

# 蓝莓组织培养技术研究进展

张孟琪<sup>1</sup>, 秦公伟<sup>1, 2\*</sup>, 曹小勇<sup>1, 2</sup>, 孙海燕<sup>1, 2</sup>, 邓茜茜<sup>1</sup>

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西汉中 723000; 2. 陕西省资源生物重点实验室, 陕西汉中 723000)

**摘要** 蓝莓作为新兴健康水果, 受到广大消费者的喜爱, 具有广阔的发展前景。综述了近年来蓝莓组织培养技术的研究进展, 旨在总结出蓝莓组织培养技术现状和存在问题, 提出问题解决思路, 为建立高效、低成本的蓝莓组织快繁技术体系提供参考。

**关键词** 蓝莓; 组培技术; 现状; 思路

中图分类号 S663.9 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)07-0023-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.07.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research Progress on Tissue Culture Technology of Blueberry

ZHANG Meng-qi<sup>1</sup>, QIN Gong-wei<sup>1, 2</sup>, CAO Xiao-yong<sup>1, 2</sup> et al (1. College of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000; 2. Shaanxi Province Key Laboratory of Bio-resources, Hanzhong, Shaanxi 723000)

**Abstract** As a new healthy fruit, blueberry is favored by consumers and has a broad development prospect. This paper comprehensively discusses the research of blueberries tissue culture in recent years. The aim was to summarize the technical status and problems of tissue culture of blueberry, put forward solutions to the problems, and provide ideas for the establishment of efficient and low-cost tissue rapid propagation technology system.

**Key words** Blueberry; Tissue culture technique; Status; Solution

蓝莓学名越橘, 由于果实通常为蓝色小浆果, 俗称“蓝莓”。属杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium*)植物。越橘属全球约450种, 分布于北半球温带、亚热带、美洲和亚洲的热带山区, 我国已知有91种, 24个变种, 2个亚种<sup>[1-2]</sup>。蓝莓果肉香甜具独特风味, 富含多种氨基酸、矿物质和维生素, 尤其含有大量的花青素和黄酮, 可以保护视力、增强人体免疫力、防癌抗癌, 被联合国粮农组织列为人类五大健康食品之一<sup>[3-4]</sup>。

蓝莓具有良好的口感和保健作用, 广受消费者的欢迎, 也受到生产者、农业科学家和政府的关注, 蓝莓产业具有广阔的发展前景。我国自20世纪80年代初开始发展蓝莓产业, 目前国内栽种面积不断扩大, 产量和果实品质有大幅提升, 但与国外的蓝莓产业相比还有一定差距。当前制约蓝莓产业发展的主要原因有自主知识产权品种少、区域合理规划有待落实、土壤改良不到位等<sup>[5]</sup>。通过建立植物的高效再生体系, 进行植物组织培养有助于新品种选育、落实品种区域化栽培。我国开展了许多蓝莓优选品种的离体快繁研究, 组织培养技术已在生产中广泛运用并成为蓝莓育苗的主要方式。该研究综述了近年来蓝莓组织培养技术的研究进展, 以期建立高效、低成本蓝莓组织快繁体系提供思路, 为蓝莓产业的快速发展提供理论技术参考。

## 1 外植体的选择及处理

**1.1 品种选择** 目前, 国内蓝莓主要栽培的有三大品种群: 矮丛蓝莓(*Vaccinium angustifolium*)、高丛蓝莓(*Vaccinium*

*corymbosum*)和兔眼蓝莓(*Vaccinium ashei*)<sup>[6-7]</sup>。矮丛蓝莓以野生资源为主, 抗旱抗寒, 适合在寒冷地区栽种。高丛蓝莓又分为北高丛蓝莓, 南高丛蓝莓和半高丛蓝莓, 北高丛蓝莓和半高丛蓝莓抗寒能力强且休眠期长, 适合在我国北方栽种, 南高丛蓝莓适合在我国南方地区栽种。兔眼蓝莓产量大, 抗逆性强, 休眠期较短适合在我国南方栽种<sup>[8]</sup>。

李亚东等<sup>[9]</sup>的蓝莓产业调研显示, 全国蓝莓栽培品种呈现南方产区多品种化、北方产区优化稳定的特点。南方产区主要栽培的品种涵盖了南高丛、北高丛和兔眼3个品种群。南高丛品种主要栽种的有“奥尼尔”“绿宝石”“明星”等, 北高丛品种主要栽种的有“布里吉塔”“蓝丰”“北陆”等, 兔眼蓝莓品种主要栽种的有“灿烂”“顶峰”“蓝园”等。北方主要栽培的品种为“公爵”“蓝丰”“雷格西”“奥尼尔”等。

科研工作者应依据本地自然资源禀赋, 引进优良蓝莓品种, 经过区域试验筛选出适生品种进行苗木繁育技术研究, 获得苗木应用于当地生产。生产者在进行蓝莓产业发展时, 应依据各产区的气候土壤条件, 以适地适生原则, 选择优良蓝莓品种类型, 避免盲目种植<sup>[10]</sup>。在蓝莓的组织培养技术研究中, 程磊等<sup>[11]</sup>使用的试验材料是通过评选, 从日本引进的适应四川环境、果实产量较高、品质优良的3个蓝莓品系。饶宝蓉等<sup>[12]</sup>试验所选用的品种“夏普蓝”生长势较强、较丰产、品质佳, 为江南地区推广面积较大的品种。

