



李金泽,许凤,苏艳,等.龙胆科观赏植物生理特性与育种技术综述[J].黑龙江农业科学,2023(2):111-116,121.

龙胆科观赏植物生理特性与育种技术综述

李金泽,许 凤,苏 艳,余蓉培,杨秀梅,张艺萍

(云南省农业科学院 花卉研究所/云南省花卉育种重点实验室/国家观赏园艺工程技术研究中心,云南 昆明 650205)

摘要:中国拥有丰富的龙胆科植物种质资源,但研究活动基本集中在药用领域,观赏利用与育种技术研究尚未兴起。本文综述了国内外龙胆科植物观赏栽培和育种的历史与现状,分析它们栽培生理特性和繁殖技术,探讨分子标记辅助选择、种间杂交、单倍体细胞组培等育种技术的研究进展。提出了通过药花两用综合开发,温室栽培和不同海拔露地栽培相结合,跨区域种间杂交和倍性育种等手段促进国内观赏龙胆种植产业发展的建议。

关键词:龙胆;遗传多样性;栽培生理;种间杂交;双单倍体

世界龙胆科植物约 80 个属,900 余种。龙胆属(*Gentiana*)为龙胆科(*Gentianaceae*)植物中最大的属,有 362 种 68 个变种^[1],广布世界各大洲,与报春花属(*Primula*),杜鹃花属(*Rhododendron*)并称为世界三大高山花卉。中国西南是龙胆属植物的分布中心之一,其中原产于横断山区的就达 117 种^[2]。龙胆属植物因包括众多药用植物而出名,如滇龙胆(*G. regisence*)、秦艽(*G. macrophylla*)、东北龙胆(*G. manshurica*)等,在云南、甘肃和吉林等省分别有数千公顷以上生产面积。其中云南多与台地茶套种,根入药,茎叶作为天然的饲料添加剂,用于养牛胃肠保健。辽宁省清原县龙胆草(*G. scabra*)种植面积达 2 466 hm²,年产量 1 600 t^[3]。龙胆在国外也是重要的药用植物,其中黄龙胆(*G. lutea*)在欧洲种植面积约 150 hm²,年产干品约 1 500 t^[4]。

龙胆科观赏开发最成功的种类是洋桔梗(*Eusotma grandiflorum*)。它起源于北美洲,但日本育成的品种占世界切花市场主要份额。洋桔梗已经成为世界销量最大的种子繁殖类切花,育成品种达 500 多种,在世界主要花卉生产国中排在 3~8 名之间。洋桔梗花色花型非常丰富,瓶插期长。在花卉市场大放异彩,与其他龙胆科植物的默默无闻对比鲜明。可能基于商业机密的原

因,国外洋桔梗育种技术研究文献稀少。龙胆科第二重要的观赏植物为龙胆属龙胆草组植物,主要是三花龙胆(*G. triflora*)和龙胆(*G. scabra*)种间杂交育成的各种切花和盆花品种,即花卉市场上的“龙胆”。龙胆的育种和生产活动主要集中在日本,日本主要以岩手县为中心的北部地区进行半露地生产,2013 年产值约 37 亿日元,切花销量在日本排第 10 名左右。近年我国已经逐步有切花和盆栽品种引种栽培和电商销售。龙胆科位居第三的观赏植物是藻百年,在我国山东有规模化的盆花栽培。还有一些矮花性强,花朵繁密的龙胆属观赏植物在欧洲有商业生产。已知龙胆科观赏植物中,除洋桔梗和藻百年为离瓣花和重瓣花外,其他多为星形的合瓣花和单瓣花。

我国龙胆科植物研究开发几乎全部集中于药用,而药用植物一般不进行杂交育种。我国以观赏为目的的研发还处于萌芽阶段,大面积商业化观赏栽培品种几乎全从国外引进,自主研发的本土原生龙胆科植物新品种极少。仅有江苏省林业科学院选育出盆栽品种“苏龙一号”等零星报道^[5]。龙胆科中许多植物本身就有花期长、花朵繁密和花形独特等优点,自身观赏开发价值高,药用以根部为主,如果能够在一些种类上[如东北龙胆(*G. scabra*)、阿墩子龙胆(*G. atuntsiensis*)、头花龙胆(*G. cephalantha*)、滇龙胆(*G. regisence*)]实现地上部分作为观赏切花使用,地下部分作为药用,无疑能够大幅提高种植收益。龙胆科绝大部分种类为小型高山草本植物,观赏开发的价值有限,气候适应性也可能是问题。但从洋桔梗和龙胆切花的成功先例来看,“藏在深山人未识,终

