪立,等.‘金都一号’火龙果组织培养之外植体处理优化及不定芽诱导[J].热带作物学报,2017,38(11):2119-2123.
- [19] 彭绿春,瞿素萍,苏艳,等.火龙果两步成苗组培快繁技术研究[J].西南农业学报,2014,27(6):2529-2533.
- [20] 黄青峰.火龙果的棱片离体培养[J].福建农业学报,2002,17(3):186-189.
- [21] 范建新,邓仁菊,王永清,等.火龙果花药培养诱导胚性愈伤组织及遗传稳定性[J].分子植物育种,2017,15(1):258-266.
- [22] 李羽佳,唐文,魏卿,等.黄皮白肉火龙果快繁体系的建立[J].热带作物学报,2018,39(4):716-719.
- [23] 谢志亮,吴振旺,增光辉.白玉火龙果成熟种子无菌萌发及组培技术研究[J].中国南方果树,2016,45(1):58-61.
- [24] 郑思成,文晓鹏.火龙果种胚的无菌快速催芽技术[J].种子,2011,30(7):76-78.
- [25] 黄红梅,任希望,刘清波.火龙果愈伤组织诱导与植株再生[J].植物生理学报,2012,48(6):584-588.
- [26] INFANTE R. In vitro axillary shoot proliferation and somatic embryogenesis of yellow pitaya *Mediocalcoccus coccineus* (Salm-Dyck) [J]. Plant Cell Tiss Organ Cult, 1992, 31(2): 155-159.
- [27] 彭思维.火龙果植株再生体系的建立[D].雅安:四川农业大学,2015.
- [28] 唐军荣,辛培尧,何承忠.植物组培快繁实例[M].北京:化学工业出版社,2017.
- [29] 白玉娥,乌日罕,代金玲,等.杨树组织培养研究进展[J].安徽农业大学学报,2019,46(3):466-470.
- [30] 李清香,吴红英.广西‘金都一号’火龙果组培技术[J].热带农业科学,2019,39(6):32-38.
- [31] 邢玉良.火龙果茎段组织再生体系建立与体细胞抗寒突变体诱导[D].雅安:四川农业大学,2016.
- [32] 王蒂.植物组织培养[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [33] 张领,赵佐敏,陈红艳,等.火龙果离体快繁与组培苗移栽驯化技术[J].贵州农业科学,2016,44(2):20-23.