**1.2 外植体的选择** 在蓝莓组织培养中外植体的选择很重要, 在很大程度上影响着快繁体系的建立。在蓝莓组织培养中可使用种子、叶柄、叶片、休眠枝条、茎段等作为外植体, 但在实际生产过程中通常使用茎段或者叶片作为外植体进行组培。王大平<sup>[13]</sup>研究发现, 采取蓝莓不同部位外植体进行组织培养后, 茎段相对取材更容易且萌发率最高。茨韦特科夫·约旦等<sup>[14]</sup>研究发现, 茎段比顶芽和茎尖的接种效果好, 繁殖倍数最高可达60~70倍。外植体的取材时间也是影响

**基金项目** 陕西省委组织部“高层次人才特殊支持计划”区域发展人才项目(陕组通字[2018]33号); 陕西省教育厅研发专项项目(20JS027)。

**作者简介** 张孟琪(1995—), 女, 陕西汉中, 硕士研究生, 研究方向: 植物生物技术。\*通信作者, 副教授, 硕士生导师, 从事蓝莓新品种选育及其高效栽培技术研究。

**收稿日期** 2021-11-09; **修回日期** 2021-11-29

蓝莓快繁体系建立的重要因素。涂俊凡等<sup>[15]</sup>研究发现,兔眼蓝莓在4月下旬至6月上旬进行茎段取材最佳,4月份取材污染率最低且萌芽率最高。孙晓梅等<sup>[16]</sup>在4月、7月、11月初对矮丛蓝莓进行取材,发现最佳时间为4月,污染率最低。苏艳等<sup>[17]</sup>通过对不同天气条件下的外植体进行采集,发现晴天采集时外植体污染率与阴雨天相比明显较低,所以应该在晴天采集外植体且植株上最好没有露水(或水珠)。综上所述,外植体采集时间应在4—5月,最好选择晴天进行取材,茎段应是最佳的外植体材料。

**1.3 外植体的处理** 在蓝莓组织培养中,外植体的消毒处理是无菌体系建立的重要环节。基本原则是:在最大程度杀死外植体表面的微生物的前提下,同时保持外植体材料的活性。所以选择消毒剂的种类和消毒的时长是影响消毒处理结果的关键性因素。外植体采集回来后对外植体先去除其衰老、病残组织。刘明群等<sup>[18]</sup>研究发现,在蓝莓外植体消毒处理前,对外植体进行10℃低温处理可以降低褐变率,还能在一定程度上提高茎段的萌发率。去除外植体叶片保留叶柄,在去污剂中浸泡10 min后进行流水冲洗,75%乙醇消毒30 s后用无菌水冲洗2~3次,使用0.2%升汞灭菌8 min,用无菌水漂洗4~5次的灭菌效果最佳,成活率为91.8%。孙晓梅等<sup>[16]</sup>研究认为,带腋芽茎段最佳消毒方法为:75%乙醇浸泡30 s后用无菌水冲洗1遍,使用0.1%升汞消毒8 min,无菌水冲洗5遍。阳翠等<sup>[19]</sup>研究发现,以北高丛蓝莓“莱格西”为外植体,去掉叶片和顶芽,使用洗衣液浸泡30 min后流水冲洗2 h,75%乙醇处理3 min,再在0.1%升汞浸泡6 min,最后用无菌水清洗6次,污染率为7.00%,萌芽率达92.47%。结合目前研究可知,消毒剂选用75%乙醇配合0.1%升汞灭菌效果相对最佳,处理时间一般依据外植体的幼嫩情况来控制。

## 2 培养基的选择

**2.1 基本培养基的筛选** 基本培养基作为维持外植体生存的基本营养来源,在蓝莓的组织培养过程中有着重要作用。目前已使用过的种类有MS、WPM、CQWL、White、B5、LM、Knops等,其中WPM培养基作为木本植物组织培养专用培养基,较为适合蓝莓进行离体培养,Wolfe等<sup>[20]</sup>比较了7种培养基,发现WPM作为基本培养基效果最好。目前还衍生出了很多改良型培养基,比如1/2WPM培养基(WPM中大量元素减半)、改良WPM培养基[Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O、KNO<sub>3</sub>、C<sub>10</sub>H<sub>13</sub>FeN<sub>2</sub>NaO<sub>8</sub>和盐酸硫酸素代替原培养基中的K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、CaCl<sub>2</sub>等盐类]、MW培养基(MS与WPM以1:1比例混合)等。在蓝莓组织培养相关研究中,一般以WPM培养基作为建立蓝莓离体快繁基本培养基使用最多<sup>[21-24]</sup>,其次为WPM改良型培养基。