收稿日期:2022-10-25

基金项目:国家自然科学基金地区基金(31860074)。

第一作者:李金泽(1974—),男,硕士,研究员,从事龙胆科花卉育种、新型太阳能温室与双绿种植模式的研究。E-mail:jinzeli689@sina.com。

通信作者:张艺萍(1977—),女,博士,研究员,从事抗病育种与花卉标准研究。E-mail:2559485092@qq.com。

有时日露峥嵘”的大部分龙胆科植物,通过深入的研究和发掘,也有可能大放异彩,成为重要观赏植物。本文通过分析国内外龙胆科植物观赏栽培和育种历史与现状、繁殖技术、栽培生理、遗传育种技术的研究进展,探讨龙胆科植物观赏开发与育种技术,以期为促进龙胆种植产业发展提供借鉴。

1 龙胆科植物观赏栽培和育种的历史与现状

1.1 除洋桔梗外的龙胆植物

欧洲关于龙胆属植物最早的记载,可能来自于英国 1810 年出版的 *Curtis's Botanical* 植物杂志,分别记载了原产中国的大叶秦艽(*G. macrophylla*)和原产土耳其的西亚龙胆(*G. septemfida*)。其中,西亚龙胆经过人工栽培和选育,已成为欧洲一种较为常见的花坛和盆栽植物。西亚龙胆的商业品种一般株高约 20 cm,花径 2.5 cm,花量繁多,分枝量大,植株整体冠径约 30 cm,花期为每年 8 月—10 月,用作地被植物。据互联网上不完全统计,国内外至少已有约 32 种龙胆属植物实现了人工栽培。

日本在 1914 年首次报道了某种药用龙胆多糖和苦苷的成分分析^[6],从 1960 年开始进行龙胆属植物的观赏栽培。1971 年岩手县开始进行龙

胆切花生产,并逐步开展杂交育种工作,1991 年成立了相应的研究中心并选育出 F₁ 杂交种。2013 年日本龙胆切花销量达 1.05 亿支,其中 62% 来自岩手县。据报道日本育成的三花龙胆和龙胆的切花及盆花品种数量已超过 100 个,育成的品种以不同深浅的蓝色为主,其次为淡紫色和白色,市场上缺少红色和粉色品种^[7-8]。新西兰植物与食品研究所选育出了‘Showtime Starlet’‘Showtime Spotlight’和‘Showtime Diva’三个红色龙胆品种,填补了日本品种的空白。与岩手县选育的龙胆 F₁ 代杂交品种不同,这些品种为无性系品种,具有难稔性,主要采用组织培养进行扩繁^[9]。为解决周年供应问题,日本和新西兰的相关研究单位还与种植企业合作,利用南北半球冬夏相反的特点,试验了龙胆切花周年供应的可能性。当前用于切花生产的知名品种主要有来自日本岩手县的‘Ashiro no Natsu’‘Ashiro no Aki’‘Meruhen Ashiro’‘Lovely Ashiro’‘Crystal Ashiro’‘Shine Blue Ashiro’等。用于盆花主要有‘Momozukin-chan’等约 10 个品种^[10]。最近几年,分别由 *G. acaulis* 和 *G. clusii* 两个野生种选育出来的龙胆盆花,也已经在欧洲和日本开展了市场化推广^[11]。

表 1 近年有商业化观赏栽培利用价值的龙胆科植物

拉丁名	中文名	株高/cm	花色	花期	分布中心
<i>G. acaulis</i>	无茎龙胆	5~8	白喉蓝色	晚秋	中南欧
<i>G. asclepiadea</i>	柳叶龙胆	45~60	绿底白边、紫、粉、浅紫、亮蓝	夏秋	中东欧
<i>G. cachemirica</i>		15~20	蓝色	春季	
<i>G. clusii</i>	克鲁修斯龙胆	8~10	白喉蓝瓣	夏季	阿尔卑斯
<i>G. cruciate</i>	秦艽	30~38	白底紫边	夏秋	中国西北
<i>G. dahurica</i>	小秦艽	15~30	白喉蓝色	晚秋	中国北方
<i>G. lutea</i>	黄龙胆	90	黄色	晚春	中南欧
<i>G. makinoi</i>	冲绳龙胆		铁蓝色	晚夏初秋	日本冲绳
<i>G. makinoi</i> ALBA	冲绳龙胆		纯白	晚夏初秋	日本冲绳
<i>G. moorcroftiana</i>		23~30	淡蓝/紫红		西藏
<i>G. pneumonanthe</i>	沼泽龙胆	30~38	天蓝		德国
<i>G. purpurea</i>		45~60	紫红		阿尔卑斯山区
<i>G. saxosa</i>		5~8	象牙白		新西兰
<i>G. scabra</i> Buergeri	粗糙龙胆	30~60	蓝色		东北亚
<i>G. septemfida</i>	西亚龙胆	15~23	紫蓝		土耳其
<i>G. straminea</i>		23~30	雪白		中国西南
<i>G. tibetica</i>	西藏秦艽	38	奶油色	晚夏初秋	青藏高原
<i>G. triflora</i>	三花龙胆	30~38	蓝/白/红		东北亚
<i>G. verna</i>	春天龙胆	5~8	亮蓝/白	春末夏初	阿尔卑斯山区