- 艺及其抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2017, 42(8): 225-230.
- [19] 丁霄霄, 李凤伟, 余晓红. 响应面法优化复合酶提取灵芝总三萜工艺[J]. 食品工业, 2018, 39(8): 40-44.
- [20] FENG N, WEI Y T, FENG J, et al. Preparative isolation of ganoderic acid S, ganoderic acid T and ganoderol B from *Ganoderma lucidum* mycelia by high-speed counter-current chromatography [J/OL]. Biomedical chromatography, 2018, 32(10) [2020-03-25]. <https://doi.org/10.1002/bmc.4283>.
- [21] ZHANG J J, MA K, HAN J J, et al. Eight new triterpenoids with inhibitory activity against HMG-CoA reductase from the medical mushroom *Ganoderma leucocontextum* collected in Tibetan plateau [J]. Fitoterapia, 2018, 130: 79-88.
- [22] 张春杰. 南方灵芝、红平菇和红蜡蘑的次生代谢产物研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2015.
- [23] TENG X Q, ZHANG W Q, SONG Y Y, et al. Protective effects of *Ganoderma lucidum* triterpenoids on oxidative stress and apoptosis in the spleen of chickens induced by cadmium [J]. Environmental science and pollution research international, 2019, 26(23): 23967-23980.
- [24] 冯娜, 骆军鑫, 贾薇, 等. 灵芝发酵菌丝体中活性物质的研究[C]//2012年中国菌物学会学术年会会议摘要. 北京: 中国菌物学会, 2012.
- [25] 张忠, 张劲松, 刘艳芳, 等. 分光光度法测定灵芝中总三萜含量方法探讨[J]. 上海农业学报, 2016, 32(1): 61-65.
- [26] 丁平, 邱金英, 梁英娇, 等. 灵芝三萜类化学成分指纹图谱研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(18): 2356-2359.
- [27] 贾红岩, 王亚涛, 张芝华, 等. 高效液相色谱法测定不同产地及品种灵芝三萜类成分的含量[J]. 微生物学通报, 2017, 44(1): 238-244.
- [28] BORBIERI A, QUAGLIARIELLO V, DEL VECCHIO V, et al. Anticancer and anti-inflammatory properties of *Ganoderma lucidum* extract effects on melanoma and triple-negative breast cancer treatment [J]. Nutrients, 2017, 9(3): 1-9.
- [29] BRYANT J M, BOUCHARD M, HAQUE A. Anticancer activity of ganoderic acid DM: Current status and future perspective [J]. Journal of clinical & cellular immunology, 2017, 8(6): 1-15.
- [30] ZHANG Y. *Ganoderma lucidum* (Reishi) suppresses proliferation and migration of breast cancer cells via inhibiting Wnt/ $\beta$ -catenin signaling [J]. Biochemical and biophysical research communications, 2017, 488(4): 679-684.
- [31] SHARMA C, BHARDWAJ N, SHARMA A, et al. Bioactive metabolites of *Ganoderma lucidum*: Factors, mechanism and broad spectrum therapeutic potential [J/OL]. Journal of herbal medicine, 2019, 17/18 [2020-04-15]. <https://doi.org/10.1016/j.jhermed.2019.100268>.
- [32] FENG Z H, WU R, LIN M H, et al. Tumor suppressor p53: New functions of an old protein [J]. Frontiers in biology, 2011, 6(1): 58-68.
- [33] PENG X R, LI L, DONG J R, et al. Lanostane-type triterpenoids from the fruiting bodies of *Ganoderma applanatum* [J]. Phytochemistry, 2019, 157: 103-110.
- [34] CHIU H F, FU H Y, LU Y Y, et al. Triterpenoids and polysaccharide peptides-enriched *Ganoderma lucidum*: A randomized, double-blind placebo-controlled crossover study of its antioxidant and hepatoprotective efficacy in healthy volunteers [J]. Pharmaceutical biology, 2017, 55(1): 1041-1046.
- [35] LIU L Y, CHEN H, LIU C, et al. Triterpenoids of *Ganoderma theaeacolum* and their hepatoprotective activities [J]. Fitoterapia, 2014, 98: 254-259.
- [36] RAJASEKARAN M, KALAIMAGAL C. Cardioprotective effect of a medicinal mushroom, *Ganoderma lucidum* against adriamycin induced toxicity [J]. International journal of pharmacology, 2012, 8(4): 252-258.
- [37] DASKAYA-DIKMEN C, YUCETEPE A, KARBANCIOGLU-GULER F, et al. Angiotensin-I-converting enzyme (ACE)-inhibitory peptides from plants [J]. Nutrients, 2017, 9(4): 1-19.
- [38] DUDHGAONKAR S, THYAGARAJAN A, SLIVA D. Suppression of the inflammatory response by triterpenes isolated from the mushroom *Ganoderma lucidum* [J]. International immunopharmacology, 2009, 9(11): 1272-1280.
- [39] HASNAT M A, PERVIN M, CHA K M, et al. Anti-inflammatory activity on mice of extract of *Ganoderma lucidum* grown on rice via modulation of MAPK and NF- $\kappa$ B pathways [J]. Phytochemistry, 2015, 114: 125-136.
- [40] JIAO Y, XIE T, ZOU L H, et al. Lanostane triterpenoids from *Ganoderma curtisii* and their NO production inhibitory activities of LPS-induced microglia [J]. Bioorganic & medicinal chemistry letters, 2016, 26(15): 3556-3561.
- [41] PAYDARY K, KHAGHANI P, EMAMZADEH-FARD S, et al. The emergence of drug resistant HIV variants and novel anti-retroviral therapy [J]. Asian Pacific journal of tropical biomedicine, 2013, 3(7): 515-522.
- [42] SMITH D C, REDMAN B G, FLAHERTY L E, et al. A phase II trial of oral diethylstilbestrol as a second-line hormonal agent in advanced prostate cancer [J]. Urology, 1998, 52(2): 257-260.
- [43] GAO Y H, ZHOU S F, HUANG M, et al. Antibacterial and antiviral value of the genus *Ganoderma* P. Karst. species (Aphyllophoromycetidae): A review [J]. International journal of medicinal mushrooms, 2003, 5(3): 235-246.
- [44] CÖR D, KNEZ Z, KNEZ HRNIC M. Antitumour, antimicrobial, antioxidant and antiacetylcholinesterase effect of *Ganoderma lucidum* terpenoids and polysaccharides: A review [J]. Molecules, 2018, 23(3): 1-21.
- [45] CHEN X Q, ZHAO J, CHEN L X, et al. Lanostane triterpenes from the mushroom *Ganoderma resinaceum* and their inhibitory activities against  $\alpha$ -glucosidase [J]. Phytochemistry, 2018, 149: 103-115.
- [46] OLUBA O M. *Ganoderma* terpenoid extract exhibited anti-plasmodial activity by a mechanism involving reduction in erythrocyte and hepatic lipids in *Plasmodium berghei* infected mice [J]. Lipids in health and disease, 2019, 18(1): 1-9.
- [47] CHEN S D, LI X M, YONG T Q, et al. Cytotoxic lanostane-type triterpenoids from the fruiting bodies of *Ganoderma lucidum* and their structure-activity relationships [J]. Oncotarget, 2017, 8(6): 10071-10084.
- [48] HSU P L, LIN Y C, NI H, et al. *Ganoderma* triterpenoids exert antiatherogenic effects in mice by alleviating disturbed flow-induced oxidative stress and inflammation [J]. Oxidative medicine and cellular longevity, 2018, 2018: 1-11.

(上接第37页)

- [34] 牟海飞, 刘洁云, 黄永才, 等. 火龙果离体培养茎段灭菌及芽诱导增殖研究[J]. 西南农业学报, 2017, 30(6): 1439-1444.
- [35] 刘洪章, 刘艳军, 苗博瑛. 火龙果组培增殖快繁技术研究[J]. 天津农业科学, 2012, 18(5): 32-34.
- [36] 余慧琳, 王爱武. 火龙果保健价值及离体快繁关键技术[J]. 广东农业科学, 2009, 36(8): 102-104.
- [37] 邓仁菊. 火龙果对低温胁迫的生理响应及离体诱变筛选抗寒突变体研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015.
- [38] 范建新. 农杆菌介导的火龙果遗传转化体系建立及转 LTP 基因提高抗寒力研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2017.
- [39] 林润怡. 红皮红肉型火龙果离体培养体系的优化及多倍体诱导的初步研究[D]. 广州: 广州大学, 2016.
- [40] 周传明, 黄寿先, 熊英, 等. 火龙果茎段离体培养快速繁殖试验[J]. 广西科学, 2002, 9(1): 78-80.
- [41] 王镭, 张英杰, 张京伟, 等. 月季组培快繁技术研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2019(6): 179-182.