**2.2 初代培养基的筛选** 将消毒处理后的外植体接种到初代培养基上进行培养,可获得大量无菌材料建立无菌繁殖体系。筛选出适合蓝莓外植体生长的初代培养基,可以促进外植体生长为健壮的组培苗。王艳辉<sup>[25]</sup>研究发现,在蓝莓外植体诱导培养阶段,MW培养基的外植体存活率最高,WPM

次之,MS效果最不好。同时,不同的蓝莓品种在相同培养基上的表现不尽相同,同一蓝莓品种在不同的培养阶段适合的基本培养基也不完全相同。部分学者认为改良型WPM培养基与WPM培养基相比效果更佳。汤伟华<sup>[26]</sup>认为改良WPM适合蓝莓茎段的初代培养。黄科等<sup>[27]</sup>研究发现,WPM培养基在诱导培养30 d后出现顶芽枯萎并且植株死亡现象,通过以MW、酸梅培养基为基础配成CQML培养基,可以使幼芽在诱导培养中长势良好。

**2.3 继代培养基的筛选** 经过了初代培养,获得了一定数量的无菌材料,需要经过进一步的增殖培养。廉家盛<sup>[28]</sup>通过比较B5、MS、WPM和White 4种培养基发现,蓝莓品种“美登”茎段最适合的增殖培养基为B5。王艳辉<sup>[25]</sup>通过对4个蓝莓品种的增殖培养发现,MW培养基的增殖效果最好,其次是WPM培养基。胡选萍等<sup>[29]</sup>研究发现,WPM与MS培养基在诱导“戴安娜”的增殖及愈伤形成方面差异不明显,推测培养基类型可能不是蓝莓离体培养的重要效应变量,而其中起调控的关键因子可能是培养基中生长调节剂的浓度与配比。

## 3 激素对组培苗的影响

**3.1 激素的种类** 在植物组织培养过程中,通过在不同阶段的培养基中添加植物激素可以促进植物进行脱分化与再分化。尤其是生长素类和细胞分裂素类激素,在培养基中添加合适比例的细胞分裂素和生长素可促进不定芽的诱导、侧芽的增殖和生长,对蓝莓离体培养有着重要的影响。目前在蓝莓组织培养过程中经常使用的激素种类有玉米素(ZT)、萘乙酸(NAA)、吲哚丁酸(IBA)、异戊烯基腺嘌呤(2ip)等。

一般认为细胞分裂素ZT对蓝莓茎段的诱导和萌发起重要调控作用<sup>[22-23,30]</sup>,在进行培养的过程中,单独使用ZT或将ZT与其他的生长调节剂进行配比,均产生了良好的效果。在蓝莓组培苗初代培养阶段,朱宏芬等<sup>[21]</sup>研究认为,兔眼蓝莓“灿烂”以WPM为基本培养基添加(0.5~1.0)mg/L ZT为最适幼芽诱导。其研究结果与李森等<sup>[22]</sup>的一致,高丛越橘“奥尼尔”外植体诱导腋芽萌发最佳条件为WPM中添加ZT 1.0 mg/L。汤伟华<sup>[26]</sup>通过试验发现,在4个蓝莓品种的茎段丛生芽诱导过程中,添加ZT可以提高萌发率,添加生长素NAA对萌发没有促进作用。

在蓝莓组培苗的继代培养阶段,肖海峻等<sup>[24]</sup>研究发现,以WPM为基础培养基,添加玉米素对蓝莓侧芽增殖的促进效果最佳,不同品种使用同一浓度玉米素其增殖效果不相同,综合分析认为蓝莓茎段增殖时使用玉米素浓度最佳为0.5~1.0 mg/L。张力思等<sup>[23]</sup>研究认为,以4个蓝莓品种作为试材,WPM培养基为基础,添加玉米素蓝莓茎段增殖效果相对最佳,反玉米素居中,反玉米素核苷的增殖效率相对最低。与其研究结果不同,尹利方等<sup>[31]</sup>以“康维尔”的茎段作为外植体,LM作为基本培养基,发现反玉米素核苷更有利于增殖培养,且成本更低。上述文献说明,不同蓝莓品种在诱导、增殖阶段所需的细胞分裂素和激素浓度不完全相同,还需要做进一步研究。

**3.2 激素的浓度** 激素的浓度也是影响蓝莓离体培养效率的重要因素。李军萍等<sup>[30]</sup>以南高丛品种“奥尼尔”茎段为外植体,以改良 WPM 为基础培养基设置 4 个 ZT 浓度(0.5、1.0、2.0、3.0 mg/L),当 ZT 浓度为 2.0 mg/L 时,腋芽诱导效果最佳。廖容等<sup>[32]</sup>以“蓝丰”的茎段作为试材,添加不同浓度的 6-BA 和 NAA 进行外植体诱导,研究发现 MS+2.0 mg/L 6-BA+0.2 mg/L NAA 为最佳的茎段诱导培养基。杨艳敏等<sup>[33]</sup>以“斯巴坦”“北陆”“伯克利”3 个蓝莓品种为试材,研究发现不同 ZT 浓度对不同品种的增殖效果不同,当 ZT 与 IBA 配合使用后试管苗生长更健壮,WPM+0.5 mg/L ZT+0.1 mg/L IBA+0.5 mg/L GA<sub>3</sub> 为增殖最佳培养基。