1.2 洋桔梗

洋桔梗约 1933 年从美国引入日本,1980 年以早期民间育种家和常规单瓣品种生产为主,1986 年种子选育了单瓣双色系和重瓣品种,1989 年选育了生长势强、花色稳定、花型优美的 F₁ 品种,1992 年选育了黄色系品种^[12]。欧美 Gaboriau、Pan America 等公司于 20 世纪 80 年代开始,也培育了一些盆花品种和许多早熟的切花品种^[13],但由于品种更新缓慢而被市场淘汰。目前龙胆科植物观赏栽培面积上,以日本育成的洋桔梗品种独占鳌头,累计育成的 F₁ 杂交种已经超过 500 多种,品种更新速度快,原来占据市场主流的单瓣品种逐渐被边缘化,重瓣品种占据了绝大部分市场,并从最初的山茶花型的品种群向玫瑰花型、再向波浪花型、玫瑰与波浪复合花型等不断流行演化^[14]。还育成了柱头缺失且具有超长瓶插期深绿色、茶红色等新品种^[15]。近年来对莲座化休眠不敏感的、无花粉、高抗镰刀菌枯萎病等有突破性优良性状的新品种也被选育出来。不断涌现的新品种促进了洋桔梗种植的快速发展,洋桔梗在各国鲜花市场上稳居前 3~8 名,并成为采用 F₁ 杂交种子繁殖的切花作物中的第一名。

2 龙胆科植物繁殖技术研究进展

2.1 龙胆

龙胆(多指龙胆属龙胆草组植物种内种间杂交产生的观赏植物品种)作为宿根草本花卉,日本早期在生产中采用分株和田间直播种子的方式进行切花种苗的扩繁,后来采取秋季在温室中培育穴盘种子苗,春季移栽大田的形式,大大提高了生产效率。日本培育的龙胆品种有 F₁ 代杂交品种,采用种子繁殖^[10],也有无性系品种,采用组织培养繁殖。在对洋桔梗和龙胆同时进行扦插试验中笔者发现龙胆采用扦插繁殖操作简单、生根快,难度远小于洋桔梗。组织培养也被用于挽救濒危龙胆属植物如 *G. cerina* 和 *G. corymbifera*^[12]。此外,Keshavarizi 等^[8]还通过赤霉素和长照组合处理实现了三花龙胆的组培瓶内开花,为缩短龙胆育种周期提供了重要的途径和方法。

2.2 洋桔梗

洋桔梗是切花作物中成功实现 F₁ 杂交种子繁殖的典型,品种类型的丰富程度不亚于无性繁殖作物。世界年产洋桔梗种苗约 6 亿株以上。近年来,云南有关企业通过萌动种子低温春化处理、机械化播种、湿帘风机降温等手段,克服了植株莲

座化和霜霉病危害等问题,实现了洋桔梗种苗的国产化。而荷兰利用手臂机器人拣苗等自动技术,保持了年人均育苗可达 250 万株的最高效率。洋桔梗在环境剧烈变化时容易发生植株莲座化现象,即使种子苗在培育过程中也容易因虫害发生而造成病毒病爆发。组织培养过程中继代和出瓶过渡阶段均易出现莲座障碍,主要应用于育种上品种保存,所以洋桔梗无性繁殖的可持续性面临挑战。笔者通过扦插繁殖获得了商品化出售的洋桔梗切花,并获得发明专利授权,可以把它作为种子繁殖的补充形式。种子繁殖系数大,从播种到移栽需要 80~120 d,而扦插繁殖只需约 25 d。