通过前人研究结果可以发现,不同蓝莓品种适应不同的基本培养基、激素种类和激素浓度,因此在生产实践中需要通过试验筛选不同品种的最佳组织培养组合,以提高蓝莓组培繁育效率。

#### 4 pH 对瓶苗生长的影响

蓝莓适宜在 pH 4.2~5.5 的酸性土壤生长<sup>[34]</sup>,在组织培养过程中,培养基内的 pH 同样对蓝莓组培苗的生长发育有重要的影响。曹增强等<sup>[35]</sup>引进保加利亚品种进行研究,将 pH 设置为 4.5、5.0、5.4、6.0、6.5、7.0 6 个浓度梯度,发现蓝莓组织培养中最适宜 pH 为 5.4。当 pH 过低(4.5)或过高(7.0)时,蓝莓组培苗的分枝、株高和叶片大小颜色都会有显著变化;当培养基 pH 为 6.0~6.5 时组培苗分支增加,叶片变小且颜色会变黄或呈淡紫色。分析原因为,pH 为 6.0~7.0 时组培苗 Zn、P、K、Mn 元素的吸收会受到抑制,当 pH 为 4.5 时 Cu、P、K、Mg、Mn 元素的吸收会被抑制,pH 为 7.0 时 Fe、Ca、B 元素的吸收会提升。尹利方等<sup>[31]</sup>设置 4.5、5.0、5.5、6.0 4 个 pH 梯度,研究结果显示,蓝莓品种“康维尔”最适宜的 pH 值为 6.0。涂俊凡等<sup>[36]</sup>将兔眼越橘初代培养基的 pH 设置为 4.8、5.1、5.4、5.6 4 个梯度,研究发现当 pH 为 5.4 时粉蓝和顶峰 2 个品种丛生芽萌发,当 pH 为 4.8 时灿烂丛生芽萌发。

由上述文献可以看出,在瓶苗生长过程中,比较适宜的 pH 为 4.8~5.4,不同蓝莓品种对 pH 的需求有所不同,应筛选各品种的适合 pH 进行组织培养。笔者研究发现,当培养基 pH 设置过低时,培养基不易凝固,呈液态或半凝固状态,不利于组培苗的固定和生长;当 pH 过高时,易产生较多愈伤组织阻碍组培苗生长。

#### 5 组培苗的生根培养

**5.1 瓶内生根** 蓝莓为浅根系植物,根系不发达且没有根毛,在组织培养过程中存在生根效率低、速度慢及质量差的问题,因此,大多数学者从培养基类型、激素种类及浓度、pH 等方面进行了大量研究。低无机盐浓度对植物的根系生长有益,大多数的蓝莓生根选择 1/2WPM 培养基作为基础培养基<sup>[37-41]</sup>,添加不同浓度生长素。梁文卫等<sup>[37]</sup>研究发现,蓝莓品种“美登”无根试管苗在以脱脂棉为支持物,添加 1/2WPM、2.0 mg/L IBA、0.2 mg/L NAA 和 20 g/L 蔗糖的培养基中培养 10 d 后即可生根,生根率达 100%。陶兴魁等<sup>[38]</sup>

研究发现,蓝莓品种“公爵”接种在 1/2 改良 WPM 培养基的生根率很大程度上高于改良 WPM、IBA 和 NAA 均可诱导组培苗生根,但 IBA 效果更佳。周双等<sup>[39]</sup>研究发现,pH 5.0~5.8 有助于根系的诱导和生长,pH 6.0~6.6 产生抑制作用。韩德伟<sup>[40]</sup>以蓝莓品种“斯巴坦”“北陆”为试材,研究 IBA 对蓝莓离体快繁生根的影响,发现将组培苗在 200 mg/L IBA 中浸蘸 5 s 后再接种到基本培养基中提升了生根率 14% 以上,并且缩短了生根周期。暗处理和组培苗的继代次数也是蓝莓组培苗生根的重要影响因素。宋刚等<sup>[41]</sup>研究发现,对组培苗进行约 1 周的暗培养后再进行光照培养,可以明显提高生根率;试管苗继代数达到 5 代后,才可进行生根培养,而且生根率会不断提高。

**5.2 瓶外生根** 瓶外生根是将组培苗直接扦插在灭菌后的基质中生根,此方法可提高生根速度、节约育苗成本,并且生根苗更为健壮,因而在实际生产中使用较广泛。李京等<sup>[42]</sup>研究发现,蓝莓苗瓶外生根过程中,影响其生根效率的因素重要程度排序为:激素种类的选择、基质种类、激素浓度和处理时间。组培苗蘸取 500 mg/L 的生根粉后,扦插到珍珠岩:草炭土 1:1 的基质中,生根率在 70% 以上,且苗木粗壮。黄国辉等<sup>[43]</sup>研究发现,不同生根基质对生根率有较大影响,基质为苔藓的生根率最高且苗根健壮,其次是草炭土,珍珠岩与河沙不宜为瓶外生根基质。杨艳敏等<sup>[33]</sup>发现,使用海藻素进行瓶外生根,浓度为 667 mg/L 时生根效果最佳,生根率为 92.6%~98.8%。

目前,瓶内生根和瓶外生根在蓝莓的苗木生产中都有应用。刘忠辉等<sup>[44]</sup>比较了瓶内固体培养基生根、瓶外生根和瓶内浅层液体培养基生根 3 种方法的生根效果,研究发现,瓶内浅层液体培养基生根效果最佳,生根率为 70%~90%。与其研究结果不同,王淑珍等<sup>[45]</sup>研究认为,蓝莓组培苗瓶外生根效果更佳,繁殖速率是瓶内生根的 1.7~2.6 倍。

从上述文献可知,近年来研究者对蓝莓组培苗的最佳生根方式还未达成一致结论,不同蓝莓品种所使用的最佳生根方式还需进一步研究筛选。生产者应根据自身产业基础来选择不同生根方式,如企业有较好的育苗设施及管护条件时,可选择瓶外生根提高生根速率,反之则可选择瓶内生根的方式。

#### 6 基质苗繁育

经过组培繁育的生根苗,往往移栽入营养钵内继续培养成苗,被称为钵苗繁育。陈小涛等<sup>[46]</sup>通过实践发现,营养钵过小易出现矮化苗和半根苗,营养钵规格至少 16 cm×16 cm,有条件的可改用石棉袋,透气性强,根系更发达。钵内基质一般使用疏松土壤、草炭、锯末、珍珠岩等<sup>[47-49]</sup>。韦庆和等<sup>[47]</sup>将蓝莓组培苗生根培养 3 个月后移栽入营养钵,钵内基质疏松壤土、腐熟有机肥、松针或腐锯末比例为 1:1:1,混合少量化肥和适量杀菌剂、杀虫剂,pH 4.5~5.5,蓝莓苗生长状态良好。陈华江等<sup>[48]</sup>选用草炭、河沙和园土按照 4:3:3 的比例进行配置营养钵,钵苗生长良好。王林等<sup>[49]</sup>筛选出田园土、锯末、河砂、珍珠岩、草炭、猪粪有机肥作为营养钵基质,

于每年春季的2月下旬—4月上旬,秋季9月下旬—11月上旬进行移栽,生根苗移栽成活率可达到99.5%以上。

## 7 田间移栽

将二年的钵苗进行田间定植,是蓝莓生产过程中非常重要的环节。不同产区的土壤气候差别很大,需要因地制宜制定选择蓝莓品种和进行土壤改良。同时,李永强等<sup>[50]</sup>研究发现,蓝莓定植时最好进行品种搭配,栽种2种以上品种有利于提高果实品质和产量,成熟期接近的品种最好集中种植,有利于进行采收。并且蓝莓在春季或者秋季均可定植,但秋栽优于春栽。应根据所在产区及田园管理条件选择春栽或秋栽,如产区冬季干冷多风,园地又无良好灌溉条件,更适合春栽。田间定植应选择生长健壮、根系发达的钵苗,在栽种前若发现根系满钵缠绕,要将苗木从营养钵取出破根团,整理蓝莓根系,否则苗木会生长不良甚至死亡。栽种时苗木根部不能埋得过深,栽苗深度以蓝莓苗坨与坨面齐平,苗坨上方覆土深度不超过1 cm深<sup>[51]</sup>。

## 8 展望

我国的蓝莓研究和产业发展虽然与国外相比起步较晚,但由于其丰富的营养保健价值和广阔的市场价值,近年来我国蓝莓产业发展迅速,截至2020年底,全国蓝莓栽培面积已达6.64万hm<sup>2</sup>,总产量超34.72万t<sup>[9]</sup>。组织组培技术在蓝莓产业化发展过程中起到了重要作用,蓝莓组织培养技术也在不断成熟。但在实际培养过程中,还存在着一些问题,具体表现在以下3个方面:

(1)国内研究者对许多蓝莓品种进行了研究,探究其离体繁育技术,但目前还缺乏各品种之间的系统性比较。并且不同蓝莓品种的组织培养条件不完全相同,为更高效地进行蓝莓离体培养,需要进一步试验出优良品种的最佳组培条件,建立优良蓝莓品种的系统化组培程序<sup>[52]</sup>。

(2)在外植体进行初代培养时污染率仍较高,需要优化培养技术或寻找新型消毒剂来降低污染率,提升分化率和存活率。不同品种的最佳外植体采集时间可能有所不同,可从此方向进行探究。

(3)目前我国对已有的蓝莓品种的组织培养进行了大量的无性系应用,但还需进一步使用组培技术进行新品种选育<sup>[53]</sup>,应开展蓝莓创新研究工作,建立优良品种繁育创新体系,培育自主知识产权的新品种<sup>[54]</sup>。

蓝莓组织培养研究未来应重点关注地区优良适生品种的离体再生和转化体系的建立,为开展基因技术优化品种质量提供技术支持,为地区蓝莓生产和科学研究提供理论依据。

## 参考文献

[1] 方瑞征,徐延志,黄素华,等.中国植物志[M].北京:科学出版社,2006:75-164.  
 [2] 朱玉,徐国辉,王贺新.我国越桔属十二组植物种质资源的评价及利用价值分析[J].北方园艺,2015(6):8-14.  
 [3] 陈卫.蓝莓及其营养保健功能[J].中外食品工业,2003(7):34-35.  
 [4] 李亚东,张志东,吴林.蓝莓果实的成分及保健功能[J].中国食物与营养,2002,8(1):27-28.  
 [5] 李亚东,孙海悦,陈丽.我国蓝莓产业发展报告[J].中国果树,2016(5):1-10.