3 龙胆科植物栽培生理研究进展

3.1 洋桔梗栽培生理面临的挑战

全国洋桔梗种植主要集中在云南省,并且几乎全部是由花农生产,企业化固定温室种植极少。花农使用没有种植过洋桔梗的蔬菜地进行轮作,以规避连作障碍。由于棚体简陋,缺乏加温除湿等环境控制条件,使霜霉病、蓟马等病虫害高发、春季供花困难和频繁搬迁基地又成为洋桔梗种植的三大痛点。近年来有云南企业成功实现了洋桔梗的单茬无土栽培,其种植的可持续性依然面临栽培基质和环境控制成本过高,二茬连续开花障碍、镰刀菌感染防控难等突出问题。洋桔梗可持续种植仍然面临诸多挑战。包括种苗质量控制、夏季预防短茎开花、冬季植株莲座化、病虫害多易感、土传病害与连作障碍等种植难点的解决都需要在栽培生理和可持续种植方式上进行深入研究和创新。

3.2 龙胆多年连续种植的生理研究

日本选育的三花龙胆切花品种为多年生宿根草本,每年只生产切花 1 茬,1 次种植后可以连续采花 4 年,采花前后萌生的脚芽发育状况对下一年度的产量影响很大^[16]。早期育成的品种需要在剪花时留出一段老茎作为“扶养枝”,以促进基部脚芽的发生,保证下一年产量^[17]。而最新育成的品种在头茬开花的过程中已逐步萌生基部脚芽,不需要保留“扶养枝”。特别对于费用更高的组织繁殖品种,如何获得充足脚芽萌发更为重要。新西兰植物与食品研究所的龙胆育种团队不仅通过显微解剖深入研究了脚芽的发育生理^[18],而且获得许多环境生理研究成果。他们发现脚芽萌发、花芽形成与叶片数量、龙胆多糖等碳水化合物积累量密切相关^[19],受温度影响显著^[20]。以

品种‘Velvet Glove’为例,至少需要 2 884 h 5 °C 以上的积温以促进母本植株上脚芽的萌发和越冬^[21];短日照可以促进脚芽的萌发,长日照对其则起抑制作用^[22];乙烯利、多效唑和噻苯隆等外源激素可使脚芽的数量成倍增加,而赤霉素则抑制脚芽的发生^[9,23]。

4 龙胆科植物遗传育种技术

4.1 遗传关系分析

洋桔梗属植物起源于北美洲,世界其他地区没有发现。现代品种由属内 3 个种 *Eusotoma grandiflorum*、*Eustoma barkleyi* 和 *Eustoma exaltatum* 相互杂交育成,种质资源遗传研究相对较少。而龙胆属植物多达 430 种(含变种),研究开展较多,如 Yonezawa 等^[24]收集了 *G. kitadzkens*、*G. sikokiana*、*G. makinoi*、*G. scabra* 和 *G. tarijlb* 5 种龙胆属龙胆草组 [Sect. *Pneumonanthe* (Gled.) Gaudin] 植物,分析了 13 种数量性状和花粉形态、根形态、染色体数(结果均为 $2n=26$) 等的变异程度,明确了种间差异的特异性状,提出了细致的种间分类依据。Sato-Ushiku 等^[25]对收集保存的世界龙胆属约 50 个野生种和 30 多个育成品种进行了基于叶绿体 DNA 特定序列和 2C-value 的遗传关系分析,结果表明,除 *G. cachemirica* 和 *G. yakushimensis* 两个种外,通过分子标记分析与传统分类学所作出的属下分组结果基本一致。Kakizaki 等^[26]获得了区分三花龙胆中蓝花和白花品种的 4 个分子标记,其中 W14/15 酯酶基因是可以用于区分纯合双单倍体和二倍体的重要标记基因,可以方便地应用于单倍体培养植株的鉴定。Zhang 等^[27]通过 137 个 ISSR 分子标记,对大叶秦艽、麻花秦艽、粗茎秦艽和小秦艽等 4 种秦艽植物的 19 个自然居群共 107 个样本进行了遗传多样性分析,结果发现种间的遗传变异很小,暗示秦艽不同种间存在较高的杂交亲和可能性。Nakatsuka 等^[28]利用 SSR 等 6 种分子标记对日本三花龙胆和龙胆种间杂交的回交群体进行了连锁遗传分析,获得了 263 个多态位点,建立了包含 19 个连锁群的龙胆科植物首张遗传图谱。上述研究表明龙胆观赏植物育种已经实现了分子标记辅助选择的应用。

4.2 杂交育种

洋桔梗和龙胆现有流行品种主要通过“先纯后杂”的 F_1 杂交种选育途径获得。洋桔梗没有商业化的无性系品种,但龙胆较多。龙胆当年播种

不会开花,跨年才会开花,生育期长达 1~2 年,通过反复自交获得自交系的周期长,同时配组杂交选拔出强优势组合并进行测试验证也比较耗时。因此,龙胆的 F_1 代杂交品种选育是一项需要长期细致耐心的系统性工程。