[6] 吴文勇.蓝莓的生物学特性及栽培技术[J].中国南方果树,2008,37(2):50-51.  
 [7] 邵春英,崔自亮,杨艳丽.蓝莓优良品种介绍[J].麦类文摘(种业导报),2007(8):36.  
 [8] 商晓芳.蓝莓的生物学特性及栽培技术[J].现代农业科技,2010(2):135,137.  
 [9] 李亚东,裴嘉博,陈丽,等.中国蓝莓产业年度报告[J].吉林农业大学学报,2021,43(1):1-8.  
 [10] 李亚东,姜惠铁,张志东,等.中国蓝莓产业化发展的前景[J].沈阳农业大学学报(社会科学版),2001,3(1):39-42.  
 [11] 程磊,郭伟,陈胜荣,等.蓝莓组织培养技术研究[J].农业科技通讯,2017(12):87-90.  
 [12] 饶宝蓉,陈泳和,江文清,等.蓝莓夏普蓝组培苗繁殖技术研究[J].江西农业学报,2014,26(10):46-49.  
 [13] 王太平.不同因素对兔眼蓝莓离体培养芽诱导效果的影响[J].安徽农业科学,2009,37(15):6860-6861.  
 [14] 茨韦特科夫·约旦,赵燕丽,王春,等.引进国外蓝莓品种的组织培养及快繁技术研究[J].黑龙江农业科学,2011(6):6-9.  
 [15] 涂俊凡,秦仲麒,李先明,等.兔眼蓝莓组织培养与快繁技术研究[J].安徽农业科学,2012,40(28):13725-13728.  
 [16] 孙晓梅,王新苗,杨宏光,等.矮丛蓝莓“北极星”启动培养研究[J].北方园艺,2010(1):23-26.  
 [17] 苏艳,张芝萍,毕云,等.不同蓝莓基因型的组织培养技术研究[J].西南农业学报,2013,26(6):2476-2480.  
 [18] 刘明群,张凯,赵建华,等.蓝莓茎段初代启动培养研究[J].现代农业科技,2013(21):74-75.  
 [19] 阳翠,王军,补学梅,等.蓝莓莱格西组培苗繁殖技术研究[J].现代农业科技,2016(2):100-101.  
 [20] WOLFE D E, ECK P, CHIN C K. Evaluation of seven media for micro-propagation of highbush blueberry[J]. Hori Sci, 1983, 18: 703-705.  
 [21] 朱宏芬,沈岚,黄坚,等.兔眼蓝莓“灿烂”组织培养与植株再生研究[J].北方园艺,2012(19):105-107.  
 [22] 李森,高丽霞,刘念,等.高丛越橘“奥尼尔”的组织培养[J].北方园艺,2016(9):102-105.  
 [23] 张力思,魏海蓉,艾呈祥,等.培养基组分对蓝莓组培增殖效率的影响[J].落叶果树,2006,38(4):13-14.  
 [24] 肖海峻,庞俊兰,孟利前,等.不同基因型蓝莓离体茎段的增殖培养技术[J].分子植物育种,2018,16(8):2587-2592.  
 [25] 王艳辉.蓝莓组培快繁的基本培养基选择[J].防护林科技,2017(S1):49,53.  
 [26] 汤伟华.蓝莓茎段初代培养技术[J].湖北农业科学,2012,51(6):1263-1264,1267.  
 [27] 黄科,黄琴,代欢,等.蓝莓离体快繁及生根特点研究[J].经济林研究,2016,34(1):140-146.  
 [28] 廉家盛.蓝莓品种“美登”组培快繁体系建立研究[D].延吉:延边大学,2011.  
 [29] 胡选萍,秦公伟,曹小勇.蓝莓组织培养技术的研究进展[J].分子植物育种,2018,16(3):960-965.  
 [30] 李军萍,徐峰嵘.“奥尼尔”蓝莓组培初代培养制约因素初探[J].云南农业,2019(12):59-62.  
 [31] 尹利方,陈泽斌,夏体渊,等.不同培养条件对蓝莓试管苗增殖生长的影响[J].西南农业学报,2017,30(7):1642-1646.  
 [32] 廖容,冯巧丽,何珊.蓝丰蓝莓快繁过程中初代培养基的筛选研究[J].现代园艺,2012(5):4-5.  
 [33] 杨艳敏,陶承光,魏永祥,等.蓝莓组织培养工厂化育苗技术[J].北方园艺,2012(7):129-131.  
 [34] 葛飞,韦吉梅.蓝莓的生态适应性与栽培技术[J].中国南方果树,2007,36(3):72-75.  
 [35] 曹增强,徐莹莹,张宁,等.不同pH对蓝莓组培苗生长和元素吸收的影响[J].中国农业大学学报,2016,21(2):50-57.  
 [36] 涂俊凡,秦仲麒,刘先琴,等.影响兔眼越桔无菌培养体系建立的因素分析[J].中国南方果树,2008,37(3):71-73.  
 [37] 梁文卫,宋鹏慧,阎聪,等.美登蓝莓试管苗瓶内快速生根试验[J].中国果树,2015(4):44-47.  
 [38] 陶兴魁,刘志林,高贵珍,等.蓝莓试管组培生根技术研究[J].淮北师范大学学报(自然科学版),2019,40(1):68-72.  
 [39] 周双,梁文卫,王明浩,等.不同pH培养基对蓝莓根系生长的影响[J].黑龙江农业科学,2019(3):33-35.  
 [40] 韩德伟.IBA对蓝莓组培苗瓶内生根的影响[J].江苏农业科学,2013,41(7):38-40.