种间杂交是获得龙胆属新品种的重要手段。为培育黄色品种,Morgan 等^[29]利用胚挽救获得了三花龙胆和欧洲黄龙胆 (*G. lutea*) 种间杂交品种植株,但不幸未能长期存活。龙胆属目前育成品种中相当一部分来自三花龙胆和龙胆 (*G. scabra*) 的种间杂交^[30]。三花龙胆原生种花瓣很难开放,但有早熟到晚熟不同类型,而龙胆花瓣容易开放,但只有晚熟类型,日本通过种间杂交培育了一系列不同颜色类型的切花品种,并使产花时间从每年 8 月—9 月延长到了每年的 7 月—11 月^[31]。新西兰的育种者通过 *G. miranda* 与三花龙胆种间杂交,获得了红色新品种‘Spot Light’^[32];通过 *G. miranda* 与 *G. scabra* 种间杂交,获得了花朵更繁密的红色新品种‘Show Time Diva’^[33]。

4.3 倍性育种

龙胆属植物大多一年开一次花,甚至播种后隔年才开花。为缩短常规杂交育种进程,国外近十年来开展了单倍体育种技术的研究,通过花药培养和未受精胚珠培养^[10,31]均成功地获得了三花龙胆和龙胆的单倍体植株及双单倍体植株。两种方法相比,未受精胚珠培养效率更高,而且受基因型束缚的影响小^[34]。在试验的 43 个基因型中,胚状体诱导率可高达 93%,培养成功植株中单倍体比例可高达 58%,形成了高效的单倍体培养方法^[35]。多倍体育种方面,利用氨磺乐灵加倍三花龙胆品种‘Royal Blue’获得了四倍体植株^[36];在药花兼用的秦艽组植物 *G. decumbens* 上,在液体培养的二倍体叶肉细胞原生质体过程中,通过体细胞变异,培养出了异源四倍体的体细胞胚和植株^[37]。龙胆属的单倍体育种技术可为国内培育洋桔梗新品种提供参考,但笔者经试验发现,昆明气候条件下,龙胆结实期仅为 25~35 d,洋桔梗则为 70~120 d。且受精卵发育有 22 d 分裂停滞现象^[38],两者差异极大。

5 龙胆科植物观赏开发与育种技术探讨

5.1 龙胆科植物观赏开发的基础与局限

中国科学院西北高原生物研究所何廷农及其团队对世界龙胆科植物分类系统进行深入全面的研究,重新鉴定和修订了超过 300 个种的龙胆属

植物,并研究了 16 种植物极端环境下的胚胎发育特点和 20 余种藏族民间用药的植物化学分析,对国内外龙胆科植物药用与观赏研究都作出了重要贡献^[1,39-41]。这些龙胆科植物分类学与地理学的详细研究为开展野生资源收集利用、引种栽培和新品种选育奠定了重要基础。虽然中国龙胆属植物观赏栽培与育种研究相对空白,但东北林业大学李玉花教授团队在同科异属植物草原龙胆(又名洋桔梗)的遗传学^[38]、生殖生物学^[42]、植物胚胎学^[43]等方面开展了较多研究,可以作为洋桔梗育种研究的重要参考。

龙胆科植物观赏利用主要受高山生境,株小花微和合瓣花植物主导三大因素制约。高山龙胆生境特殊,多生于腐殖质丰富,水分条件好的酸性土壤中。移植到平原后容易出现耐热性和抗病性较差的问题。利用丰富的种质资源来进行不同地理起源的种间杂交,可能是解决这个问题的关键。龙胆科植物绝大多数为小草本植物,甚至相当一部分是微型草本。花朵大多在 1~5 cm 之间。如秦艽组植物叶片肥大,容易种植,但因多数花朵过小,观赏开放较为困难。龙胆属是龙胆科最大的属,但属内植物绝大多数种类为开合瓣的多角星形的管状花,花型较为单一,与矮牵牛有一定的相似度。

5.2 龙胆科植物观赏开发价值与潜力

多种野生龙胆科花卉具独特的观赏价值,如具有稀缺的深蓝色花;植株很小花却很大,适合用作地被植物,如深红龙胆;也有植株高大,花朵浓密的种类,如龙胆草组植物,可以开发为切花;还有缠绕攀援的类型,如双蝴蝶属植物,有可能用于立体绿化。最独特的是龙胆花朵具有含羞草一样的能力,昼开夜闭,或遇到不良情况就闭合,多保持含苞待放的状态,不仅瓶插期长,也便于贮藏和运输。相比其他花卉,龙胆切花和盆花的最大优势由于味苦避虫,可以实现低成本的露天生产。但龙胆开花集中在夏秋季节,难以实现周年供应。利用云南低纬高原气候优势,加之温室栽培和长短日照处理,有望实现龙胆的周年生产供应。龙胆花色目前有蓝、紫、红、粉、白,花瓣背面容易出现绿色而使颜色不纯。如何改良颜色和选育出黄色、桔色等新型颜色,如何选育出重瓣品种等都有待依托国际化的种质资源大力开展种间杂交育种,来最终解决。

5.3 龙胆科植物育种技术探讨

国外在龙胆草组植物观赏育种上取得了显著成就,获得了实用高效的双单倍体培养、种间杂交

和分子标记辅助育种技术。我国龙胆属植物种质资源非常丰富,观赏植物的发掘和利用还处于相对空白阶段。建议以中国西南和东北两个分布中心为重点,结合引进国外新优品种,系统深入开展龙胆属观赏植物资源的收集、驯化栽培和栽培生理的研究;以亲缘关系分析和染色体核型分析等为基础,筛选跨地区种间杂交可育亲本;以远缘种间杂交、双单倍体细胞组织培养和加倍育种为重点,以药花兼用、周年开花等为目标,培育适合切花、盆栽和园林等不同用途的新品种。国外在洋桔梗育种上的成就更为显著,我国生产用种几乎全部依赖进口,如何利用国外种质资源,选育出有香味、抗病性强的突破性新品种,有赖于在转基因技术、双单倍体技术和高效杂交育种技术的紧密结合。

参考文献:

- [1] 何廷农,刘尚武.世界龙胆属植物专著(英文版)[M].北京:科学出版社,2002.
- [2] 中国科学院青藏高原综合科学考察队.横断山区维管植物(下册)[M].北京:科学出版社,1994.
- [3] 李瑞春,孙文松,高嵩,等.辽宁龙胆草产业发展现状与分析[J].园艺与种苗,2021,41(2):27-29.
- [4] DRAGOJA R, TATJANA M, NICOLA A, et al. Cultivation trials on *Gentiana iutea* L. in southern and south-eastern Europe[J]. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 2014, 1(4): 113-122.
- [5] 翟瑞龙,朱勇.龙胆属植物园艺学研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(26):12506-12508.
- [6] 朝比奈泰彦,依田四郎. *Gentiana scabra* var. *buergeri* (in Japanese)[J]. Yakugaku Zasshi, 1914(390): 911-918.
- [7] KODAMA K. Gentian. In: Science[M]. Kyoto: Horticulture in Japan Shukadoh Publishing, 2006.
- [8] KESHAVERZI M, FUNNELL K A, WOOLLEY D J, et al. Explant position influences *in vitro* flowering of 'Little Pinkie' gentian[J]. Acta Horticulturae, 2016(1131): 111-118.
- [9] SAMARAKOON U C, WOOLLEY D J, MORGAN E R, et al. Ontogeny of crown bud clusters and dormancy-breaking treatments influence productivity and spread of harvest maturity of gentian 'Showtime Diva' [J]. HortScience, 2016, 51(7): 829-837.
- [10] NORIMOTO S, TAKASHI N, YUKI N, et al. Identification of gentian cultivars using SCAR markers based on intron-length polymorphisms of flavonoid biosynthetic genes[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 119(3): 292-296.
- [11] DOI H, TAKAHASHI R, HIKAGE T, et al. Embryogenesis and doubled haploid production from anther culture in gentian (*Gentiana triflora*) [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2010, 102(1): 27-33.
- [12] 大川清. 実践花き園芸技術トルコギキョウ: 栽培管理と開花調節[M]. 日本: 誠文堂新光社, 2003: 311.
- [13] ARTHUR A E. Flower breeding and genetics: issues, challenges