试验和生产试验中仍然表现较好的丰产性和稳产性,充分体现了该品种突出的综合抗逆、抗灾能力,适应黄淮北片小麦生长的气候特点。

基因型与环境的互作普遍存在于生物界,影响着作物品种稳定性的评价。该研究中 2012—2013 年度小麦产量较其他年度低,验证了基因与环境的互作效应越大,品种越易受环境影响,稳定性和安全性越差<sup>[19-23]</sup>。区试和生产试验是检验在基因型与环境互作条件下品种特征特性的有效手段,分析区域和生产试验的数据可以有效评价品种的丰产性、稳产性、适应性等,增加品种推广的安全性和应用价值。笔者采用 1 年多点的方式分别对黄淮北片水地组和黄淮北片旱肥组的试验结果进行分析,冀麦 325 在 2012—2013 年度平均产量 7 987.05 kg/hm<sup>2</sup>,比对照良星 99 增产 6.89%;2013—2014 年度平均产量 9 184.95 kg/hm<sup>2</sup>,比对照良星 99 增产 6.45%;2014—2015 年度生产试验冀麦 325 平均产量 9 059.55 kg/hm<sup>2</sup>,比对照良星 99 增产 5.59%。黄淮北片旱肥组 2017—2018 年度区域试验平均产量 5 566.95 kg/hm<sup>2</sup>,比对照洛旱 7 号增产 1.45%;2018—2019 年度区域试验平均产量 6 165.30 kg/hm<sup>2</sup>,比对照洛旱 7 号增产 7.60%;2019—2020 年度生产试验平均产量 7 198.50 kg/hm<sup>2</sup>,比对照洛旱 7 号增产 5.70%。在黄淮北片水地组(20 个试点)和黄淮北片旱肥组(16 个试点)各个试点均有较好的适应性。结果表明,冀麦 325 具有较好的丰产性、稳产性和适应性。品质和抗性分析表明,冀麦 325 籽粒饱满,角质白粒,达到国标中筋小麦标准;抗寒性好,抗倒性较强,慢条锈病。

小麦品种的产量由其三要素决定,小麦产量三要素协调提高是小麦新品种获得高产的最有效途径<sup>[24-26]</sup>。冀麦 325 国家区试平均穗数(664.5±72.1)万穗/hm<sup>2</sup>、穗粒数(37.5±4.5)粒、千粒重(41.2±3.0)g,产量三要素较协调,尤其是成穗能力特别强,穗数足,小穗密,为该品种高产稳产奠定了基础。综合分析得出,冀麦 325 属半冬性品种,生育期约为 242 d,幼苗半匍匐,抗寒性好,旗叶斜上举,穗下节短,小穗排列较密,分蘖力强,成穗率高,是一个有较好丰产性、稳产性和适应性的高产节水小麦品种,具有较高的推广应用价值。