- and opportunities for the 21st Century[J]. *Experimental Agriculture*, 2007, 43(2): 260.
- [14] 李金泽. 洋桔梗[M]//周旭红, 孙玲. 香石竹与洋桔梗栽培技术. 昆明: 云南科技出版社, 2014: 55-121.
- [15] 李金泽, 刘关所, 王继华. 洋桔梗育种的研究与前景探析[J]. *中国园艺文摘*, 2017, 33(12): 169-172.
- [16] MORGAN E R, BUTLER R M, BICKNELL R A. *In vitro* propagation of *Gentiana cerina* and *Gentiana corymbifera* [J]. *New Zealand Journal of Crop & Horticultural Science*, 1997, 25(1): 1-8.
- [17] ISHITSUKA S, SAWAGUCHI R, KANDA K. The evolution of the development and export of original gentian products: a case study of Hachimantai-City in Iwate Prefecture[J]. *Journal of Rural Economics*, 2013(Special Issue): 69-76.
- [18] SMARAKOON U C, FUNNELL K A, WOOLLEY D J, et al. Anatomical investigations determining the origin of crown buds on the transition zone of gentians[J]. *New Zealand Journal of Botany*, 2013, 51(4): 264-274.
- [19] ABE H, KAWAKATSU K, OTOMO H, et al. Tuber development and flower stalk production affected by plant age of *Gentiana triflora* [J]. *Horticultural Research (Japan)*, 2016, 15(3): 267-273.
- [20] WANG Y, WOOLLEY D J, MORGAN E R, et al. Defoliation affects carbohydrate reserves, crown bud development, and spring re-growth in gentian ‘Velvet Glove’ [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 203: 102-109.
- [21] SAMARAKOON U C, FUNNELL K A, WOOLLEY D J, et al. Temperature impacts changes in crown buds and flowering of gentian ‘Spotlight’ [J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 143: 49-55.
- [22] SAMARAKOON U C, FUNNELL K A, WOOLLEY D J, et al. Influence of photoperiod regime and exogenous plant growth regulators on crown bud formation in gentian[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 182: 56-64.
- [23] KOSHIOKA M, MIYAMOTO K, HORIO T, et al. Identification of endogenous gibberellins in stems and leaves in vegetative growth stage of *Gentiana triflora* [J]. *Journal of Plant Physiology*, 1998, 153 (1/2): 230-232.
- [24] YONEZAWA N, KAWANO S. Variations in Japanese *Gentiana* Sect. *Pneumonanthe* (Gentianaceae) with special reference to their taxonomic status[J]. *Acta Phytotaxonomica Et Geobotanica*, 1989, 40: 13-30.
- [25] SATO-USHIKU Y, SHIMADA N, SAITO M, et al. Development of simple sequence repeat markers for identification of Japanese gentian cultivars[J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 2011, 80(4): 475-485.
- [26] KAKIZAKI Y, NAKATSUKA T, KAWAMURA H, et al. Development of codominant DNA marker distinguishing pink from blue flowers in *Gentiana scabra* (in Japanese) [J]. *Breeding Research*, 2009, 11(1): 9-14.
- [27] ZHANG X L, WANG Y J, GE X J, et al. Molecular phylogeny and biogeography of *Gentiana* sect. *Cruciata* (Gentianaceae) based on four chloroplast DNA datasets[J]. *Taxon*, 2009, 58(3): 862-870.
- [28] NAKATSUKA T, YAMADA E, SAITO M, et al. Construction of the first genetic linkage map of Japanese gentian (*Gentianaceae*) [J]. *BMC Genomics*, 2012, 13(1): 1-15.
- [29] MORGAN E R. Use of *in ovulo* embryo culture to produce interspecific hybrids between *Gentiana triflora* and *Gentiana lutea* [J]. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2004, 32(4): 343-347.
- [30] PATHIRANA R, FREW T, HEDDERLEY D, et al. Haploid and doubled haploid plants from developing male and female gametes of *Gentiana triflora* [J]. *Plant Cell Reports*, 2011, 30(6): 1055-1065.
- [31] SATOH T, TAKAHASHI M, SHINKE H, et al. Effect of liming material on the early-ripening gentian variety in a flower harvest year[J]. *Journal of the Science of Soil & Manure Japan*, 2002, 73: 537-541.
- [32] WANG Y G, Funnell K A, EASON J R, et al. Osmotic regulation via carbohydrate metabolism drives petal expansion and floret opening in gentian ‘Showtime Spotlight’ [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 211(10): 19-25.
- [33] MORGAN E, MOFFAT J. Plant breeders rights in european union for gentian showtime diva[Z]. 2015, 39452.
- [34] DOI H, YOKOI S, HIKAGE T, et al. Gynogenesis in gentians (*Gentiana triflora*, G. *scabra*): production of haploids and doubled haploids [J]. *Plant Cell Reports*, 2011, 30(6): 1099-1106.
- [35] DOI H, HOSHI N, YAMADA E, et al. Efficient haploid and doubled haploid production from unfertilized ovule culture of gentians (*Gentiana* spp.) [J]. *Breeding Science*, 2013, 63(4): 400-406.
- [36] MORGAN E R, HOFMANN B L, GRANT J E. Production of tetraploid *Gentiana triflora* var. *japonica* ‘Royal Blue’ plants [J]. *New Zealand Journal of Crop & Horticultural Science*, 2003, 31(1): 65-68.
- [37] TOMICZAK K, MIKUŁA A, SLIWINSKA E, et al. Autotetraploid plant regeneration by indirect somatic embryogenesis from leaf mesophyll protoplasts of diploid *Gentiana decumbens*, L. f. [J]. *Vitro Cellular & Developmental Biology*, 2015, 51(3): 350-359.
- [38] 李昀辉. 草原龙胆生物学特性及遗传研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
- [39] 何廷农, 刘尚武, 卢学峰. 龙胆属的系统发育分析(英文) [J]. *植物分类学报*, 1996(5): 505-530.
- [40] 陈世龙, 何廷农, 刘建全. 中国西部高山 8 种龙胆属植物的染色体数目[J]. *西北植物学报*, 1997(4): 547-550.
- [41] 何廷农, 刘尚武. 南亚和东南亚龙胆属(龙胆科)的新名称、新组合及分类注释(英文) [J]. *植物分类学报*, 2000(1): 10-12.
- [42] 李昀辉, 李玉花. 草原龙胆(*Eustoma grandiflorum*)单、重瓣花器官分化的形态学观察[J]. *园艺学报*, 2005(3): 458-462.
- [43] 王秋红. 草原龙胆生殖生物学及其差异蛋白质组学的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.

稻两虫一病试验[J]. 广东农业科学, 2011, 38(21): 88-90.

[10] 孙淑红. 从龙粳 20 的选育探讨常规育种亲本选配问题[J]. 中国稻米, 2010, 16(3): 12-13.

[11] 王瑞英. 高产优质水稻新品种龙粳 39 的选育[J]. 黑龙江农业科学, 2013(7): 167-168.

[12] 关世武. 水稻花培新品种龙粳 10 号的选育及高产栽培模式[J]. 中国农学通报, 2000, 16(3): 75-76.

[13] 吕川根, 邹江石, 胡凝, 等. 水稻叶片形态对冠层特性和光合有效辐射传输的影响[J]. 江苏农业学报, 2007(6): 501-508.

[14] 杨守仁, 张龙步, 陈温福, 等. 水稻超高产育种的理论和方法[J]. 作物学报(英文), 1996, 22(3): 295-304.

Breeding and Cultivation Technology of A New Rice Variety Longgeng 2305 with High Yield in Cold Regions

ZHANG Xirui, SUN Haizheng, SUN Shuhong, ZHAO Fengmin, WANG Linan, XUE Jingfang, TIAN Chongbing

(Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154026, China)

Abstract: In order to promote the popularization of high-yield rice variety in cold areas, this paper briefly introduced the breeding process, genetic relationship, variety characteristics and matching cultivation measures of Longgeng 2305. Longgeng 2305 is a new rice variety selected by the pedigree method with Longgeng 39 as the female parent and Longdun 204 as the male parent. Approved by the Approval Committee in 2020 (Approval number: Heishendao 20200027). The regional test results showed that the average yield reached 9 281.8 kg·ha⁻¹, an average increase of 7.9% compared with the control variety Longgeng 31 from 2017 to 2018. In 2019, the average yield at multiple points was 8 563.2 kg·ha⁻¹, which was 8.2% higher than that of the control variety Longgeng 31. This variety was a precocity japonica rice with main stem 11 leaves, and the whole growth period was about 130 days. It was suitable for planting in the third accumulated temperature zone of Heilongjiang Province areas which effective accumulated temperature of 2 400 °C or more. This variety has the characteristics of outstanding yield, compact plant type, no premature senility, strong resistance to collapse and disease.

Keywords: Longgeng2305; breeding process; cultivation measures

(上接第 116 页)

Review on the Gentianaceae Ornamentals Breeding and Cultivation Technology

LI Jinze, XU Feng, SU Yan, YU Rongpei, YANG Xiumei, ZHANG Yiping

(Flower Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences / Yunnan Key Laboratory for Flower Breeding / National Engineering Research Center for Ornamental Horticulture, Kunming 650205, China)

Abstract: The Gentianaceae germplasm resources of China are very rich. However, currently research activities focus on medicinal usage, breeding of new varieties and ornamental usage development are in scarce. The article summarized the history and present situation of Gentianaceae plants cultivation and breeding for ornamental application; Their physiology characters of cultivation and propagation technology were analysed; The newly breeding technologies that include molecular marker assist selection inter species crossing and in vitro doubled haploid production were reviewed. To promote gentian industry development, it was suggested that to utilize one plants both as medicals and ornamentals, to combine greenhouse year-round cultivation and outdoor cultivation in several altitude, to integrate inter-species cross with very different region and utilize double haploid technology for new variety breeding.

Keywords: Gentianaceae ornamentals; genetic diversity; cultivation physiology; interspecific hybridization; doubled haploid