## 参考文献

- [1] 傅晓艺,李彩华,赵彦坤,等.小麦新品种‘石麦 22 号’丰产性、稳产性及适应性分析[J].中国农学通报,2016,32(21):38-43.
- [2] 杜建斌.旱灾对我国粮食主产区粮食产量的影响及抗旱对策研究[D].北京:中国农业科学院,2020.
- [3] 王志强,方伟华,史培军,等.基于自然脆弱性的中国典型小麦旱灾风险评价[J].干旱区研究,2010,27(1):6-12.
- [4] 王莹.20 世纪二三十年中国国内粮食贸易研究[D].太原:山西大学,2020.
- [5] 栾健,韩一军.干旱灾害与农田灌溉对小麦生产技术效率的影响[J].资源科学,2019,41(8):1387-1399.
- [6] 王彦梅,张正斌,刘昌明,等.河北省抗旱节水小麦生产现状及育种对策[J].中国生态农业学报,2004,12(4):142-144.
- [7] 郭进考,史占良,何明琦,等.发展节水小麦 缓解北方水资源短缺:以河北省冬小麦为例[J].中国生态农业学报,2010,18(4):876-879.
- [8] 单长卷,刘润强,张胜利.植物水分与抗旱分子生物学的发展及其影响[J].河南科技学院学报(自然科学版),2011,39(3):10-14.
- [9] 景蕊莲.作物抗旱节水研究进展[J].中国农业科技导报,2007,9(1):1-5.
- [10] 金松灿,王春平,孔欣欣,等.黄淮麦区小麦产量和生理性状的遗传增益研究[J].种子,2014,33(9):1-5.
- [11] 郭银燕,何延,林海超,等.品种区域试验中基因型与环境互作效应分析[J].生物数学学报,1995,10(4):56-60.
- [12] 李世平,张哲夫,安利利,等.品种稳定性参数和高稳系数在小麦区试中的应用及其分析[J].华北农学报,2000,15(3):10-15.
- [13] 刘玉平,王江浩,赵爱菊,等.高产广适冬小麦新品种冀 5265 的选育[J].河北农业科学,2009,13(2):60-61.
- [14] 辛庆国,殷岩,丁晓义,等.高产抗旱小麦新品种烟农 836 的选育及其特性分析[J].安徽农业科学,2020,48(2):49-51.
- [15] 郭秀焕,赵平,李学军,等.小麦超高产育种主要指标的探讨[J].种子,2004,23(1):44-46.
- [16] 陈天青,王伟,隋建枢,等.抗病小麦新品种黔麦 20 号的选育与应用[J].种子,2016,35(7):106-107.
- [17] 周羊梅,顾正中,王安邦,等.高产抗病小麦新品种淮麦 35 选育及性状分析[J].江苏农业科学,2017,45(1):66-68.
- [18] 陆成彬,范金平,褚正虎,等.高产抗病小麦新品种扬麦 21 的选育与应用[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2016,37(2):70-73.
- [19] 郑建敏,廖晓虹,杨梅,等.高产、双抗型小麦新品种‘川麦 51’产量、抗病性等特征分析[J].中国农学通报,2011,27(24):154-158.
- [20] 傅晓艺,史占良,韩然,等.小麦新品种石麦 26 选育及丰产性分析[J].中国种业,2019(6):58-61.
- [21] 金彦刚,夏中华,王歆,等.小麦新品种‘瑞华麦 520’高产稳产性分析[J].中国农学通报,2021,37(3):20-25.
- [22] 刘彦军,郭进考,郭家宝,等.高产优质小麦新品种‘石优 20 号’选育及应用[J].中国农学通报,2019,35(12):23-27.
- [23] 穆培源,庄丽,张吉贞,等.作物品种稳定性分析方法的研究进展[J].新疆农业科学,2003,40(3):142-144.
- [24] 张其鲁,张立全,张连晓,等.小麦的高产育种途径及其发展趋势[J].麦类作物学报,2007,27(1):176-178.
- [25] 王绍中,赵虹,王西成,等.小麦超高产品种筛选的研究初报[J].作物学报,1998,24(6):870-875.
- [26] 宁锷,裴阿卫,李硕碧,等.小麦新品种陕 354 高产性状的研究[J].作物学报,1998,24(6):930-934.
- [27] 黑龙江生态工程职业学院学报,2014,27(2):4-6.
- [28] 陈华江,周伟东.蓝莓组培容器苗促成关键技术[J].现代园艺,2012(13):26-27.
- [29] 王林,陆卫明,高霞.蓝莓组培壮苗培育技术研究[J].中国园艺文摘,2015,31(3):17-18.
- [30] 李永强,郭卫东.南方蓝莓栽培管理技术[J].今日科技,2013(11):54-55.
- [31] 董克锋,丁凤强.全基质蓝莓营养钵苗定植方法[J].果农之友,2020(4):33.
- [32] 李有清,梁称福.蓝莓组培无菌系的建立研究进展[J].湖南生态科学学报,2017,4(4):56-61.
- [33] 刘太林.蓝莓组织培养研究进展综述[J].安徽农学通报,2012,18(5):37-39,50.
- [34] 聂飞,韦吉梅,文光琴.蓝莓的经济价值及其在我国产业化发展的前景探讨[J].贵州农业科学,2007,35(1):117-119.

(上接第 26 页)

- [41] 宋刚,徐银,宋金耀,等.蓝莓试管苗不定根的诱导研究[J].江苏农业科学,2011,39(6):89-91.
- [42] 李京,张妍妍,张建琪.蓝莓组培苗瓶外生根技术的优化[J].林业科技,2013,38(5):4-6.
- [43] 黄国辉,姚平.蓝莓组培苗瓶外生根的研究[J].江苏农业科学,2011,39(4):227-228.
- [44] 刘忠辉,谢善松,黄水珍,等.蓝莓组培苗三种生根方法效果比较[J].南方农业,2016,10(13):48-49,78.
- [45] 王淑珍,来文国,周历萍,等.南高从蓝莓组培再生技术研究[J].现代农业科技,2011(21):119-120.
- [46] 陈小涛,李罗生,童爱明,等.长沙市蓝莓标准化栽培技术[J].中国南方果树,2018,47(3):153-157.
- [47] 韦庆和,孙长林,韦自明.寒地蓝莓组培苗木标准化繁育与栽培技术